

交联淀粉对甘薯浊汁饮料稳定性的影响

Effect of cross-linked starch on the stability of sweet potato turbid juice beverage

张佳艳 熊建文 崔娜 陈正培

ZHANG Jia-yan XIONG Jian-wen CUI Na CHEN Zheng-pei

(广西科技大学鹿山学院食品与化学工程系, 广西 柳州 545616)

(Department of Food and Chemical Engineering, Lushan College of Guangxi University
of Science and Technology, Liuzhou, Guangxi 545616, China)

摘要:将不同浓度交联剂(6%, 8%, 10%, 12%, 14%)制备得到的交联马铃薯淀粉(Cross-linked potato starch, CLPS)应用于甘薯浊汁饮料中,测定浊汁饮料的浑浊度、流变特性、稳定性、Zeta 电位和离心沉淀率。结果显示,随着交联程度的增加,浊汁饮料的浑浊度上升,但 30 d 内浑浊度的变化程度降低,饮料体系的假塑性、黏度、黏弹性、凝胶强度与 Zeta 电位绝对值随着交联程度的增加而增加,在交联剂浓度为 12% 时取得最大值;交联淀粉能够抑制浊汁饮料底部出现沉淀,但对浊汁饮料顶部析水的控制有限,稳定性动力学指数与离心沉淀率随着交联程度的提高而下降,表明交联淀粉能够提高甘薯浊汁饮料体系的稳定性。综合结果表明,交联淀粉使甘薯浊汁饮料的稳定性有一定程度的提高,12% CLPS 可作为稳定剂应用于淀粉质浊汁饮料中。

关键词:交联淀粉;甘薯;浊汁饮料;稳定性;流变性

Abstract: In order to investigate the effect of cross-linked starch on the stability of starchy turbid juice beverage, cross-linked starch which prepared by using different concentrations of cross-linking agent (6%, 8%, 10%, 12%, 14%) were applied to sweet potato juice beverages, and the turbidity, rheological properties, stability, zeta potential and centrifugal precipitation rate of the sweet potato juice beverage were determined. The results showed that the turbidity of the turbid juice beverage increased with the increasing of the degree of cross-linking, but the degree of turbidity decreased within 30 days. The pseudoplasticity, vis-

cosity, viscoelasticity, gel strength and the absolute value of the zeta potential of the beverage system decreased with the increasing of the degree of cross-linking, and the maximum value was obtained when the cross-linking agent concentration was 12%. The stability test results showed that the cross-linked starch could inhibit the precipitation at the bottom of the turbid juice beverage, but the control of the water at the top of the turbid juice beverage was limited. The stability kinetic index and the centrifugal precipitation rate decreased with the increasing of cross-linking degree, indicating that the cross-linked starch could improve the stability of the sweet potato turbid juice beverage system. The comprehensive results show that the cross-linked starch could improve the stability of sweet potato juice drink, and 12% CLPS could be used as a stabilizer in starchy turbid juice beverage.

Keywords: cross-linked starch; sweet potato; turbid juice beverage; stability; rheological property

淀粉质植物饮料是以薯类、芋类、玉米、板栗、葛根等淀粉含量较高的植物根茎为原料制作而成的^[1]。近年来,植物饮料由于营养功效优良而备受消费者欢迎。但由于淀粉质植物饮料中淀粉与蛋白质含量高,加工后容易在饮料中形成沉淀,限制了该类产品的品质与发展^[2]。为提高淀粉质植物饮料的稳定性,多采用添加稳定剂、酶解淀粉、高压均质等方法提高该饮料的稳定性^[3-6],而添加的稳定剂主要有明胶、乳蛋白、亲水性胶体与变性淀粉等物质。交联淀粉是常用的一种变性淀粉,是通过交联剂在淀粉分子上的羟基之间形成酯键或醚键,从而提高淀粉的持水性、黏度、热力学稳定性及其他加工特性^[7]。目前,交联淀粉主要作为增稠剂、稳定剂应用于汤、酱料与乳制品中^[8-10],Rungtiwa 等^[3]研究表明,1.0% 木薯交联淀粉能够显著改善汤的质地特性与感官品质;Bo 等^[4]研究表明交联乙酰化淀粉能够增强酸奶酪蛋白凝胶网络

基金项目:广西壮族自治区高等学校科学研究项目(编号:KY2015YB519);广西科技大学鹿山学院科研创新团队项目(编号:2018LSTD02);广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(编号:2019KY1109);广西自然科学基金项目(编号:2016GXNSFBA380025)

作者简介:张佳艳(1986—),女,广西科技大学鹿山学院讲师,硕士。E-mail:zhangjiayan0707@163.com

收稿日期:2019-09-03

的稳定性;Steeneken 等^[11]研究表明淀粉颗粒交联的程度影响酱料在加工过程中的稳定性。但目前尚未有将交联淀粉作为稳定剂应用于淀粉质植物饮料的报道。试验拟研究不同交联程度的交联淀粉对红薯浊汁饮料稳定性的影响,为交联淀粉在淀粉质植物饮料中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

甘薯:淀粉含量 11.95%,柳州市江友薯品有限责任公司;

马铃薯淀粉:分析纯,水分含量 12.5%,直链淀粉与支链淀粉质量比为 23:77,西亚试剂有限公司;

三偏磷酸钠、三聚磷酸钠:分析纯,阿拉丁生化科技有限公司。

1.2 仪器与设备

微波合成反应工作站:MAS-IIPLUS 型,上海新仪微波化学科技有限公司;

紫外—可见分光光度计:UV-5100 型,上海元析仪器有限公司;

分散稳定性分析仪:Turbiscan tower 型,法国 Formulaction 公司;

流变仪:AR1000 型,英国 TA 有限公司;

Zeta 电位分析仪:3000 型,英国马尔文仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 制备交联淀粉 根据张佳艳等^[12]的方法修改如下:准确称取马铃薯淀粉 40 g(干基),加入蒸馏水,配制成质量分数为 40%的淀粉乳浊液,向淀粉乳浊液中加入不同浓度(6%,8%,10%,12%,14%)的三聚磷酸钠/三偏磷酸钠(1:4,质量比)与 10%无水硫酸钠,搅拌后置于微波设备中并于 450 W、45 °C 下反应 3 min,采用 1 mol/L 的 HCl 溶液调整淀粉乳浊液 pH 至 6.0~6.5 以终止交联反应,4 000 r/min 离心 5 min,真空抽滤,用双蒸水洗涤 7 次,50 °C 下烘干过夜,粉碎后过 80 目筛,得到白色粉末状物质即为马铃薯交联淀粉(CLPS)。

1.3.2 甘薯浊汁饮料制备工艺流程 根据 Yi 等^[13-14]的制备工艺进行修改。

甘薯洗净→蒸煮(隔水蒸 30 min)→去皮→护色(0.15% 柠檬酸)→加水打浆[料液比 1:2 (g/mL)]→调配(加入 1.5%交联淀粉、5%蔗糖与 0.2%柠檬酸)→胶体磨→均质(65 °C,20~25 MPa,10 min)→罐装→排气→封盖→杀菌(100 °C,30 min)→冷却→甘薯浊汁饮料成品

1.3.3 饮料浑浊度 将甘薯浊汁饮料室温放置 30 d,每隔 6 d 测定果汁浑浊度。取 10 g 浊汁于离心管中,4 000 r/min 离心 10 min,取上清液,以蒸馏水为参照,在

660 nm 处测量上清液的吸光度^[15]。

1.3.4 流变特性 根据余振宇等^[16-17]的方法修改如下:平板间距 1 000 μm,剪切速率 0~200 s⁻¹,测定 25 °C 下饮料的表观黏度与剪切应力随剪切速率的变化曲线,采用 Power-Law 方程和 Hershek-Bulkley 方程对剪切应力随剪切速率变化的流变曲线进行模型拟合。

Power-Law 方程: $\tau = K\gamma^n$, (1)

Hershek-Bulkley 方程: $\tau = \tau_0 + K\gamma^n$, (2)

式中:

τ ——剪切应力,Pa;

τ_0 ——屈服应力,Pa;

K ——稠度系数,Pa·sⁿ;

γ ——剪切速率,s⁻¹;

n ——流动特征指数。

取少量搅拌均匀的浊汁饮料置于流变仪底板上,平板间距 1 000 μm,25 °C,应变 0.5%,频率扫描 0.1~10.0 Hz,测定储能模量(G')、损耗模量(G'')随频率变化的曲线。采用 Power-Law 方程对储能模量(G')随频率变化的流变曲线进行模型拟合。

Power-Law 方程: $G' = A\omega^B$, (3)

式中:

G' ——储能模量,Pa;

ω ——振荡频率,Hz;

A 、 B ——常量。

1.3.5 稳定性分析 甘薯浊汁饮料静置 1 h,取 20 mL 放入样品管中,测试温度为室温,扫描时间 1 h,扫描间隔时间 10 min,扫描结束后得到反射光强度随样品高度变化的曲线,采用软件将反射光强度微积分转换成测定时间内平均背散射光变化率,并以稳定系数(TSI)表示,TSI 与饮料体系的稳定性呈负相关性^[18-19]。

1.3.6 Zeta 电位 采用 Zeta 电位分析仪测定,用去离子水稀释 100 倍,震荡混匀后取 1 mL 放入样品池中,测定温度 25 °C,所有样品均平行测定 3 次^[20]。

1.4 数据处理

所有试验均重复 3 次,采用 SPSS 19 软件对试验数据进行方差与显著性分析。

2 结果与分析

2.1 浊度

由图 1 可知,甘薯浊汁饮料的吸光度要低于未添加交联淀粉的浊汁饮料(1 d),由于交联淀粉在受热糊化后表现为致密的溶胀颗粒,尤其是高浓度交联剂制备得到的交联淀粉^[21-22],致密的溶胀颗粒折射光而非透射光,因此导致浊汁饮料的吸光度降低,但 12% CLPS 饮料的吸光度值低于 14% CLPS 的。在 1~30 d 的保存期限中,浊汁饮料的吸光度均呈现整体下降的趋势,未添加交联

淀粉的浊汁饮料在保存期中吸光度大幅下降,但交联淀粉的添加使饮料的吸光度在储存期内变化较小,是由于交联键的存在使淀粉分子间作用力增强^[7],在分子间作用力的拖拽下,使淀粉分子的沉降变得困难,其中以含12% CLPS的吸光度变化最小。

2.2 流变特性

2.2.1 剪切应力与剪切速率 由图2可知,甘薯浊汁饮料的表观黏度随剪切速率的增加而降低,表明该流体具有剪切稀化现象,可能是由于在高剪切速率下甘薯浊汁饮料中的分子内、分子间的相互作用力被破坏,包括交联淀粉分子之间的缔合作用^[23];表观黏度随交联程度的增加不断提高,采用12% CLPS的表观黏度最高,可能是交联淀粉在一定温度下的膨胀度随交联度的增加而降低^[7],12% CLPS的交联度则使膨胀度下降到足以防止淀粉颗粒破碎但不足以限制肿胀,使淀粉能够吸收更多的水分,膨胀为尺寸更大的颗粒,从而使浊汁饮料得到较高的黏度^[22],但交联度过高会抑制颗粒的肿胀,导致黏度降低,与Runгтиwa等^[10]的结果类似。结果表明,交联程度高的淀粉不适宜作为增稠剂应用于酸奶中,但可作为膳食纤维补充剂应用于食品中。

为研究交联淀粉与甘薯浊汁饮料流动特性之间的相关性,采用Hershek-Bulkley、Power-law方程对饮料的剪

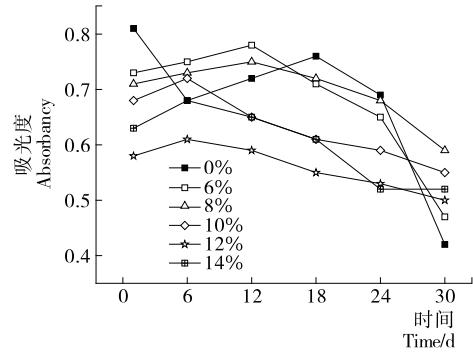


图1 交联淀粉含量对甘薯浊汁饮料浊度的影响
Figure 1 Effect of cross-linked potato starch on turbidity of the sweet potato turbid juice beverage

切应力与剪切速率的流体曲线进行拟合,结果见表1。由表1可知,两个方程的相关系数 $R^2 > 0.99$,表明曲线与拟合方程的相关性较高,且无论是Power-law方程还是Hershek-Bulkley方程,随着交联程度的增加, K 值整体呈上升趋势, n 值整体呈下降趋势,表明该流体的假塑性随着交联程度的增加而增加^[24],交联淀粉可以增加饮料混合体系的黏稠性(表现为稠度系数 K 值不断增加),降低其流动性,减少其触变面积,有助于提高体系的假塑性与剪切稳定性,形成相对稳定的结构;在12% CLPS时,

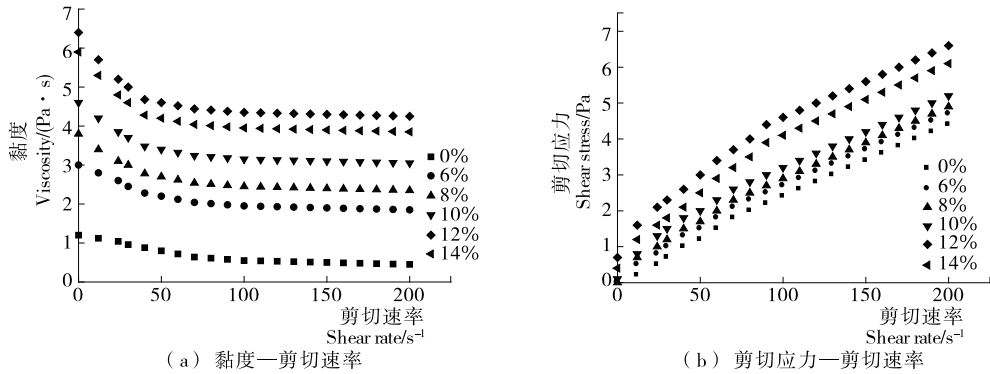


图2 25 °C甘薯浊汁饮料的剪切速率与黏度、剪切应力的流变曲线

Figure 2 Rheological curves of shear rate, viscosity and shear stress of sweet potato turbid juice beverage at 25 °C

表1 甘薯浊汁饮料的剪切应力与剪切速率的方程参数及其拟合情况

Table 1 Power law and Hershek-Bulkley constants and fitting degree for the relationship between shear rate and shear stress of the sweet potato turbid juice beverage

交联淀粉/%	Power-Law 方程			Hershek-Bulkley 方程			
	n	K	R^2	τ_0	K	n	R^2
0	0.911	0.035	0.998	-0.114	0.046	0.866	0.999
6	0.799	0.068	0.999	0.016	0.070	0.793	0.999
8	0.736	0.098	0.999	0.035	0.092	0.746	0.999
10	0.665	0.151	0.994	0.118	0.127	0.694	0.999
12	0.543	0.371	0.995	0.626	0.197	0.646	0.998
14	0.619	0.231	0.991	0.310	0.160	0.679	0.997

K 值最大, n 值最小, 表明含 12% CLPS 的浊汁饮料具有最大的稠度与高度抗剪切性。因此, 12% CLPS 对甘薯浊汁饮料有较大的改善。

2.2.2 储能模量与频率 由图 3 可知, 浊汁饮料的 G' 与 G'' 均随频率的增大呈上升趋势, 且 G' 始终大于 G'' , 表明甘薯浊汁饮料有类似固体的流体行为^[10]; 加入交联淀粉可以提高浊汁饮料的 G' 和 G'' , 且 G' 和 G'' 随着淀粉交联程度的增大而提高, 表现出较高的黏弹性。这是由于交联淀粉的加入, 淀粉分子之间的相互作用可以得到加强, 形成强大的三维网络, 从而增加体系的黏弹性。Power-Law 方程常数 B 值与凝胶强度有关^[25], 由表 2 可知, 浊汁饮料的 B 值随交联淀粉交联程度的增加而降低, 表明浊汁饮料的凝胶强度随交联淀粉交联程度的增加而增加, 在 12% CLPS 时, B 值最小, A 值最大, 表明 12% CLPS 的添加使甘薯浊汁饮料有最大的凝胶强度, 与 Wongsagonsup 等^[10] 和 Khondkar 等^[26] 的结果类似。

2.3 稳定性

由图 4 可知, 未添加交联淀粉的浊汁饮料谱图中的

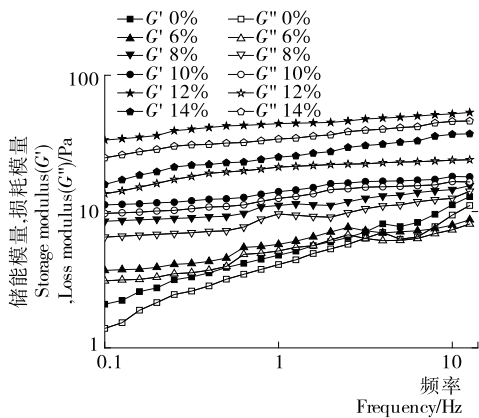


图 3 交联淀粉对甘薯饮料储能模量和损耗模量的影响
Figure 3 Effect of cross-linked starch on storage modulus and loss modulus of the sweet potato turbid juice beverage

表 2 甘薯浊汁饮料储能模量与频率的幂律方程参数及其拟合情况
Table 2 Power law constants and fitting degree for the relationship between storage modulus and frequency of the sweet potato turbid juice beverage

交联淀粉/%	A	B	R^2
0	4.755	0.361	0.982
6	5.572	0.175	0.923
8	10.751	0.132	0.974
10	13.992	0.112	0.970
12	43.130	0.086	0.961
14	25.072	0.161	0.990

背散射光强度值变化较大, 在样品池的底部出现沉淀层, 顶部出现澄清析层, 且曲线中间段有波动, 表明有团聚或絮凝现象^[27-28], 即未添加稳定剂的甘薯浊汁饮料的稳定性差; 随着交联淀粉的添加及交联程度的增加, 谱图中的背散射光强度值变化逐渐减小, 其中 12% CLPS 底部的 ΔBS 远低于未添加交联淀粉的, 左侧顶部曲线在基线以下下降幅度明显减少(相较于未添加), 说明交联淀粉能够抑制底部组分向下迁移; 但 14% CLPS 底部的要大于 12% CLPS 的, 表明 12% CLPS 具有较强的悬浮能力, 可能是 12% CLPS 经加工破裂后能够显著增加体系的黏稠性[图 2(a)]; 顶部析水程度随交联程度的增加而增加, 当交联程度 $> 10\%$ 时, 析水程度并未随交联程度增加而降低。

稳定性动力学指数 (TSI) 与体系稳定性呈反比^[29]。由图 5 可知, 未添加稳定剂的浊汁饮料 TSI 最大, 而交联淀粉的添加使体系 TSI 降低, 且交联程度越高, 指数下降程度越高, 当采用 12% 的交联剂交联得到的淀粉动力学指数最小, 即 12% CLPS 是较佳的稳定剂。

2.4 Zeta 电位

Zeta 电位常用作讨论体系稳定性的依据, 当 Zeta 电位的绝对值较小时, 体系内颗粒之间的排斥力较少, 颗粒间容易絮凝并形成沉淀^[30], 而带电荷的大分子可以与液滴的电荷发生相互作用, 增加液滴表面电位的绝对值, 减少絮凝沉淀^[16]。由表 3 可知, 甘薯浊汁饮料带负电荷, 但颗粒间的排斥力无法抵消大分子的重力作用, 从而产生絮凝沉淀; 交联淀粉增加了体系 Zeta 电位绝对值的大小, 是由于交联淀粉为长链分子, 在制备过程中由于磷酸基团的引入增强了淀粉颗粒上的负电荷, 使得体系液滴表面的静电斥力增加, 降低粒子间的絮凝作用, 另一方面交联淀粉容易通过静电排斥作用吸附在蛋白胶束表面, 产生空间位阻效应与渗透作用, 从而提高浊汁饮料体系的稳定性; 浊汁饮料 Zeta 电位绝对值随交联程度的提高而上升, 由于交联剂浓度越大, 引入的磷酸基团数量越多, 负电荷的增加使排斥力增大, 同时, 交联程度高的交联淀粉能显著提高体系黏度, 增加体系的稳定性。

表 3 交联淀粉对甘薯浊汁饮料电位的影响[†]
Table 3 Effect of cross-linked starch on electric potential of the sweet potato turbid juice beverage

交联淀粉/%	磷含量/%	$DS/(\times 10^{-4})$	电位/mV
0	0.000 0 $\pm$ 0.000 0 ^a	0.00 $\pm$ 0.00 ^a	-19.26 ^e
6	0.002 5 $\pm$ 0.000 1 ^b	1.31 $\pm$ 0.23 ^b	-25.34 ^d
8	0.003 5 $\pm$ 0.000 3 ^c	1.83 $\pm$ 0.15 ^c	-26.78 ^c
10	0.004 2 $\pm$ 0.000 1 ^d	2.20 $\pm$ 0.29 ^d	-27.83 ^b
12	0.005 3 $\pm$ 0.000 2 ^e	2.77 $\pm$ 0.25 ^e	-29.11 ^a
14	0.006 2 $\pm$ 0.000 4 ^f	3.24 $\pm$ 0.31 ^f	-30.05 ^a

[†] 同列字母不同表示存在显著性差异。

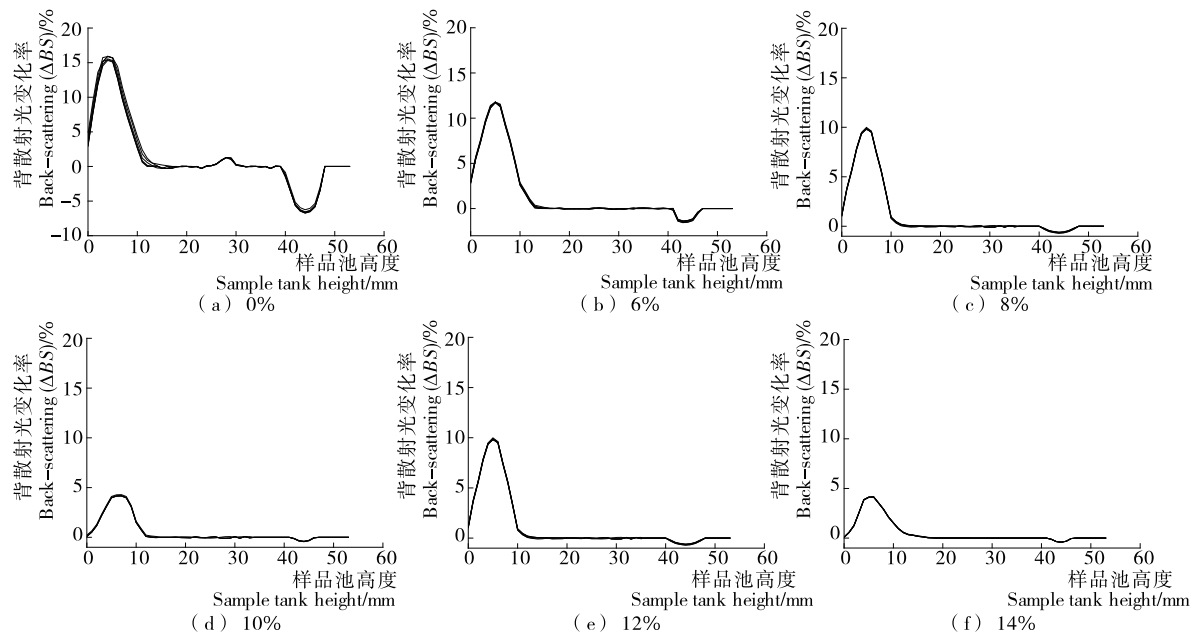


图 4 交联淀粉对甘薯浊汁饮料稳定性的影响

Figure 4 Effect of cross-linked starch on the back scattering light intensity of the sweet potato turbid juice beverage

2.5 离心沉淀率

由表 4 可知,交联淀粉的添加能降低甘薯浊汁饮料

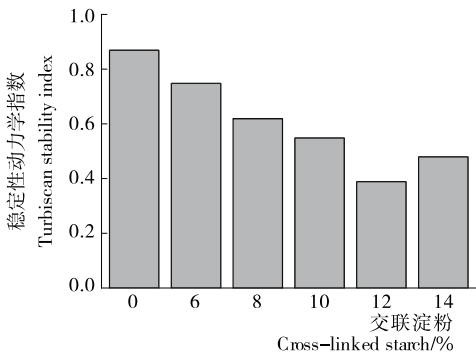


图 5 交联淀粉对甘薯浊汁饮料稳定性动力学指数的影响

Figure 5 Effect of cross-linked starch on the TSI of the sweet potato turbid juice beverage

表 4 交联淀粉对甘薯浊汁饮料离心沉淀率的影响[†]

Table 4 Effect of cross-linked starch on centrifugal precipitation rate of the sweet potato turbid juice beverage

交联淀粉	离心沉淀率
0	13.02±0.77 ^e
6	11.37±0.76 ^d
8	9.56±0.69 ^c
10	7.23±0.61 ^b
12	5.68±0.52 ^a
14	7.11±0.54 ^b

[†] 同列字母不同表示存在显著性差异。

离心沉淀率,且离心沉淀率随交联程度的增加而下降,其中 12% CLPS 离心沉淀率最低,与稳定性试验结果吻合。交联淀粉的存在使饮料中的淀粉分子间的相互作用得以加强,形成强大的网络,该网络的存在稳定了体系中的淀粉、蛋白质等大分子,同时降低了体系析水,从而降低了体系的离心沉淀率。

3 结论

试验探讨了不同交联程度的交联淀粉对甘薯浊汁饮料稳定性的影响,结果表明交联淀粉使甘薯浊汁饮料的稳定性有一定程度的提高,12% CLPS 可作为稳定剂应用于淀粉质浊汁饮料中。但交联淀粉对饮料的析水控制能力有限,后续可将交联淀粉与其他类型的变性淀粉或稳定剂复合,以进一步提高交联淀粉作为浊汁饮料稳定剂的应用效果。

参考文献

[1] 周红芳. 全糯米饮料工艺及稳定性的研究[D]. 齐齐哈尔: 齐齐哈尔大学, 2012: 16-17.
[2] 吴超平, 姜绍通, 余振宇, 等. 板栗浊汁饮料稳定性的研究[J]. 食品工业, 2015, 36(9): 5-8.
[3] 白超杰. 青稞谷物类饮料工艺研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2015: 50.
[4] 黎晓霞. 蓝莓黑枸杞浊汁饮料的酶解工艺研究[J]. 食品工业, 2018, 39(4): 159-161.
[5] MOONJ H, YOON W B. Analysis of the effect of high-pressure homogenization (HPH) on the settling velocity of parti-

- cles in an alcoholic rice beverage using video recording, turbidity and computational fluid dynamic simulation [J]. *Journal of Texture Studies*, 2015, 46(2): 74-86.
- [6] 樊振江, 詹现璞, 栗亚琼, 等. 复合稳定剂对豇豆饮料稳定性的影响[J]. *食品与机械*, 2014, 30(1): 232-234.
- [7] PARKE Y, MA J G, KIM J, et al. Effect of dual modification of HMT and crosslinking on physicochemical properties and digestibility of waxy maize starch [J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 75: 33-40.
- [8] SINGH J, KAUR L, MCCARTHY O J. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications: A review [J]. *Food Hydrocolloids*, 2007, 21(1): 1-22.
- [9] PANG Zhi-hua, XU Ruo-lin, LUO Tian-qi, et al. Physicochemical properties of modified starch under yogurt manufacturing conditions and its relation to the properties of yogurt[J]. *Journal of Food Engineering*, 2019, 245: 11-17.
- [10] WONGSAGONSUP R, PUJCHAKARN T, JITRAK-BUMRUNG S, et al. Effect of cross-linking on physicochemical properties of tapioca starch and its application in soup product[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2014, 101(1): 656-665.
- [11] STEENEKEN P A M, WOORTMAN A J J, OUDHUIS A A C M. Processing stability of cross-linked starches in acid sauce applications and identification of some of the molecular factors involved[J]. *Food Hydrocolloids*, 2011, 25(3): 410-418.
- [12] 张佳艳, 熊建文, 秦战军, 等. 复合交联剂对微波辅助制备马铃薯交联淀粉性质的影响[J]. *食品与机械*, 2018, 34(1): 13-16.
- [13] YI J, KEBEDE B, KRISTIANI K, et al. The potential of kiwifruit puree as a clean label ingredient to stabilize high pressure pasteurized cloudy apple juice during storage[J]. *Food Chemistry*, 2018, 255: 197-208.
- [14] 后立琼, 陈安均. 红薯浊汁饮料生产工艺的研究[J]. *食品工业*, 2012(3): 41-44.
- [15] 李露露. 糖醇在核桃乳中的应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 10.
- [16] 余振宇. 芋头浊汁饮料的加工工艺及贮藏稳定性研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015: 14.
- [17] HAJMOHAMMADI A, PIROUZIFARD M K, SHAHEDI M, et al. Enrichment of a fruit-based beverage in dietary fiber using basil seed: Effect of carboxymethyl cellulose and gum tragacanth on stability [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 74: 84-91.
- [18] 李新新, 刘志胜, 邬娟, 等. 响应面试验优化果胶和羧甲基纤维素钠复配稳定酸豆乳体系[J]. *食品科学*, 2015, 36(16): 51-55.
- [19] RAIKOS V, DUTHIE G, RANAWANA V. Comparing the efficiency of different food-grade emulsifiers to form and stabilise orange oil-in-water beverage emulsions; influence of emulsifier concentration and storage time [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2017, 52(2): 348-358.
- [20] LI Yan-hua, WANG Xin-wei, MENG Yue-cheng, et al. Effect of the modified high methoxyl pectin on the stability of the fermented milk beverage[J]. *International Journal of Food Properties*, 2018, 21(1): 2 075-2 086.
- [21] KOO S H, LEE K Y, LEE H G. Effect of cross-linking on the physicochemical and physiological properties of corn starch[J]. *Food Hydrocolloids*, 2010, 24(6/7): 619-625.
- [22] KURAKAKE M, AKIYAMA Y, HAGIWARA H, et al. Effects of cross-linking and low molecular amylose on pasting characteristics of waxy corn starch[J]. *Food Chemistry*, 2009, 116(1): 66-70.
- [23] BHANDARI P N, SINGHAL R S, KALE D D. Effect of succinylation on the rheological profile of starch pastes[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2002, 47(4): 365-371.
- [24] CUI Bo, LU Yan-min, TAN Cong-ping, et al. Effect of cross-linked acetylated starch content on the structure and stability of set yoghurt[J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 35: 576-582.
- [25] HSU Shan-hui, LU Shu-liang, HUANG Can. Viscoelastic changes of rice starch suspensions during gelatinization[J]. *Journal of Food Science*, 2000, 65(2): 215-220.
- [26] KHONDKAR D, TESTER R F, HUDSON N, et al. Rheological behaviour of uncross-linked and cross-linked gelatinised waxy maize starch with pectin gels[J]. *Food Hydrocolloids*, 2007, 21(8): 1 296-1 301.
- [27] 吕长鑫, 李萌萌, 徐晓明, 等. 利用 Turbiscan 稳定性分析仪检测紫苏酸性乳饮料乳化稳定性[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(4): 239-245.
- [28] 王蔚瑜, 周雪松, 钟秀娟, 等. 利用 Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪研究灭菌型褐色饮料稳定性[J]. *中国食品添加剂*, 2016(2): 137-140.
- [29] DUDASOVA D, FLATEN G R, SJOBLÖM J, et al. Study of asphaltene adsorption onto different minerals and clays Part 2: Particle characterization and suspension stability[J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2009, 335(1/3): 62-72.
- [30] 崔越, 李利军, 李青松, 等. Zeta 电位法优化赤砂糖回溶糖浆絮凝澄清工艺的研究[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(14): 273-277.