羧甲基籼米淀粉的理化性质及其在冰淇淋中的应用

刘忠义，彭丽，包浩，陈婷，乔丽娟
（湘潭大学化工学院，湖南湘潭 411105）

摘要：以实验室制备得到的羧甲基籼米淀粉（DS=0.49）为原料，对其主要的性质作了详细的研究包括溶解度、膨胀度、冻融稳定性、动态流变性、静态流变性及质构特性。同时，以膨胀率，融化度和感官评价为指标，研究了其作为增稠稳定剂在冰淇淋的应用效果。结果表明，羧甲基化后的籼米淀粉的溶解度、膨胀度均有明显提高，冻融稳定性也明显改善。由静态流变曲线可知，羧甲基淀粉具有更高的表观黏度及凝胶稳定性；动态流变曲线表明，羧甲基淀粉的糊化温度降低，抗老化能力提高。质构数据说明羧甲基淀粉的凝胶强度较低。在冰淇淋制备中添加羧甲基籼米淀粉作为增稠稳定剂，能显著改善冰淇淋的品质特性，添加量在 0.3%时得到的冰淇淋膨胀率大于 90%，具有较好的抗融化能力，外观和口感较好。

关键词：理化性质；流变性；质构特性；冰淇淋；羧甲基籼米淀粉

文章篇号：1673-9078(2015)3-184-189 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.3.031

Physical and Chemical Properties of Carboxymethyl Indica Rice Starch and Use in Ice Cream

LIU Zhong-yi, PENG Li, BAO Hao, CHEN Ting, QIAO Li-juan
(Collage of Chemical Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China)

Abstract: In this study, the solubility, expansion rate, freeze-thaw stability, dynamic rheological property, static rheological property, and texture properties of carboxymethyl indica rice starch (DS=0.49), which was prepared in the laboratory, were studied. The applicability of carboxymethyl indica rice starch as a thickening stabilizer in ice cream was investigated by comparing the expansion rate, melting rate, and sensory evaluation of ice cream. The result showed that the solubility and expansion rate of indica rice starch significantly increased after carboxymethylation and its freeze-thaw stability also improved. The static rheological curve showed that carboxymethyl starch had better apparent viscosity and gel stability. The dynamic rheological curve showed that the pasting temperature of carboxymethyl starch decreased, while anti-aging ability was improved. Textural data indicated that carboxymethyl starch gel had relatively low strength. Thus, carboxymethyl indica rice starch can significantly improve the quality characteristics of ice cream when used as a thickening stabilizer. When carboxymethyl starch was added in a 0.3% proportion, the expansion rate of ice cream was greater than 90% and the product exhibited enhanced anti-melting capacity, appearance, and texture.

Key words: physical and chemical properties, rheological properties, textural property, ice cream, carboxymethyl indica rice starch

冰淇淋是一种冷冻的乳制品，其在加工过程中会出现冰晶体较多，膨胀度不高以及质地不够细腻等问题，因此需要加入一些稳定剂以保障冰淇淋的品质[1]。明胶是食品领域中常用的稳定剂[2]，但因为胶类物质本身所具有的气味和颜色，会影响冰淇淋的品质。羧甲基淀粉具有良好的冻融稳定性，膨胀度，溶解度和粘度，无气味，透光率好[3]，符合冰淇淋所需增稠稳定剂的特性要求，且均匀细腻，成本也较低，能很好地运用于冰淇淋中解决其品质问题。

籼米是我国主要的粮食品种之一[4]，米粒细长且脆，在加工过程中会产生大量碎米[5]，其价格比完整米粒低很多，但营养物质几乎没有区别。以前，碎米通常作为饲料来利用，现在已经有成熟技术以碎米为原料制取籼米淀粉和籼米蛋白水解物[6]，为碎米的深加工打开了途径。籼米淀粉具有颗粒小，易消化，低敏性等特点[7]，基于这些特性，籼米淀粉在食品工业中的应用有较强的优势，将它制备成羧甲基淀粉具有较好的研究价值和实际应用前景。

目前多以玉米淀粉、马铃薯淀粉以及木薯淀粉为

收稿日期：2014-07-24

基金项目：国家农转资金项目（2013D2002007）；粮食发酵深加工工艺与技术（江南大学）国家工程实验室科技项目（KH02010）

作者简介：彭丽（1990-），女，硕士研究生，主要从事淀粉修饰改性、功能性质及农产品加工方面研究

通讯作者：刘忠义（1964-），男，博士，教授，主要从事天然产物开发利用及食品的质量、安全以及功能性质的研究

原料制备羧甲基淀粉[8]，而籼米淀粉羧甲基化的研究较少。同时尚未见到关于羧甲基淀粉动态流变性、静态流变性及质构特性的详细报道。动态流变性、静态流变性及质构特性是重要的物化特性，其黏弹性，强度等参数与食品加工过程以及品质有密切的关系[9~10]。

本文将籼米淀粉进行羧甲基化反应，对得到的羧甲基籼米淀粉性质进行了详细的研究，包括溶解度、膨胀度、冻融稳定性、动态流变性、静态流变性及质构特性，并研究了其作为增稠稳定剂在冰淇淋中的应用。

1 材料与方法

1.1 实验材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

异丙醇、无水乙醇、氢氧化钠、氯乙酸、盐酸、氯化铵、氨水、乙二胺四乙酸二钠、十六烷基三甲基溴化铵、无水硫酸铜、1-(2-吡啶偶氮)-2-萘酚均为分析纯。

籼米淀粉，一级品，由云南普洱永吉生物技术有限责任公司提供；奶粉，雀巢全脂奶粉；白砂糖，望城县尚杰食品有限公司；奶油，好再来蛋糕店；单甘脂，广西南宁食品公司；瓜尔豆胶，上海宏成食品配料中心；K-型卡拉胶，郑州天健食品科技有限公司。

1.1.2 仪器与设备

AR-100 型流变仪，美国 TA 公司；TA.XTPlus 型质构仪，英国马尔文公司；PTX-FA-110 电子分析天秤，赛多利斯科学仪器（北京）有限公司；冰激淋机，广东穗华机械设备有限公司；SHP-1 高压均质机，上海科技大学仪器厂；ASX-1508 智能恒温恒湿箱，上海福玛实验设备有限公司；FYL-YS-108L 低温冰柜，北京福意电器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 羧甲基淀粉的制备

按质量比为 10:4:0.5 将籼米淀粉，氢氧化钠以及十六烷基三甲基溴化铵混合，用水含量 4.8%(体积分数)的异丙醇溶液 (体积相对于淀粉干基质量的 12.5 倍)溶解，在温度为 40 ℃下搅拌 0.5 h 使淀粉碱化。加入氯乙酸(质量相对于淀粉干基质量的 0.6 倍)在 60 ℃下反应 4 h 使淀粉醚化。反应结束后，冷却至室温，调 pH 值，抽滤，并用 90%乙醇漂洗干净，干燥，筛分即得到羧甲基籼米淀粉。通过铜盐滴定测定其取代度为 0.49。以此制备得到的取代度为 0.49 的羧甲基籼米淀粉为原料，进行性质以及应用的研究。

1.2.2 羧甲基淀粉性质测定

溶解度、膨胀度测定参照文献[9]，其中，溶解度=水溶淀粉质量/淀粉样品质量×100%，

膨胀度=膨胀淀粉质量/[淀粉样品质量(100-溶解度)]×100%；

冻融稳定性测定参照文献[4]，其中，析水率=(糊质量－沉淀物)/糊质量×100%；

动态流变性测定参照文献[9]，测定淀粉糊的黏弹特性；

静态流变性测定参照文献[11]，测定表观粘度和剪切应力；

质构特性测定参照文献[10]，具体参数如下：0.5 cm 探头；触发力：5.00 g；测前速度：1.00 mm/s；测量速度：1.0 mm/s；测后速度：1.00 mm/s；压缩距离：20.00 mm。

1.2.3 羧甲基淀粉在冰淇淋中的应用实验

用羧甲基籼米淀粉作为冰淇淋的增稠稳定剂，对照组为传统稳定剂配方，即瓜尔豆胶（0.26%）和 K-型卡拉胶（0.04%）(质量分数)复配，羧甲基籼米淀粉选取 0%、0.1%、0.15%、0.2%、0.25%、0.3%、0.35%(质量分数)七个添加量，通过冰淇淋的感官评价和融化度以及膨胀率（测试方法参见文献[12]）来考察羧甲基籼米淀粉在冰淇淋中的应用效果。

其中，融化率(%)=(融化的冰淇淋浆料质量/冰淇淋总质量)×100%；

膨胀度(%)=[(1 L 混合料的质量-1 L 成品的质量)/1 L 成品的质量]×100%

冰淇淋制备的工艺流程为：

配料（按质量分数计，奶油 6%，全脂奶粉 8%，白砂糖 15%，单甘酯 0.2%，适量稳定剂）→混合（45 ℃水混合）→杀菌（将混合液加热至 80 ℃，巴式杀菌 30 min）→均质(20 Mpa，65 ℃)→冷却老化（置于 3 ℃冰箱中冷藏老化 12 h）→凝冻（凝冻机进料温度为 3 ℃~4 ℃，出料温度为-5 ℃~-6 ℃）→硬化（注模后放在-25 ℃下硬化 4 h）冷冻→成品

参照冰淇淋行业标准 SB/T 10013-1999 以及参考文献[12]对冰淇淋进行感官评价，具体细节见表 1。评价结果以 15 人评判结果的平均值表述。

1.2.4 数据分析

数据采用统计软件 SPSS 16.0 进行方差及显著性分析，数值以平均值±标准差表示。采用 Origin 7.5 软件作图。

表 1 冰淇淋感官评价标准细则

Table 1 Sensory evaluation of ice cream

项目	特征	分数
色泽 (20 分)	颜色呈均匀乳白色，颜色均匀	15~20
	呈浅黄或黄色	5~15
	颜色过深呈褐色，颜色不均匀	0~5
气味 (25 分)	有奶脂或植脂香味，香气纯正，风味协调，无异味	20~25
	奶香突出，风味较不协调	5~15
	有酸败味，霉味，哈喇等异味	0~5
组织状态 (30 分)	组织柔滑细腻，无凝粒，无明显粗糙的冰晶，均匀，无气泡，无可见杂质，形态完整，不变形，不软塌，不收缩	25~30
	较细腻滑润，略有冰晶	20~25
	略有塌陷，孔洞现象，有冰晶	10~20
	塌陷并有空洞，收缩现象	5~10
	塌陷收缩严重，粗糙，冰晶多	0~5
滋味 (25 分)	滋味协调，甜度适中而不腻，爽口，无苦涩味	20~25
	甜味不足或过甜，微苦涩	5~20
	香味不足，苦涩味浓	0~5

2 结果与讨论

2.1 羧甲基籼米淀粉的理化性质

籼米淀粉和羧甲基籼米淀粉的主要的理化性质(冻融稳定性、溶解度和膨胀度)见表 2。从表 2 可知，籼米淀粉经过羧甲基化后，冻融稳定性，溶解度和膨胀度有了明显的改善。

表 2 籼米淀粉与羧甲基籼米淀粉的理化性质

Table 2 Physical and chemical properties of indica rice starch and carboxymethyl indica rice starch

样品	冻融析水率/%	溶解度/%	膨胀度/(g/g)
籼米淀粉	68.60±0.60	9.7±0.10	13.39±0.23
羧甲基籼米淀粉	41.46±0.58	26.47±0.60	38.94±0.28

羧甲基籼米淀粉由于引入的羧甲基基团，一方面其具有亲水性能与水分子更好的结合，淀粉分子容易吸水膨胀[9]，从而膨胀度有所增加，从 13.39 g/g 增大至 38.94 g/g；另一方面羧甲基的空间位阻较大，阻碍淀粉分子间的氢键形成[13]，使淀粉糊在冷冻条件下不易发生凝沉，析水率减小为 41.46%，冻融稳定性增强，溶解度提高至 26.47%。羧甲基籼米淀粉溶解度较高，膨胀度较大且冻融稳定性也较好，可应用于冰淇淋的加工。

2.2 动态流变性质

储能模量 G'是能反映流变特性的最主要的动态流变参数，其能反应出凝胶的硬度和强度[14]。籼米淀粉和羧甲基籼米淀粉的 G'随温度的变化曲线如图 1 所示。

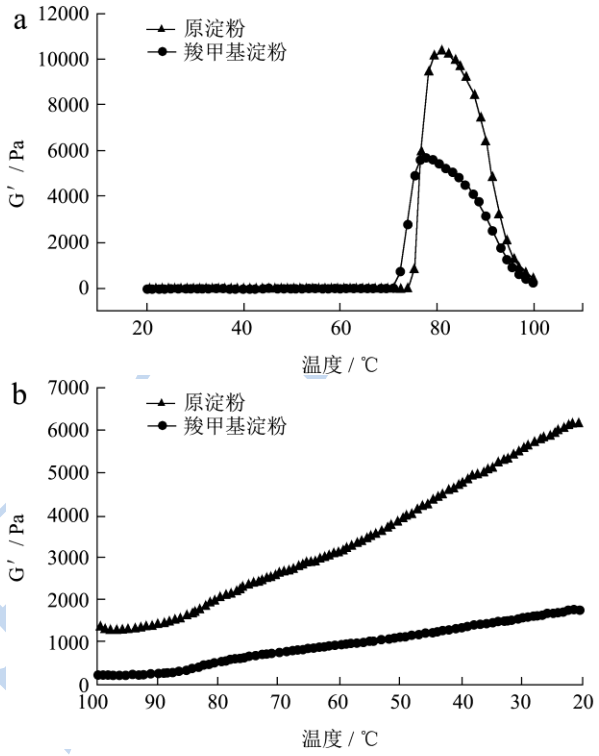


图 1 籼米淀粉和羧甲基籼米淀粉的 G'随温度的变化曲线

Fig.1 Change in G' values of indica rice starch and carboxymethyl indica rice starch with increase in temperature

注：a：升温曲线，b：降温曲线。

由图 1a 可知，籼米淀粉及其羧甲基淀粉的 G'在升温过程中先增加后减小，这是由于在加热过程中，淀粉糊化，形成三维网状凝胶[15]，造成了其 G'升高，由于受到羧甲基化反应的影响，破坏了淀粉分子的结构，而且引入的基团为亲水性基团，降低了凝胶强度的同时，也使其糊化温度降低[16]，所以羧甲基淀粉在相对较低的温度时，凝胶强度就开始上升。但是由于温度的进一步升高，破坏了凝胶的结构，使 G'降低。由图 1b 可知，当温度的降低时，淀粉分子间由于氢键的作用，慢慢趋于稳定，重新组合，使淀粉的凝胶强度变大[17]，由于淀粉中引入羧甲基化基团空间位阻较大，减弱了分子间氢键的作用[13]，所以羧甲基淀粉的 G'较低，说明了羧甲基淀粉的抗老化能力较强。

2.3 静态流变性质

籼米淀粉和羧甲基籼米淀粉的静态流变曲线如图

2 所示，其中 2a 为表观黏度随剪切速率的变化曲线，2b 为剪切应力随剪切速率的变化曲线。

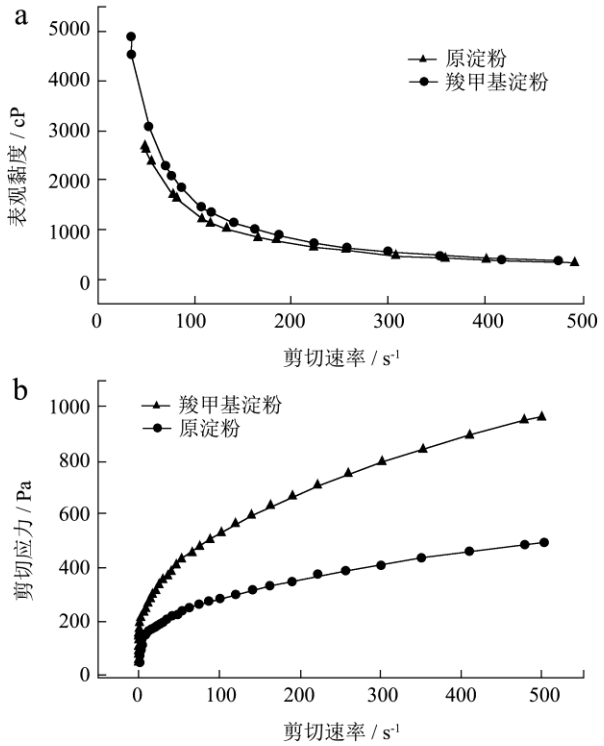


图 2 籼米淀粉和羧甲基籼米淀粉静态流变曲线

Fig.2 Static rheological curves of indica rice starch and carboxymethyl indica rice starch

注：a: 表观黏度曲线，b: 剪切应力曲线。

由图 2a 可知，淀粉的表观黏度刚开始时随着转速的增加显著下降，从 200 s^{-1} 开始，黏度的下降趋势变得平缓，且羧甲基淀粉的黏度始终大于籼米淀粉，这是因为淀粉糊实质是一种由链状淀粉分子通过氢键组成三维网状的凝胶结构[15]，亲水基团的水合作用可增加其稳定性，起到增稠的效果[16]。随着剪切速率的增加，凝胶的网状结构遭遇到破坏，所以黏度急剧下降，产生的剪切稀化现象，但是剪切速率达到一定值时，凝胶几乎完全被破坏，链状分子也逐渐收缩成团状，所以继续增加时，黏度下降不明显。较高的剪切应力说明淀粉凝胶有较高的稳定性[18]，从图 2b 可知，羧甲基淀粉的凝胶结构更稳定。羧甲基淀粉和籼米淀粉的剪切应力曲线呈微凸，剪切应力随着剪切速率增加而升高，这是典型的假塑性流体产生的现象[18]， 这与相关研究的结果相一致，即淀粉糊是一种假塑性流体[19]。

2.4 质构特性

籼米淀粉和羧甲基籼米淀粉的质构数据如表 3 所示。

淀粉凝胶的实质是直链淀粉分子间氢键的作用组合形成的凝胶体，因此直链淀粉含量直接影响到淀粉的凝胶特性[15]。从表 3 可知，籼米淀粉和羧甲基籼米淀粉的全质构特性有较大差别，羧甲基淀粉凝胶的硬度、弹性、凝聚性、胶黏性及咀嚼度分别为 41.22 g、0.92、0.52、21.20 g、19.96，较籼米淀粉均有所下降。这可能是由于羧甲基改性对淀粉分子的结构造成了一定的影响，破坏了直链淀粉的结构，减弱了其分子间氢键作用[13]，直链淀粉分子不能有效的形成凝胶体，从而降低了凝胶的硬度弹性、凝聚性、胶黏性及咀嚼度，这与 2.2 的凝胶强度降低的结果相一致。回复性为 0.05，较之略微增加，这可能是由于引入的羧甲基基团增加了淀粉分子的体积的造成的[13]。

表 3 籼米淀粉和羧甲基籼米淀粉的质构特性

Table 3 Textural properties of indica rice starch and carboxymethyl indica rice starch

样品	硬度/g	弹性	凝聚性	胶黏性/g	咀嚼度	回复性
羧甲基籼米淀粉	41.22±0.22	0.92±0.01	0.52±0.04	21.20±0.24	19.96±0.15	0.05±0.02
籼米淀粉	99.63±0.41	0.98±0.01	0.63±0.02	61.45±0.38	59.69±0.54	0.03±0.00

2.5 羧甲基籼米淀粉在冰淇淋中的应用结果

融化率和膨胀率是判断冰激淋品质重要的指标[12]。羧甲基籼米淀粉对冰激淋膨胀率和融化率的影响结果见表 4。

根据 SB/T10013-1999 对膨胀率的规定为 50%~150%，在实际生产中一般为 90%~110%为宜，在此范围中的冰激淋拥有较好口感。从表 4 可知，当添加羧甲基籼米淀粉量从 0 增加到 0.3%，膨胀率不断的上升。添加量在 0.3%时的冰激淋的膨胀率为 98.54%，其数值大于 90%，进一步加大其用量，膨胀度为 92.41%略有降低，这可能是由于添加的羧甲基籼米淀粉使混合料粘度加大[16]，凝冻时空气不易混入造成的[1]。添加量在 0.3%时与对照组膨胀率相当，说明其对改善冰淇淋的膨胀率具有良好的效果。

融化率小则抗融化能力强，冰淇淋的保存时间长。从表 4 可知，随着羧甲基籼米淀粉用量从 0 增加到 0.3%，其融化率从 75.40%减少到 45.07%，说明在一定范围内羧甲基籼米淀粉对冰淇淋的稳定作用是增大的，这可能是由于其用量的增加有助于使混合的空气达到更均匀的分布，对气泡保持能力增加，从而达到了更好的抗融效果[20]。添加量在 0.3%时融化率为

45.07%与使用传统的稳定剂时的融化率 47.69%相当，说明其对改善冰淇淋的抗融化能力具有良好的效果。当其添加量为 0.35%时，融化率增加至 51.50%，则其抗融化性能减小，与膨胀率变化趋势一致。从表 4 还可以看出，羧甲基籼米淀粉的添加量对冰淇淋的膨胀度和融化率影响较大，差异显著。

表 4 羧甲基籼米淀粉对冰激淋膨胀率和融化率的影响

Table 4 Effect of carboxymethyl indica rice starch on the expansion rate and melting rate of ice cream

样品	用量/%	膨胀率/%	融化率/%
羧甲基籼米淀粉	0	42.73±0.25a	75.4±1.28e
羧甲基籼米淀粉	0.10	56.77±0.24b	61.13±0.70d
羧甲基籼米淀粉	0.15	65.34±0.43^{c}	55.10±0.36^{c}
羧甲基籼米淀粉	0.20	79.45±0.43^{d}	51.10±0.70^{b}
羧甲基籼米淀粉	0.25	89.37±0.22^{e}	46.40±0.10^{a}
羧甲基籼米淀粉	0.30	98.54±0.09^{f}	45.07±0.35^{a}
羧甲基籼米淀粉	0.35	92.41±0.20^{g}	51.50±0.20^{b}
对照组	0.30	93.38±0.68	47.69±0.49

注：同列字母不同，表示差异显著（P＜0.05）。

羧甲基籼米淀粉对冰淇淋影响的感官评价结果见表 5。

表 5 羧甲基籼米淀粉对冰激淋影响的感官评价结果

Table 5 Effect of carboxymethyl indica rice starch on sensory characteristics of ice cream

样品	用量/%	色泽	气味	组织状态	滋味	总分
羧甲基籼米淀粉	0	16	24	9	15	60
羧甲基籼米淀粉	0.10	17	25	18	22	82
羧甲基籼米淀粉	0.15	18	25	20	23	86
羧甲基籼米淀粉	0.20	18	25	22	23	88
羧甲基籼米淀粉	0.25	19	25	24	24	92
羧甲基籼米淀粉	0.30	19	25	29	24	97
羧甲基籼米淀粉	0.35	18	25	25	23	91
对照组	0.30	17	23	29	23	92

由表 5 可知，羧甲基籼米淀粉作为增稠稳定剂，其对冰淇淋的影响主要体现在对组织状态的影响，随着其用量从 0 增加到 0.35%，组织状态分数波动幅度较大，其他幅度较小，这主要是冰淇淋制作过程中其他组分的用量保持一致，而只改变了增稠稳定剂的添加量，羧甲基籼米淀粉形成凝胶，可以提高食品的粘稠度[16]，从而改善产品的形体和组织结构，分数的变化规律与上述测定得的膨胀率和融化率一致。同时也能赋予食品粘稠、润滑、适宜的口感，冰淇淋的滋味分数也有所增加。色泽和气味分数变化不大，说明羧甲基籼米淀粉其本身无气味和颜色[16]，没有影响冰淇淋的色泽和气味。添加量在 0.3%时，色泽和气味分数稍大于对照组对比，其他分数相当，这可能是对照组使用的胶类物质稍有颜色和气味导致。综上所述，羧甲基籼米淀粉的添加量为 0.3%时得到的冰淇淋膨胀率大于 90%，外观和口感较好，具有较好的抗融化能力，符合冰激淋的要求。

3 结论

与原淀粉相比，羧甲基籼米淀粉的析水率由 68.60%减少至 41.46%，表明其具有更好的冻融稳定性；膨胀度从 13.39 g/g 增大至 38.94 g/g，溶解度提高至 26.47%，表明其具有更高溶解度和膨胀度。G'随温度的变化曲线说明羧甲基化改性降低了淀粉的凝胶强度，并使得其糊化温度降低；静态流变曲线说明羧甲基淀粉具有更高的表观黏度和凝胶稳定性；质构数据结果表明，羧甲基淀粉凝胶的硬度、弹性、凝聚性、胶黏性及咀嚼度分别为 41.22 g、0.92、0.52、21.20 g、19.96，较籼米淀粉均有所下降，回复性为 0.05，较之略微增加。羧甲基籼米淀粉作为一种增稠稳定剂添加到冰淇淋中，其用量对冰淇淋的膨胀率和融化率有较大影响。当添加羧甲基籼米淀粉量从 0 增加到 0.3%，制得的冰淇淋膨胀率从 42.73%增大到 98.54%，融化率从 75.40%减少到 45.07%；当其添加量为 0.35%时，其膨胀度为 92.41%略有降低，融化率增加至 51.50%。随着其用量从 0 增加到 0.35%，组织状态分数波动幅度较大，分数的变化规律与上述测定得的膨胀率和融化率一致；其他幅度较小。

参考文献

[1] BAHRAMPARVAR M, GOFF H D. Basil seed gum as a novel stabilizer for structure formation and reduction of ice recrystallization in ice cream [J]. Dairy Science & Technology, 2013, 93(3): 273-285

[2] NAJAFIAN L, BABJI A. A review of fish-derived antioxidant and antimicrobial peptides: their production, assessment, and applications [J]. Peptides, 2012, 33(1): 178-185

[3] GANORKAR P, KULKAMNI A. Studies on preparation and functional properties of carboxymethyl starch from sorghum [J]. International Food Research Journal, 2013, 20(5): 2205-2210

[4] SONG X-y, CHEN Q-h, RUAN H, et al. Synthesis and paste properties of octenyl succinic anhydride modified early indica rice starch [J]. Journal of Zhejiang University Science B, 2006, 7(10): 800-805

[5] 苟林,王泽南,国志坚,等.己二酸交联碎米淀粉的工艺研究

[J].现代食品科技,2012,28(1):74-76
GOU Lin, WANG Ze-nan, GUO Zhi-jian, et al. Study of hexane diacid-crosslinked broken rice starch [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28 (1) : 74-76

[6] 陈正行,王韧,王莉,等.稻米及其副产品深加工技术研究进展[J].食品与生物技术学报,2012,4:355-364
CHEN Zheng-xing, WANG Ren, WANG Li, et al. Development in deep processing technology of rice and by-products [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2012, 4 :355-364

[7] 田丹青,沈希宏,舒小丽,等.稻米淀粉的理化特性及其应用现状和进展[J].核农学报,2010,24(1): 93-97
TIAN Dan-qing, SHEN Xi-hong, SHU Xiao-li, et al. Physicochemical properties and utilization of rice starch [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2010, 24(1): 93-97

[8] WANG L F, PAN S Y, HU H, et al. Synthesis and properties of carboxymethyl kudzu root starch [J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 80(1): 174-179

[9] LIN Q L, XIAO H X, FU X J, et al. Physico-chemical properties of flour, starch, and modified starch of two rice varieties [J]. Agricultural Sciences in China, 2011, 10(6): 960-968

[10] MANFIL P H, ANHE A C, TELIS V R. Texture and microstructure of gelatin/com starch-based gummy confections [J]. Food Biophysics, 2012, 7(3): 236-243

[11] HAGENIMANA A, DING X, GU W Y. Steady state flow behaviours of extruded blend of rice flour and soy protein concentrate [J]. Food Chemistry, 2007, 101(1): 241-7

[12] 符小平,姚金花.枸杞冰淇淋的开发研制[J].现代食品科技,2010,26(10):1141-1143
FU Xiao-ping, YAO Jin-hua. Development of ice-cream with wolfberry [J]. Modem Food Science and Technology, 2010, 26(10): 1141-1143

[13] 徐中岳,罗志刚,何小维.硬脂酸木薯淀粉糊精的理化性质研究[J].现代食品科技,2009,10:1163-1165
XU Zhong-yue, LUO Zhi-gang, HE Xiao-wei. Physicochemical properties of stearate cassava starch dextrine [J]. Modern Food Science and Technology, 2009, 10: 1163-1165

[14] RAO M, OKECHUKWU P, DA Silva P, et al. Rheological behavior of heated starch dispersions in excess water: role of starch Granule [J]. Carbohydrate Polymers, 1997, 33(4): 273-283

[15] LU S, CHEN J J, CHEN Y K, et al. Water mobility, rheological and textural properties of rice starch gel [J]. Journal of Cereal Science, 2011, 53(1): 31-36

[16] SPYCHAJ T, WILPISZEWSKA K, ZDANOWICZ M. Medium and high substituted carboxymethyl starch: synthesis, characterization and application [J]. Starch - Stärke, 2013, 65(1-2): 22-33

[17] 张涛,缪铭,江波.不同品种鹰嘴豆淀粉糊与凝胶特性研究[J].食品与发酵工业,2008,33(9):6-10
ZHANG Tao, MIAO Ming, JIANG Bo. Paste and gel properties of starcjes from different chickpea cultivars [J]. Food and Fermentation Industries, 2008, 33(9): 6-10

[18] DZUY Nguyen Q, JENSEN C T, KRISTENSEN P G. Experimental and modelling studies of the flow properties of maize and waxy maize starch pastes [J]. Chemical Engineering Journal, 1998, 70(2): 165-71.

[19] 廖丽莎,刘宏生,刘兴训,等.淀粉的微观结构与加工过程中相变研究进展 [J].高分子学报,2014,6:761-73
LIAO Li-sha, LIU Hong-sheng, LIU Xing-xun, et al. Development of microstructurea and phase transitions of starch [J]. Acta Polymerica Sinica, 2014, 6: 761-773

[20] BAHRAMPARVAR M, MAZAHERI Tehrani M, RAZAVI S. Effects of a novel stabilizer blend and presence of κ-carrageenan on some properties of vanilla ice cream during storage [J]. Food Bioscience, 2013, 3(10-8)