

刘沙彦,彭曙光,罗井清,等. 绿原酸包埋工艺优化及其包埋物肠胃缓释性[J]. 江苏农业科学,2019,47(4):171-175.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.04.041

绿原酸包埋工艺优化及其包埋物肠胃缓释性

刘沙彦¹, 彭曙光², 罗井清², 周志成², 王 征¹

(1. 湖南农业大学生物科学技术学院, 湖南长沙 410128; 2. 中国烟草中南农业试验站, 湖南长沙 410004)

摘要:为提高绿原酸的生物利用度,采用多孔淀粉对绿原酸进行包埋,再用卵磷脂对绿原酸-多孔淀粉包埋物进行包裹,形成复合包埋物。通过单因素和正交试验对其吸附绿原酸的条件进行优化,得到最佳包埋条件:芯壁比为 1:10, pH 值为 3, 温度为 30 ℃, 时间为 2.0 h, 包埋效率达到 82.5%, 包埋量为 82.4 mg/g。通过搅拌将卵磷脂和绿原酸-多孔淀粉包埋物混合形成卵磷脂复合包埋物,其包埋效率仍为 82.5%。分别利用傅里叶红外、扫描电镜和紫外扫描对包埋物进行了分析和确证。将 2 种包埋物分别于人工模拟胃液和肠液环境中进行绿原酸释放研究,结果显示卵磷脂复合包埋物在人工模拟胃液中的最高释放率为 16.3%,在人工模拟肠液中的最高释放率为 59.2%,而绿原酸-多孔淀粉包埋物在上述 2 种环境下的释放率分别为 64.3% 和 35.2%。表明卵磷脂复合物能更好地经受胃液环境,到达肠液中释放绿原酸,也表明该包埋工艺可以提高绿原酸的生物利用度。

关键词:绿原酸;包埋;多孔淀粉;卵磷脂;缓释性

中图分类号:S188 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)04-0171-05

绿原酸(chlorogenic acid)是一种植物体在有氧呼吸过程中合成的苯丙素类物质,是由咖啡酸和奎尼酸缩合而成的,绿原酸的分布广泛,在食物和中药材中,如杜仲、金银花和咖啡豆等均含有绿原酸。绿原酸具有多种功效,其中包括抗菌消炎、抗病毒、清除自由基、降糖、降脂和保肝利胆等^[1-2]。彭冰洁等研究发现,用绿原酸饲喂 SD 大鼠,能够显著减缓高脂饲料的 SD 鼠质量的增加,并通过调节 PI3K/Akt 途径、AMPK 途径和胰岛素敏感性,改善骨骼肌中糖代谢^[3]。此外,高纯度的绿原酸也被广泛应用于保健食品、片剂、胶囊药品和中药注射药品等。但由于绿原酸本身性质不够稳定,在阳光照射、高温、潮湿、强酸碱等条件下极易发生氧化反应从而失去活性^[4],这使得绿原酸的生物利用度受到了限制。因此,实现绿原酸包埋后的可控释放是提高绿原酸生物利用度的有效途径之一。

多孔淀粉(porous starch),又名微孔淀粉,是一种新型变性淀粉,是指具有生淀粉酶活力的酶,在低于淀粉糊化温度下作用于生淀粉后形成的产物^[5]。多孔淀粉在本质上仍是淀粉,应与原淀粉有类似的性能,但与之相比,最明显的区别在于多孔淀粉具有十分强大的吸附能力,多孔淀粉具有一种特殊的中空的空间结构,有大量的糖环羟基存在于这些结构表面,这些羟基是氢原子供体,可以与绿原酸上氧原子形成牢固的氢键,绿原酸上的氢原子具有酸性,电子云密度低,所以也是氢供体,而糖环分子的桥头氧原子,电负性较低,电子云密度高,可以与绿原酸中的氢原子形成牢固的氢键,如此便形成

了一个稳定的六元环效应,从而使得多孔淀粉对绿原酸有良好的吸附作用^[6]。

卵磷脂(*lecithin*)是人体组织中含量最高的磷脂,是构成神经组织的重要成分,属于高级神经营养素^[7],又称为蛋黄素,被誉为与蛋白质、维生素并列的“第三营养素”,因其无毒无害,且具有良好的附着性而被广泛应用于食品以及医药研究领域^[8]。

卢晓霆等曾利用多孔淀粉、海藻酸钠和壳聚糖制备绿原酸微胶囊,在一定程度上提高了稳定性^[9]。本试验拟用多孔淀粉对绿原酸进行包埋吸附,最后再用卵磷脂对绿原酸-多孔淀粉包埋物进行进一步的包裹,形成性质更加稳定的绿原酸-多孔淀粉-卵磷脂复合包埋物,得到的包埋物包埋率较高且制备工艺较简单实用,可为有效应用绿原酸提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料 绿原酸普通品(纯度 98%),购自源叶生物有限公司(上海);多孔淀粉,购自龙咏生物科技有限公司(长沙);磷酸二氢钾,购自西陇化工股份有限公司;胃蛋白酶(10 000 NFU/mg)、胰蛋白酶(250 NFU/mg),购自合肥博美生物科技有限责任公司;其他试剂如卵磷脂、盐酸和氢氧化钠均为分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 人工模拟胃肠液的配制^[10] 人工模拟胃液:取 9 mL 浓 HCl,加水约 800 mL 及胃蛋白酶 10 g,充分溶解后,调节 pH 值至 1.3,定容至 1 000 mL,即为人工模拟胃液。

人工模拟肠液:称取 6.8 g KH_2PO_4 溶于约 500 mL 水中,另称取 10 g 胰蛋白酶加水溶解,定容至 1 000 mL,用 NaOH 调 pH 值至 7.6,即为人工模拟肠液。

1.2 仪器

ZWM-uT1-10 型超纯水机,湖南中沃水务环保科技有限公司

收稿日期:2018-08-29

基金项目:中国烟草总公司湖南省分公司科技项目(编号:15-17Aa04)。

作者简介:刘沙彦(1992—),男,湖南长沙人,硕士研究生,研究方向为生物技术与工程。E-mail:2331685356@qq.com。

通信作者:王 征,博士,教授,博士生导师,从事天然产物的药理作用及其开发利用研究。E-mail:wz8918@163.com。

限公司;PL303 型电子天平,梅特勒-托利多仪器有限公司(上海);DTJ-2 磁力搅拌器,鼎泰恒盛生化科技设备制造有限公司;SHZ-D(Ⅲ)型循环水真空泵,邦西仪器科技有限公司(上海);Lab-1A-50E 型冷冻干燥机,北京博医康实验仪器有限公司;UV1802G 型紫外分光光度计,天津冠泽科技有限公司;1260 型高效液相色谱仪,安捷伦科技有限公司(美国);S-3700 扫描电子显微镜(日本日立公司);VECTOR-22 型傅里叶红外光谱仪(德国布鲁克公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 标准曲线的制作 精确称取 10 mg 绿原酸标准品,用超纯水定容至 100 mL 容量瓶中,即制成 100 μg/mL 绿原酸标液。分别吸取原液 33.3、20.0、16.7、10.0、8.3、6.7 mL 定容至 100 mL,配制成以下浓度的绿原酸标准液:3、5、6、10、12、15 μg/mL,空白为超纯水。利用紫外-可见分光光度计在 327 nm 波长处测定绿原酸浓度和对应的吸光度^[11]。

精确称取 20 mg 绿原酸标准品,在超声条件下溶解于 95% 甲醇中,定容至 50 mL,制成浓度为 400 μg/mL 的绿原酸标液。分别吸取原液 0.5、1.5、2.5、3.5、5.0 mL 定容至 10 mL,配制成以下浓度的绿原酸标准液:20、60、100、140、200 μg/mL,经 0.45 μm 滤膜过滤后进行高效液相色谱法(HPLC)检测。

1.3.2 包埋物的制备

1.3.2.1 多孔淀粉-绿原酸包埋物的制备 精确称取定量的绿原酸溶于一定 pH 值的缓冲液中,超声波控温处理作用于绿原酸 15 min 后,加入不同质量的多孔淀粉,设置不同温度、时间,在电磁搅拌器上匀速搅拌下作用一段时间;搅拌反应后将混合液抽滤,得到过滤物,在冷冻干燥机中干燥即得到多孔淀粉-绿原酸包埋物的样品。

1.3.2.2 绿原酸-多孔淀粉-卵磷脂包埋物的制备 取多孔淀粉-绿原酸包埋物样品溶解于 10 mL 一定 pH 值的缓冲液中,再取 250 mg 卵磷脂,溶解于 10 mL 乙醇溶液中,超声混匀后,将其缓慢加入多孔淀粉-绿原酸溶液中,低速反应一定时间后,在 50 ℃ 条件下用旋转蒸发仪除去乙醇溶液,将浓缩后的样品处理后冷冻干燥,即得到绿原酸-多孔淀粉-卵磷脂复合包埋物。

1.3.3 包埋效率的测定 先将冷冻干燥得到的样品取出,称质量后,将其置于烧杯中,先加乙醇溶液溶解卵磷脂,静置 15~20 min 后,抽滤除去乙醇和卵磷脂,随后取多孔淀粉-绿原酸包埋物溶解到 50 mL 超纯水中,置于电磁搅拌机上,于高转速、高温条件(600 r/min 以上,50 ℃)下反应 2 h 后,取样,稀释 100 倍左右,于紫外分光光度计下波长 327 nm 处检测样品吸光度,并根据标准曲线计算其绿原酸浓度,再根据公式计算出包埋效率。

1.3.4 单因素试验对包埋条件的优化

1.3.4.1 包埋效率和包埋量的定义 包埋效率是指包埋进去的绿原酸量与总共投入的绿原酸量的比值,计算公式为:包埋效率=(包埋进去的绿原酸量/投入绿原酸总量)×100%。其中,包埋量是指单位壁材中包埋进去的绿原酸量;此处包埋进去的绿原酸含量为包埋物释放出来的绿原酸量的最大值,即在高转速高温条件下释放 2 h 时达到的最大释放值。

1.3.4.2 芯壁比对包埋效率的影响 分别以芯壁比(芯材

为绿原酸,壁材为多孔淀粉,芯材与壁材的质量比即为芯壁比)为 1:20、1:10、3:20、1:5、1:4、3:10 反应,pH 值为 4,温度为 35 ℃,时间为 2 h,转速为 200 r/min,测定包埋效率与包埋量。

1.3.4.3 pH 值对包埋效率的影响 调节反应的 pH 值分别为 2、3、4、5、6,芯壁比为 1:10,温度为 35 ℃,时间为 2 h,转速为 200 r/min,测定包埋效率。

1.3.4.4 温度对包埋效率的影响 分别调节电磁搅拌器的温度为 30、35、40、45、50 ℃,使其反应,芯壁比为 1:10。pH 值为 4,时间为 2 h,转速为 200 r/min,测定包埋效率。

1.3.4.5 时间对包埋吸附率的影响 分别调节电磁搅拌器的反应时间为 1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 h,使其反应,芯壁比为 2:20,pH 值为 4,温度为 35 ℃,转速为 200 r/min,测定包埋效率。

1.3.5 正交试验法确定最佳包埋组合条件 在单因素试验的基础上,确定了芯壁比、pH 值、温度、时间都是对包埋效率有较大影响的因素,根据单因素试验结果,设计了正交试验,即以芯壁比、pH 值、温度、时间为自变量,包埋反应的包埋效率为因变量,作 4 因素 3 水平的正交试验 L₉(3⁴),正交试验设计见表 1。

表 1 正交试验因素水平

水平	因素			
	A:芯壁比	B:pH 值	C:温度(℃)	D:时间(h)
1	1:20	3	30	1.0
2	1:10	4	35	1.5
3	1:5	5	40	2.0

1.3.6 包埋物结构研究

1.3.6.1 扫描电镜检测 分别取适量绿原酸、多孔淀粉、绿原酸和多孔淀粉的物理混合物、绿原酸-多孔淀粉包埋物和绿原酸-多孔淀粉-卵磷脂包埋复合物均匀涂抹在胶带上,在真空状态下的喷金仪中喷金 30 s 后,这样的样品会有 1 层金薄膜层,然后在扫描电镜中观察样品形状。

1.3.6.2 红外光谱检测 分别取适量的绿原酸、多孔淀粉、绿原酸、绿原酸-多孔淀粉包埋物和绿原酸-多孔淀粉-卵磷脂包埋复合物样品,用 KBr 压片,扫描波数为 600~4 000 cm⁻¹,进行红外线(IR)扫描和分析。

1.3.7 2 种包埋物体外模拟肠液和胃液环境缓释性的研究 取最优条件下制备的绿原酸-多孔淀粉包埋物和绿原酸-多孔淀粉-卵磷脂复合包埋物,分别加入一定量的模拟胃液和模拟肠液,置于摇床下,在 37 ℃、150 r/min 的条件下分别反应 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 h 后,取定量样液稀释一定倍数后在紫外分光光度计下于 327 nm 处检测绿原酸的浓度(根据待测样液的澄清程度决定是否过滤)。

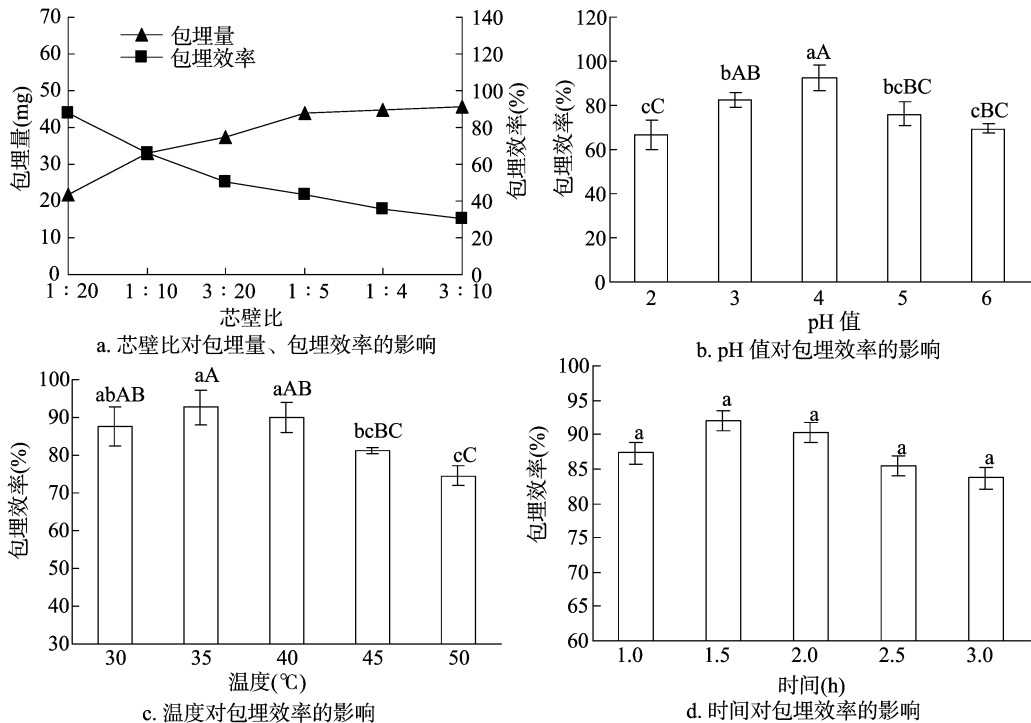
2 结果与分析

2.1 4 种因素对包埋效率和包埋量的影响

在包埋过程中,芯材用量如果较少,包埋效率会更好,但单位壁材的包埋量会较低。所以本研究中笔者用包埋量和包埋效率来判断芯壁比对包埋效果的影响,这里取两者的乘积。如图 1-A 所示,可以很明显地发现,在两者的交点处,包埋效率和包埋量的乘积为最高值,因此选择最佳包埋芯壁比为

2 : 20, 后续正交试验芯壁比梯度选取 3 个最佳芯壁比梯度, 即 1 : 20、1 : 10、1 : 5。由图 1 - B 可知, 包埋效率先增高后降低, 在 pH 值为 4 时达到最高值, 后续正交试验 pH 值梯度选取 3 个最佳 pH 值梯度, 即 3、4、5。由图 1 - C 可知, 随着温度升高, 包埋效率先增高后降低, 在 35 ℃ 时达到最高值, 因此确

定包埋最佳温度为 35 ℃, 后续正交试验温度梯度选取 3 个最佳温度梯度, 即 30、35、40 ℃。由图 1 - D 可知, 随着时间的增长, 包埋效率先增高后降低, 在时间为 1.5 h 时达到最高值, 因此确定包埋最佳时间为 1.5 h, 后续正交试验的 pH 值梯度选取 3 个最佳时间梯度, 即 1.0、1.5、2.0 h。



不同小写字母表示不同处理间差异达显著水平($P<0.05$), 不同大写字母表示不同处理间差异达极显著水平($P<0.01$)

图1 4种因素对包埋效率和包埋量的影响

2.2 正交试验法对绿原酸包埋工艺条件的优化结果

正交试验结果与分析, 见表 2。

由表 2 可知, 在正交试验中, 4 种对绿原酸包埋率影响的 因素中, 其影响程度的大小为 $A > B > D > C$, 即芯壁比 $>$ pH 值 $>$ 时间 $>$ 温度。最优的组合水平为 $A_3B_1C_1D_3$, 即芯壁比为 1 : 10, pH 值为 3, 温度为 30 ℃, 时间为 2.0 h; 通过验证试验 得出此条件下包埋效率可达 82.5%, 包埋量为 41.2 mg, 即单 位质量淀粉对绿原酸的包埋量为 82.4 mg/g, 包埋效率和包

埋量的乘积为 33.99, 高于各正交试验组 (最高为 33.2) 即当 包埋的条件为芯壁比为 1 : 10、pH 值为 3、温度为 30 ℃、时间 为 2.0 h 时, 包埋效果最好。

2.3 扫描电镜结果及分析

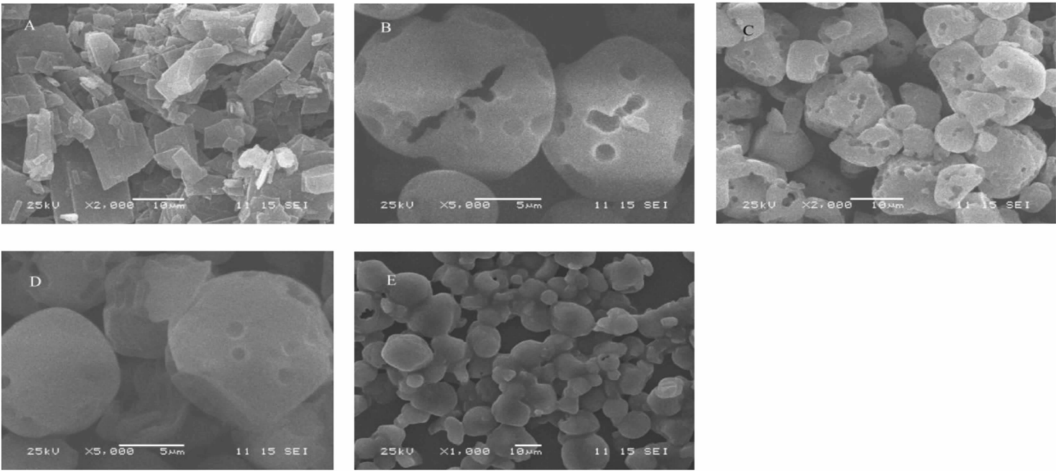
由图 2 - A 可以看出, 绿原酸单体是个体单独存在的, 形 状为片状、块状或条状。由图 2 - B 可以看出, 多孔淀粉单体 是类似球体的形状, 而且球体表面有大量的多孔结构, 且多孔 不仅仅是在淀粉表面, 在多孔的内部也有孔隙, 这样的疏松多

表 2 $L_9(3^4)$ 正交试验结果分析

试验号	A:芯壁比	B:pH 值	C:温度 (℃)	D:时间 (h)	包埋量 (mg)	包埋效率 (%)	包埋量与包埋效率的乘积
1	1 : 20	3	30	1.0	22.81	91.20	20.80
2	1 : 20	4	35	1.5	22.37	89.50	20.02
3	1 : 20	5	40	2.0	21.70	86.87	18.85
4	1 : 10	3	35	2.0	40.70	81.50	33.20
5	1 : 10	4	40	1.0	39.56	79.10	31.30
6	1 : 10	5	30	1.5	38.60	77.10	29.76
7	1 : 5	3	40	1.5	52.70	52.70	27.80
8	1 : 5	4	30	2.0	53.50	53.50	28.60
9	1 : 5	5	35	1.0	45.60	45.60	20.79
k_1	19.89	27.27	26.39	24.28			
k_2	31.42	26.64	24.67	25.86			
k_3	25.73	23.13	25.98	26.88			
R	11.53	4.14	1.72	2.60			

孔结构,使得比表面积很大,从而使得多孔淀粉具有很强的吸附能力。由图 2 - C 可以看出,多孔淀粉和绿原酸的物理混合物中既有条状和块状的绿原酸,又有类似球状且布满孔洞的多孔淀粉,说明两者并未反应,只是简单的物理混合。由图 2 - D 可以看出,绿原酸 - 多孔淀粉包埋物中球状多孔淀粉的孔洞少了很多,而且许多孔洞明显变浅了,孔洞里面被绿原酸填充,而且多孔淀粉外表面几乎没有绿原酸,证明绿原酸在多

孔淀粉孔洞的吸附作用下被包埋进去。由图 2 - E 可以看出,绿原酸 - 多孔淀粉 - 卵磷脂包埋复合物中大部分球状多孔淀粉外部被包裹了 1 层光滑的油状物质,即卵磷脂,然而还是有少量多孔淀粉外部没有完全被卵磷脂包裹住,仍然有孔洞结构存在。说明卵磷脂成功将绿原酸 - 多孔淀粉包埋物进行了进一步的包裹,从而形成了绿原酸 - 多孔淀粉 - 卵磷脂包埋复合物。



A—绿原酸单体; B—多孔淀粉单体; C—多孔淀粉和绿原酸的物理混合物; D—绿原酸-多孔淀粉包埋物; E—绿原酸-多孔淀粉-卵磷脂包埋复合物

图2 电镜扫描结构

2.4 红外光谱结果及分析

由图 3 可知,绿原酸具有酚羟基($3\ 169\text{ cm}^{-1}$)、苯环($1\ 451$ 、 $1\ 528$ 、 $1\ 598\text{ cm}^{-1}$)、羰基($1\ 693\text{ cm}^{-1}$)的特征吸收峰;多孔淀粉在 $3\ 000\sim 3\ 500\text{ cm}^{-1}$ 处出现羟基的伸缩振动峰,在 $930\sim 1\ 150\text{ cm}^{-1}$ 处出现非对称的 C—O—C 伸缩振动特征峰;绿原酸 - 多孔淀粉包埋物中,虽然保留了多孔淀粉的大部分吸收峰,但绿原酸在 500 cm^{-1} 到 $1\ 750\text{ cm}^{-1}$ 之间的大部分特征吸收峰消失了,表明绿原酸与多孔淀粉发生了相互作用,但包埋物在扫描范围内是没有出现新的吸收峰的,说明包埋物的形成并没有生成新的共价键,绿原酸与多孔淀粉保留了各自的化学结构;卵磷脂包埋物也保留了绿原酸 - 多孔淀粉包埋物的部分吸收峰,但在 $1\ 800\text{ cm}^{-1}$ 以上的区域发生明显变化,说明卵磷脂包埋物是将绿原酸 - 多孔淀粉包埋物进一步包裹,从而形成绿原酸 - 多孔淀粉 - 卵磷脂包埋物复合物。

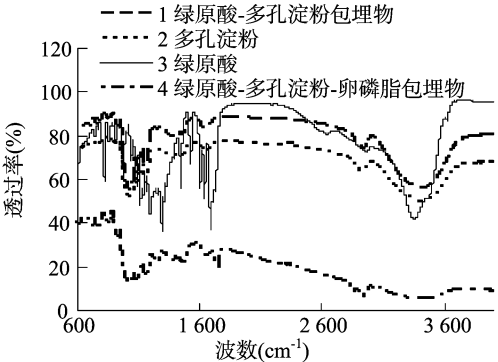


图3 绿原酸、多孔淀粉、绿原酸-多孔淀粉包埋物和卵磷脂包埋物的红外图谱

2.5 2 种包埋物体外模拟肠液和胃液环境缓释性的研究结果

由图 4 可知,多孔淀粉包埋物在胃液环境中的绿原酸释放效率最高,为 64.3%,而加了卵磷脂的包埋复合物在胃液环境下的释放率最高仅有 16.3%,说明卵磷脂的添加很好地保护了在胃液环境下的包埋物中的绿原酸,使绿原酸在胃液环境下释放率明显降低。

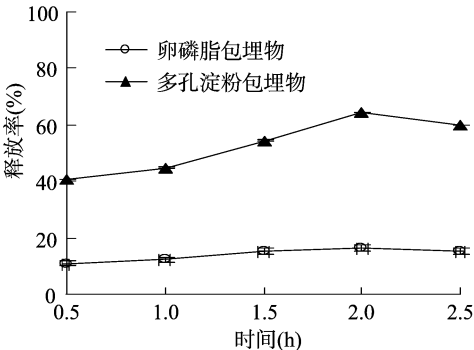


图4 多孔淀粉包埋物和卵磷脂包埋物在模拟胃液环境下的释放率

由图 5 可知,卵磷脂复合包埋物在肠液环境中的释放率(最高为 59.2%)远远高于卵磷脂复合包埋物在胃液中的释放率(最高仅有 16.3%),而且也高于多孔淀粉包埋物在肠道中的释放率 35.2%。说明卵磷脂的添加很好地保护了在胃液环境中的包埋物,减少了绿原酸在胃液中的释放,能够更好地到达肠液中进行释放。

3 讨论与结论

绿原酸药理活性强,在植物界中广泛存在,但绿原酸本身

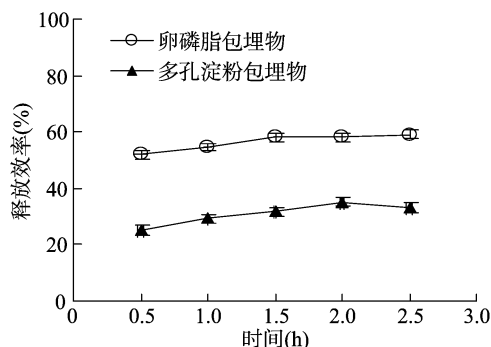


图5 多孔淀粉包埋物和卵磷脂包埋物在模拟肠液环境下的释放率

性质不够稳定,易被氧化失活。近年来,随着科技的进步,对绿原酸进行包埋来保护其稳定性的研究已经有很多有意义的结果^[12-13],进而较大地提高了绿原酸的生物利用度。本研究通过对绿原酸包埋工艺的优化和模拟包埋物体外缓释性的研究,得到的绿原酸-多孔淀粉-卵磷脂复合包埋物具有较好的包埋效果,包埋效率为 82.5%,肠胃释放效果稳定。

优化单因素试验结果显示,随着芯壁比的增大,包埋效率呈现降低的趋势,而包埋量则是随芯壁比的增大而增大,但是当芯壁比为 1:5 时,再增加芯材的投入,包埋量也不会增加,证明此时壁材吸附量已经达到饱和,根据扈瑞瑞等的方法^[11],以包埋效率和包埋量 2 个指标来判断包埋效果,因此本试验的包埋效果也由包埋量和包埋效率两者的综合值来判断,这里取两者的乘积即图中交点处为乘积最高值。当 pH 值过低时,多孔淀粉的结构容易被破坏而导致包埋效率降低;然而在 pH 值过高时,绿原酸不稳定,溶解度也会降低,从而使多孔淀粉对绿原酸的吸附效果降低,导致包埋效率下降,由本研究结果可知,pH 值为 4 时最合适的;根据骆慧敏的研究,多孔淀粉吸附绿原酸是一个放热的过程,因此体系反应温度不能过高,为维系整个反应体系一定的分子动能,需要维持一定的温度以保证反应的活化能^[6],由本研究结果可知,在 35℃ 时效果最好。在时间因素中多孔淀粉吸附时间进程中,时间如果过长将会导致多孔淀粉悬浮液聚集在一起从而使得释放绿原酸受阻,影响包埋效果。由本研究结果可知,在 1.5 h 时包埋效果最佳;吴培龙等研究探讨了多孔淀粉作为载体吸附茶多酚的性能,最大吸附量为 68.65 mg/g^[14],本试验的包埋量为 82.4 mg/g,包埋效果理想。

由于多孔淀粉是淀粉结构,在胃酸的强酸条件下容易被分解^[5],从而导致大量绿原酸被释放出来,而加了卵磷脂的包埋复合物在胃液环境下的释放率明显降低,由本研究结果可知,最高仅有 16.3%,说明卵磷脂的添加很好地保护了在胃液环境中的包埋物,从而使得绿原酸释放得很少,因此在胃液环境中绿原酸-多孔淀粉包埋物的释放率高于绿原酸-多孔淀粉-卵磷脂包埋物。卵磷脂属于脂溶性物质,该类物质在胃液的强酸环境条件下比较稳定,不会被水解,相反,在肠液的中性和弱碱性环境条件下会被水解。耿升等用卵磷脂包埋绿原酸,得到绿原酸-卵磷脂复合物,能达到较高的包埋量,并极大地提高绿原酸的脂溶性^[15]。本试验为了保证绿原酸能稳定地通过胃液环境,到达肠液环境,并在肠道稳定地缓释,采用了复合包埋。结果也证明,绿原酸-多孔淀粉-卵磷脂复合包埋物能够在肠胃环境下达到较好可控释放的效果。

但是,在体外模拟肠胃环境释放试验中,无论在胃液还是在肠液环境中,绿原酸并没有完全被释放出来。其在体内的试验效果,需要深入研究。

本研究通过对绿原酸包埋工艺的优化和模拟包埋物体外缓释性的研究,得到的绿原酸-多孔淀粉-卵磷脂复合包埋物具有较好的包埋效果(包埋效率为 82.5%)和较稳定的肠胃释放效果。通过扫描电镜和红外光谱检测都表明,绿原酸被多孔淀粉成功吸附包埋进去,卵磷脂也成功地将绿原酸-多孔淀粉包埋物包裹,形成的绿原酸-多孔淀粉-卵磷脂包埋物为复合包埋物,具有比单层包埋物更好的稳定性和肠胃环境的缓释性,此外其制备工艺简单、廉价、环保安全,能够很好地提高绿原酸生物利用度,为更好地应用于食品和医药保健领域提供参考依据。

参考文献:

- [1] 朱 鹏,苗潇磊,陈 勇. 绿原酸、隐绿原酸和新绿原酸在中性和碱性 pH 条件下的降解动力学[J]. 药学学报,2016(1):122-126.
- [2] 余国玺,张 帆,王 乐. 绿原酸对内毒素介导的人牙周膜细胞生物活性的影响[J]. 牙体牙髓牙周病学杂志,2016,26(6):343-347.
- [3] 彭冰洁,肖丽娟,伍 翔,等. 绿原酸对高脂饲喂大鼠骨骼肌糖代谢的影响[J]. 中草药,2015,46(17):2580-2585.
- [4] 陈绍华,王亚琴,罗立新. 天然产物绿原酸的研究进展[J]. 食品科技,2008(2):195-199.
- [5] 缪 铭,徐 忠. 生物法制备多孔淀粉及其性质研究[C]//第二届中国浙江学术节——食品安全监管与法制建设国际研讨会暨第二届中国食品研究生论坛论文集. 绍兴,2005.
- [6] 骆慧敏. 多孔淀粉对茶多酚的吸附热力学及复合物在卷烟降香中的应用研究[D]. 合肥:安徽农业大学,2015.
- [7] 徐井水. 大豆卵磷脂微胶囊化及其性质研究[D]. 南昌:南昌大学,2010.
- [8] 李 涛,王天志. 卵磷脂的研究进展[J]. 中药材,2002,25(10):752-756.
- [9] 卢晓霆,许中畅,王田田,等. 玉米多孔淀粉-海藻酸钠-壳聚糖-葡萄糖多酚缓释微胶囊的制备及表征[J]. 中草药,2016,47(13):2252-2259.
- [10] 何小解,卢向阳,易著文,等. 模拟人体胃肠道环境对儿茶素稳定性的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2005,31(5):69-71.
- [11] 扈瑞瑞,申国明,高 林,等. 烟草绿原酸纳米脂质体的制备工艺及其稳定性研究[J]. 中国农业科技导报,2017,19(4):128-137.
- [12] 卢 琪,曹少谦,吕思伊,等. 绿原酸酵母细胞微胶囊工艺研究[J]. 食品科学,2010,31(10):137-141.
- [13] 骆慧敏,宁 敏,徐迎波,等. 多孔淀粉对茶多酚的吸附性能及其复合物抗氧化能力的研究[J]. 茶叶科学,2015(5):473-480.
- [14] 吴培龙,张黎明,杨 鑫,等. 玉米多孔淀粉对茶多酚的吸附性能研究[J]. 现代食品科技,2010,26(9):938-941.
- [15] 耿 升,马宇祥,莫海珍,等. 绿原酸与卵磷脂复合物的理化性质及其抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技,2015(5):124-129.