

大豆分离蛋白-多糖体系对甜菊糖苷苦味的抑制作用 及复合乳液稳定性研究

邢琳琳, 朱力杰*

(渤海大学食品科学与工程学院 辽宁锦州 121013)

摘要 为探究大豆分离蛋白(SPI)、大豆多糖(SSP)体系对甜菊糖苷(STE)苦味有无抑制效果,本文以 SPI、SSP、STE 的质量分数为因素,感官综合评分为指标,研究 SPI-SSP 复合体系对 STE 的抑苦效果,结果表明:当 SPI 质量分数为 1.0%、SSP 质量分数为 0.3%时,对 STE 的抑苦质量分数可达 0.5%,且乳液的抑苦效果优于水溶液;进一步对抑苦效果较优的乳液体系进行了界面张力、粒径大小、Zeta-电位及稳定性等指标的测试,得知随 SPI 质量分数的不断增大,界面张力值呈现较大幅度的下降,说明大豆分离蛋白-多糖-甜菊糖苷在油-水界面相互结合形成较为稳定的界面膜。综上所述当复合乳液中 STE 质量分数为 0.5%、SSP 质量分数为 0.3%时,SPI 质量分数高于 1.0%时可以形成较为稳定、无不良苦味的 O/W 乳液。

关键词 大豆分离蛋白; 大豆多糖; 甜菊糖苷; 苦味; 乳液稳定性

文章编号 1009-7848(2022)09-0153-10 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.09.016

随着低糖理念逐渐深入人心,甜味剂受到了食品生产者和消费者的广泛关注,其中甜菊糖苷(stevia glycosides,STE)是研究较多的甜味剂之一。甜菊糖苷亦称甜菊糖或甜菊苷,主要来源于甜叶菊(stevia rebaudia)的叶子中,是一种具有清凉甜味,白色或微黄色结晶性粉末状二萜类化合物的混合物^[1-4],因高甜度、低热量等特点而被誉为继甜菜和甘蔗后的世界“第三大糖源”。其主要组成成分包括甜菊苷(stevioside)、莱鲍迪甙 A、B、C、D、E、F、杜克苷 A (dulcoside A)、甜茶苷(rubusoside)、甜菊双糖苷(steviolbioside)等^[5]。我国是 STE 生产大国,生产量约占全球份额的 80%^[6]。STE 甜度约为蔗糖的 250~400 倍,热量仅为蔗糖热量的 1/300,且其甜度感知域极低(约为 0.002%),是一种替代蔗糖的理想型甜味剂。然而,当使用达到一定剂量时其苦味较重,严重影响其商业化推广。采取有效措施来改善 STE 的苦味显得尤为重要。

目前改善 STE 苦味的方法主要有酶促修饰法、微生物转化法、分离纯化莱鲍迪甙 A 法等^[7]。酶促修饰法最早开展于日本,所用的酶种类丰富,例

如环糊精葡萄糖基转移酶、 β -味喃果糖苷酶、 β -半乳糖苷酶及 β -淀粉酶等^[8]。Mizutani 等^[9]和 Fukunaga 等^[10]利用环糊精葡萄糖基转移酶对甜菊苷进行酶法修饰,改变其 C13 和 C19 位的糖基数量,使甜菊苷的味感得以改善,且甜菊苷苦味强弱与 C19 位葡萄糖基数目呈正相关。微生物转化法主要指利用链霉菌属 W19-1 细胞内酶系、放线菌属 K-128 菌株、藤仓赤霉的无细胞提取物等微生物系统,对甜菊苷的糖基进行修饰或使其降解为甜菊醇,从而达到改善味质的目的^[11-13]。除此之外,乳铁蛋白因具有疏水性区域,也常被用作苦味分子的纳米载体^[14-15]。有研究表明采用大豆多糖(soybean soluble polysaccharide,SSP)对芦荟苷、穿心莲内酯、氧化苦参碱 3 种苦味成分均有一定的抑苦效果,且 SSP 质量分数与抑苦效果呈正比,对其作用机制未作详细说明^[16]。

蛋白、多糖等大分子可以形成物理屏障(如纳米胶囊、乳液、悬浮液等),对苦味起到一定的屏蔽作用^[17]。大豆分离蛋白(soy protein isolate,SPI)通常以低温脱脂豆粕为原料,经离心分离等工艺获得,是一种天然的表面活性剂,因具有电荷相反的羧基基团与氨基基团而具有两亲性,可以形成致密的界面薄膜包裹于油滴表面,降低油-水界面张力值,常被用于稳定 O/W 乳液的乳化剂^[18-19]。当 SPI 在油-水界面发挥乳化作用时,肽链舒展使得疏水基团暴露,亲水基团重新排列,产生静电作

收稿日期: 2021-09-27

基金项目: 辽宁省自然科学基金项目(2021-MS-311); 国家自然科学基金项目(31601510)

作者简介: 邢琳琳(1997—),女,硕士生

通信作者: 朱力杰 E-mail: lijiezhuzhu325@126.com

用,起维持乳液稳定的作用^[20-22]。如在饮料制品加工中常作稳定剂使用。在 O/W 乳液中,大豆多糖(soy soluble polysaccharide, SSP)可以和蛋白等大分子联用,起到增强乳液稳定性的作用^[17]。两者复合使用,在食品、化妆品、药品等领域得以广泛应用。

本研究采用 SPI-SSP 复合体系,研究水溶液及乳液两种状态下对 STE 的苦味抑制效果。以感官评分为依据,对抑苦体系进行综合评判,并表征较优的抑苦效果体系,以获取最佳抑苦体系。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大豆蛋白,山东禹王生态食品有限公司;大豆多糖,山东聚源生物科技有限公司;甜菊糖苷(纯度 $\geq 99\%$),山东圣香远生物科技有限公司;长寿花玉米油,山东三星玉米产业科技有限公司;Florisil 分子筛(60~100目),Sigma 公司;二水合磷酸二氢钠、十二水合磷酸氢二钠,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

FJ200-SH 高速分散均质机,上海标本模型厂;HL-2000 高压均质机,上海弗鲁克流体机械制造有限公司;Nano-ZS90 激光粒径分布仪,英国马尔文仪器公司;NanoBrook90 Zeta-电势分析仪,美国布鲁克海文仪器公司;OCA-20 视频光学接触角测量仪,德国 Data-physics 公司;Biofuge Stratos 高速冷冻离心机,美国 Thermo 公司;Turbiscan Lab Expert 稳定性分析仪,法国 Formulacion 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 待测感官溶液配制

1.3.1.1 SPI-SSP-STE 水溶液的配制 将一定量的 SPI、SSP、STE 分别溶解于 10 mmol/L 中性磷酸盐缓冲液中,在室温(25℃)搅拌 2 h,之后置于冰箱(4℃)中进行过夜处理,以使 SPI 充分水化。按感官试验要求分别配制不同质量分数配比的 SPI-SSP-STE 水溶液,室温(25℃)下搅拌 30 min 使其均匀混合,制得待测定溶液。

1.3.1.2 SPI-SSP-STE 乳液的配制 将一定量的 SPI、SSP、STE 分别溶解于 10 mmol/L 中性磷酸盐缓冲液中,在室温(25℃)搅拌 2 h,之后置于冰箱(4℃)中进行过夜处理,以使 SPI 充分水化。按试验所需配制不同质量分数配比的 SPI-SSP-STE 复合乳液体系,其中油相质量分数始终保持 10%,首先经高速分散均质机均质处理(14 000 r/min, 3 min),初步乳化后得到初级乳液,再经过 2 次高压均质处理(50 MPa)后调节乳液 pH 值至中性,得到最终待测乳液。

1.3.2 感官测评指标 感官测评试验采用感官综合评分法对新鲜制备的两种溶液进行测评,所有感官测评人员在测试试验开始前 1 h 尽可能禁止进食,主要是重辣、刺激性严重影响感官测评的食物。挑选 10 名经过培训的人员对两种溶液体系的滋味、外观、气味三方面进行感官评定并打分(满分为 100 分),取平均值作为最终测评结果。具体测评流程为分别取 20 mL 待测评溶液于一次性烧杯中,感官测评员在口中停留 30 s 后吐出,随后用矿泉水漱口,必要时可用苏打饼干去除口中余味,两个样品感官测评时间间隔为 20 min。

表 1 溶液苦味感官测评指标

Table 1 Sensory evaluation index of solution bitterness

指标	评分	评分依据
滋味(60分)	40~60分	口感细腻,无颗粒状物存在;无苦味或有轻微苦味,无其它异味
	20~40分	口感较为细滑,有稍微颗粒物存在;口尝有轻微苦味或其它异味
	0~20分	口感粗糙,有较大颗粒物存在;苦味较为明显或有难以接受异味
外观(20分)	10~20分	水溶液体系呈现澄清透明状态,无沉淀产生;乳液体系为均一乳白色,无分层现象发生
	0~10分	水溶液外观浑浊没肉眼可见明显杂质存在;乳液体系不稳定,出现上浮或絮凝现象
气味(20分)	10~20分	无明显气味
	0~10分	有异味,STE 气味明显

1.3.3 玉米油的纯化 试验中为防止玉米油中可能含有的表面活性物质对试验结果造成干扰,试验所用均为纯化玉米油。参考 Gaonkar^[23]报告中所讲述的方法,将 4 g Florisil 分子筛加入到 100 mL 玉米油中,匀速搅拌 120 min 使玉米油中可能存在的活性物质充分被分子筛吸附,接着采用冷冻离心机 10 000 r/min 离心操作 20 min 去除杂质,离心至玉米油与去离子水间界面张力值 30 min 不发生变化为止。最终得到纯化的玉米油对纯水的界面张力为(25.95±0.5)mN/m,其密度为 0.9169 g/cm³。

1.3.4 动态界面张力的测定 将 SPI、SSP、STE 样品分别溶解于 10 mmol/L 中性磷酸盐缓冲液中,在室温(25 ℃)搅拌 2 h,之后置于冰箱(4 ℃)中进行过夜处理,以使 SPI 充分水化。将 SPI、SSP 和 STE 溶液调节 pH 值至 7.0 后进行不同质量分数配比的混合溶液的制备,其中 STE 和 SSP 的最终质量分数分别固定为 0.5% 和 0.3%,SPI 质量分数为 0.1%~2.0%。混合溶液于室温下继续搅拌 30 min,以确保 3 种成分之间的相互作用充分发生。

参考 Wang 等^[24]的报告中,采用视频光学接触角测量仪测定 STE 以及 STE-SSP-SPI(0.1%~2.0%)复合体系在油-水界面上的界面张力(γ),试验进行中应注意避免外界振动引起的试验误差。测试前将待测样加入注射针中,平衡 30 min 达到试验所需恒定温度 25 ℃,由电动控制单元注射 10 μ L 样品液滴于装有纯化玉米油的光学玻璃比色杯中,静置测定 180 min。高清摄像机对 180 min 液滴图像进行全程拍摄后形成视频通过 SCA20 软件进行分析,采用 Young-Laplace 方程计算测试样品的表面张力(γ)。表面压(π)为样品的表面张力值(γ_0)与磷酸盐缓冲液表面张力值(γ)的差值。

1.3.5 粒径的测定 参考 Sun 等^[25]的方法并加以改进。采用激光粒度分析仪对乳液的粒径进行测定。测定前用去离子水对样品进行稀释处理,以免多重光散射现象发生。同时为消除气泡对测试过程的干扰,样品测试前需先对分散介质超声 4 min。测试前仪器平衡时间设置为 120 s,选择水作为分散剂,分散剂折射率设置为 1.331,每个样品平行测定 3 次。

1.3.6 Zeta-电位的测定 Zeta-电位(mV)可以用来评估乳液所带表面电荷性质。参考 Liang 等^[26]的方法,略改。取磷酸盐缓冲液稀释 30 倍后新鲜乳液,装入 10 mL 样品管中,利用 Zeta-电位仪对其电势值进行测定,测试温度为 25 ℃,每组试验测定 3 次。

1.3.7 多重光散射测定乳液整体稳定性 Turbiscan 多重光散射分析仪能够在不破坏、无接触样品的情况下对乳液样品进行扫描,后续可以对随时间变化扫描采集的透射光(transmission, TM)以及背散射光(backscattering, BS)分析得到样品稳定性相关信息,此外还可以对样品上浮、絮凝等不稳定现象进行分析^[27]。由于本试验所制备的乳液透光性较差,因此选取背散射光(BS)指标对乳液稳定性进行分析。取 30 mL 乳液样品置于多重光专用测试瓶中,对其进行扫描测试,扫描间隔设置为 30 min,总工持续扫描 24 h。对于储藏期间的样品扫描选取某一特定时间点对其稳定性变化情况进行分析,通过 TM 和 BS 进一步分析计算其稳定性动力学指数(turbiscan stability index, TSI),曲线斜率越低、TSI 值越低,乳液越稳定。其计算依据为:不同时间同一高度处扫描测定的对比光强变化值累加到样品总高度的结果。计算公式为:

$$TSI = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{BS})^2}{n-1}} \quad (1)$$

式中: x_i ——背射光强的平均值,次; x_{BS} —— x_i 的平均值; n ——扫描次数。

1.3.8 数据分析 试验测定中每个样品均平行测定 3 次,并采用 origin 9.0、SPSS 19.0 软件对试验结果进行分析处理,以 $P < 0.05$ 为显著性的检验标准。

2 结果与分析

2.1 SPI 质量分数对溶液苦味的影响

由图 1 可知,当固定 STE 质量分数为 0.5%, SSP 质量分数为 0.3% 时, SPI 质量分数在 0.1%~1.0% 范围内感官综合评分呈增加趋势,继续增加 SPI 质量分数感官综合评分反而下降。水溶液状态下, SPI 质量分数低于 1.0% 时溶液苦味较为明显,难以接受;当 SPI 质量分数增大至 2.0% 时,溶液苦味反而更明显且有颗粒感,可能是因其在溶液

中的溶解程度受到一定的限制,使其感官评分降低。乳液状态下,SPI质量分数较低(0.1%~0.5%)时,新鲜乳液的苦味明显弱于水溶液,但此时乳液稳定性较差,分层现象明显,使得感官评分较低;SPI质量分数达到1.0%时乳液无明显苦味,且口感细腻,稳定性较好;SPI质量分数高达2.0%时乳液苦味略有回升,这可能是由于蛋白水解产物中呈现苦味的游离氨基酸或苦味肽含量增加导致的^[28-29]。

2.2 SSP质量分数对溶液苦味的影响

由图2可知,当固定STE质量分数为0.5%,SPI质量分数为1.0%时,其在0.1%~0.3%质量分数范围内感官综合评分呈增加趋势,在0.3%~1.0%质量分数范围内感官综合评分反而逐渐下滑。水溶液状态下,低质量分数(0.1%~0.3%)SSP对体系的抑苦效果起到促进作用,SSP质量分数达到0.3%时,溶液的苦味降至最低,此时感官综合评分最高;继续增大其质量分数在0.5%~1.0%范围时,除溶液苦味被感知外,酸味也随SSP质量分数的增加而不断增强。乳液状态下,SSP质量分数较低(0.1%~0.3%)时,不仅可以掩盖STE的苦味同时对乳液稳定性没有较大影响;当SSP质量分数高于0.3%时,乳液稳定性随SSP质量分数的增加而降低且酸味逐渐增大。这可能是由于SSP属于酸性多糖,质量分数增大使其酸性主链增多导致的^[30-31]。

2.3 STE质量分数对溶液苦味的影响

由图3可知,当固定SPI质量分数为1.0%,SSP质量分数为0.3%时,两种溶液中不断增加STE使得溶液整体感官评分逐渐降低。水溶液状态下,STE添加微量(0.02%)时,溶液有略微甜味且无苦味;当STE质量分数较低(0.1%~0.25%)时,溶液甜味消失但并无苦味;STE质量分数达到0.5%时,溶液苦味被感知但仍在可接受范围内;继续增加至1.0%时,溶液苦味很重令人难以接受。乳液状态下,STE质量分数较低(0.02%~0.5%)时,乳液稳定性良好且甜味、苦味皆不被感知;但当STE质量分数增加至1.0%时,乳液稳定性降低且苦味较明显。

2.4 复合体系在油-水界面的吸附行为

上述感官试验证实,SPI-SSP复合体系的水

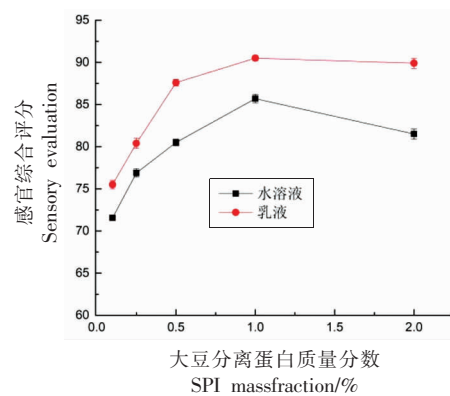


图1 SPI质量分数对溶液苦味的影响

Fig.1 Effect of SPI massfraction on bitterness of solution

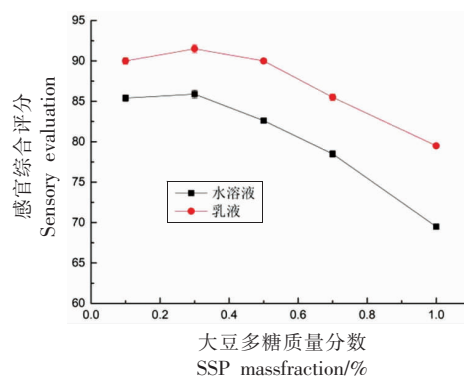


图2 SSP质量分数对溶液苦味的影响

Fig.2 Effect of SSP massfraction on bitterness of solution

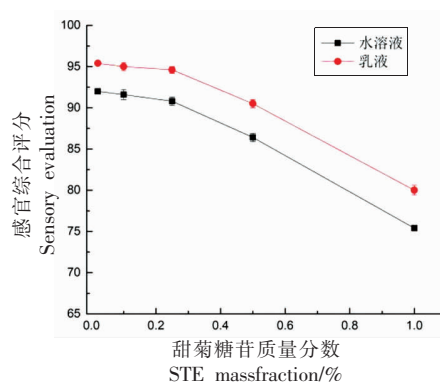


图3 STE质量分数对溶液苦味的影响

Fig.3 Effect of STE massfraction on bitterness of solution

溶液及乳液两种溶液对STE的苦味均有抑制效果,且乳液抑苦效果明显优于水溶液。目前针对乳液体系研究最多的便是稳定性问题,且SPI-SSP-STE乳液的稳定性与STE抑苦效果密切相关,因

此对复合体系稳定性的探究必不可少。

探究发现,小分子表面活性剂与蛋白质之间通过相互作用共同形成稳定的乳液体系,界面张力(γ)值和乳液稳定性关联密切,可以作为分析乳液稳定性的重要参数。SPI-SSP-STE 复合体系在油-水界面的 γ 值随时间变化的情况如下图(图 4)所示。图 4a 图可以看出随时间的推移,SPI、SSP 及 STE 不断吸附到界面层,界面张力值不断减小。因为蛋白分子质量较大,完全吸附到油水界面层

达到平衡状态所需消耗时间周期较长^[32],所以在该试验中(直到 180 min)所有复合体系曲线均未达到吸附平衡状态。由图可以看出随着 SPI 质量分数的不断增大,复合乳液体系的界面张力下降速率明显加快(图 4a)。180 min 后,纯 STE 水溶液界面张力值处于 10.82 mN/m,当 SPI 添加量达到最大值 2.0%时,界面张力值降低为 3.55 mN/m(图 4b),表明此时 3 种表面活性物质间形成较为稳定的界面吸附层。

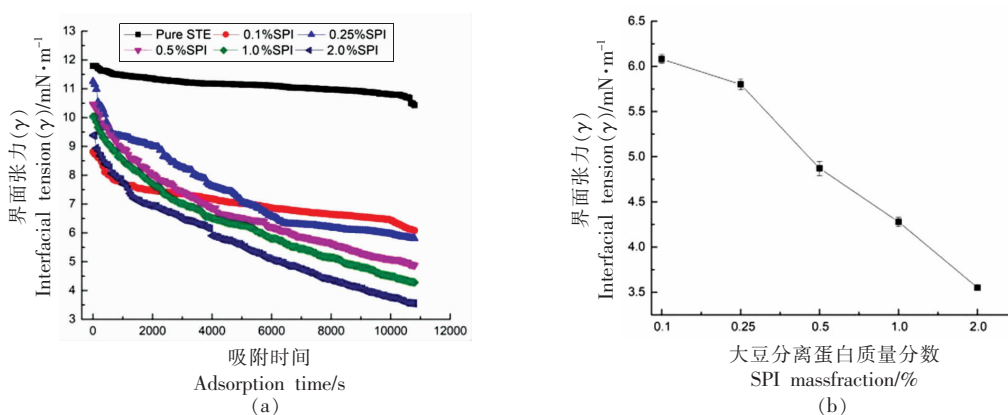


图 4 SPI-SSP-STE 复合体系在油-水界面的界面张力(γ)随吸附时间的变化(a);吸附 180 min 后的界面张力值随 SPI 质量分数的变化(b)

Fig.4 Dynamic interfacial tension (γ) for mixed solutions of SPI-SSP-STE emulsions at the oil-water interface (a); The γ values recorded after 180 min of adsorption (b)

2.5 乳液液滴尺寸分布及 Zeta-电位

判定乳液形成能力(乳化性)的一大重要指标便是乳液液滴的尺寸分布情况。乳液的粒径结果如图 5a 所示均呈现单峰形式,当乳液体系中 SPI 质量分数最小为 0.1%时,乳液液滴处于最大尺寸

682.38 nm。随着 SPI 质量分数的不断增加,乳液粒径分布峰逐渐左移,说明乳液液滴尺寸不断减小,表明整个乳液体系的乳化性不断增强。当 SPI 质量分数增加到 1.0%时,乳液液滴尺寸出现明显降低,此时粒径达到最小值 266.09 nm,表明此时乳

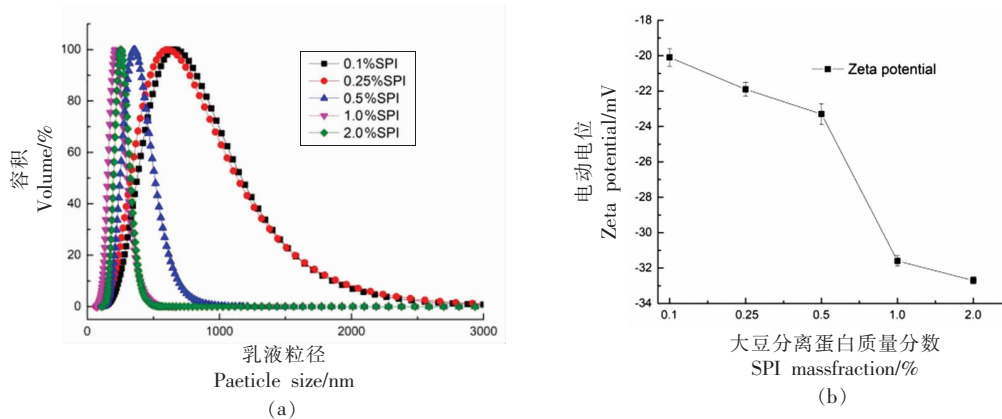


图 5 新鲜乳液的粒径(a)及 Zeta-电位图(b)

Fig.5 Particle size distributions (a) and Zeta potential (b) of SPI-SSP-STE emulsions

液的乳化性最好,形成的乳液状态最稳定。推测可能是由于 SPI-SSP-STE 复合体系使界面张力值降低的原因。

Zeta-电位是反映油滴间吸引力与排斥力关系的重要指标,当 Zeta-电位绝对值越大时,则表明油滴间吸引力越小,乳液状态越稳定^[32]。电位绝对值降低则表明油滴间吸引力增大而不断聚集,这将导致乳液失稳^[33]。由图 5b 可以观察到乳液体系中添加不同质量分数的 SPI 时,乳液液滴测得的 Zeta-电位均为负值,且随 SPI 质量分数的增加(0.1%~2.0%),Zeta-电位绝对值明显增大。Bhattacharjee^[33]报告中曾经提到,乳液维持在稳定状态时,测定其 Zeta-电位绝对值在 30 mV 以上。当 SPI 质量分数大于 1.0%时,此时复合乳液的 Zeta-电位绝对值大于 30 mV(31.6 mV),证明 SPI 质量分数大于 1.0%时得到的乳液稳定。

2.6 乳液的整体稳定性

为了更清晰的阐述复合乳液稳定性与 SPI-SSP-STE 三者之间相互作用的关系,对不同 SPI 含量的复合乳液采用多重光散射扫描其在短期(24 h)及长期(30 d)内 TSI 值的变化情况。TSI 值越小、TSI 曲线斜率越小,表明乳液越稳定。在颗粒相对分散的稀乳液中,乳液会通过液滴絮凝增加系统中颗粒的大小来促进乳化^[34]。由于本研究的

乳液相对较稀(10%玉米油),推测 TSI 值的增加应与乳液液滴的絮凝有关。

图 6a 显示了 SPI-SSP-STE 复合体系稳定的乳液样品 24 h 内 TSI 值的变化情况。当 SPI 质量分数升高时,乳液的 TSI 值呈现出明显的下降趋势,这表明复合乳液的稳定性在不断的增强。只添加 0.1%SPI 复合乳液的 TSI 在 24 h 迅速增加到 23.26,远高于其它 SPI 添加量的复合体系稳定的乳液。随着 SPI 质量分数的增加(2.0%),TSI 值在 24 h 后明显降低至 1.21,这表明添加较多的 SPI 可以使复合乳液的短期稳定性得以较大程度的增强。

图 6b 展示的是采用多重光散射仪对 SPI-SSP-STE 复合乳液样品进行长达 30 d 的稳定性监测,其结果以 TSI 值表示。添加较低质量分数 0.1%,0.25%SPI 复合乳液的 TSI 值 30 d 后分别增加到 66.79 和 32.45,明显高于 1.0%(3.99)和 2.0%(2.51)的乳液 TSI 值。这些结果表明,低质量分数 SPI 的乳液液滴在储藏过程中发生了絮凝现象,或许是液滴的吸附层相对不稳定所致。当 SPI 质量分数大于 1.0%时,SPI-SSP-STE 整个复合乳液体系之间的疏水作用或其它弱相互作用导致形成更稳定的界面层,从而抑制了液滴的絮凝,保证乳液维持在相对稳定的状态下。

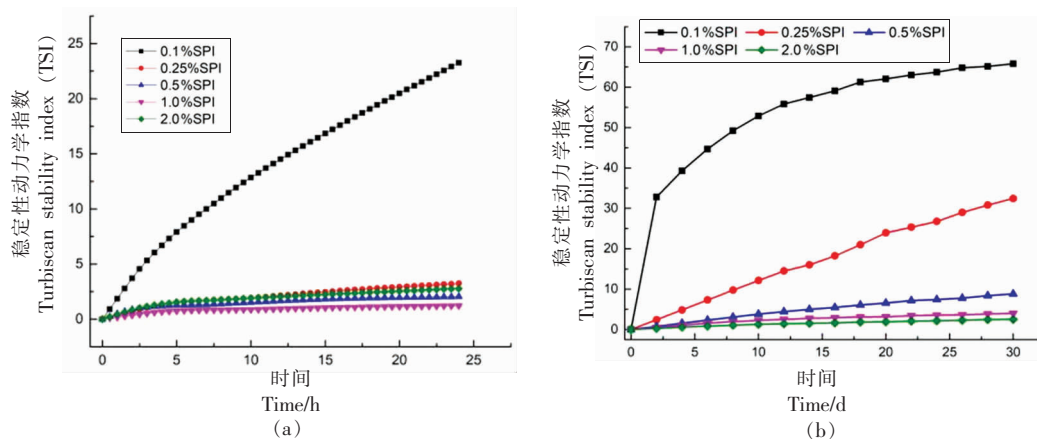


图 6 SPI 质量分数对 SPI-SSP-STE 复合乳液整体稳定性指数 TSI 的影响(24 h/30 d)

Fig.6 Influence of SPI concentration on global stability stability of SPI-SSP-STE emulsions in 24 h and 30 d

2.7 乳液的长期粒径

如图 7 所示,对复合乳液体系进行为期 30 d 粒径的测定以及第 30 天乳液外观以评价复合乳

液稳定性,发现随储藏时间的不断延长,添加少量 SPI(0.1%)乳液粒径在 30 d 时从 0.68 μm 增加至 2.71 μm (图 7a),同时出现肉眼可观的相分离现象

(图 7b)。这可能是由于蛋白质量分数较低无法与 SSP-STE 形成稳定的界面,使长期保存后油滴不断发生聚集所致,此时复合乳液体系的稳定性较差。在添加低质量分数 SPI(0.25%~0.5%)时,相较于 0.1% SPI 添加量的复合乳液来说,此时乳液粒径 30 d 后涨幅略有降低,但仍出现了肉眼可观的相分离现象。在添加 1.0% SPI 时,复合乳液的粒径增加趋势最为缓慢,由 0.26 μm 增加至 0.72 μm (图 7a),且没有出现肉眼可见的分层状况,表明此时复合乳液体系相对稳定,这主要归因于油滴覆盖着 SPI-SSP-STE 形成的稳定吸附层。当 SPI 质量分数继续增加至 2.0% 时,30 d 后复合乳液粒径增加趋势反而大于 1.0%,结合多重光散射扫描推

断可能是由于蛋白含量过高在乳液内部发生聚集,在储藏过程中缓慢下沉所致。蛋白质稳定的乳液(如 SPI 质量分数为 0.5% 的乳液)可能会由于在乳化过程中蛋白质不足以使液滴表面完全饱和并发生“桥状絮凝”^[35]。单纯的表面活性物质(例如 SSP、STE 等)难以形成稳定的界面层,只有添加蛋白分子使其相互作用形成结合物才可有效防止“桥状絮凝”现象的发生^[36-37]。

综上所述,对乳液粒径、Zeta-电位、稳定性等指标进行表征后,分析得知随 SPI 质量分数的增大,乳液粒径减小,Zeta-电位绝对值增大,整体稳定性呈现上升趋势,且当 SPI 质量分数增加到 1.0% 以上时乳液稳定性良好。

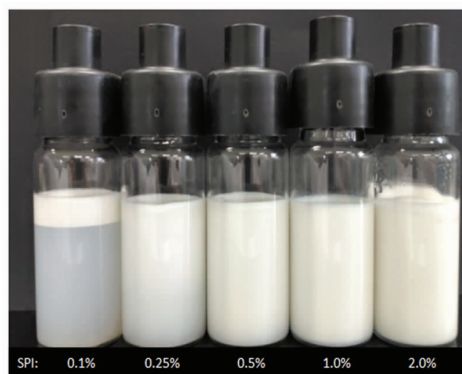
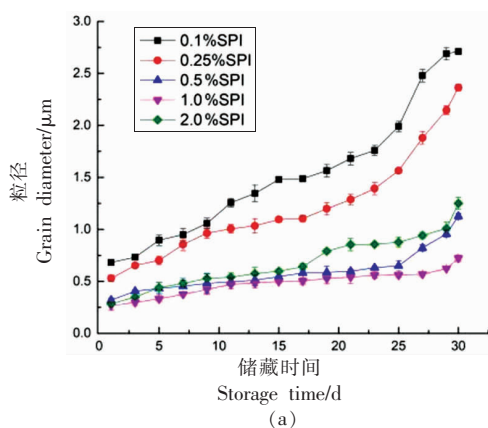


图 7 SPI-SSP-STE 复合乳液体系在 30 d 储藏期间的粒径(a)和图像(b)的变化

Fig.7 Changes in mean particle diameter (a) and images (b) of SPI-SSP-STE emulsions during storage for 30 d

3 结论

本文以 SPI、SSP、STE 质量分数为因素,感官综合评分为指标,对 SPI-SSP 复合体系对 STE 抑苦效果进行探究,得知水溶液及乳液两种溶液状态下对 STE 苦味均有一定程度的抑制效果,两种溶液的感官综合评分随 SPI、SSP 质量分数的增大均呈现出先增大后减小的趋势,当 SPI 质量分数为 1.0%、SSP 质量分数为 0.3% 时,对 STE 的抑苦质量分数可达 0.5%,且乳液的抑苦效果优于水溶液,相较于纯 STE 水溶液 0.1% 时无法接受的苦味程度有很大改善效果。后续对抑苦效果较优的乳液体系的界面张力、粒径大小、Zeta-电位及稳定性等指标进行测定,得知随 SPI 质量分数的不断增大,界面张力值呈现较大幅度的下降趋势,说明

三者在水油界面相互结合形成较为稳定的界面膜;当复合乳液中 STE 质量分数为 0.5%、SSP 质量分数为 0.3% 时,SPI 质量分数大于 1.0% 时能够形成较为稳定、无不良苦味的乳液。

参 考 文 献

- [1] MATHUR S, BULCHANDAN N, PARIHAR S, et al. Critical review on steviol glycosides: Pharmacological, toxicological and therapeutic aspects of high potency zero caloric sweetener[J]. International Journal of Pharmacology, 2017, 13(7): 916-928.
- [2] 陈俊名. 甜菊糖苷的体外代谢及生物活性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
CHEN J M. *In vitro* metabolism and biological ac-

- tivity of the steviol glycosides[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.
- [3] URSULA W R. The leaves of *Stevia rebaudiana* (Bertoni), their constituents and the analyses thereof: a review[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2012, 60(4): 886–895.
- [4] ACEVEDO W A, GONZALEZ-NILO F D, AGOSIN E. Docking and molecular dynamics of steviol glycoside–human bitter receptor interactions[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2016, 64(40): 7585.
- [5] 万会达, 李丹, 夏咏梅. 甜菊糖苷类物质的功能性研究进展[J]. *食品科学*, 2015, 36(17): 264–269.
WAN H D, LI D, XIA Y M. Progress in functions of steviol glycosides[J]. *Food Science*, 2015, 36(17): 264–269.
- [6] LEMUS-MONDACA R, A VEGA-GÁLVEZ, ZURRA-BRAVO L, et al. *Stevia rebaudiana* Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects[J]. *Food Chemistry*, 2012, 132(3): 1121–1132.
- [7] 叶发银. 高纯度莱鲍迪苷 A 的制备和甜菊苷的酶法改性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
YE F Y. Preparation of high-purity rebaudioside A and enzymatic modification of stevioside[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [8] LOBOV S V, KASAI R, OHTANI K, et al. Enzymatic production of sweet stevioside derivatives: transglucosylation by glucosidases[J]. *Agric Biol Chem*, 1991, 55(12): 2959–2965.
- [9] MIZUTANI K, MIYATA T, KASAI R, et al. Study on improvement of sweetness of steviol biglycosides: Selective enzymic transglucosylation of the 13-O-Glycosyl moiety[J]. *Agricultural and Biological chemistry*, 2006, 53(2): 395–398.
- [10] FUKUNAGA Y, MIYATA T, NAKAYASU N, et al. Enzymatic teansglucosylation product of stevioside: separation and seetness evaluation[J]. *Agric Biol Chem*, 1989, 53(6): 1603–1607.
- [11] KUSAMA, SATORU, KUSAKABE, et al. Transglucosylation into stevioside by the enzyme system from streptomycetes sp.(biological chemistry)[J]. *Agric Biol Chem*, 1986, 50(10): 2445–2451.
- [12] OLIVEIRA B, PACKER J F, CHIMELLI M, et al. Enzymatic modification of stevioside by cell-free extract of *Gibberella fujikuroi*[J]. *Journal of Biotechnology*, 2007, 131(1): 92–96.
- [13] KUSAKABE I, WATANABE S, MORITA R, et al. Formation of a transfer product from stevioside by the cultures of Actinomycete[J]. *Bioscience Biotechnology & Biochemistry*, 1992, 56(2): 233–237.
- [14] NUNES N M, COELHO PACHECO A F, PATINO AGUDELO A J, et al. Interaction of cinnamic acid and methyl cinnamate with bovine serum albumin: A thermodynamic approach[J]. *Food Chemistry*, 2017, 237(12): 525–531.
- [15] GUO M, LU X, WANG Y, et al. Comparison of the interaction between lactoferrin and isomeric drugs[J]. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2017, 173(2): 593–607.
- [16] 李学林, 田亮玉, 张耀, 等. 4 种苦味抑制剂对 3 种苦味成分的掩味效果[J]. *中成药*, 2018, 40(8): 1741–1747.
LI X L, TIAN L Y, ZHANG Y, et al. Taste-masking effects of four bitterness inhibitors on three bitter constituents[J]. *Chinese Traditional Patent Medicine*, 2018, 40(8): 1741–1747.
- [17] DESHAWARE S, GUPTA S, SINGHAL R S, et al. Debittering of bitter gourd juice using β -cyclodextrin: Mechanism and effect on antidiabetic potential[J]. *Food Chemistry*, 2018, 262(10): 78–85.
- [18] CHATTOPADHYAY S, RAYCHUDHURI U, CHAKRABORTY R. Artificial sweeteners—a review[J]. *Journal of Food Science & Technology*, 2014, 51(4): 611–621.
- [19] GARDNER C, WYLIE-ROSETT J, GIDDING S S, et al. Nonnutritive sweeteners: Current use and health perspectives A scientific statement from the american heart association and the American diabetes association[J]. *Circulation*, 2012, 126(4): 509–519.
- [20] LEMUS-MONDACA R, A VEGA-GÁLVEZ, ZURRA-BRAVO L, et al. *Stevia rebaudiana* Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects[J]. *Food Chemistry*, 2012, 132(3): 1121–1132.
- [21] CEUNEN S, GEUNS J. Steviol glycosides: Chemical diversity, metabolism, and function[J]. *Journal of Natural Products*, 2013, 76(6): 1201–1228.
- [22] YI J, LAM T I, YOKOYAMA W, et al. Beta-

- carotene encapsulated in food protein nanoparticles reduces peroxyl radical oxidation in Caco-2 cells[J]. *Food Hydrocolloids*, 2015, 43(1): 31-40.
- [23] GAONKAR A G. Interfacial tensions of vegetable oil/water systems: Effect of oil purification[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1989, 66(8): 1090-1092.
- [24] WANG J M, XIA N, YANG X Q, et al. Adsorption and dilatational rheology of heat-treated soy protein at the oil-water interface: relationship to structural properties[J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(12): 3302-3310.
- [25] SUN J, LIU W Y, FENG M Q, et al. Characterization of olive oil emulsions stabilized by flaxseed gum[J]. *Journal of Food Engineering*, 2019, 247(4): 74-79.
- [26] LIANG Y, GILLIES G, PATEL H, et al. Physical stability, microstructure and rheology of sodium-caseinate-stabilized emulsions as influenced by protein concentration and non-adsorbing polysaccharides[J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 36(2): 245-255.
- [27] 何慧, 王进, 裴凡, 等. 蛋白质水解物与苦味的构效关系及脱苦研究[J]. *食品科学*, 2006, 27(10): 571-574.
- HE H, WANG J, PEI F, et al. Review on the relationship of structure to bitterness of protein hydrolysate and debittering[J]. *Food Science*, 2006, 27(10): 571-574.
- [28] 周利亘, 陈新峰, 王君红, 等. 大豆多肽苦味机理及其脱苦技术[J]. *安徽农学通报*, 2006, 12(10): 49-51.
- ZHOU L G, CHEN X F, WANG J H, et al. Study on bitterness mechanism and debittering technology of soybean peptides[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2006, 12(10): 49-51.
- [29] 刘畅. 水溶性大豆多糖基复合膜的制备与性能研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2020.
- LIU C. Study on the preparation and properties of composite films based on soluble soybean polysaccharide[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2020.
- [30] 蒲金平. 可溶性大豆多糖和大豆膳食纤维在乳制品中的应用研究[D]. 广州: 华东师范大学, 2014.
- PU J P. Research on application of soluble soybean polysaccharides and soybean dietary fiber in dairy products[D]. Guangzhou: East China Normal University, 2014.
- [31] YUAN Y, WAN Z L, YIN S W, et al. Characterization of complexes of soy protein and chitosan heated at low pH[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 50(2): 657-664.
- [32] WU Z, WU J, ZHANG R, et al. Colloid Properties of hydrophobic modified alginate: surface tension, ζ -potential, viscosity and emulsification[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2017, 181(2): 56-62.
- [33] BHATTACHARJEE S. DLS and zeta potential-what they are and what they are not?[J]. *Journal of Controlled Release*, 2016, 235(8): 337-351.
- [34] WOJCIECHOWSKI K, KEZWON A, LEWANDOWSKA J, et al. Effect of β -casein on surface activity of quillaja bark saponin at fluid/fluid interfaces[J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 34(1): 208-216.
- [35] YI X, ZHENG Q, PAN M H, et al. Liposomal vesicles-protein interaction: influences of iron liposomes on emulsifying properties of whey protein[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 89(4): 602-612.
- [36] XU D, ZHANG J, CAO Y, et al. Influence of microcrystalline cellulose on the microrheological property and freeze-thaw stability of soybean protein hydrolysate stabilized curcumin emulsion[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 66(3): 590-597.
- [37] GU Y S, DECKER E A, MCCLEMENTS D J. Application of multi-component biopolymer layers to improve the freeze-thaw stability of oil-in-water emulsions: β -Lactoglobulin- κ -carrageenan-gelatin[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 80(4): 1246-1254.

Inhibitory Effect of Soybean Protein Isolate-Polysaccharide System on Stevia Glycoside Bitterness and Stability of Composite Emulsion

Xing Linlin, Zhu Lijie*

(College of Food Science and Technology, Bohai University, Jinzhou 121013, Liaoning)

Abstract In order to explore whether soybean protein isolate (SPI) and soybean polysaccharide (SSP) system had in-

hibitory effect on the bitter taste of stevioside (STE), this paper took the quality scores of SPI, SSP and STE as factors and sensory comprehensive score as indicators to study the inhibitory effect of SPI-SSP composite system on STE. The results showed that: When the mass fraction of SPI is 1.0% and the mass fraction of SSP is 0.3%, the mass fraction of STE can reach 0.5%, and the inhibition effect of emulsion is better than that of aqueous solution. Further pain suppression effect of interfacial tension, the optimum emulsion system of the indices such as particle size, Zeta potential and stability test, that with the increase of mass fraction of SPI, the interfacial tension values presented a significant decline, shows that soybean protein isolated polysaccharide-stevia glycoside in oil-water interface combination form relatively stable interfacial film. In conclusion, when the mass fraction of STE and SSP in the composite emulsion is 0.5% and 0.3%, the SPI mass fraction higher than 1.0% can form a relatively stable O/W emulsion without adverse bitter taste.

Keywords soy protein isolate; soy soluble polysaccharide; stevia glycosides; bitterness; emulsion stability