

苹果冰淇淋抗融性配方的研究

秦晨旭¹, 张 慇^{*1}, 徐保国¹, 薛娜娜¹, 王维琴²

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 海通食品集团有限公司, 浙江 慈溪 315300)

摘要: 本实验中以苹果冰淇淋为研究对象, 分别研究了不同种类和添加量的油脂、稳定剂、乳化剂对其品质的影响。选择卡拉胶、瓜尔豆胶、槐豆胶作为稳定剂, 单甘酯、三聚甘油单硬脂酸酯作为乳化剂, 通过正交试验确定了改善苹果冰淇淋抗融性品质的复合稳定乳化剂的最优配方为(质量分数): 卡拉胶 0.016%、瓜尔豆胶 0.10%、槐豆胶 0.20%、单甘酯 0.15%、三聚甘油单硬脂酸酯 0.05%。按照这个配方生产的苹果冰淇淋具有良好的抗融性, 同时产品组织细腻、口感清爽。

关键词: 苹果冰淇淋; 抗融性; 融化率; 复合稳定乳化剂

中图分类号: TS 277 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-1689(2017)08-0807-07

Study on Melting-Resistance Formula of Apple Ice Cream

QIN Chenxu¹, ZHANG Min^{*1}, XU Baoguo¹, XUE Nana¹, WANG Weiqin²

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Haitong Food Group Co.Ltd, Cixi 315300, China)

Abstract: With the development of living standard, the ice cream is becoming increasingly popular in people's daily life. Especially fruit ice cream with its low-fat, low-sugar and unique taste is loved by consumers. however, the characteristic of melting-resistance of fruit ice cream is poor, which has brought a lot of unnecessary losses and troubles to producers, sellers and consumers. Apple ice cream is the research object and the impacts of different kinds and adding amounts of oils, stabilizers and emulsifiers on the quality of apple ice cream were researched in this study. Carrageenan, guar gum and locust bean gum were chosen as the stabilizers, glyceryl monostearate and tripolymerol monostearate were chosen as the emulsifiers, the optimum melting-resistance formula of mixed stabilizers and emulsifiers gotten by orthogonal experiments was 0.016% carrageenan, 0.10% guar gum, 0.20% locust bean gum, 0.15% glyceryl monostearate and 0.05% tripolymerol monostearate. Apple ice cream produced by this formula has a better characteristic of melting-resistance, fine texture and refreshing taste.

Keywords: apple ice cream, melting-resistance, melting rate, mixed stabilizers and emulsifiers

收稿日期: 2015-06-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(21176104)。

* 通信作者: 张 慇(1962—), 浙江平湖人, 工学博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事农产品加工与贮藏方向研究。

E-mail: min@jiangnan.edu.cn

引用本文: 秦晨旭, 张慇, 徐保国, 等. 苹果冰淇淋抗融性配方的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(08): 807-813.

冰淇淋是一种风味良好的冷冻乳制品,以其美观及清爽、甜蜜的滋味受到消费者的青睐。随着生活水平的提高,冰淇淋已不简单的只是作为一种夏日消暑食品,人们在追求休闲生活的同时更加注重冰淇淋在营养健康方面的品质。传统的冰淇淋虽然含优质蛋白质,但高糖、高脂。水果冰淇淋的出现迎合了现代人对低脂、低热量、低糖食品的需求。苹果是世界种植最广泛的水果品种之一^[1],也是中国第一大果品产业^[2]。苹果富含多酚、膳食纤维、三萜、果胶等生物活性物质,具有抗氧化、抗衰老、降血压、增强记忆、减肥、促睡眠等功效^[3-4]。以苹果作为主要原料应用于冰淇淋加工,制成的苹果冰淇淋兼具传统冰淇淋和苹果的双重特点,既提高了营养价值又改善了冰淇淋风味。然而,随着水果冰淇淋新产品的开发,抗融性差等质量问题引起人们关注,苹果冰淇淋也不例外。抗融性是冰淇淋主要的商业经济指标之一,是影响消费者消费的主要影响因素。在生产条件、工艺设备、基本原料相同的情况下,冰淇淋的抗融性很大程度上取决于所用的稳定剂和乳化剂。此外,一定的脂肪能赋予冰淇淋较高的膨胀稳定性,有利于保证良好的抗融性^[5]。

国内外对水果冰淇淋的研究多集中于水果冰淇淋新产品的开发,对改善水果冰淇淋抗融性的研究较少,且未见到针对苹果冰淇淋抗融性研究的相关报道。吴明亮等^[6]在蓝莓冰淇淋工艺中蓝莓汁添加量仅为5%,赵政等^[7]研制芒果鲜果冰淇淋中使用芒果浆为18%,华景清等^[8]在雪莲果保健冰淇淋的研制中雪莲果浆汁的添加量为20%,高翔等^[9]在火龙果冰淇淋研制中使用的火龙果汁为15%,且现有的水果冰淇淋报道中,多以感官评定做为产品品质的衡量指标。

本文作者在改善苹果冰淇淋抗融性的研究中,苹果浆占冰淇淋原料质量分数的30%,在冰淇淋基本配方不变的条件下,先通过单因素实验分别研究了不同种类和用量的油脂、稳定剂和乳化剂对苹果冰淇淋的品质影响,然后通过正交试验找出使冰淇淋达到理想抗融性的最佳复合稳定乳化剂的配比。使用复合稳定乳化剂不仅使产品拥有良好感官品质的前提下改善了冰淇淋的抗融性,又很大程度地提高了水果原料的利用率和产品的营养价值,具有较大的市场潜力。

1 材料与方法

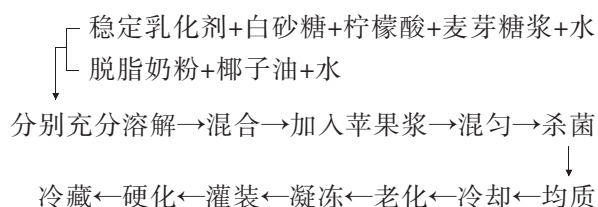
1.1 实验材料

苹果,购于无锡市华润万家超市;白砂糖、椰子油、麦芽糖浆、脱脂奶粉、柠檬酸,由宁波海通公司提供;卡拉胶、槐豆胶、瓜尔豆胶、单硬脂酸甘油酯、三聚甘油单硬脂酸酯,购于山东鸿运食品配料有限公司。

1.2 主要仪器和设备

161-40型冰淇淋凝冻机,TAYLOR公司制造;电磁炉,美的有限公司制造;冷藏冷冻冰箱,LG集团制造;NS1001 L2K型高压均质机,尼鲁索尔维公司制造;AL204型电子分析天平,梅特勒托利多仪器(上海)有限公司制造;LLJ-306Z型多功能打浆机,江门市贝尔斯顿电器有限公司产品;SSW-420-2S型电热恒温水槽,上海博迅实业有限公司医疗设备厂制造;202-SA型恒温培养箱,上海博泰实验设备有限公司产品。

1.3 工艺流程



1.4 操作要点

1.4.1 苹果预处理 采用红富士苹果,清洗后,切去苹果端部高度约1~2 cm并保留,取出果肉和果核,果壳厚度约1 cm并保持完整。将果肉采用打浆机打浆,与预处理的原料充分混合搅拌均匀。

1.4.2 原料预处理 基本配方如表1所示,将乳化稳定剂、白砂糖、柠檬酸、麦芽糖,采用适量热水(55℃)充分溶解;脱脂奶粉、油脂,同样热水(55℃)充分溶解。将上述两种溶液混合。

表1 苹果冰淇淋基本配方

Table 1 Basic formula of apple ice cream

原料	质量分数/%
苹果浆	30
脱脂奶粉	8
白砂糖	15
麦芽糖浆	2.5
油脂	6~8
乳化剂、稳定剂	0.2~0.6
柠檬酸	0.4

1.4.3 杀菌、均质 对混合原料在不高于 85 ℃ 的条件下水浴杀菌,杀菌时间 15 min。杀菌后采用均质机均质,均质条件 70 ℃、20 Mpa,增强原料液黏度,改善组织状态。

1.4.4 老化、凝冻 均质后的原料液立即放入 2~4 ℃ 的环境中冷却,并在此温度下保持 6 h,进行老化过程。之后采用凝冻机,在-1~-5 ℃ 的温度下,凝冻 30 min,使产品形成良好的口感、组织状态并获得较高的膨胀率。

1.4.5 灌装、硬化 将冰淇淋灌入先前保留的苹果壳中,用切去的端部作为上盖,将产品立即存入-35 ℃ 的低温冰箱中迅速硬化至产品有良好组织状态。之后立即于-18 ℃ 恒温冰箱中贮藏。

1.5 测定指标及方法

1.5.1 融化率的测定 在恒定温度 37 ℃ 下,取冰淇淋 70 g,放在金属筛网上。筛网下方放置一个已知重量的圆盆,用于盛放融化后滴下的冰淇淋。每隔 5 min 称量并记录一次融化的冰淇淋。用融化的量除以总质量就得到融化的百分比。以时间(min)和融化百分比(%)做回归方程,斜率被记录下来,作为冰淇淋的融化率^[10]。公式如下:

$$\text{融化率}(\%) = \frac{M_1}{M_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中, M_0 和 M_1 分别为冰淇淋的总质量和融化的冰淇淋质量。

本研究中,采用 37 ℃ 恒定温度下,45 min 时融化率作为一个主要测量指标。

1.5.2 膨胀率的测定 分别称取凝冻前后相同体积的混合料质量。其计算公式如下:

$$\text{膨胀率}(\%) = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中, M_0 为凝冻后的质量; M_1 为凝冻前的质量。

本研究中,分别取 55 mL 混合料液和冰淇淋,称其质量,测定冰淇淋的膨胀率。

1.5.3 感官评定 由江南大学食品学院经过培训的 8 名学生组成的感官评定小组,对冰淇淋品的组织状态、口感、滋味进行感官评定,然后求 8 人的平均值,具体的评价指标和方法详见表 2。

1.6 统计分析

采用 OriginPro8.5 和 SPSS 17.0 软件对试验数据进行处理。表中数据以平均值和标准偏差表示,不同字母表示样品之间差异显著($p < 0.05$)。

表 2 苹果冰淇淋感官评价^[9]

Table 2 Apple ice cream sensory evaluation form

项目	标准	得分
口味	甜度适中、可口清爽	2.0~2.5
	苹果味、甜味不足或过甜	1.5~2.0
	有咸味、酸败味	1.0~1.5
气味	奶香味纯正、苹果味适中	2.0~2.5
	苹果味、奶香味不明显	1.5~2.0
	奶香味多于苹果味	1.0~1.5
组织质感	细腻、润滑、无明显粗糙冰晶、无气孔	2.0~2.5
	组织有小冰晶或细微颗粒感	1.5~2.0
	较大冰晶或组织粗糙	1.0~1.5
外观形态	形态完整、不变形、颜色美观	2.0~2.5
	形态、形体不完整或颜色较美观	1.5~2.0
	形体过粘有凝块、颜色褐变严重	1.0~1.5

2 结果与讨论

2.1 不同种类油脂对冰淇淋融化率的影响

油脂是冰淇淋的重要组成成分^[11]。油脂的种类对冰淇淋终产品的口感和融化率均有影响。脂肪形成网状结构,可使冰淇淋组织更细腻,结构更紧密。一般来说,油脂的熔点越高,制成的冰淇淋的抗融性相对越强。如图 1 所示,3 种油脂冰淇淋中,添加黄油的冰淇淋抗融性最好,椰子油抗融性居中,棕榈油抗融性最差。本实验产品为植脂类冰淇淋,综合考虑选择椰子油为冰淇淋加工油脂。

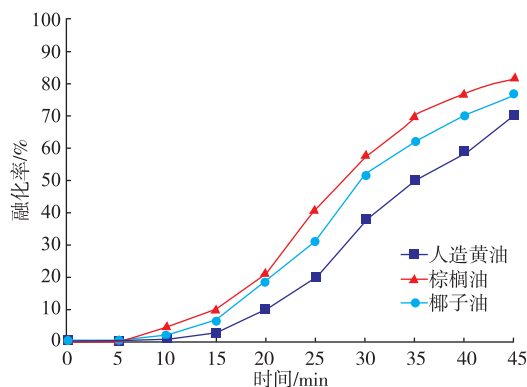


图 1 油脂种类对融化率的影响

Fig. 1 Effect of oil type on the melting rate

2.2 椰子油添加质量分数对冰淇淋融化率的影响

增加油脂质量分数在一定程度上能够增强冰淇淋的抗融性。一般油脂熔点在 24~50 ℃,而冰的熔点为 0 ℃,水作为冰淇淋制作的重要原料,其物性对冰淇淋的品质有很大的影响。如图 2 所示,适当增加油脂质量分数可改善冰淇淋的抗融性,从而延

长冰淇淋的货架保质期。考虑到要平衡原料,一般油脂质量分数会控制在6%~14%的范围内^[12]。本实验研究中,为保证冰淇淋有良好的抗融性,同时使产品保持健康品质,控制椰子油添加质量分数为7%。

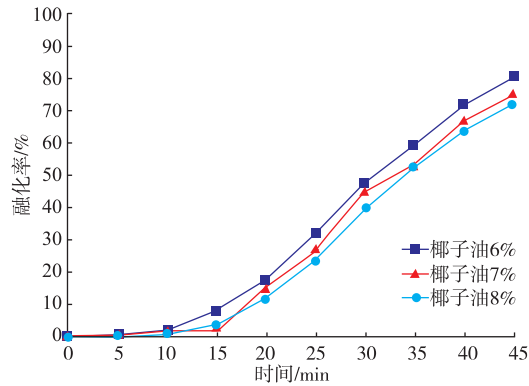


图2 椰子油添加质量分数与融化率的关系
Fig. 2 Relationship between dosage of coconut oil and melting rate

2.3 不同稳定剂对冰淇淋品质的影响

在工艺流程不变的情况下,仅改变稳定剂的种类和用量,分别研究卡拉胶、瓜儿豆胶、槐豆胶对冰淇淋膨胀率和融化率的影响。原料具体添加质量分数如表3所示。

表3 稳定剂对苹果冰淇淋品质影响的的基本配方
Table 3 Basic formula of the effect of stabilizers on the quality of apple ice cream

原料	质量分数/%
苹果浆	30
脱脂奶粉	8
白砂糖	15
麦芽糖浆	2.5
椰子油	7
单甘酯	0.20
稳定剂	0.01~0.40
柠檬酸	0.4

2.3.1 卡拉胶对冰淇淋品质的影响 如表4所示,苹果冰淇淋膨胀率随着卡拉胶的添加质量分数的增加呈波动增大的趋势。当卡拉胶添加质量分数增大至0.025%,苹果冰淇淋膨胀率相比0.01%的添加质量分数显著增大($p<0.05$)。因此,较少的卡拉胶添加质量分数可使冰淇淋得到较高的膨胀率。

表4 卡拉胶的用量对膨胀率的影响
Table 4 Effect of dosage of carrageenan on the expansion rate

添加质量分数/%	0.010	0.015	0.020	0.025
膨胀率/%	45.41±2.31 ^a	50.32±2.05 ^{ab}	49.68±2.13 ^{ab}	54.64±3.74 ^b

卡拉胶对冰淇淋融化率的影响如图3所示,在基本配方不变的条件下,苹果冰淇淋的融化率随着卡拉胶添加质量分数的增加显著减小($p<0.05$)。当卡拉胶的添加质量分数为0.025%时,冰淇淋膨胀率可达到最大值(表2),同时可获得较低的融化率。由此看出,卡拉胶是一种优质的冰淇淋稳定剂,合理的卡拉胶添加质量分数可使冰淇淋获得良好的抗融性。

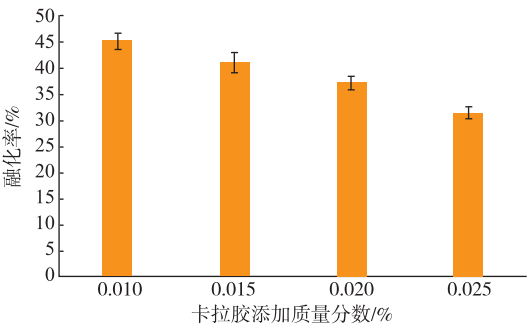


图3 卡拉胶的添加质量分数与融化率的关系
Fig. 3 Relationship between the amount of carrageenan and melting rate

2.3.2 瓜尔豆胶对冰淇淋品质的影响 瓜尔豆胶对苹果冰淇淋膨胀率的影响如表5所示,冰淇淋的膨胀率随着瓜尔豆胶添加质量分数的增加显著增大($p<0.05$)。当瓜尔豆胶的添加质量分数增加至0.40%时,冰淇淋膨胀率可增加到62.74%。

表5 瓜尔豆胶的用量对膨胀率的影响
Table 5 Effect of dosage of guar gum on the expansion rate

添加质量分数/%	0.10	0.20	0.30	0.40
膨胀率/%	54.31±1.34 ^a	57.02±1.92 ^{ab}	58.46±2.38 ^b	62.74±2.47 ^c

如图4所示,瓜尔豆胶的添加质量分数对苹果冰淇淋融化率的影响比较复杂。当瓜尔豆胶添加质量分数在0.10%~0.20%时,融化率随着添加质量分数的增加显著降低($p<0.01$);当瓜尔豆胶添加质量分数在由0.20%增加至0.40%时,苹果冰淇淋的融化

率又显著增大($p<0.05$)。因此,增加单一瓜儿豆胶使用量不利于冰淇淋产品获得稳定的抗融性,要使产品有一定抗融性,需将瓜儿豆胶的添加质量分数控制在合理范围内。

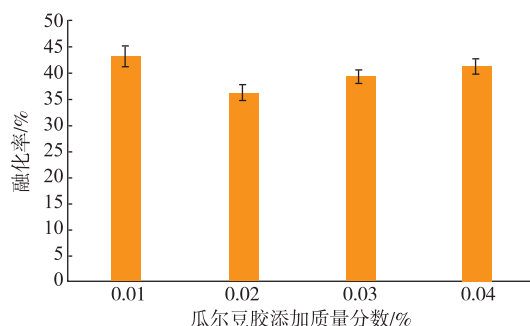


图4 瓜儿豆胶的添加质量分数与融化率的关系

Fig. 4 Relationship between the amount of gum and melting rate

2.3.3 槐豆胶对冰淇淋品质的影响 槐豆胶的添加量对苹果冰淇淋膨胀率影响的也呈现出波动趋势。如表6所示,冰淇淋的膨胀率随槐豆胶添加质量分数从0.10%增加至0.20%时有显著减小($p<0.05$);相反,由0.20%增加至0.30%的过程中,膨胀率增大显著($p<0.01$),当添加质量分数继续增加到0.40%时,膨胀率虽略减小,但仍明显高于0.20%对应的膨胀率值。单一增加槐豆胶的添加质量分数可能对产品膨胀率的提高有一定作用。

表6 槐豆胶的用量对膨胀率的影响

Table 6 Effect of dosage of locust bean gum on the expansion rate

添加质量分数/%	0.10	0.20	0.30	0.40
膨胀率/%	49.01±2.31 ^b	42.79±3.11 ^a	54.83±3.67 ^c	51.72±2.54 ^{bc}

图5显示出槐豆胶对冰淇淋融化率的影响。在添加槐豆胶的冰淇淋中,其融化率变化趋势与单一添加瓜儿豆胶的融化率的测定结果相似(见图4)。当槐豆胶的添加质量分数在0.10%~0.20%时,随着添加质量分数的增大,冰淇淋的融化率显著减小($p<0.05$);当槐豆胶添加质量分数在0.20%~0.40%范围内增加,融化率虽随增大,但增加的显著程度小于瓜儿豆胶。因此,单一使用槐豆胶,需控制其使用范围才能获得抗融性良好的冰淇淋产品。

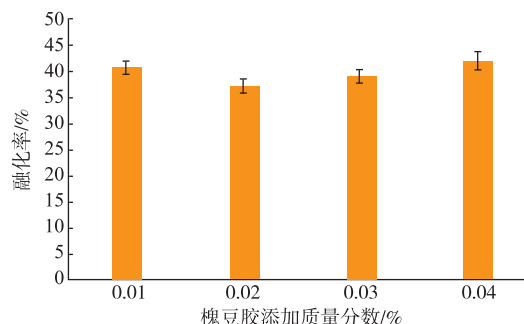


图5 槐豆胶的添加质量分数与融化率的关系

Fig. 5 Relationship between the amount of locust bean gum and melting rate

从不同稳定剂对冰淇淋膨胀率和融化率的影响结果中可以看出,冰淇淋膨胀率和融化率随不同种类的单一稳定剂添加质量分数的增加变化趋势各不相同。不同种类的稳定剂需要控制在一定范围内,对提高冰淇淋的抗融性有一定效果,效果显著程度不同,且总体融化率值较高。综合冰淇淋产品的口感、组织结构等感官指标,使用单一的稳定剂得到的苹果冰淇淋品质并不理想。

2.4 乳化剂对冰淇淋品质的影响

在冰淇淋加工配方中的其他主料不变的前提下,正确使用乳化剂有利于提高产品的膨胀率。一般来说,HLB值较小的乳化剂能提高冰淇淋的起泡性和膨胀率,可以控制附聚作用或附聚作用较小,如HLB值在3.5~9.0之间的甘油单硬脂酸、三聚甘油硬脂酸酯等^[13]。在实际生产中有些冰淇淋厂家会通过增加单甘酯的添加量来提高膨胀率^[14]。乳化剂的亲水性越强,其HLB值越高,脂肪球凝聚越容易,越有利于冰淇淋抗融性品质的改善。

在使用单一用量为0.20%(质量分数)的乳化剂时,得到的冰淇淋产品的膨胀率整体均不高。由于不同乳化剂其本身的乳化特性不同,在选用多种乳化剂复配使用后,可以发挥复合乳化剂的协同增效作用,扬长避短,在提高体系膨胀率的同时,对冰淇淋的其它品质有所改善^[13,15]。本实验中采用单硬脂酸甘油酯与三聚甘油单硬脂酸酯的复配得到复合乳化剂,研究乳化剂复合对冰淇淋品质的影响。该研究过程的冰淇淋基本配方中稳定剂质量分数均为卡拉胶0.010%、瓜儿豆胶0.10%、槐豆胶0.20%,其他原料同表3。

表 7 乳化剂对膨胀率和感官的影响

Table 7 Effect of emulsifier combination on expansion rate and sensory

序号	单硬脂酸甘油酯质量分数/%	三聚甘油单硬脂酸酯质量分数/%	膨胀率/%	感官评分
1	0	0.20	45.11±1.32 ^a	7.30±0.21 ^a
2	0.05	0.15	49.43±1.59 ^{ab}	7.12±0.34 ^a
3	0.10	0.10	51.60±2.78 ^c	7.92±0.38 ^b
4	0.15	0.05	56.34±3.01 ^d	8.34±0.11 ^c
5	0.20	0	57.79±2.86 ^d	7.58±0.40 ^{ab}

如表 7 所示,比较 2 种乳化剂的不同配比对冰淇淋膨胀率的影响,当单甘酯与三聚甘油单硬脂酸酯质量配比为 3:1 时能发挥复合乳化剂的协同增效作用,样品膨胀率显著增大($p<0.05$),且感官评分最高。即在此乳化剂配比下,不仅可以提高冰淇淋体系膨胀率,而且使冰淇淋具有较好的感官效果。因此在本实验后续对复合乳化稳定剂的配方研究中,乳化剂采取单甘酯与三聚甘油单硬脂酸酯 3:1 的质

量配比进行实验。

2.5 复合乳化稳定剂对冰淇淋配方优化的研究

复合乳化稳定剂中各种添加剂的配比因生产厂商的不同而有较大差别。复合乳化稳定剂的最佳配比一般通过正交实验得到。根据本研究所得到的实验结果,使用卡拉胶、瓜尔豆胶、槐豆胶、单甘酯、三聚甘油单硬脂酸酯这 5 种常用且经济的乳化剂和稳定剂做 4 因素、3 水平的正交复配试验(表 8),提高苹果冰淇淋抗融性的最佳配方的正交试验结果见表 9。

表 8 复合乳化稳定剂的因素水平表

Table 8 Level of form factors of composite emulsion stabilizer

序号	卡拉胶质量分数	瓜尔豆胶质量分数	槐豆胶质量分数	单甘酯+三聚甘油单硬脂酸酯
	A/%	B/%	C/%	D/%
1	0.008	0.10	0.10	0.15
2	0.012	0.15	0.15	0.20
3	0.016	0.20	0.20	0.25

表 9 $L_9(3^4)$ 各因素对产品质量影响的正交实验方案与结果Table 9 $L_9(3^4)$ orthogonal scheme influence of various factors on the quality of products and results

实验号	A	B	C	D	融化率/%	感官评分
1	1	1	1	1	56.51	7.12
2	1	2	2	2	43.20	7.61
3	1	3	3	3	35.52	8.00
4	2	1	2	3	49.10	7.83
5	2	2	3	1	43.59	7.39
6	2	3	1	2	42.71	7.58
7	3	1	3	2	32.12	8.11
8	3	2	1	3	39.78	8.02
9	3	3	2	1	40.70	7.50
K_{1j}	135.23	137.73	139.00	140.80		
K_{2j}	135.40	126.57	133.00	118.03		
K_{3j}	112.60	118.93	111.23	124.40		
$\overline{K_{1j}}$	45.08	45.91	46.33	46.93		
$\overline{K_{2j}}$	45.13	42.19	44.33	39.34		
$\overline{K_{3j}}$	37.53	39.64	37.08	41.47		
R_j	7.60	6.27	9.27	7.59		

从表 9 中的融化率结果可以得出,各因素对融化率指标影响的主次顺序为: $C>A>D>B$ 。在复合乳化稳定剂的使用中,槐豆胶的添加质量分数对苹果冰淇淋的融化率有显著影响($p<0.05$),其次是卡拉胶、复合乳化剂、瓜尔豆胶。冰淇淋的抗融性越好其

融化率越小,因此要首先考虑降低胶体 C 的添加质量分数,槐豆胶优选为 C_3 。比较正交结果极差值,卡拉胶 A 和复合乳化剂 D 对融化率的影响差异不大。根据实验结果,卡拉胶的优选为 A_3 ,复合乳化剂优选 D_2 。根据表 7,确定两种乳化剂的优选方案为单甘

酯:三聚甘油单硬脂酸酯为 3:1。结合感官评定得分,苹果冰淇淋复合乳化稳定剂的最优方案是 $A_3B_1C_3D_2$,即卡拉胶 0.016%、瓜尔豆胶 0.10%、槐豆胶 0.20%、单甘酯 0.15%、三聚甘油单硬脂酸酯 0.05%(质量分数)所得苹果冰淇淋产品有良好的抗融性和感官品质。

3 结 语

通过对卡拉胶、瓜尔豆胶和槐豆胶进行单因素实验,得出这 3 种稳定剂对冰淇淋的融化率和膨胀率均有不同程度的影响。稳定剂与单甘酯和三聚甘

油单硬脂酸酯复配,通过实验得出单甘酯与三聚甘油单硬脂酸酯两种乳化剂复合使用的最佳质量比例为 3:1。通过对 3 种稳定剂和两种乳化剂的复合得到冰淇淋生产的最佳复合乳化稳定剂的配方为卡拉胶质量分数 0.016%、瓜尔豆胶质量分数 0.10%、槐豆胶质量分数 0.20%、单甘酯质量分数 0.15%、三聚甘油单硬脂酸酯质量分数 0.05%。通过这个配方能够很好的改善苹果冰淇淋的品质,使产品在增加营养价值的同时,具有较理想的抗融性、膨胀率以及良好的口感。

参考文献:

- [1] SANTACATALINA J V, CONTRERAS M, SIMAL S, et al. Impact of applied ultrasonic power on the low temperature drying of apple[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2016, 28: 100-109.
- [2] WANG Haibo, LI Linguang, CHEN Xuesen, et al. Flavor compounds and flavor quality of fruits of mid-season apple cultivars[J]. *Scientia Agriculturae Sinica*, 2010, 43(11): 2300-2306. (in Chinese)
- [3] WANG Jiao, LI Heyu, LIU Dailin, et al. Research progress of apple nutrition components and health Function[J]. *Food Research and Development*, 2011, 32(1): 164-168. (in Chinese)
- [4] KHANIZADEH S, TSAO R, REKIKA D, et al. Polyphenol composition and total antioxidant capacity of selected apple genotypes for processing[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2008, 21(5): 396-401.
- [5] HE Jinlan, LIU Sixin, XIAO Kaien. Development of the coconut milk ice cream [J]. *Food Science and Technology*, 2010, 35(6): 132-135. (in Chinese)
- [6] WU Mingliang, XU Haiyang. Technology of blueberry ice cream[J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2010(12): 103-104. (in Chinese)
- [7] ZHAO Zheng, LI Xu, XIE Bingqiang, et al. Study on manufacture of ice-cream of Mangitera indicul L [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2009, 30(2): 208-210. (in Chinese)
- [8] HUA Jingqing, CAI Jian. Producing of yacon healthy ice cream [J]. *Food Science and Technology*, 2008, 33(12): 83-85. (in Chinese)
- [9] GAO Xiang, WANG Rui. Study on the producing of pitaya icecream [J]. *China Dairy Industry*, 2004, 32(10): 9-11. (in Chinese)
- [10] THOMAS E L. Structure and properties of ice cream emulsions[J]. *Food Technology*, 1981, 35(1): 41-48.
- [11] WANG Xiaoying, GU Hong, LIN Wanjun. Application of vegetable oil in cream [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2003, 24(3): 36-37. (in Chinese)
- [12] SEGALL K I, GOFF H D. A modified ice cream processing routine that promotes fat destabilization in the absence of added emulsifier[J]. *International Dairy Journal*, 2002, 12(12): 1013-1018.
- [13] WANG Huai, LI Ying, LIU Qiuping. How to correctly use emulsifiers in the production of ice cream [J]. *Beverage & Fast Frozen Food Industry*, 2001, 7(1): 14-15. (in Chinese)
- [14] MUSSELLWHITE P R, WALKER D A. The effect of the colloidal state of the emulsion on ice cream structure [J]. *Journal of Texture Studies*, 1971, 2(1): 110-116.
- [15] 周莉. 复合乳化稳定剂在冰淇淋中的应用研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2006.