

棕榈糖对油凝胶基巧克力起霜特性的影响

王风艳¹, 王翔宇¹, 周佩文², 陈海英²

(1. 中粮营养健康研究院有限公司 营养健康与食品安全北京市重点实验室, 老年营养食品研究北京市工程实验室, 北京 102209; 2. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 江南大学 机械工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘要:为探究棕榈糖(PS)在生产耐霜巧克力方面的应用潜能,使用 PS(0%、25%、50%、100%)部分或全部代替蔗糖制备油凝胶基巧克力(Choc PS0、Choc PS25、Choc PS50、Choc PS100),并通过测定表面白度、表面晶体形态(偏振光显微镜观测)、晶型(X射线衍射法)、热力学性质(差示扫描量热法),以及感官评价监测在温度循环波动环境(20℃下16 h,32℃下8 h)中储藏60 d的巧克力品质变化。结果表明:温度循环波动储藏60 d,Choc PS25和Choc PS50具有较低的表面白度指数,白色斑点的大小和数量较少,4个样品均呈现出单一的熔化峰,除了Choc PS25和Choc PS50中仍以 β_V 晶型为主外,其他样品总体表现出 β_V 向 β_{VI} 的晶型转变;温度循环波动储藏前后4个样品在回味、香气和甜味方面的得分差异不显著,而硬度和颜色评分降低。综上,当PS添加量为25%~50%时,巧克力表面白度指数较低,晶型为稳定的 β_V 结晶,感官接受度高,产品的抗起霜稳定性较好,具有生产耐霜巧克力的应用潜能。

关键词:巧克力;抗霜;油凝胶;棕榈糖

中图分类号:TS222+.1;TS221 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2024)02-0082-07

Effect of palm sap sugar on blooming properties of oleogel – based chocolate

WANG Fengyan¹, WANG Xiangyu¹, ZHOU Peiwen², CHEN Haiying²

(1. Beijing Engineering Laboratory of Geriatric Nutrition Food Research, Beijing Key Laboratory of Nutrition & Health and Food Safety, COFCO Nutrition & Health Research Institute, Beijing 102209, China;

2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China)

Abstract: To explore the potential of palm sap sugar (PS) in the production of frost – resistant chocolate, PS(0%, 25%, 50%, 100%) was used to partially or completely replace sucrose to prepare oleogel – based chocolate (Choc PS0, Choc PS25, Choc PS50, Choc PS100). The changes of chocolate quality were measured by determining surface whiteness, surface crystal morphology (observed with polarized light microscope), crystal form (X – ray diffraction method), thermodynamic property (differential scanning calorimetry), and sensory evaluation (SAT) during the 60 d temperature cycle fluctuation environment (16 h at 20℃ and 8 h at 32℃) storage. The results showed that Choc PS25 and Choc PS50 displayed lower surface whiteness index, and the size and number of white spots were the lowest after 60 d temperature cycle fluctuation environment storage, and all of the samples showed a single melting peak

with β_V to β_{VI} crystal evolution except that in Choc PS25 and Choc PS50 dominated with β_V – crystal form. Before and after temperature cycle storage, the SAT score of four chocolates were not significant in terms of aftertaste, aroma and sweetness, while the hardness and color scores decreased. To sum up, the oleogel – based

收稿日期:2023-06-21;修回日期:2023-11-17

基金项目:“十四五”国家重点研发计划项目(2021YFD210030403,2022YFD2100305)

作者简介:王风艳(1985),女,高级工程师,博士,研究方向为油脂研发(E-mail)wfs1013@126.com。

通信作者:陈海英,副教授,硕士生导师,博士(E-mail)chenhaiying@jiangnan.edu.cn。

chocolate prepared with 25% – 50% PS has a lower surface whiteness index, stable β_V – crystal form, higher sensory acceptance and higher anti – blooming stability, and PS has the application potential in the production of frost – resistant chocolate.

Key words: chocolate; anti – blooming; oleogel; palm sap sugar

巧克力是世界上最受欢迎的食物之一,消费者食用巧克力时可获得愉悦的主观体验。高温下易熔化是巧克力行业面临的一个质量挑战,当温度较高时,巧克力可能会软化并粘在手指或包装上,且在咀嚼时失去原有的口感^[1]。起霜是巧克力行业面临的另一个质量挑战,起霜的巧克力表面出现白色斑点,影响了巧克力的光泽和口感,并导致外观和质地缺陷^[2]。

油凝胶化是一种新兴的“固化”液态油方式,可将液态油包裹在热可逆三维超分子网络中^[3]。生活中,油凝胶可被应用于蛋糕、肉制品、糖果和冰淇淋等食品中^[4-7]。Li等^[8]使用3种不同凝胶机制的油凝胶制备油凝胶基巧克力,发现其不仅可以取代50%或100%的可可脂,而且油凝胶基巧克力表现出高不饱和度,其热性能与黑巧克力相当,在温度波动的储藏过程中表现出更大的稳定性和抗霜性。

为了追求更健康的饮食习惯,对于低热量巧克力的需求不断增加,在亮度、香气、风味和色调相同的情况下,低热量也是巧克力行业发展的一个主要趋势。低热量的甜味剂可以部分代替蔗糖来减少巧克力中的热量。Nazir等^[9]报道脂肪替代品和糖替代品的使用可增加低热量巧克力的黏度和光滑度,但口感上比传统巧克力苦。Son等^[10]认为代糖类产品目前已经被广泛用于无糖糖果和巧克力制品中,可提供相似的口感和一定的耐热性和防腐作用。棕榈糖(PS)是一种传统的非洲甜味剂,由于其低血糖生成指数的天然属性和易于加工的优势,在巧克力中应用可以提升风味,改善感官品质,具有很大的应用潜力。

本团队在之前的研究中评估了使用不同的油凝胶部分取代可可脂,并选择PS作为蔗糖替代品制备巧克力的可行性,发现使用油凝胶和PS可以制备出性能相当的巧克力产品^[11]。在本文中,本团队进一步研究PS部分替代(25%、50%)或全部替代(100%)蔗糖制备的油凝胶基巧克力在温度循环波动储藏过程中内部结晶网络的稳定性和巧克力表面形态等的变化,以综合评价巧克力的抗

霜特性,探索PS在生产耐霜巧克力方面的应用潜能。

1 材料与方法

1.1 实验材料

棕榈油(24℃),东海粮油工业有限公司(中国江苏);单硬脂酸甘油酯(MO, CAS31566-31-1,分析纯),天津阿法埃莎化学有限公司;可可脂和可可粉,倍克食品有限公司;蔗糖,广州太谷糖业有限公司;棕榈糖(PS),恒兴贸易公司(中国北京);大豆卵磷脂(CAS No. 8002-43-5),阿拉丁有限公司;巧克力模具,购于当地超市。所有材料均为食品级材料,无需进一步纯化即可直接使用。

AR1140分析天平,美国奥斯豪仪器有限公司;XQM-4行星式球磨机,长沙天创化工工贸有限公司;DF10集热式恒温加热磁力搅拌器,河南省予华仪器有限公司;D8 X-射线衍射仪,德国Bruker公司;DSCQ2000差示扫描量热仪,美国Waters公司;CR-300色差计,美国Konica Minolta公司。

1.2 实验方法

1.2.1 油凝胶的制备

参照Si等^[12]的方法制备油凝胶。按质量比1:10将单硬脂酸甘油酯分散在棕榈油中,用磁力搅拌器在80℃下400 r/min搅拌30 min,直到混合物完全溶解,将混合物以10℃/min的速度冷却至4℃,得到油凝胶,储藏在冰箱中备用。

1.2.2 巧克力的制备

不同PS添加量巧克力的配方及所制备的巧克力样品名称见表1。巧克力制备的具体操作步骤为将可可脂在50℃下熔化,并与蔗糖、可可粉、棕榈糖和大豆卵磷脂在磁力搅拌器中混合1 h,直到完全混合^[8]。将混合物转移至实验室行星式球磨机中以300 r/min的转速持续精磨2 h后,与熔融的油凝胶在80℃下混合10 min,调温(以3.5℃/min冷却至32℃,再以0.6℃/min缓慢冷却到28℃,然后以0.5℃/min缓慢加热至30℃)后倒入模具中,轻敲约15 s以消除气泡,放入4℃下冷却至硬化,并将其保存在冰箱中待分析。

表1 不同 PS 添加量巧克力的配方及所制备的巧克力样品名称

样品	PS 添加量/%	甜味剂		油凝胶/g	可可脂/g	其他组分	
		蔗糖/g	PS/g			可可粉/g	大豆卵磷脂/g
Choc PS0	0	49.5	0	12	28	10	0.5
Choc PS25	25	37.125	12.375	12	28	10	0.5
Choc PS50	50	24.75	24.75	12	28	10	0.5
Choc PS100	100	0	49.5	12	28	10	0.5

1.2.3 巧克力促霜实验

参考 Jin 等^[13]的方法对巧克力进行促霜。将巧克力置于温度循环波动环境中储藏,即在 20℃ 下储藏 16 h,在 32℃ 下储藏 8 h,并循环 60 d,备用。

1.2.4 巧克力表面白度的测定

在温度循环波动储藏的 1、10、20、40、60 d 使用色差计测定巧克力 3 个随机表面的白度值、红度值和黄度值,每次测量前使用黑白标准色盘校准色差计。使用公式(1)计算巧克力表面白度指数(WI)。

$$I_w = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2} \quad (1)$$

式中: I_w 为 WI 值; L 为白度值; a 为红度值; b 为黄度值。

1.2.5 巧克力表面结晶形态的测定

取在温度循环波动环境中储藏 1 d 和 60 d 的样品进行偏振光显微镜(PLM)观察,以分析起霜巧克力表面晶体形态的变化。

1.2.6 巧克力晶型的测定

取在温度循环波动环境中储藏 1 d 和 60 d 的样品进行 X 射线衍射(XRD)分析。分析条件:Cu 靶($k = 1.54184 \text{ \AA}$,电压 30 kV,电流 10 mA), 2θ 范围 $15^\circ \sim 30^\circ$,扫描步长 0.02° ,扫描速率 0.2 s/步 。利用 Jade 软件对衍射峰进行分析。

1.2.7 巧克力热力学性质的测定

使用差示扫描量热仪(DSC)分析巧克力样品的熔化行为。分别称取约 5 mg 在温度循环波动环境中储藏 1 d 和 60 d 的巧克力并装入铝盒中密封,使用空密封铝盒作为参考,在氮气流速为 20 mL/min 时,将样品以 5°C/min 的速率从 0°C 加热到 90°C 测定熔化曲线。

1.2.8 巧克力感官评价

首先按照 UNI EN ISO 10399-2017 的方法,在感官实验室内进行强制选择 Duo-trio 实验对 52 名测试人员进行培训。

参照 Richardson 等^[14]的定量描述性分析方法对巧克力样品进行感官测评,表 2 为感官评价项目及评分。评价者被要求在 0~5 分的范围内表明他们对样本的喜好程度,指标从完全无法接受到完全

接受。测试前,巧克力样品被切成正常大小的块($2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$),并随机分配一个数字代码。在白色光线的环境中进行测试,测试人员在测评不同样品的间隙使用清水漱口以消除无关变量的影响,最终计算测试人员对样品不同纬度打分的平均值。

表2 感官评价项目及评分

项目	定义	评分
颜色	具有良好的外观和表面光泽度	0 分为完全无法接受;1 分为基本无法接受;2 分为有一点接受;3 分为可以接受;4 分为愿意接受;5 分为完全接受
硬度	咀嚼时的脆硬程度	
甜味	良好的甜度感受	
香气	可可脂的独特香气	
回味	食用后在口腔中的留香程度	

1.2.9 数据分析

所有数据均以“平均值 \pm 标准差”表示。使用 IBM SPSS Statistics 软件通过单因素方差分析(ANOVA)分析数据,然后进行 Duncan 的多范围检验,置信区间为 95% ($p < 0.05$) 的最小显著性差异(LSD)被认为具有统计学意义。

2 结果与讨论

2.1 储藏期间巧克力表面白度的变化

起霜的巧克力表面失去原有的光泽,产生白色斑点,会降低消费者的购买欲望。对 60 d 温度循环波动储藏期内巧克力的 WI 值进行测定,结果如图 1 所示。

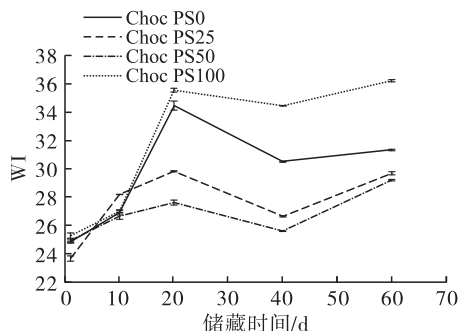


图1 巧克力样品在温度波动环境中储藏 60 d 的 WI 值变化

由图 1 可看出,所有巧克力样品的 WI 值在前 20 d 迅速上升,在随后的 40 d 内出现波动。Li 等^[15]也观察到了类似现象,并推测是由于高熔点甘油三酯在储藏期间发生熔化并在巧克力表面重结晶,导致前期 WI 值的迅速上升,在之后的储藏期

内,由于重结晶的晶体填充了巧克力表面的微小空隙,从而造成 WI 值的下降。在 60 d 的温度循环波动储藏中 Choc PS25 和 Choc PS50 的 WI 值明显低于 Choc PS0 和 Choc PS100 的,表明 25% ~ 50% 的 PS 在巧克力中表现出高抗霜稳定性。

可可脂是生产巧克力的重要原料,可可脂的甘油三酯组成主要为 POP、POS 和 SOS(P 为棕榈酸,O 为油酸,S 为硬脂酸),三者共同作用使可可脂的同质多晶型变得复杂,包含 I 型(γ 型)、II 型(α 型)、III 型(β' 型)、IV 型(β' 型)、V 型(β 型)、VI 型(β 型)等 6 种晶型^[16]。总结近年来对巧克力起霜现象的研究发现,起霜的主要原因有两个:①液态油迁移到

巧克力表面,再结晶形成霜花;②可可脂的晶型在长时间的储藏过程中从 β_V 转变为 β_{VI} 。Delbaere 等^[17]研究认为油脂的迁移是巧克力表面白度形成的主要原因。油凝胶复配 PS 的抗霜机制为 PS 的不规则形状增加了内部曲折率,单硬脂酸甘油酯的亲水亲脂特性改变了体系的流动性和亲水性,同时 PS 和油凝胶形成的内部网络结构使油脂迁移路径更为复杂,从而限制巧克力内部液态油的迁移,延迟了起霜现象的发生^[18-19]。

2.2 储藏期间巧克力表面结晶形态的变化

图 2 为温度循环波动环境中储藏 1、60 d 的巧克力表面结晶形态情况。

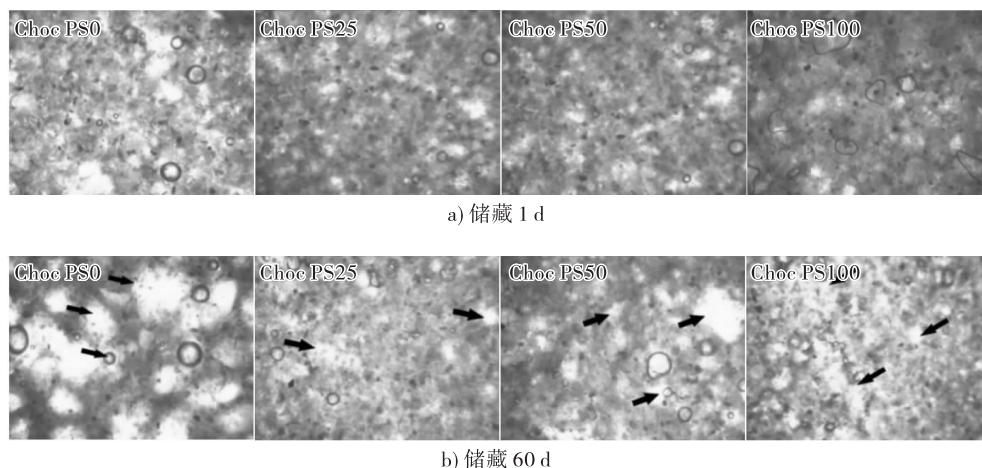


图 2 巧克力样品在温度循环波动环境中储藏 1、60 d 的 PLM 图(10 ×)

由图 2 可看出,储藏 1 d 的巧克力基质具有均匀的外观,而经过 60 d 的温度循环波动储藏后,Choc PS0 和 Choc PS100 巧克力表面出现大量可散射光线的晶体结构。Choc PS100 中白色斑点的数量和大小比其他巧克力样品更为明显,这也与其较大 WI 值(图 1)相对应。Choc PS25 中白色斑点的大小和数量最少,其次是 Choc PS50,表明 PS 的适量添加对巧克力起霜具有抑制作用。非晶态的 PS 会影响储藏期间液态油的迁移,因为其特定的结晶形态迫使巧克力内部其他组分堵塞油脂迁移路径,并导致巧克力表面起霜点即白色斑点较少,但 PS 是一种具有吸湿能力的甜味剂,其含量过高会导致表面糖霜的大量形成^[20]。

2.3 储藏期间巧克力晶型的变化

温度循环波动环境中储藏 1、60 d 的巧克力 XRD 图谱如图 3 所示。研究表明,在 3.8 Å 和 4.2 Å 处的峰表明 β' 晶型存在,而在 4.6 Å 处出现的强峰和在 3.7 Å 和 3.9 Å 处的弱峰则近似与 β 型晶型相对应^[21]。从图 3 可看出,Choc PS0 在初始阶段为稳定的 β_V 晶型,在温度循环波动环境中储藏 60 d

后在 4.72 Å 和 3.66 Å 附近的峰消失,说明 Choc PS0 中发生了晶型转变。相似地,在温度循环波动环境中储藏 60 d,Choc PS50 在 4.70 Å 和 3.62 Å 附近的峰强度也显著下降,Choc PS100 在 4.68 Å 附近的峰消失。然而,Choc PS25 在 4.70 Å 和 3.69 Å 附近的峰在温度循环波动环境中储藏 60 d 后变化不显著,这与 PLM 结果(图 2)一致。表面脂霜的形成通常伴随着表面大量 β_{VI} 晶体的生长,而 β_{VI} 晶体的大量生长会带来漫射光,使巧克力外观失去光泽度^[22]。综上,Choc PS 25 的抗起霜特性最佳。

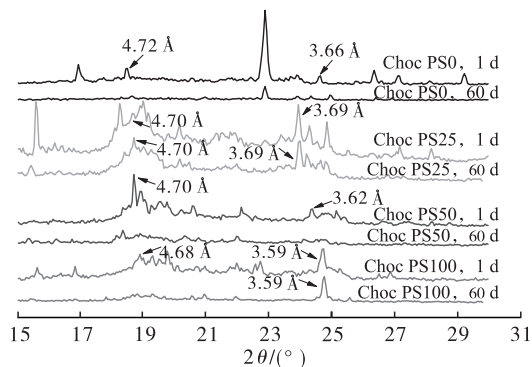


图 3 巧克力样品在温度循环波动环境中储藏 1、60 d 的 XRD 图

2.4 储藏期间巧克力热力学性质的变化

巧克力样品经过 60 d 的温度循环波动储藏,其

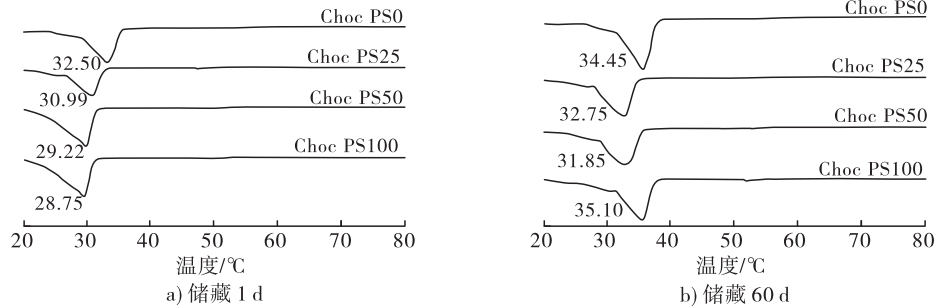


图4 巧克力样品在温度循环波动环境中储藏1、60 d的熔化曲线

不同的油脂晶体具有不同的熔点, β' 晶体的熔点为 28 °C, β_V 晶体的熔点为 32 ~ 34 °C,而 β_{VI} 晶体的熔点为 34 ~ 36 °C^[23]。从图 4 可看出,经过 60 d 的温度循环波动储藏,4 种巧克力仍然具有单一的熔化峰,表明其仍然具有爽滑的口感,且其在接近体温(36 ~ 37 °C)时完全熔化,可以避免在口中造成嚼蜡感^[24]。在温度循环波动环境中储藏 60 d 后,Choc PS0 的熔化峰峰值温度由 32.50 °C 升高至 34.45 °C,表明巧克力样品的晶型由 β_V 晶型向 β_{VI} 晶型转变,Choc PS100 的熔化峰峰值温度由 28.75 °C

热力学性质变化如图 4 所示。

升高至 35.10 °C,表明样品的晶型由 β' 晶型向 β_V 晶型进而向 β_{VI} 晶型转变。而温度循环波动环境中储藏 60 d 时,Choc PS25 与 Choc PS50 中仍主要为 β_V 晶型。

2.5 储藏期间巧克力感官特性的变化

使用定量描述性分析方法判断巧克力经过 60 d 温度循环波动储藏后感官特性的变化,以判断含有 PS 的油凝胶基巧克力在储藏期前后在消费市场的受欢迎程度,结果如图 5 所示。

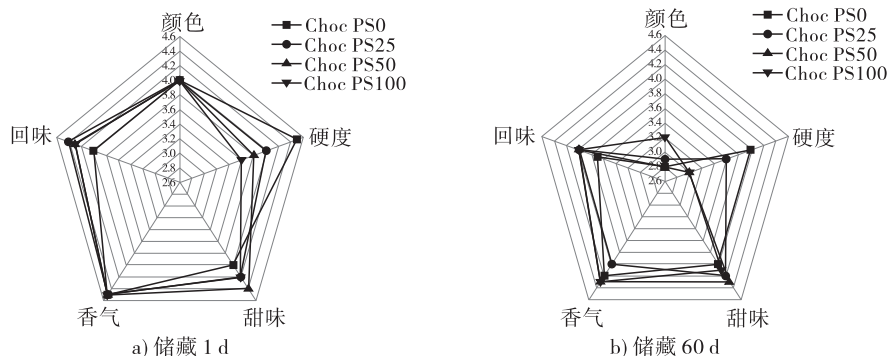


图5 巧克力样品在温度循环波动环境中储藏1、60 d的感官评价

从图 5 可看出,在温度循环波动环境中储藏 60 d 后,所有的巧克力样品在回味、香气和甜味方面的评价得分与储藏 1 d 的不存在显著性差异,且所有巧克力样品间也不存在显著性差异,表明 PS 的添加未对上述 3 个指标产生影响,同时巧克力样品经历 60 d 的温度循环波动储藏后口味并没有发生不可接受的变化。但在颜色和硬度指标方面,储藏 60 d 与 1 d 的结果存在显著性差异。结合图 2 可知,样品在储藏期间产生了不同程度的表面白霜,导致产品部分失去了表面光泽,颜色评分降低,如 Choc PS0 的颜色评分在储藏期前后(1 d 和 60 d)从 4.0 下降到 2.8。此外,与颜色指标相似,起霜对巧克力的硬度也产生了影响,在温度循环波动环境中储藏 60 d 后,所有样品硬度指标的得分均低于储藏 1 d

的,如 Choc PS0 的硬度评分从储藏 1 d 的 4.5 下降到储藏 60 d 的 4.0。Zhao 等^[25]研究发现,巧克力样品在温度循环波动期间发生了晶型转变,形成了大量熔点较高的 β_{VI} 晶体,使其硬度上升。司华光等^[26]研究发现,油凝胶在夹心巧克力中可提供低油脂迁移率和稳定的网络结构。此外,由于 PS 本身的吸湿性,对体系内的其他组分产生吸附能力,从而增加内部连接位点,在巧克力中形成糖网络,该网络有助于增加样品的机械强度^[27]。

3 结论

本研究使用 PS(0%、25%、50%、100%)代替蔗糖,使用油凝胶部分代替可可脂制备巧克力(Choc PS0、Choc PS25、Choc PS50、Choc PS100),对巧克力的表面白度、微观晶体形态、晶型、热力学性质进行

表征,并进行了感官评价。结果表明,添加适量的PS有利于巧克力的抗霜性,而不添加或用PS全部代替蔗糖的巧克力具有较高的表面白度。起霜后的巧克力表面有许多白色斑点,晶体形态结果与表面白度指数趋势一致。所有样品在储藏期间均为单一的熔化峰。Choc PS0表现出 β_V 到 β_{VI} 的晶型转变,Choc PS100表现出由 β' 向 β_V 进而向 β_{VI} 晶型的转变,且Choc PS100的转化率最高,感官接受度最低,而Choc PS25的表面白度指数较低,晶体稳定性较优,感官接受度较优。

综上所述,PS的添加对巧克力的品质保障起到了积极作用,PS添加量为25%和50%时,具有与油凝胶最佳的协同作用,表明油凝胶与PS作为可可脂与蔗糖的替代品,在制备耐霜巧克力方面具备应用潜力,但在巧克力口感和质构上仍与传统巧克力产品存在差异,完全达到传统巧克力的丝滑口感和浓郁可可风味仍有一定的距离,有待进一步探究。

参考文献:

- [1] SURI T, BASU S. Heat resistant chocolate development for subtropical and tropical climates: A review[J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2022, 62(20): 5603–5622.
- [2] HEULER J, HE S, AMBARDAR S, et al. Point-of-care detection, characterization, and removal of chocolate bloom using a handheld Raman spectrometer[J/OL]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 9833[2023-06-21]. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66820-1>.
- [3] PERNETTI M, VAN MALSSSEN K F, FLÖTER E, et al. Structuring of edible oils by alternatives to crystalline fat[J]. *Curr Opin Colloid Interface Sci*, 2007, 12(4/5): 221–231.
- [4] PEHLIVANOĞLU H, DEMIRCI M, TOKER O S, et al. Oleogels, a promising structured oil for decreasing saturated fatty acid concentrations: Production and food-based applications[J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2018, 58(8): 1330–1341.
- [5] 齐创, 秦乐蓉, 李志超, 等. 高熔点脂肪对凝胶油基人造奶油品质的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(20): 14–20.
- [6] 李明华, 高艳蕾, 宋艳艳, 等. 凝胶油替代脂肪制备牛肉饼的配方优化[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(5): 252–260.
- [7] 刘日斌, 朱建华, 叶俊, 等. 葵花籽油凝胶油的制备及其在冰淇淋中的应用[J]. *中国油脂*, 2018, 43(1): 107–111, 130.
- [8] LI L, LIU G. Corn oil-based oleogels with different gelation mechanisms as novel cocoa butter alternatives in dark chocolate[J]. *J Food Eng*, 2019, 263: 114–122.
- [9] NAZIR S, AZAD Z. Technological and quality parameters of reduced-calorie chocolates: A review[J]. *Natrafod*, 2018, 17: 33–40.
- [10] SON Y J, CHOI S Y, YOO K M, et al. Anti-blooming effect of maltitol and tagatose as sugar substitutes for chocolate making[J]. *LWT – Food Sci Technol*, 2018, 88: 87–94.
- [11] CHEN H, ZHOU P, SONG C, et al. An approach to manufacturing heat-stable and bloom-resistant chocolate by the combination of oleogel and sweeteners[J/OL]. *J Food Eng*, 2022, 330: 111064[2023-06-21]. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111064>.
- [12] SI H, CHEONG L Z, HUANG J, et al. Physical properties of soybean oleogels and oil migration evaluation in model praline system[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2016, 93(8): 1075–1084.
- [13] JIN J, JIN Q, WANG X, et al. Improving heat and fat bloom stabilities of "dark chocolates" by addition of mango kernel fat-based chocolate fats[J]. *J Food Eng*, 2019, 246: 33–41.
- [14] RICHARDSON A M, TYUFTIN A A, KILCAWLEY K N, et al. The impact of sugar particle size manipulation on the physical and sensory properties of chocolate brownies[J]. *LWT – Food Sci Technol*, 2018, 95: 51–57.
- [15] LI L, LIU G, LIN Y. Physical and bloom stability of low-saturation chocolates with oleogels based on different gelation mechanisms[J/OL]. *LWT – Food Sci Technol*, 2021, 140: 110807[2023-06-21]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110807>.
- [16] METIN S, HARTEL R W. Edible oil and fat products: Chemistry, properties, and health effects [M] // SHAHIDI F. *Bailey's industrial oil and fat products*. 6th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [17] DELBAERE C, VAN DE WALLE D, DEYPERE F, et al. Relationship between chocolate microstructure, oil migration, and fat bloom in filled chocolates[J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2016, 118(12): 1800–1826.
- [18] SAPUTRO A D, VAN DE WALLE D, AIDOO R P, et al. Quality attributes of dark chocolates formulated with palm sap-based sugar as nutritious and natural alternative sweetener[J]. *Eur Food Res Technol*, 2017, 243(2): 177–191.
- [19] IBRAHIM S F, DALEK N S E M, RAFFIE Q A F M, et al. Quantification of physicochemical and microstructure properties of dark chocolate incorporated with palm sugar and dates as alternative sweetener[J]. *Mater Today Proc*, 2020, 31: 366–371.
- [20] BUSCATO M H M, HARA L M, BONOMI É C, et al. Delaying fat bloom formation in dark chocolate by adding sorbitan monostearate or cocoa butter stearin[J]. *Food Chem*, 2018, 256: 390–396.

- 79–80, 81.
- [51] LI D, WANG W, DURRANI R, et al. Simplified enzymatic upgrading of high – acid rice bran oil using ethanol as a novel acyl acceptor[J]. *J Agric Food Chem*, 2016, 64(35): 6730–6737.
- [52] LI D, LIU P, WANG W, et al. An innovative deacidification approach for producing partial glycerides – free rice bran oil[J]. *Food Bioprocess Technol*, 2017, 10(6): 1154–1161.
- [53] LI D, LIU P, WANG W, et al. An efficient upgrading approach to produce $n-3$ polyunsaturated fatty acids – rich edible grade oil from high – acid squid visceral oil [J]. *Biochem Eng J*, 2017, 127: 167–174.
- [54] HAMA S, NUMATA T, TAMALAMPUDI S, et al. Use of mono – and diacylglycerol lipase as immobilized fungal whole cells to convert residual partial glycerides enzymatically into fatty acid methyl esters[J]. *J Mol Catal B Enzym*, 2009, 58(1/2/3/4): 93–97.
- [55] WEI H, WANG Q, ZHANG R, et al. Efficient biodiesel production from waste cooking oil by fast co – immobilization of lipases from *Aspergillus oryzae* and *Rhizomucor miehei* in magnetic chitosan microcapsules [J]. *Process Biochem*, 2023, 125: 171–180.
- [56] LIPINSKI C A, LOMBARDO F, DOMINY B W, et al. Experimental and computational approaches to estimate solubility and permeability in drug discovery and development settings[J]. *Adv Drug Deliv Rev*, 2001, 46(1/2/3): 3–26.
- [57] VAN DE WATERBEEMD H, SMITH D A, BEAUMONT K, et al. Property – based design: Optimization of drug absorption and pharmacokinetics [J]. *J Med Chem*, 2001, 44(9): 1313–1333.
- [58] MARKOVIC M, BEN – SHABAT S, APONICK A, et al. Lipids and lipid – processing pathways in drug delivery and therapeutics[J/OL]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(9): 3248 [2023 – 03 – 24]. <https://doi.org/10.3390/ijms21093248>.
- [59] PORTER C J H, TREVASKIS N L, CHARMAN W N. Lipids and lipid – based formulations: Optimizing the oral delivery of lipophilic drugs [J]. *Nat Rev Drug Discov*, 2007, 6(3): 231–248.
- [60] MASSARO M, CARLUCCIO M A, DE CATERINA R. Direct vascular antiatherogenic effects of oleic acid: A clue to the cardioprotective effects of the Mediterranean diet[J]. *Cardiologia*, 1999, 44(6): 507–513.
- [61] KAKI S S, RAVINDER T, ASHWINI B, et al. Enzymatic modification of phosphatidylcholine with $n-3$ PUFA from silkworm oil fatty acids [J/OL]. *Grasas Y Aceites*, 2014, 65(2): e021 [2023 – 03 – 24]. <https://doi.org/10.3989/gya.097213>.
- [62] CHOJNACKA A, GŁADKOWSKI W, GLISZCZYŃSKA A, et al. Synthesis of structured phosphatidylcholine containing punicic acid by the lipase – catalyzed transesterification with pomegranate seed oil [J]. *Catal Commun*, 2016, 75: 60–64.
- [63] SCALVINI L, PIOMELLI D, MOR M. Monoglyceride lipase: Structure and inhibitors [J]. *Chem Phys Lipids*, 2016, 197: 13–24.
- [64] BERTRAND T, AUGÉ F, HOUTMANN J, et al. Structural basis for human monoglyceride lipase inhibition [J]. *J Mol Biol*, 2010, 396(3): 663–673.
-
- (上接第87页)
- [21] VERSTRINGE S, DANTHINE S, BLECKER C, et al. Influence of monopalmitin on the isothermal crystallization mechanism of palm oil[J]. *Food Res Int*, 2013, 51(1): 344–353.
- [22] 王凤艳, 王兴国, 陶冠军, 等. 巧克力起霜研究进展 [J]. *食品科学*, 2011, 32(5): 301–305.
- [23] BELŠČAK – CVITANOVIĆ A, KOMES D, DUJMOVIĆ M, et al. Physical, bioactive and sensory quality parameters of reduced sugar chocolates formulated with natural sweeteners as sucrose alternatives [J]. *Food Chem*, 2015, 167: 61–70.
- [24] STORTZ T A, MARANGONI A G. Heat resistant chocolate [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2011, 22(5): 201–214.
- [25] ZHAO H, JAMES B J. Fat bloom formation on model chocolate stored under steady and cycling temperatures [J]. *J Food Eng*, 2019, 249: 9–14.
- [26] 司华光, 黄健花, 张凌芷, 等. 凝胶油 – 棕榈仁油混合油在夹心巧克力中的应用性能评价 [J]. *中国油脂*, 2016, 41(6): 73–78.
- [27] SAPUTRO A D, VAN DE WALLE D, KADIVAR S, et al. Feasibility of a small – scale production system approach for palm sugar sweetened dark chocolate [J]. *Eur Food Res Technol*, 2017, 243(6): 955–967.