

网络出版时间:2020-09-25 14:24 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2021.03.013
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20200924.1326.013.html

葛根粉-牛奶共混体系的相行为及稳定性研究

康慧婷^a, 安凯^a, 管连雄^a, 田大昕^{a,b}

(湖北民族大学 a 化学与环境工程学院, b 生物资源保护与利用湖北省重点实验室, 湖北恩施 445000)

【摘要】【目的】研究葛根粉初始质量浓度和混合物中牛奶体积分数对葛根粉-牛奶混合物相行为、稳定性及相关性质的影响,为该功能性复合饮料的开发提供基础数据。【方法】利用天然葛根粉与传统饮料牛奶通过共混法配制复合饮料,并通过浊度仪、Zeta 电位仪、粒径分析仪、差示扫描量热仪、正置荧光显微镜等多种仪器对混合体系予以表征,分析不同初始质量浓度葛根粉和不同体积分数牛奶混配的葛根粉-牛奶混合物的稳定性及相行为的变化。【结果】观察发现,当葛根粉初始质量浓度为 1 g/L 时,葛根粉-牛奶混合物未出现明显的相分离,而当葛根粉初始质量浓度增加到 25 g/L 时,混合物出现明显分层现象。葛根粉-牛奶共混体系表现出稳定、亚稳定、不稳定 3 种状态。初始质量浓度为 1 g/L 的葛根粉与任意体积分数的牛奶配制的葛根粉-牛奶混合物均表现稳定,无聚集体产生。当葛根粉初始质量浓度高于 5 g/L 且牛奶体积分数低于 40% 时,二者混合物会出现聚集现象,此时要得到稳定体系,则需将其中的牛奶体积分数增加到 40% 以上。混合物的浊度主要与牛奶体积分数有关。混合物 Zeta 电位的绝对值随牛奶体积分数的增大而增大。随葛根粉初始质量浓度的增加,混合物的粒径分布变宽且大粒径粒子的比例增加。向牛奶中添加葛根粉,可以使混合物的热学性能发生改变。正置荧光显微镜观测表明,随着牛奶体积分数增大,混合体系微观结构由不均匀逐渐向均匀转变。【结论】葛根粉-牛奶混合物的稳定性与葛根粉初始质量浓度及牛奶体积分数有关,随着葛根粉初始质量浓度的降低(即从 25 g/L 降至 1 g/L)或混合物中牛奶体积分数的增加(即从 0% 增至 100%),共混体系的稳定性增加。

【关键词】 葛根粉;牛奶;复合饮料

【中图分类号】 TS275.4

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2021)03-0110-08

Phase behavior and stability of pueraria-milk blend system

KANG Huiting^a, AN Kai^a, GUAN Lianxiong^a, TIAN Dating^{a,b}

(a School of Chemical and Environmental Engineering, b Key Laboratory of Biologic Resources Protection and Utilization of Hubei Province, Hubei Minzu University, Enshi, Hubei 445000, China)

Abstract: 【Objective】The effects of initial mass concentration of pueraria and volume fraction of milk on phase behavior, stability and related properties of the pueraria-milk mixture were studied to provide basic data for the development of this functional compound beverage. 【Method】In this work, a compound beverage was prepared by blending natural pueraria with milk (a traditional beverage). The blend system was characterized by turbidimeter, particle size analyzer, Zeta potentiometer, differential scanning calorimeter, and vertical fluorescence microscope. The stability and phase behavior of pueraria-milk mixture under different initial mass concentrations of pueraria and different volume fractions of milk were studied. 【Result】When the initial mass concentration of pueraria was 1 g/L, there was no phase separation in pueraria-milk mixture. When it was increased to 25 g/L, there was phase separation in the mixture. Pueraria-milk blend system showed three states of stable, metastable and unstable. The pueraria-milk mixture prepared from

【收稿日期】 2019-12-17

【基金项目】 国家自然科学基金项目(51263009)

【作者简介】 康慧婷(1992-),女,山西原平人,在读硕士,主要从事天然产物研究。E-mail:khtgfz@163.com

【通信作者】 田大昕(1968-),男,湖北巴东人,教授,博士,硕士生导师,主要从事天然产物研究。E-mail:tiandating@163.com

pueraria with initial mass concentration of 1 g/L and any volume fraction of milk was relatively stable and no aggregation occurred. When the initial mass concentration of pueraria was higher than 5 g/L and the volume fraction of milk was lower than 40%, the blend system began to aggregate. To obtain a stable system, the volume fraction of milk should be increased by up to 40% under this circumstance. The turbidity of the mixture was mainly related to volume fraction of milk. The absolute value of Zeta potential of the mixture increased with the increase of volume fraction of milk. As the initial mass concentration of pueraria increased, the particle size distribution of the mixture became wider and the proportion of large-sized particles increased. The thermal properties of the mixture could be altered by adding pueraria to milk. Besides, the upright fluorescence microscope showed that the microstructures of the mixture were changed from non-uniform to uniform with the variation of milk volume fraction. 【Conclusion】 The stability of pueraria-milk mixture was related to both initial mass concentration of pueraria and volume fraction of milk. With the decrease of initial mass concentration of pueraria (i. e. from 25 g/L to 1 g/L) or the increase of volume fraction of milk (i. e. ,from 0% to 100%), the stability increased.

Key words: pueraria; milk; compound beverage

随着人们健康意识的提高,功能性复合饮料已经逐渐受到人们的青睐。这些功能性复合饮料对人体健康具有促进作用,可以预防多种疾病,如降血压、降血糖、降血脂、减肥、防癌、防感染及抗过敏等。乳制品是一种被大部分消费者认可的天然且健康的饮料,具有丰富的营养,是世界上消费最多的饮料之一。长期以来,乳制品一直是添加营养成分的理想载体,如 Kiani 等^[1]将结冷胶(gellan)与酸奶复合配制了一种复合饮料;Li 等^[2]则将杏鲍菇多糖(*Pleurotus eryngii*)与酸奶复合配制了一种复合酸奶;Konuklar 等^[3]将 β -葡聚糖(β -glucan)作为添加物配制了一种低脂奶酪。但是,将多糖类物质加入蛋白质饮品中可引起相分离从而影响产品的稳定性,因此对于多糖-蛋白质之间相互作用的研究尤为重要。

目前,人们已对一些功能性多糖和蛋白质混合体系的相行为进行了研究。例如,Dai 等^[4]研究了魔芋葡甘聚糖和牛奶共混体系的稳定性和相行为,发现魔芋葡甘聚糖-牛奶混合物的稳定性与魔芋葡甘聚糖溶液的质量浓度和牛奶的体积分数有关;Ni 等^[5]研究了魔芋葡甘聚糖和玉米蛋白混合体系在不同混合比下的稳定性、微观结构和流变性能;Xiong 等^[6]研究了卵清蛋白-壳聚糖复合物凝聚后的相行为、热力学和流变学性质。这些研究有助于人们认识复合饮料中生物大分子之间的相互作用,因此生物大分子如多糖-蛋白质等的相互作用已经成为食品科学研究中的一个热点领域。

葛根粉来源于豆科类植物野葛和甘葛藤的块根,其主要成分为淀粉,还含有葛根粉素、异黄酮、大豆甙以及多种微量元素^[7-9],在传统医学领域中可用

作生育控制剂、强心剂和利尿剂,具有降血糖、降血脂及保肝等功效。葛根粉也是一种药食同源的物质^[10-11],长期食用对高血压、高血脂、高血糖及心脑血管疾病具有一定的预防作用,其中的膳食纤维则具有促消化、改善便秘的效果^[12]。此外,葛根粉中的大豆甙还具有解酒的作用。很显然,将葛根粉多糖作为功能组分添加到乳制品中,可以有效地提高乳制品的营养价值及产品附加值^[13],但目前关于葛根粉-牛奶混合体系的研究尚未见系统报道。由于生物大分子之间的不相容性,在特定条件下葛根粉与牛奶的混合物可能会出现不均匀沉降,从而会出现不良的外观,因此对葛根粉与牛奶共混体系的相关性质开展研究,探明其相行为和稳定性的规律,有助于人们科学调控该功能性复合饮料的配方。

为此,本研究将天然多糖葛根粉与传统饮料牛奶通过共混法配制一种复合饮料,并通过浊度仪、粒径分析仪、Zeta 电位仪、差示扫描量热仪(DSC)、正置荧光显微镜等多种仪器对混合体系予以分析表征,研究不同工艺条件下该共混体系的稳定性及相行为,以期为该复合饮料的开发提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料

葛根粉,食品级,湖北乡野农业食品有限公司;伊利高蛋白脱脂高钙奶粉,食品级,内蒙古伊利实业集团股份有限公司;尼罗红染色剂,分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;异硫氰酸荧光素,分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

1.2 样品配制

首先取适量葛根粉,加蒸馏水,于 75 ℃ 下机械搅拌 2 h,分别配制成不同初始质量浓度(1,5,10,15,20,25 g/L)的溶液;然后将奶粉加适量蒸馏水于 55 ℃ 机械搅拌 2 h,配成初始质量浓度为 60 g/L 的溶液;最后再将牛奶与葛根粉溶液分别按照不同体积比配制成 10 mL 的葛根粉-牛奶混合物,备用。

1.3 稳定性及相分离图绘制

将 60 g/L 牛奶与初始质量浓度分别为 1,5,10,15,20,25 g/L 的葛根粉溶液按照不同体积比配制成葛根粉-牛奶混合物,使混合物中牛奶的体积分数分别为 10%,20%,30%,40%,50%,60%,70%,80%,90% 和 100%,将配制的葛根粉-牛奶混合物倒入玻璃离心管中,室温静置 12 h,观察混合体系的相分离现象。

1.4 浊度测量

将 60 g/L 牛奶与初始质量浓度分别为 1,5,10,15,20,25 g/L 的葛根粉溶液按照不同体积比配制成葛根粉-牛奶混合物,使混合物中牛奶的体积分数分别为 0%,20%,40%,60%,80% 和 100%。室温条件下,取 1 mL 配制好的葛根粉-牛奶混合物,并用蒸馏水稀释 500 倍,缓慢注射到比色杯中 2/3 处,确保比色杯中无气泡产生,使用光电浊度计(WGZ-200,上海精密仪器仪表有限公司)测定其浊度。

1.5 Zeta 电位测量

将 60 g/L 牛奶与初始质量浓度分别为 1,5,10,15,20,25 g/L 的葛根粉溶液按照不同体积比配制成葛根粉-牛奶混合物,使混合物中牛奶的体积分数分别为 0%,20%,40%,60%,80% 和 100%。室温条件下,取 1 mL 配制好的葛根粉-牛奶混合物,用蒸馏水稀释 500 倍,将稀释后的样品缓慢注射到 Zeta 电位样品池中,确保样品池中无气泡产生,用 Zetasizer 激光粒度仪(Nano-ZS,马尔文仪器公司,英国)测定其 Zeta 电位。

1.6 粒径分布分析

将 60 g/L 牛奶与初始质量浓度分别为 1,5,10,15,20,25 g/L 的葛根粉溶液按照不同体积比配制成葛根粉-牛奶混合物,使混合物中牛奶的体积分数分别为 0%,20%,40%,60%,80% 和 100%。室温条件下,取 1 mL 配制好的葛根粉-牛奶混合物,用蒸馏水稀释 500 倍,注入聚苯乙烯比色皿中,在确保无气泡的情况下,使用 Zetasizer 激光粒度仪(Nano-ZS,马尔文仪器公司,英国)测量其粒度。每个样品测量 3 次,取平均值,然后用 Mastersizer 2000 软件

进行粒径分析。

1.7 差示扫描量热测试

将 60 g/L 牛奶与初始质量浓度为 10 g/L 的葛根粉按照不同体积比配制成葛根粉-牛奶混合物,使混合物中牛奶的体积分数分别为 0%,20%,40%,80% 和 100%,准确称取 3~5 mg 配制好的葛根粉-牛奶混合物放入铝坩埚中,密封,并用相同空坩埚作参比,利用差示扫描量热仪(DSC404F3,耐驰科学仪器公司,德国)对样品的热学性质进行研究。设定升温速率为 5 ℃/min,将样品从 25 ℃ 加热到 180 ℃,氮气吹扫气速率为 40 mL/min,保护气速率为 20 mL/min。

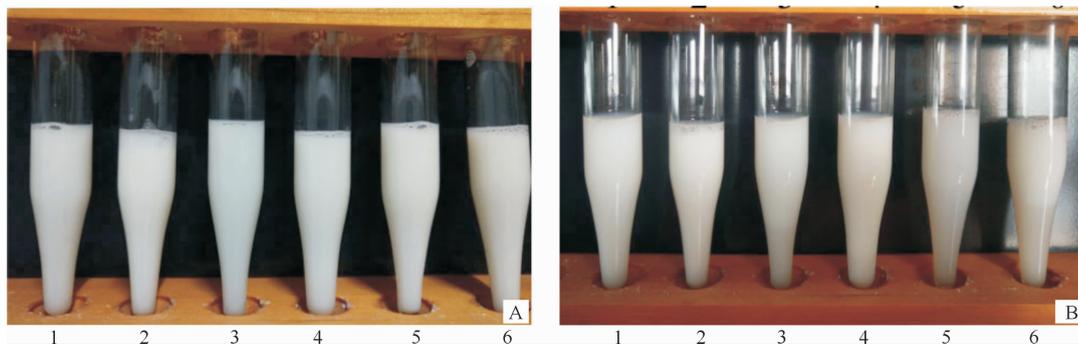
1.8 混合体系微观结构的正置荧光显微观察

首先将 60 g/L 牛奶与初始质量浓度为 10 g/L 的葛根粉,按照不同体积比配制成葛根粉-牛奶混合物,使混合物中牛奶的体积分数分别为 20%,40%,60% 和 80%;然后将 10 mL 的葛根粉-牛奶混合物和 100 μL 尼罗红乙醇溶液(1 g/L)混合,再加入 100 μL 异硫氰酸荧光素乙醇溶液(1 g/L),充分混合后取少量(20 μL)混合溶液滴到载玻片上,盖上盖玻片,利用正置荧光显微成像系统(Nikon DS-Ri1-U3,Nikon 公司,日本)对样品进行微观结构观测。其中,尼罗红在波长 534 nm 处激发,发射光设定在 586~753 nm;而异硫氰酸荧光素在波长 488 nm 处激发,发射光设定在 493~538 nm。

2 结果与分析

2.1 葛根粉-牛奶混合物相行为及稳定性分析

图 1 是葛根粉-牛奶混合物(混合物中牛奶体积分数为 20%)静置前和静置 12 h 后的外观形态。从图 1 可以看出,新配制的不同配比的葛根粉-牛奶混合体系分散均较为均匀。静置 12 h 后观察发现,当葛根粉初始质量浓度为 1 g/L 时,葛根粉-牛奶混合物中未观察到明显的相分离,说明其处于相稳定区域;当葛根粉初始质量浓度为 5 g/L 时,葛根粉-牛奶混合物开始出现分层现象,但分层不是很明显,此时应该处于亚稳定区域;当葛根粉初始质量浓度为 10~20 g/L 时,随着葛根粉初始质量浓度的继续增加,混合物分层现象变得更加明显;当葛根粉初始质量浓度为 25 g/L 时,混合物出现明显分层现象,上层为浅色乳浊液,下层为不透明絮状物,此时混合体系应处于不稳定区域。另外,对于发生相分离的葛根粉-牛奶混合物,经过振荡又会重新变得均匀。



A. 静置前;B. 静置 12 h. 1~6. 牛奶体积分数 20%, 葛根粉初始质量浓度分别为 1,5,10,15,20,25 g/L

A. Before standing;B. Standing for 12 h. 1-6. The volume fraction of milk was 20% and the initial mass concentrations of pueraria were 1,5,10,15,20, and 25 g/L, respectively

图 1 不同初始质量浓度葛根粉配制的葛根粉-牛奶混合物的外观形态观察

Fig. 1 Appearance and morphology of pueraria-milk mixture prepared with different initial mass concentrations of pueraria

葛根粉-牛奶混合物在室温下静置 12 h 后的相图见图 2。

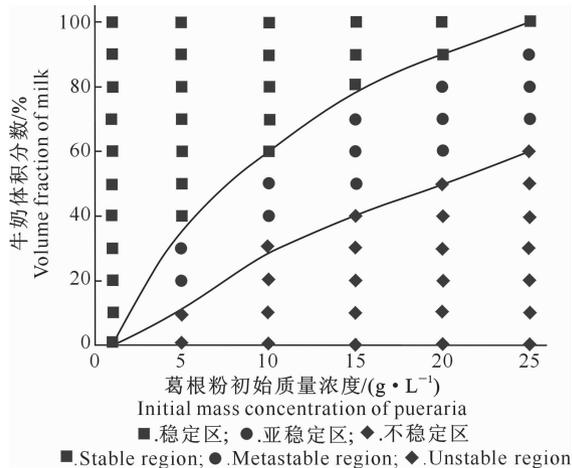


图 2 葛根粉-牛奶混合物室温静置 12 h 后的相图
Fig. 2 Phase separation diagram of pueraria-milk mixture at room temperature for 12 h

由图 2 可以发现,葛根粉-牛奶混合体系分为 3 个区域:稳定区域、亚稳定区域和不稳定区域,图中 2 条实线为 3 个区域的交界线。葛根粉-牛奶混合体系的稳定性与葛根粉初始质量浓度或混合物中牛奶的体积分数有关。一般地,随着牛奶体积分数的增加或者葛根粉初始质量浓度的降低,葛根粉-牛奶混合体系的稳定性增强。Dai 等^[4]研究的魔芋葡甘聚糖-牛奶体系中有类似的结果。对于乳蛋白和中性多糖共混体系来说,产生相分离的特征就是形成两个不同的相,每个相富含其中一种天然聚合物。一般认为,乳蛋白和许多中性多糖在热力学意义上是不相容的^[14]。由于绝大多数乳制品的主要成分是乳蛋白,因此向乳制品中添加某种中性多糖,都可能引起相分离,从而导致产品的稳定性和结构性性质受

到影响。图 2 中,当牛奶体积分数固定时,随着葛根粉初始质量浓度的增加,可逐渐观察到聚集体的形成,最终彻底出现相分离。Ni 等^[5]的魔芋葡甘聚糖和玉米蛋白的稳定性及相行为研究对此类现象进行了解释,即蛋白质和多糖在分子水平上的不相容性导致了相分离,此外重力作用和空间排斥也是造成蛋白质和多糖之间发生相分离的原因之一。

2.2 葛根粉-牛奶混合物浊度分析

浊度是由溶液中聚集体的质量和大小变化引起的,是蛋白质-多糖聚集或分解的结果^[15]。葛根粉初始质量浓度和牛奶体积分数的变化对葛根粉-牛奶混合物浊度的影响见图 3。

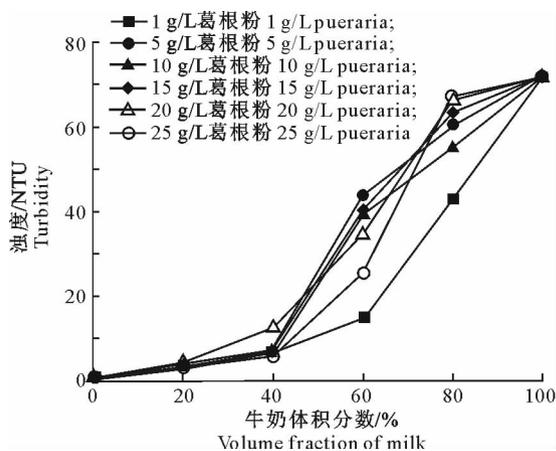


图 3 葛根粉初始质量浓度和牛奶体积分数对葛根粉-牛奶混合物浊度的影响

Fig. 3 Effects of initial mass concentration of pueraria and volume fraction of milk on turbidity of pueraria-milk mixture

从图 3 可以看出,葛根粉-牛奶混合物的浊度与混合物中的牛奶体积分数具有一定的相关性。当葛根粉初始质量浓度相同时,葛根粉-牛奶混合物的浊

度均随着牛奶体积分数的增加而增大,其中当牛奶体积分数为 40%~80%时,浊度迅速增大,这可能是混合物中某一组分开始集聚所致^[16]。另外,当葛根粉初始质量浓度较大(15~25 g/L)且牛奶体积分数为 80%时,混合物的浊度大都接近于纯牛奶,这与混合物中形成了较大的聚集体有关,同时也表明当葛根粉初始质量浓度较大时,需要体积分数更高的牛奶才能使混合体系更为稳定。结合图 2 也可以看出,当葛根粉初始质量浓度为 1 g/L 时,任意体积分数的牛奶都可与之形成稳定的共混体系;而当葛根粉初始质量浓度增至 15 g/L 时,牛奶体积分数则要达到 80%以上才可以达到稳定。Nobuhara 等^[17]在研究牛奶-大豆蛋白混合物时也有类似结果。

2.3 葛根粉-牛奶混合物的 Zeta 电位分析

胶体颗粒之间存在的吸附力和排斥力决定了胶体混合物的稳定性和其他物理化学性质^[18]。颗粒之间吸附力和排斥力的大小由颗粒表面电荷所决定,并且颗粒表面电荷对混合物中颗粒的聚集起着重要作用,Zeta 电位是分散介质和附着到分散液滴的固定液体层之间的电位差,是表征液体分散体系稳定性的重要指标。因此可以通过测量 Zeta 电位来评估样品表面的电荷,继而评估样品的稳定性^[19]。一般地,Zeta 电位值越大的混合体系被认为是相对稳定的体系^[20]。分散粒子越小,Zeta 电位的绝对值越高,体系越稳定,即具有较高 Zeta 电位绝对值的乳液是静电稳定的;反之,具有低 Zeta 电位绝对值的乳液倾向于凝结或絮凝,即颗粒间的吸引力超过了排斥力,粒子分散受到破坏。图 4 为葛根粉初始质量浓度和混合物中牛奶体积分数对葛根粉-牛奶混合物 Zeta 电位的影响情况。由图 4 可以看出,葛根粉-牛奶混合物的 Zeta 电位值均为负值且绝对值都小于 30 mV。随着混合物中牛奶体积分数的增大,混合物的 Zeta 电位绝对值逐渐增大,表明混合体系逐渐趋于稳定。

结合图 2 可知,葛根粉-牛奶混合物 Zeta 电位的测定结果与相图分析结果相一致。当葛根粉初始质量浓度相同时,混合物中牛奶体积分数越高,其 Zeta 电位绝对值越大,混合体系越稳定。当混合物中牛奶体积分数相同时,随着葛根粉初始质量浓度的增大,Zeta 电位绝对值总体减小,混合体系越不稳定。当葛根粉初始质量浓度为 1 g/L、牛奶体积分数为 20%~100%时,葛根粉-牛奶混合物的 Zeta 电位绝对值变化较小,且均接近 25 mV,因此该初始质量浓度下的混合物较为稳定,适宜配制成复合饮料。

本研究中,纯牛奶的 Zeta 电位绝对值较所有葛根粉-牛奶混合体系大,说明葛根粉初始质量浓度的进一步增加会降低混合物的稳定性。Sun 等^[21]发现,多糖-蛋白质混合体系的稳定性是静电排斥和空间位阻共同影响的结果。如果溶剂条件能使聚合物链向连续相中延伸,那么胶体颗粒上连接的聚合物可以提供抗聚集的空间位阻^[22]。本研究中,葛根粉溶液与牛奶溶液的 Zeta 电位值均为负值。因此,葛根粉链无法连接在牛奶蛋白质粒子表面,进而可能导致相分离。

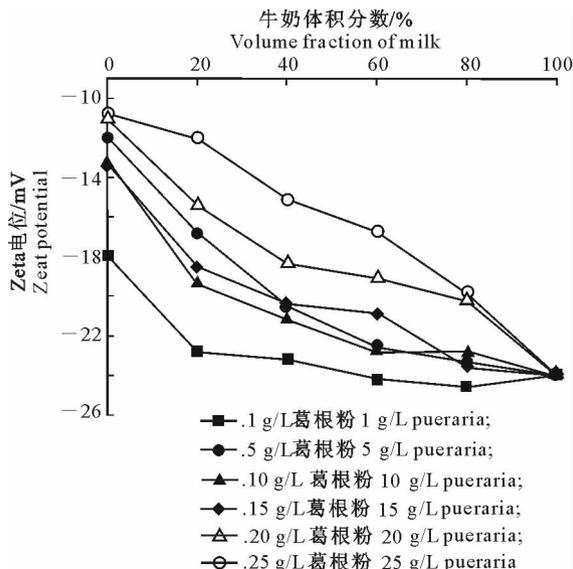


图 4 葛根粉初始质量浓度和牛奶体积分数对葛根粉-牛奶混合物 Zeta 电位的影响

Fig. 4 Effects of initial mass concentration of pueraria and volume fraction of milk on Zeta potential of pueraria-milk mixture

2.4 葛根粉-牛奶混合物的粒径分析

葛根粉初始质量浓度和牛奶体积分数对葛根粉-牛奶混合物粒径的影响见图 5。由图 5 可以看出,葛根粉-牛奶混合物的粒径范围大致在 10~500 nm。混合物颗粒的大小主要受蛋白质和多糖共同作用的影响^[23]。当葛根粉初始质量浓度为 1 g/L、牛奶体积分数为 20%~100%时(图 5-A),葛根粉-牛奶混合物的粒径分布几乎相同,这说明用初始质量浓度为 1 g/L 的葛根粉配制的混合物均比较稳定,这与前面的相图和 Zeta 电位分析结果相一致。随着葛根粉初始质量浓度的增大(从图 5-A 至图 5-F),混合物的粒径分布范围明显增加,而且大粒径颗粒比例也明显增多。特别地,当葛根粉初始质量浓度为 25 g/L 时(图 5-F),葛根粉-牛奶混合物的粒径分布最不均匀,而且大颗粒所占比例也达到最大。另外值得指出的是,当葛根粉初始质量浓度较低时

(图 5-A),牛奶体积分数对混合物粒径的影响不是十分明显;但当葛根粉初始质量浓度特别大时(图 5-F),随着牛奶体积分数的增大,混合物粒径分布逐渐向纯牛奶的粒径分布靠近(该结果意味着葛根粉初始浓度对混合物粒径影响更大)。上述结果均说明,随着混合物中葛根粉初始浓度的增加,牛奶与葛根粉相互聚集的趋势增加,因而体系易发生相分离,

体系从稳定状态逐渐向不稳定状态转变。上述结果与相图的分析结果相对应。一般地,向牛奶中添加葛根粉不会明显改变混合体系的粒径,这表明乳蛋白与葛根粉之间未发生可以测量的吸附作用。Langendorff 等^[24]在多糖-酪蛋白体系的研究中也得到了类似的结果,认为多糖在其体系内不会被酪蛋白胶束吸附。

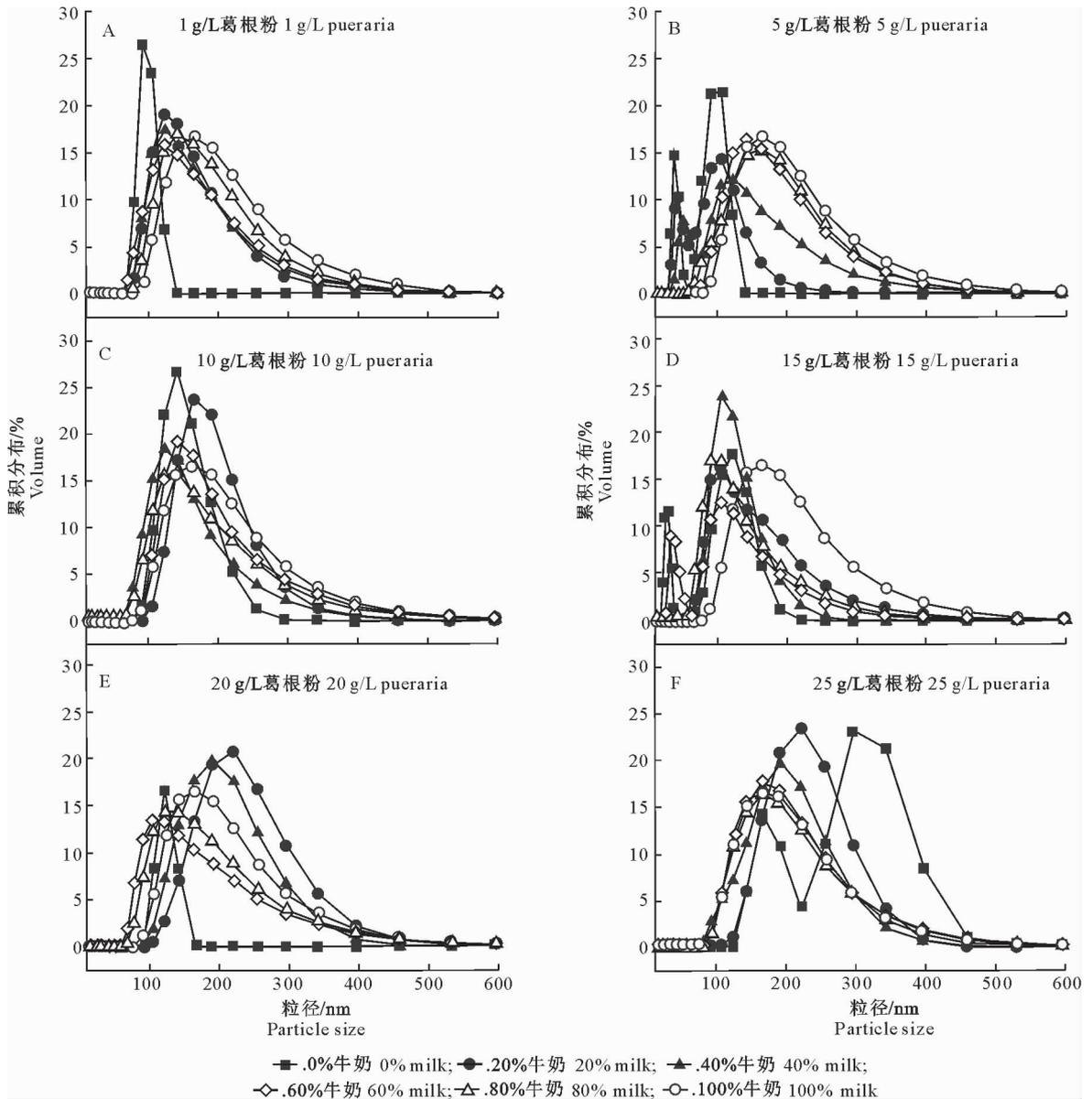


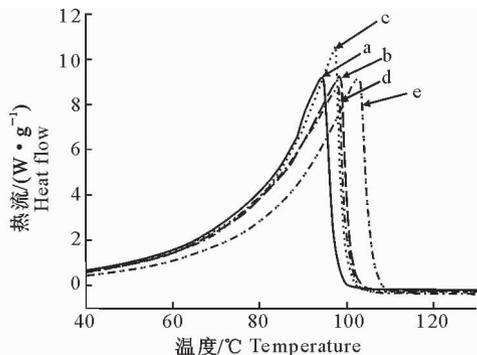
图 5 葛根粉初始质量浓度和牛奶体积分数对葛根粉-牛奶混合物粒径的影响
 Fig. 5 Effect of initial mass concentration of pueraria and volume fraction of milk on particle size of pueraria-milk mixture

2.5 葛根粉-牛奶混合物差示扫描量热分析

图 6 是葛根粉初始质量浓度为 10 g/L、混合物中牛奶体积分数分别为 0%, 20%, 40%, 80% 和 100% 时葛根粉-牛奶混合物的差示扫描量热曲线。比较图 6 中曲线 a 和 b 可以看出,纯葛根粉(0%牛

奶)最高吸热峰对应的温度较纯牛奶(100%牛奶)最高吸热峰对应的温度高,向牛奶中加入葛根粉溶液可以使牛奶的最高吸热峰温度升高。对比相稳定区(图 6 曲线 e)、亚稳定区(图 6 曲线 d)和相分离区(图 6 曲线 c)的混合物,处于相稳定区的混合物对

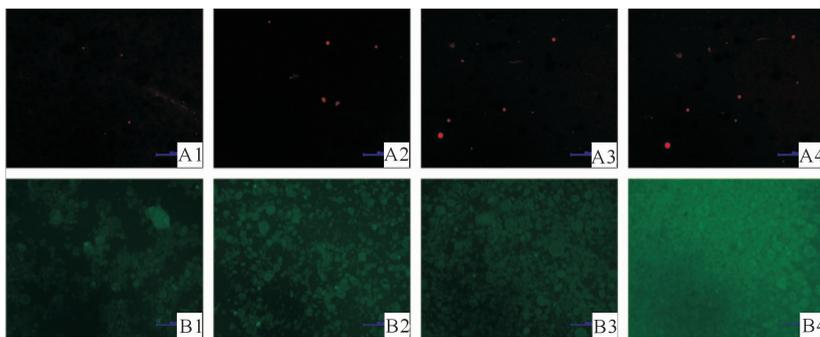
应的最高吸热峰温度最高,亚稳定区次之,相分离区最小。由此说明,向牛奶中添加葛根粉,可以使牛奶的热学性质得到改变。当然,更系统的影响规律还有待于后续进一步探讨。



a. 100%牛奶 100% milk; b. 10 g/L 葛根粉 10 g/L pueraria;
c. 10 g/L 葛根粉+20%牛奶 10 g/L pueraria+20% milk;
d. 10 g/L 葛根粉+40%牛奶 10 g/L pueraria+40% milk;
e. 10 g/L 葛根粉+80%牛奶 10 g/L pueraria+80% milk

图 6 牛奶体积分数对葛根粉-牛奶混合物热学性能的影响

Fig. 6 Effect of volume fraction of milk on thermal property of pueraria-milk mixture



葛根粉初始质量浓度固定为 10 g/L; A. 乳蛋白; B. 葛根粉。A1 与 B1. 牛奶体积分数 20%; A2 与 B2. 牛奶体积分数 40%;
A3 与 B3. 牛奶体积分数 60%; A4 与 B4. 牛奶体积分数 80%

The initial mass concentration of pueraria was 10 g/L; A. Milk protein; B. Pueraria. A1 and B1. The volume fraction of milk was 20%;
A2 and B2. The volume fraction of milk was 40%; A3 and B3. The volume fraction of milk was 60%;
A4 and B4. The volume fraction of milk was 80%

图 7 不同牛奶体积分数下葛根粉-牛奶混合物的正置荧光显微镜观察结果($\times 200$)

Fig. 7 Upright fluorescence microscopic images of pueraria-milk mixture with different volume fractions of milk($\times 200$)

3 结论

葛根粉是一种药食同源的天然产物,具有降血糖、降血脂、降血压及保肝等功能,将葛根粉添加到牛奶中有望制备一种新型功能性复合饮料。本研究将不同初始质量浓度葛根粉与不同体积分数的牛奶通过共混法配制了葛根粉-牛奶复合饮料,研究表明,所配制的葛根粉-牛奶混合物具有不同的稳定性和相行为,葛根粉-牛奶混合物会表现出稳定、亚稳定、不稳定 3 种状态,且随着葛根粉初始质量浓度的降低或混合物中牛奶体积分数的增加,葛根粉-牛奶

2.6 葛根粉-牛奶混合物的正置荧光显微镜观察

用尼罗红和异硫氰酸荧光素分别对蛋白质和多糖进行染色^[25-26]。当混合物中葛根粉的初始质量浓度为 10 g/L,牛奶体积分数分别为 20%, 40%, 60%, 80%时,对葛根粉-牛奶混合物进行正置荧光显微观察,结果见图 7。图 7 显示,当牛奶体积分数较小(20%)时,葛根粉-牛奶混合物中有聚集体出现,这可能是因为低黏度的葛根粉形成的胶体网络形结构不足以将蛋白质颗粒全部覆盖,从而极易导致相分离发生;随着混合物中牛奶体积分数的增大,蛋白质相的比例逐渐增大,混合物微观结构从不均匀状态到较均匀状态再到均匀状态转变。这与 Li 等^[27]报道的大豆蛋白聚集体-葡聚糖混合物的结果类似。总之,对葛根粉-牛奶混合物而言,当葛根粉初始质量浓度较高或混合物中牛奶体积分数较低时,混合物均为不稳定体系。此外,随着混合物中牛奶体积分数的增加,混合体系逐渐趋于均匀。

混合物的稳定性会随之增强,其中以初始质量浓度为 1 g/L 的葛根粉配制的葛根粉-牛奶混合物最为稳定,无聚集体产生。当葛根粉初始质量浓度高于 5 g/L 时,葛根粉-牛奶混合物开始出现聚集现象,此时要想得到稳定体系,则要增加牛奶的体积分数。综合考虑成本与性能,葛根粉-牛奶复合饮料的配方推荐为:葛根粉初始质量浓度为 1 g/L,混合物中牛奶体积分数为 80%。总之,对葛根粉-牛奶混合物的稳定性、相行为及其他相关性质的研究有助于揭示复合饮料中生物大分子的相互作用,同时也为这类复合饮料的配制提供了基础数据。

[参考文献]

- [1] Kiani H, Mousavi M E, Razavi H, et al. Effect of gellan, alone and in combination with high-methoxy pectin, on the structure and stability of doogh, a yogurt-based Iranian drink [J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24(8): 744-754.
- [2] Li S, Shah N P. Effects of *Pleurotus eryngii* polysaccharides on bacterial growth, texture properties, proteolytic capacity, and angiotensin-I-converting enzyme-inhibitory activities of fermented milk [J]. Journal of Dairy Science, 2015, 98(5): 2949-2961.
- [3] Konuklar G, Inglett G E, Warner K, et al. Use of a β -glucan hydrocolloidal suspension in the manufacture of low-fat Cheddar cheeses; textural properties by instrumental methods and sensory panels [J]. Food Hydrocolloids, 2004, 18(4): 535-545.
- [4] Dai S, Jiang F, Shah N P, et al. Stability and phase behavior of konjac glucomannan-milk systems [J]. Food Hydrocolloids, 2017, 73: 30-40.
- [5] Ni X, Wang K, Wu K, et al. Stability, microstructure and rheological behavior of konjac glucomannan-zein mixed systems [J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 188: 260-267.
- [6] Xiong W, Ren C, Jin W, et al. Ovalbumin-chitosan complex coacervation: phase behavior, thermodynamic and rheological properties [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 61: 895-902.
- [7] Santosh N, Mohan K, Royana S, et al. Hepatotoxicity of tubers of Indian Kudzu (*Pueraria tuberosa*) in rats [J]. Food and Chemical Toxicology, 2010, 48(4): 1066-1071.
- [8] Khan R A, Agrawal P K, Kapil R S. Puetuberosanol, an epoxychalconol from *Pueraria tuberosa* [J]. Phytochemistry, 1996, 42(1): 243-244.
- [9] 张丽梅, 徐佳, 周潭, 等. 葛根中黄酮提取工艺的优化及抗氧化作用 [J]. 吉林大学学报(理学版), 2017, 55(4): 1020-1024.
- Zhang L M, Xu J, Zhou T, et al. Optimization of extraction technology and antioxidation of flavonoids in *Pueraria lobata* [J]. Journal of Jilin University (Science Edition), 2017, 55(4): 1020-1024.
- [10] 唐溶雪, 宋鲁青, 李明, 等. 不同淀粉类原料对青团品质的影响 [J]. 华中农业大学学报, 2019, 38(5): 130-136.
- Tang R X, Song L Q, Li M, et al. Effects of starch raw materials on the qualities of Qingtuan [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2019, 38(5): 130-136.
- [11] 张丽娟, 李燕, 周剑丽, 等. 一种降糖代餐粉的配方研究及质量评价 [J]. 食品研究与开发, 2019, 40(9): 95-100.
- Zhang L J, Li Y, Zhou J L, et al. Formulation of a kind of hypoglycemic meal-replacement powder and quality evaluation [J]. Food Research and Development, 2019, 40(9): 95-100.
- [12] Cao H, Liu Q. Effects of temperature and common ions on binding of puerarin to BSA [J]. Journal of Solution Chemistry, 2009, 38(8): 1071-1077.
- [13] Sawale P D, Singh R R B, Arora S. Stability and quality of herb (*Pueraria Tuberosa*)-milk model system [J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(2): 1089-1095.
- [14] Grinberg V Y, Tolstoguzov V B. Thermodynamic incompatibility of proteins and polysaccharides in solutions [J]. Food Hydrocolloids, 1997, 11(2): 145-158.
- [15] Ru Q, Wang Y, Lee J, et al. Turbidity and rheological properties of bovine serum albumin/pectin coacervates: effect of salt concentration and initial protein/polysaccharide ratio [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 88(3): 838-846.
- [16] Xia J, Dubin P L, Dautzenberg H. Light scattering, electrophoresis, and turbidimetry studies of bovine serum albumin-poly(dimethyl diallyl ammonium chloride) complex [J]. Langmuir, 1993, 9(8): 2015-2019.
- [17] Nobuhara T, Matsumiya K, Nambu Y, et al. Stabilization of milk protein dispersion by soybean soluble polysaccharide under acidic pH conditions [J]. Food Hydrocolloids, 2014, 34: 39-45.
- [18] Given P S. Encapsulation of flavors in emulsions for beverages [J]. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 2009, 14(1): 43-47.
- [19] Gibson N, Shenderova O, Luo T J M, et al. Colloidal stability of modified nanodiamond particles [J]. Diamond and Related Materials, 2009, 18(4): 620-626.
- [20] Schwarz C. Solid lipid nanoparticles (SLN) for controlled drug delivery: II. Drug incorporation and physicochemical characterization [J]. Journal of Microencapsulation, 1999, 16(2): 205-213.
- [21] Sun N, Liang Y, Yu B, et al. Interaction of starch and casein [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 60: 572-579.
- [22] Currie E P K, Norde W, Stuart M A C. Tethered polymer chains: surface chemistry and their impact on colloidal and surface properties [J]. Advances in Colloid and Interface Science, 2003, 100: 205-265.
- [23] Semenova M. Protein-polysaccharide associative interactions in the design of tailor-made colloidal particles [J]. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 2017, 28: 15-21.
- [24] Langendorff V, Cuvelier G, Michon C, et al. Effects of carrageenan type on the behaviour of carrageenan/milk mixtures [J]. Food Hydrocolloids, 2000, 14(4): 273-280.
- [25] Gaygadzhiev Z, Hill A, Corredig M. Influence of the emulsion droplet type on the rheological characteristics and microstructure of rennet gels from reconstituted milk [J]. Journal of Dairy Research, 2009, 76(3): 349-355.
- [26] Tromp R H, van de Velde F, van Riel J, et al. Confocal scanning light microscopy (CSLM) on mixtures of gelatine and polysaccharides [J]. Food Research International, 2001, 34(10): 931-938.
- [27] Li X, Deng F, Hua Y, et al. Effect of molecular weight of dextran on the phase behavior and microstructure of preheated soy protein/dextran mixtures [J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 72(1): 160-168.