

分析测试

PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相萃取安赛蜜的研究

蔡珍珍¹, 张旭男^{1,2}, 宗薇^{1,2*}

(1. 齐齐哈尔大学化学与化学工程学院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006;
2. 黑龙江省工业大麻加工技术创新中心, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

摘要:建立了聚乙二醇(PEG)2000-磷酸氢二钾双水相体系萃取人工合成甜味剂安赛蜜的方法。首先采用浊点滴定法对不同分子量的PEG与磷酸氢二钾的成相能力进行对比,确定成相组分;其次考察了成相物质对安赛蜜吸光度的影响,利用紫外分光光度计检测PEG 2000-磷酸氢二钾双水相体系对安赛蜜的萃取能力,在2~20 μg/mL的范围内线性关系良好,相关系数达0.999,方法检出限(LOD)和定量限(LOQ)分别为0.33、1.1 μg/mL。对自来水样中人工合成甜味剂安赛蜜的加标回收率可达92.4%~95.0%,RSD为1.4%~1.7%。该方法简单、快速、易于操作,为食品及环境中安赛蜜的检测提供了理论基础。

关键词:双水相体系;聚乙二醇;磷酸氢二钾;安赛蜜;紫外分光光度计

中图分类号:0652.62;0657.32 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-4320(2025)S1-0401-06

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2025.S1.073

Study on extraction of acesulfame K by PEG 2000-K₂HPO₄ aqueous two-phase system

CAI Zhen-zhen¹, ZHANG Xu-nan^{1,2}, ZONG Wei^{1,2*}

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Qiqihar University, Qiqihar 161006, China;
2. Heilongjiang Provincial Industrial Hemp Processing Technology Innovation Center, Qiqihar 161006, China)

Abstract: A method is established for the extraction of synthetic acesulfame K sweetener by an aqueous two-phase system consisting of polyethylene glycol (PEG) 2000-dipotassium hydrogen phosphate. Firstly, the cloud point titration method is employed to compare the phase formation ability of PEG with different relative molecular weight and dipotassium hydrogen phosphate to determine the phase composition. Secondly, the influence of phase forming substances on the absorbance of acesulfame K is evaluated. The extraction capacity of PEG 2000-dipotassium hydrogen phosphate aqueous two-phase system is detected by means of ultraviolet spectrophotometer. It is verified that there is a good linear relationship in the range of 2–20 μg·mL⁻¹, with a correlation coefficient of 0.999. The limit of detection (LOD) and limit of quantitation (LOQ) are 0.33 μg·mL⁻¹ and 1.1 μg·mL⁻¹, respectively. The recovery rates of acesulfame K in water samples are 92.4%–95.0% and RSD is 1.4%–1.7%. The method is simple, rapid and easy to operate, which provides a theoretical basis for the detection of acesulfame K in foodstuffs and in the environment.

Key words: aqueous two-phase system; polyethylene glycol; dipotassium phosphate; acesulfame K; ultraviolet visible spectrophotometer

甜味剂是一类可以提升食品甜味和口感的添加剂,按来源可以分为天然类和人工合成类甜味剂,相比于山梨糖醇、麦芽糖醇等天然类甜味剂,人工合成类甜味剂如安赛蜜、阿斯巴甜等具有甜度高、热量低、价格低廉、不易发生龋齿等优点,在食品生产中应用极其广泛^[1]。以前,人们常用人造甜味剂治疗肥胖和糖尿病,但最近人们发现人造甜味剂会影响人体和动物肠道中的葡萄糖吸收以及胰岛素和肠促胰岛素的分泌,此外人造甜味剂在肥胖、心血管疾病和死亡率方面也有副作用^[2-3]。

安赛蜜是第4代合成甜味剂,化学名称为乙酰胺酸钾,热稳定性较强,在体内不代谢、不蓄积,可以单独使用,也可以与其他甜味剂如阿斯巴甜混合

使用,并产生很强烈的协同效应,可广泛用于固体饮料、酱菜类、蜜饯及餐桌用甜味料等各种食品,被认为是最有前途的甜味剂之一^[4-5]。近年来,人工合成甜味剂的安全性越来越引起人们的重视,长期过量食用磺胺类人工合成甜味剂超标的食品会对人体的健康造成危害^[6],我国食品安全标准中对各种类型食品中安赛蜜的最大使用量进行了严格的规定,但仍然存在安赛蜜使用超标的现象。此外,安赛蜜投放至环境中也可能成为污染物对生态环境造成负面影响^[7],因此对安赛蜜的检测有着重要意义。

双水相体系(ATPS)是一种基于两种水溶液混合物的液-液分离方法,具有操作条件温和、生物相

收稿日期:2024-05-13;修回日期:2024-11-21

基金项目:国家自然科学基金项目(22407068);黑龙江省省属高等学校基本科研业务费科研项目(145309611)

作者简介:蔡珍珍(1998-),女,硕士生,研究方向为液相萃取,caichinz@163.com;宗薇(1987-),女,博士,副教授,研究方向为生物化学分析及药物载体控释给药技术的研究,通讯联系人,viahit@126.com。

容性好、操作简单迅速、对环境友好、易于放大等优点^[8-9]。当将目标化合物加入到双水相体系后,目标物因为受体积排斥力、疏水作用和静电相互作用等而被分配到双水相的其中一相中^[10]。自双水相体系的实际应用被发现以来,酶^[11]、蛋白质^[12-14]、核酸^[15]、病毒^[16]等生物分子的纯化一直是双水相体系的优势。目前,双水相体系已被证明具有从复杂的基质中对目标化合物进行高效浓缩、富集、回收和纯化的能力^[17],并且已经成功地应用于食品中农药、兽药残留的检测^[18-19]、贵金属的分离^[20]、活性物质的提取^[21-22]等方面,因此双水相体系有望成为一种有效的甜味剂检测方法。

本文以聚乙二醇(PEG)和磷酸氢二钾(K_2HPO_4)为原料,首先以浊点滴定法结合经典的 Merchuk 方程拟合分析,探究了不同分子量的 PEG 与 K_2HPO_4 的成相能力。随后利用 PEG 2000 与 K_2HPO_4 形成双水相体系对人造甜味剂安赛蜜进行萃取,以紫外-可见分光光度法检测该体系对安赛蜜的萃取能力,并确定 PEG 2000- K_2HPO_4 双水相体系萃取浓缩安赛蜜的最佳条件,并进行实际水样的检测和分析。

1 实验部分

1.1 仪器与试剂

TU-1901 双光束紫外-可见分光光度计,上海沪粤科学仪器有限公司;FA2004C 万分之一电子天平(0.001 g)、JC-QX-6.2L 数显超声波清洗机,青岛聚创环保设备有限公司;TG16G 台式高速医用离心机,盐城市凯特实验仪器有限公司;WYA-2W 阿贝折射仪,上海仪电物理光学仪器有限公司;DDS-307 电导率仪,上海仪电科学仪器股份有限公司;SH-3C 数显加热磁力搅拌器,天津市泰斯特仪器有限公司;P230 液相色谱仪,大连依利特仪器有限公司。

安赛蜜、PEG(分子量 2 000、8 000、20 000),上海麦克林生化科技股份有限公司;无水 K_2HPO_4 ,天津市福晨化学试剂厂;0.22 μm 水系滤膜,天津市领航实验设备股份有限公司;实验用水均为去离子水。

1.2 实验方法

1.2.1 相图及系线的确定

(1) 相图

相图是表征 ATPS 组成与溶液温度、pH 等参数之间关系的重要工具,还可以预测两种或多种不同成分分别在 ATPS 中的质量分数。采用浊点滴定

法^[23-24]分别绘制 PEG 分子量为 2 000、8 000 和 20 000 的 PEG- K_2HPO_4 双水相体系的双节线相图。用万分之一电子天平精确称量一定质量(m_s)的 K_2HPO_4 于西林瓶中,加入一定质量(m_{wi})的去离子水溶解,使用加热磁力搅拌器控制体系温度为 25℃。向体系中逐滴加入 PEG,充分摇晃或采用磁力搅拌使其混合充分,直至溶液恰好由澄清变为浑浊,记录加入 PEG 的质量(m_{pi});然后再向体系中加入一定质量(m_{wi})去离子水,体系由浑浊变为澄清,再逐滴加入 PEG 使体系恰好浑浊,记录加入 PEG 的质量(m_{pi})。按照如上步骤反复操作,计算各次浑浊时 K_2HPO_4 的质量分数(w_{si})和 PEG 的质量分数(w_{pi}),计算公式^[21]如下(其中, $i=1,2,3,\dots,n$):

$$w_{si}/\% = [m_s / (m_s + \sum m_{wi} + \sum m_{pi})] \times 100 \quad (1)$$

$$w_{pi}/\% = [\sum m_{pi} / (m_s + \sum m_{wi} + \sum m_{pi})] \times 100 \quad (2)$$

分别以 w_{si} 和 w_{pi} 为横、纵坐标利用 OriginPro 2022 作图,即可得到 PEG- K_2HPO_4 双水相的双节线图。

分别用分子量为 2 000、8 000、20 000 的 PEG 采用浊点滴定法测定 PEG- K_2HPO_4 体系在 25℃ 时的双节线数据,由数据绘制双节线相图,再由 Merchuk 方程拟合,拟合方程^[25-26]如下:

$$Y = A \exp[(B \times X^{0.5}) - (C \times X^3)] \quad (3)$$

式中: Y 、 X 分别为顶相组成和底相组成的质量分数,%; A 、 B 、 C 为最小二乘回归拟合参数。

(2) 系线

系线连接了位于双节曲线上的两个节点,系线长度是两相成分差异的数值度量,经常用于描述两相之间的溶质分配趋势。准确称取 0.600 0 g PEG 2000 和 1.000 0 g K_2HPO_4 于 10 mL 离心管中,用移液枪准确移取 2.4 mL 去离子水,涡旋使其充分溶解,经 3 000 r/min 离心 10 min,形成 PEG 2000- K_2HPO_4 初始组成(质量分数,下同)为 15%~25% 的双水相体系。待分层后分别读取上相(PEG 相)和下相(K_2HPO_4 相)的体积,并称量各相质量,用阿贝折射仪和电导率仪确定上、下相中含有的 PEG 和 K_2HPO_4 的质量分数后,利用 OriginPro 2022 作图。控制体系总质量为 4 g,同方法制备初始组成分别为 10%~20%、20%~30% 的双水相体系,并绘制各初始组成的系线图。

1.2.2 双水相萃取方法

(1) 安赛蜜萃取体系的制备

精确称取安赛蜜标准品 10 mg,用去离子水溶

解并定容至 100 mL, 摇匀, 超声 3 min, 制得 100 μg/mL 的安赛蜜标准溶液, 于 -4℃ 条件下保存备用。准确称取 0.600 0 g PEG 2000 和 1.000 0 g K₂HPO₄ 于 10 mL 离心管中, 加入安赛蜜标准溶液 2.4 mL, 经 3 000 r/min 离心 10 min, 形成 PEG 2000-K₂HPO₄ 初始组成为 15%~25% 的双水相体系。待分层后用移液枪准确移取 PEG 相 0.5 mL 适当稀释, 同样方法制备 PEG 2000-K₂HPO₄ (15%~25%) 双水相体系的上相参比溶液, 用于紫外-可见分光光度法安赛蜜吸光度值的检测。

(2) 安赛蜜最佳萃取条件的确定

确定安赛蜜的最大吸收波长, 配制与各初始组成 PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相体系相对应的安赛蜜紫外吸收标准曲线浓度梯度, 安赛蜜的质量浓度为 2~20 μg/mL。

固定初始组成为 15%~25%、温度 20℃, 在不同离心时间 (5、6、7、8 min) 下萃取 30 min, 研究离心时间对安赛蜜回收率的影响。

固定萃取温度为 20℃, 在不同初始组成 (10%~20%、15%~25%、20%~30%) 下萃取 30 min, 研究初始组成对安赛蜜回收率的影响。

固定最佳初始组成, 在不同温度 (25、35、45、55℃) 下萃取 30 min, 研究温度对安赛蜜回收率的影响, 确定 PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相体系萃取浓缩安赛蜜的最佳工艺。

(3) 安赛蜜回收率

在最佳条件下, 进行 5 组平行实验, 每组连续测定 3 次, 取平均值, 由标准曲线计算经双水相萃取后上相中安赛蜜的回收率和相对标准偏差 (RSD), 公式^[27-28]如下:

$$Y/\% = [RK/(RK + 1)] \times 100 \quad (4)$$

$$R = V_1/V_2 \quad (5)$$

$$K = \rho_1/\rho_2 \quad (6)$$

式中: K 为安赛蜜在双水相体系分配系数; R 为双水相体系上下相的体积比; Y 为安赛蜜在上相中的回收率, %; V_1 为双水相体系上相体积, mL; V_2 为双水相体系下相体积, mL; ρ_1 为双水相系统上相安赛蜜的质量浓度, μg/mL; ρ_2 为双水相系统下相安赛蜜的质量浓度, μg/mL。

1.2.3 样品制备

取适量自来水水样, 经 0.22 μm 水系滤膜过滤, 用于 PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相体系浓缩及检测水样中安赛蜜。

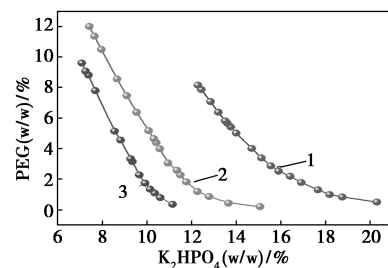
2 结果与讨论

2.1 相图及系线

由浊点滴定法结合 Merchuk 方程拟合的 K₂HPO₄ 与 PEG (分子量 2 000、8 000、20 000) 组成的双水相体系双节线图如图 1(a) 所示。

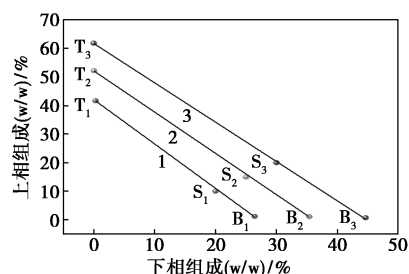
双节点曲线下方对应于单相区, 双节点曲线上方为双相区, 即体系可以形成互不相溶的两个水相。由图 1(a) 可见, 在盐种类不变的情况下 (K₂HPO₄), 双相区 PEG 20000 > PEG 8000 > PEG 2000, 即 PEG 的分子量越大, 双节点曲线的双相区也越大, 所需的盐的质量越小。这可能是因为在相同温度下, 随着 PEG 分子量的增大, PEG 黏度增大、疏水作用增强、成相更容易。为方便实验操作, 选用 PEG 2000 与 K₂HPO₄ 组成双水相体系进行后续研究。

通过对各初始浓度的 PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相体系上、下相中含有的 PEG 和 K₂HPO₄ 的质量分数进行测定, 绘制了 PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相体系的系线图, 如图 1(b) 所示。其中, TB 为一条系线, S 代表对应的初始组成, 由图 1(b) 可知, 系线越长, 其初始相组成成分含量也越大, 上相中 PEG 2000 和下相中 K₂HPO₄ 的质量分数就越高, 两相成分差异增大, 相分离越完全。



1—PEG 2000; 2—PEG 8000; 3—PEG 20000

(a) 不同分子量 PEG-K₂HPO₄ 体系的相图



1—10%~20%; 2—15%~25%; 3—20%~30%

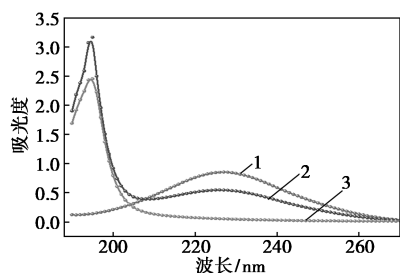
(b) 不同初始组成的系线图

图 1 PEG-K₂HPO₄ 体系相图及系线图

2.2 安赛蜜紫外最大吸收波长的确定

通过紫外光谱扫描安赛蜜和 PEG 2000 -

K_2HPO_4 双水相体系,结果如图 2 所示。



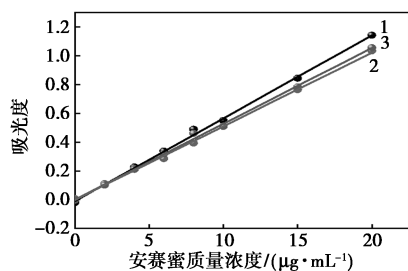
1—安赛蜜;2—安赛蜜+上相;3—上相

图 2 紫外光谱图

安赛蜜在 228 nm 处有最大吸收,PEG 2000 相在 192 nm 处有最大吸收,且在 228 nm 处几乎未产生吸收。用该双水相体系萃取安赛蜜,上相 PEG 2000 对安赛蜜的检测干扰可忽略不计,且安赛蜜的最大吸收波长未发生改变。故用紫外分光光度法检测 PEG 2000 相中的安赛蜜方法可行,安赛蜜的检测波长为 228 nm。

2.3 标准曲线的绘制

按照 1.2.2(1)中空白样的稀释方法,分别绘制双水相体系初始组成为 10%~20%、15%~25%、20%~30%时对应 PEG 2000 质量浓度的安赛蜜标准曲线,目的是消除 PEG 2000 对安赛蜜检测的干扰。图 3 为标准曲线结果,得到的标准曲线线性方程及 R^2 如表 1 所示。



1—10%~20%;2—15%~25%;3—20%~30%

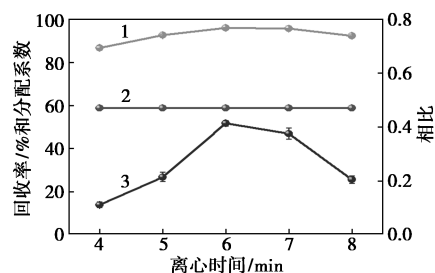
图 3 标准曲线图

表 1 标准曲线线性方程及 R^2

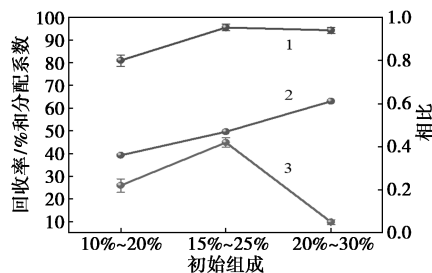
初始组成	标准曲线线性方程	R^2
10%~20%	$y=0.05750x-0.00944$	0.9991
15%~25%	$y=0.05114x-0.00384$	0.9991
20%~30%	$y=0.05268x+0.00038$	0.9990

2.4 安赛蜜最佳萃取工艺的确定

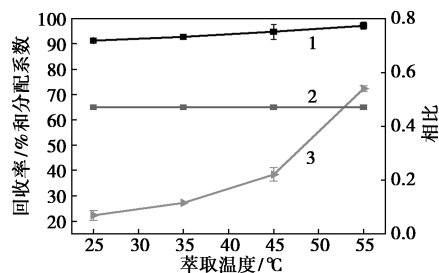
通过对 PEG 2000- K_2HPO_4 双水相体系离心时间、初始组成和萃取温度的考察,确定安赛蜜的最佳萃取工艺,结果如图 4 所示。



(a) 离心时间对安赛蜜萃取的影响



(b) 初始组成对安赛蜜萃取的影响



(c) 萃取温度对安赛蜜萃取的影响

1—回收率;2—相比;3—分配系数

图 4 离心时间、初始组成和萃取温度对安赛蜜萃取的影响

2.4.1 离心时间对安赛蜜萃取的影响

选取 15%~25%的 PEG 2000- K_2HPO_4 双水相体系,准确称取 0.600 0 g PEG 和 1.000 0 g K_2HPO_4 和 2.4 mL 的安赛蜜标准溶液,控制体系总质量为 4 g、萃取温度为 20℃,考察在 3 000 r/min 时不同离心时间(4、5、6、7、8 min)下萃取 30 min 安赛蜜回收率、分配系数及相比的变化,结果见图 4(a)。随着离心时间的增加,该体系相比不变,PEG 2000- K_2HPO_4 双水相体系对安赛蜜的萃取能力先增大后减小,分配系数也呈现相同的变化趋势。这可能是由于机械离心使相分离更加完全,PEG 2000 相中安赛蜜也随之增多,回收率增大,但当其继续增大时,回收率基本不变,可能是 PEG 2000- K_2HPO_4 双水相体系萃取的能力达到上限,机械离心的增益效果不明显,故本实验选择 6 min 为安赛蜜萃取的最佳离心时间。

2.4.2 初始组成对安赛蜜萃取的影响

向双水相体系中加入安赛蜜标准溶液 2.0 mL, 控制体系总质量为 4 g, 在离心时间为 6 min、萃取温度为 25℃ 的条件下, 按 1.2.2(1) 中 PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相体系制备方法, 考察在不同初始组成(10%~20%、15%~25%、20%~30%) 下萃取 30 min 安赛蜜回收率、分配系数及相比的变化, 结果见图 4(b)。随着初始组成中 PEG 2000 和 K₂HPO₄ 浓度的增大, 相比逐渐增大, PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相体系对安赛蜜的萃取能力增大, 但当初始浓度继续增大到 20%~30% 时, 回收率和分配系数降低。可能是由于双水相体系中各组分质量分数增大, 安赛蜜与双水相体系之间的作用力增强, 容易向上相迁移, 但随着组成含量的继续增大, 高浓度的 K₂HPO₄ 加剧了盐析作用, 可能使上相更疏水, 不利于安赛蜜的萃取; 同时, 下相 K₂HPO₄ 可能会争夺安赛蜜, 导致上相 PEG 2000 对安赛蜜的萃取能力降低。故本研究选用初始组成为 15%~25% 的 PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相体系萃取安赛蜜。

2.4.3 萃取温度对安赛蜜萃取的影响

选取 15%~25% 的 PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相体系, 向双水相体系中加入安赛蜜标准溶液 2.0 mL, 控制体系总质量为 4 g, 离心 6 min, 考察在萃取温度(25、35、45、55℃) 下萃取 30 min 安赛蜜回收率、分配系数及相比的变化, 结果见图 4(c)。由图可知, 温度越高, PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相体系对安赛蜜的萃取能力越强, 在 25~55℃ 时, 萃取温度提高有利于安赛蜜在上相回收, 这可能是由于温度增高, PEG 2000 的黏度减小, 同时安赛蜜分子的运动更加自由, 利于 PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相对安赛蜜的萃取。因此, 本研究选择 55℃ 为最佳萃取温度。

综上, 得出 PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相体系萃取浓缩安赛蜜的最佳工艺为: 初始组成为 15%~25% 的 PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相体系, 经 3 000 r/min 离心 6 min, 55℃ 水浴萃取 30 min。

2.5 方法验证

2.5.1 回收率

在最佳萃取条件下, 取上相 0.5 mL 并适当稀释, 相同条件下的空白双水相做参比, 在 228 nm 波长处检测安赛蜜的吸光度并计算安赛蜜的回收率。进行 5 组平行实验, 每组连续测定 3 次, 取平均值, 得到 PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相体系萃取安赛蜜的回收率及 RSD 如表 2 所示。

表 2 安赛蜜的回收率及 RSD

回收率/%	平均值/%	RSD/%
99.7		
97.3		
99.9	98.0	1.7
95.9		
97.3		

由表 2 可知, 在最佳条件下 PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相体系萃取浓缩安赛蜜的平均回收率可达 98.0%, RSD 为 1.7%, 证明利用该方法萃取安赛蜜效果良好。

2.5.2 精密度

分别向 PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相体系中加入质量浓度低(10 μg/mL)、中(40 μg/mL) 和高(100 μg/mL) 的安赛蜜标准溶液, 在最佳工艺下萃取浓缩, 并在最大吸收波长处连续测定 6 次, 计算 RSD。所得低、中、高浓度回收率(RSD) 分别为 98.5%(2.2%)、96.7%(1.2%) 和 97.6%(0.5%)。证明该方法萃取安赛蜜精密度良好。

2.5.3 检出限和定量限

根据空白溶液在测定条件下的响应, 以信噪比为 3 对应的溶液质量浓度作为该方法的检出限, 以信噪比为 10 对应的溶液质量浓度作为该方法的定量限, 计算得出该方法检出限和定量限分别为 0.33 μg/mL 和 1.1 μg/mL。

2.5.4 UV 法准确性检验

为验证紫外-可见分光光度计检测结果的准确性, 本研究采用安赛蜜质量浓度低(10 μg/mL)、高(100 μg/mL) 组各 3 个样品, 分别用 HPLC 和 UV 法进行检测和结果比对。其中, 取 PEG 相 100 μL 适当稀释, 经 0.22 μm 滤膜过滤后, 用于 HPLC 对安赛蜜含量的检测, 回收率和 RSD 见表 3。

表 3 准确性检验结果

加标量/ (μg·mL ⁻¹)	HPLC		UV	
	回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%
10	95.5	0.9	98.0	2.7
100	96.3	0.5	98.3	1.3

由表 3 可知, 经 HPLC 方法验证, 由 UV 法进行 PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相体系萃取安赛蜜含量的检测结果可靠。

2.6 样品测定

取居民饮用水水样 1、2, 经 0.22 μm 水系滤膜

过滤后,在最佳条件下(即初始组成为 15%~25%的 PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相体系,3 000 r/min 离心 6 min,55℃ 水浴萃取 30 min)未检测到安赛蜜。低浓度(10 μg/mL)加标后回收率分别为 92.4%±1.4%和 95.0%±1.7%,证明该方法萃取水样中安赛蜜效果良好。

3 结论

首先研究了不同分子量的 PEG 与 K₂HPO₄ 的成相能力,建立了一种使用 PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相体系萃取人工合成甜味剂安赛蜜的方法。绘制了 PEG 2000-K₂HPO₄ 双水相体系的相图及系线图,讨论了离心时间、萃取温度和初始组成 3 个因素对安赛蜜回收率的影响,获得萃取安赛蜜的最佳工艺条件。结果表明,采用 15% PEG 2000 和 25% K₂HPO₄ 对安赛蜜进行萃取,离心 6 min 后 55℃ 恒温萃取 30 min,对自来水样的加标回收率可达 92.4%~95.0%,RSD 为 1.4%~1.7%,结果令人满意。该方法可以有效萃取浓缩人工合成甜味剂安赛蜜,可为安赛蜜含量的检测提供参考,在未来的研究工作中,将进一步探索其在食品及环境中的检测应用。

参考文献

- [1] 彭子娟,薄梦,吴雪,等.食品甜味剂的检测及其标准物质研究现状[J].计量科学与技术,2023,67(9):40-48.
- [2] Iizuka K. Is the use of artificial sweeteners beneficial for patients with diabetes mellitus? The advantages and disadvantages of artificial sweeteners[J]. Nutrients, 2022, 14(21):4446.
- [3] Landrigan P J, Straif K. Aspartame and cancer—New evidence for causation[J]. Environmental Health, 2021, 20(1):42.
- [4] 郑思雨,滕晶晶,杨同金,等.安赛蜜对大鼠的亚慢性毒性[J].食品与机械,2023,39(11):23-28,37.
- [5] 王秀丽,丁世杰,周青,等.食品中安赛蜜检测方法的研究进展[J].食品安全导刊,2021,(20):95-96.
- [6] 陈湖水,江建坤,易佳,等.液液萃取-场放大进样-毛细管电泳非接触式电导分离检测酱油中的安赛蜜[J].色谱,2020,38(6):708-714.
- [7] 黎泽江,李宁杰.甜味剂的应用及其环境影响研究进展[J].科技创新与应用,2023,13(29):149-152.
- [8] 宋皓瑜,张彬锋,Maeng Y J. 响应面法优化酶解-超声双辅助双水相体系制备五味子提取物[J].化学与生物工程,2023,40(8):50-56.
- [9] Nie L R, Zheng Z W, Lu M X, et al. Phase behavior of ionic liquid-based aqueous two-phase systems[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(20):12706.
- [10] Joshi P U, Turpeinen D G, Weiss M, et al. Tie line framework to optimize non-enveloped virus recovery in aqueous two-phase systems[J]. Journal of Chromatography B, 2019, 1126/1127(C):121744.
- [11] 朱恒伟,白新鹏,梁秋杨,等.多级双水相萃取木瓜蛋白酶的回收研究[J].食品与发酵工业,2023,(12):1-8.
- [12] 张鹤,姜彬,冯志彪,等.聚合物/磷酸盐双水相分离乳清分离蛋白中 α-乳白蛋白和 β-乳球蛋白条件的优化[J].分析化学,2016,44(5):754-759.
- [13] Castro L S, Pereira P, Freire M G, et al. Enhanced performance of polymer-polymer aqueous two-phase systems using ionic liquids as adjuvants towards the purification of recombinant proteins[J]. Separation and Purification Technology, 2020, 248:117051.
- [14] Fabre J F, Niangoran N U F, Gaignard C, et al. Extraction, purification and stability of C-phycoerythrin from *Arthrospira platensis*[J]. European Food Research and Technology, 2022, 248(6):1583-1599.
- [15] Mcqueen L L, Lai D. Ionic liquid aqueous two-phase systems from a pharmaceutical perspective[J]. Frontiers in Chemistry, 2019, 7:135.
- [16] Kim H, Yi J, Yu J, et al. A simple and effective method to concentrate hepatitis C virus: Aqueous two-phase system allows highly efficient enrichment of enveloped viruses[J]. Viruses, 2022, 14(9):1987.
- [17] Buarque F S, Lima N S, Soares C M F, et al. Preconcentration and chromatographic detection of atrazine in real water sample using aqueous two-phase system based on tetrahydrofuran and glycerol[J]. Environmental Quality Management, 2021, 31(1):39-48.
- [18] 吴格格,高仕谦,张占恩.二元小分子醇/盐双水相体系萃取三唑类杀菌剂[J].现代化工,2020,40(2):231-235.
- [19] 陈志香,李先国,张大海.低分子醇-盐-水相体系在草甘膦母液资源化过程中的应用研究[J].现代化工,2016,36(5):110-113.
- [20] Tang N, Wang Y T, Liu M, et al. Ionic liquid as adjuvant in an aqueous biphasic system composed of polyethylene glycol for green separation of Pd(II) from hydrochloric solution[J]. Separation and Purification Technology, 2020, 246:116898.
- [21] 范蕊庆,李晓瑄.乙醇/磷酸氢二钾双水相体系分离大豆异黄酮[J].现代化工,2015,35(1):99-102.
- [22] 玉澜,肖云,陈燕萌,等.Box-Behnken 响应面优化超声波辅助双水相提取枇杷叶多糖及其抗氧化活性研究[J].饲料研究,2024,(7):94-99.
- [23] 吕博威,王翠芳,霍红雁,等.响应面法优化双水相萃取沙葱中总黄酮的工艺条件[J].中国调味品,2022,47(4):122-127.
- [24] Albertsson P A. Partition of proteins in aqueous polymer two-phase systems and the effect of molecular weight of the polymer[J]. BBA-General Subjects, 1987, 926(1):87-93.
- [25] Salamanca M H, Merchuk J C, Andrews B A, et al. On the kinetics of phase separation in aqueous two-phase systems[J]. Journal of Chromatography B, 1998, 711:319-329.
- [26] Freire M G, Claudio A F M, Araujo J M M, et al. Aqueous biphasic systems: A boost brought about by using ionic liquids[J]. Chemical Society Reviews, 2012, 41(14):4966-4995.
- [27] 魏来,周强,朱邻遐,等.基于 Box-Behnken 响应面法的半夏多糖双水相提取工艺优化研究[J].湖南中医杂志,2022,38(7):170-175.
- [28] 张团结,熊道陵,陈超,等.丙醇/硫酸铵双水相体系分离纯化茶皂素[J].精细化工,2015,32(9):1009-1013. ■