

Fmoc-F 多肽水凝胶对丁香精油的控释作用研究

Fmoc-F hydrogel for clove oil controlled-release

张琳^{1,2} 周天啸¹ 王奔¹ 郝雅晏¹ 陆俊^{1,2}

ZHANG Lin^{1,2} ZHOU Tian-xiao¹ WANG Ben¹ HAO Ya-yan¹ LU Jun^{1,2}

(1. 中南林业科技大学食品科学与工程学院, 湖南 长沙 410004;

2. 稻谷及副产物深加工国家工程实验室, 湖南 长沙 410004)

(1. College of Food Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004, China; 2. National Engineering Laboratory of Rice and By-product Deep Processing, Changsha, Hunan 410004, China)

摘要:探讨 Fmoc-F(Phe) 多肽形成的凝胶对丁香精油的包埋和控制释放作用。结果表明, Fmoc-F 形成的凝胶对丁香精油的包埋率可达 98.69%; 在 pH>6.5 时, Fmoc-F 凝胶的分解率低于 9.0%, 该条件下凝胶可有效降低丁香精油的挥发损失; 当 pH=6.0 时, 3 h Fmoc-F—丁香精油分解率接近 36.0%, 当 pH=5.0 时, Fmoc-F 凝胶迅速分解, 3 h 分解率达到 100%, 该条件下丁香精油被快速释放到大肠杆菌的菌液中可有效抑制大肠杆菌的生长。说明 Fmoc-F 凝胶可以有效防止丁香精油常温下的挥发, 并控制精油在酸性条件下有效释放并发挥抑菌效果。

关键词: Fmoc-F; 多肽水凝胶; 凝胶; 丁香精油; 控制释放

Abstract: Fmoc-F was utilized for embedding of clove oil. The results demonstrated that Fmoc-F hydrogel could prevent the volatilization and achieve the controlled-release of clove oil. The loading efficiency of Fmoc-F gel was 98.69%, much higher than the one achieved with β -cyclodextrin. When pH was above 6.5, the decomposition rate of Fmoc-F hydrogel was less than 9.0%, and this could prevent the volatilization of clove oil. When pH was adjusted from 6.5 to 6.0, the structure of hydrogel began to disaggregate, and the decomposition rate was around 36%. When pH was below 5.0, the hydrogel disaggregated completely. Then the clove oil could be released completely to inhibit the growth of *E. Coli*. Thus, Fmoc-F based hydrogel could prevent the volatilization and achieve the controlled-release of clove oil in an acidic condition.

基金项目:湖南省自然科学基金项目(编号:2015JJ3177); 湖南省教育厅一般项目(编号:14C1184); 湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划项目(编号:湘教通 2015); 中南林业科技大学大学生研究性学习和创新性实验计划项目(编号:2016)

作者简介:张琳, 女, 中南林业科技大学讲师, 博士。

通讯作者:陆俊(1978—), 男, 中南林业科技大学副教授, 博士。

E-mail: 690056167@qq.com

收稿日期:2016-05-09

Keywords: Fmoc-F; gel; clove oil; controlled-release

丁香精油是由桃金娘科植物丁香提取而来, 其主要成分为丁香酚、乙酰丁香酚、水杨酸甲酯、丁香烯等^[1]。丁香精油具有抑菌、麻醉、解热、抗氧化等多种功能^[2]。由于其良好的抑菌效果和抗氧化作用, 丁香精油被作为食品防腐剂和保鲜剂应用在食品加工中。但因其难溶于水, 易挥发, 易氧化的缺点, 导致丁香精油对食品或果蔬的保鲜期限不长, 因而限制了丁香精油的广泛应用^[3]。利用包埋材料对丁香精油进行包埋, 可降低其挥发性, 增加其抑菌时间和抑菌效果^[4]。目前被广泛研究的包埋材料为环糊精^[5]、明胶和阿拉伯胶^[6]。但此类包埋材料一般包埋率不高, 并且不具有对丁香精油进行控制释放的作用。

多肽水凝胶是以多肽和水为主要原料形成的凝胶, 其生物相容性好, 无剧毒作用, 具有特殊 pH 响应等特点, 近年来被广泛作为新型药物载体来研究^[7-9]。但目前尚未有将多肽凝胶应用于丁香精油的包埋方面的报道。

Fmoc-F 水凝胶是利用 Fmoc-F 为凝胶因子, 在疏水作用、范德华力等作用力的作用下自组装形成的具有网状的超分子结构, 并束缚水分子形成的固体状的水凝胶^[10]。本研究拟利用 Fmoc-F 凝胶包埋丁香精油, 测定其包埋效率和抑菌效果, 研究在大肠杆菌整个生长过程中, Fmoc-F 凝胶对丁香精油的控制释放作用, 旨在为精油类物质包埋材料的新方向提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

丁香精油: 河南焦作市化工三厂;

N-(9-芴甲氧羰基)-L-苯丙氨酸(Fmoc-F): 纯度>99%, 吉尔生化有限公司;

大肠杆菌(*Escherichia coli*): 南京便诊生物科技有限公司;

葡萄糖酸内酯 (Gluconolactone, GDL): 纯度 > 99%, 美国 Sigma-Aldrich 公司;

β -环糊精、无水乙醇、酵母提取物、蛋白胨、营养琼脂、氯化钠、氢氧化钠: 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

紫外可见光光度计: UV1800 型, 日本岛津公司;

超净工作台: SW-CJ-1FD 型, 苏州安泰空气技术有限公司;

循环水真空泵: SHB-III A 型, 北京中兴伟业仪器有限公司;

数显恒温水浴锅: HH-S24S 型, 金坛市大地自动化仪器厂;

pH 计: PHS-3C 型, 上海仪电科学仪器有限责任公司;

超声波清洗机: JRC-2000 型, 济宁市润通超声电子有限公司;

高压灭菌锅: G154DWS 型, 致微仪器有限公司;

微型旋涡混合仪: WH-3 型, 上海沪西分析仪器厂有限公司;

电热恒温培养箱: DH4000BII 型, 天津市泰斯特仪器有限公司;

恒温振荡器: IS-RDD3 型, 郑州南北仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 丁香精油标准曲线的测定 用无水乙醇将丁香精油稀释为 0.002%, 0.004%, 0.006%, 0.008%, 0.010% 的标准液。以无水乙醇为测定背景液, 测定丁香精油标准液在 263 nm 处的吸光值, 以 $OD_{263\text{ nm}}$ 表示 (optical density, OD)。试验平行 3 次, 以丁香精油的体积分数为横坐标, $OD_{263\text{ nm}}$ 为纵坐标, 绘制丁香精油浓度的标准曲线。

1.3.2 β -环糊精—丁香精油包埋物的制备 将 6 g β -环糊精在 60 $^{\circ}\text{C}$, 36 mL 的水中缓慢搅拌溶解, 将用无水乙醇稀释 20 倍的丁香精油以芯/壁材比为 1: 8 的比例加入到 β -环糊精饱和溶液中, 边加边搅拌。待有白色沉淀析出后继续搅拌 2 h, 停止加热。冷却至室温后放入 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中静置 24 h, 常温抽滤, 无水乙醇冲洗后, 40 $^{\circ}\text{C}$ 干燥至恒重, 得白色 β -环糊精—丁香精油包埋产物。

1.3.3 Fmoc-F 凝胶及其丁香精油包埋物的制备

(1) Fmoc-F 凝胶的制备: 在 3 mL 超纯水中加入 42 mg Fmoc-F 粉末, 混匀后, 缓慢加入 1 mL 0.1 mmol/L NaOH 溶液, 混匀并在 40 $^{\circ}\text{C}$ 的水浴锅中加热 5 min 后, 加入 5 mg GDL, 并利用涡旋振荡器在 1 000 r/min 下震荡 10 s, 室温下静置, 1 h 后形成凝胶。

(2) Fmoc-F 凝胶—丁香精油包埋物的制备: 在 3 mL 超纯水中加入 42 mg Fmoc-F 粉末, 再加入 0.1 mL 丁香精油, 混匀后, 按照 1.3.3 (1) 中后续方法加入 1 mL 0.1 mmol/L NaOH 溶液, 40 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中加热 5 min, 加入 5 mg GDL, 1 000 r/min 下震荡 10 s, 静置 1 h 后形成凝胶。

1.3.4 包埋率的计算 包埋率计算公式^[11]:

包埋率 = $\left(1 - \frac{\text{产品表面油含量}}{\text{产品中的总油含量}}\right) \times 100\%$, (1)

表面油含量测定: 无水乙醇快速冲洗法间接测定;

产品中总油含量: 破坏 β -环糊精微胶囊壁材或 Fmoc-F 凝胶后, 用无水乙醇提取丁香精油后进行测定。平行 3 次, 计算平均值。

1.3.5 Fmoc-F 多肽水凝胶在不同 pH 值下的分解率测定

配制不同 pH 值的磷酸缓冲溶液 (10 mmol/L), pH 分别为 5.0, 5.5, 6.0, 6.5。取不同 pH 值的缓冲溶液 5 mL, 加入 4 mL Fmoc-F 凝胶溶液制成的凝胶。37 $^{\circ}\text{C}$ 下, 在 10, 40, 70, 100, 140, 180 min 时取 100 μL 样品, 稀释 10 倍后测定 264 nm 下 Fmoc-F 的特征吸光值, 表示缓冲液中的 Fmoc-F 凝胶的分解情况。平行 3 次, 取平均值。

1.3.6 丁香精油及其包埋物的抑菌试验方法 在 LB 平板培养基^[12]上用滤纸片扩散法^[13]检验丁香精油对大肠杆菌的抑菌效果。

利用液体 LB 培养基检验 Fmoc-F 凝胶对丁香精油的控制释放作用和抑菌效果。具体试验方法如下: 分别向 A、B、C、D 四个锥形瓶中加入含有 1% 大肠杆菌悬浊液的 LB 培养液 15 mL。向空白组 (A 瓶) 中加入 10.25 mL 无菌水; 向控制组 (B 瓶) 中加入 250 μL 无菌水, 10 mL Fmoc-F 凝胶; 向对照组 (C 瓶) 中加入 250 μL 丁香精油, 10 mL Fmoc-F 凝胶; 向试验组 (D 瓶) 中加入包埋了 250 μL 丁香精油的 10 mL 的 Fmoc-F—丁香精油凝胶。混匀后, 将锥形瓶在 210 r/min, 37 $^{\circ}\text{C}$ 下培养, 在培养的不同时间点取 100 μL 样品在 600 nm 下测定吸光度, 以 $OD_{600\text{ nm}}$ 表示。大肠杆菌的浓度用 $OD_{600\text{ nm}}$ 的值来表示。平行 3 次, 取平均值。

2 结果与分析

2.1 标准曲线

由图 1 可知, 丁香精油的浓度与其在 263 nm 下的吸光度有良好的线性相关性。当丁香精油的浓度在 0.002% ~ 0.010% 时, 丁香精油的浓度与其在 263 nm 下的吸光度的标准线性方程为: $Y = 0.014\ 6 + 76.107X$, 线性相关系数 R^2 为 0.996。

2.2 β -环糊精及 Fmoc-F 凝胶对丁香精油包埋率的比较

按照 1.3.2 及 1.3.3 的试验方法, 分别利用 β -环糊精和 Fmoc-F 凝胶对丁香精油进行包埋, 根据图 1 丁香精油的标准曲线和 1.3.4 包埋率的计算方法分别计算两种材料对丁香精油的包埋率, 结果见表 1。

由表 1 可知, Fmoc-F 凝胶对于丁香精油的包埋率

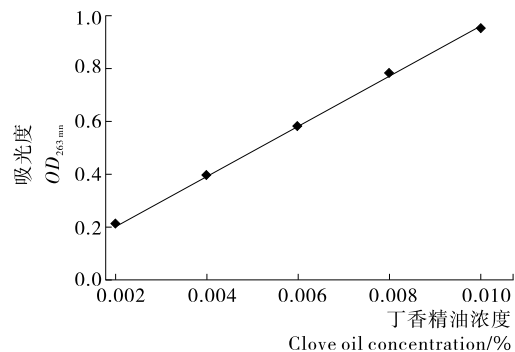


图 1 丁香精油浓度的标准曲线

Figure 1 The standard curve of clove oil concentration

表 1 β -环糊精和 Fmoc-F 凝胶对丁香精油的包埋率比较

Table 1 Loading efficiency of β -cyclodextrin or Fmoc-F hydrogel to clove oil

包埋材料	包埋率/%	芯壁材比(mL/g)
Fmoc-F 自组装	98.69	1 : 0.42
多肽水凝胶		
β -环糊精	18.71	1 : 8

(98.69%) 显著大于 β -环糊精对丁香精油的包埋率 (18.71%)。文献[14]中报道利用新的超声波法制备 β -环糊精—丁香精油包埋物的最优方案下,包埋率也只能达到 21.5%。根据芯壁材比,可以看出,包埋同样体积的丁香精油,需要的 β -环糊精的质量(8.0 g)远远大于所需的 Fmoc-F 的质量(0.42 g)。因此,相对于 β -环糊精,Fmoc-F 是一种高效的可应用于丁香精油包埋的新型包埋材料。

2.3 Fmoc-F 凝胶—丁香精油包埋物的形成机制

Fmoc-F 可溶解在 NaOH 溶液中,此时 Fmoc-F 分子式呈无规则的状态(图 2A),当 GDL 加入后,随着时间的增长,GDL 水解,释放 H^+ ,使溶液的 pH 值下降,苯丙氨酸得到质子,在静电作用力和疏水作用力的作用下,Fmoc-F 逐渐由无规则的状态形成有序的 β -折叠结构(图 2b)。随着时间的增长,有序的 β -折叠纤维相互缠绕形成多孔的三维网状结构(图 2c)从而形成凝胶^[15]。当 Fmoc-F 溶液中有丁香精油存在时(图 2a),由于丁香精油具有疏水性,在 Fmoc-F 进行有序排列时,由于疏水作用力,丁香精油会排列在 Fmoc-F 纤维的疏水端附近(图 2b),当 Fmoc-F 纤维进一步发生缠绕时,会带着丁香精油形成立体三维的网状结构,进而将丁香精油紧紧地包埋在凝胶中(图 2c)。因此利用 Fmoc-F 可高效包埋丁香精油(包埋率达 98.69%)。

2.4 Fmoc-F 凝胶在不同 pH 值的溶液中的分解情况

Fmoc-F 凝胶在不同的 pH 环境下具有不同的响应特性,为了研究 Fmoc-F 凝胶的这一特性,将 Fmoc-F 凝胶分别置于不同 pH 的缓冲液中,并每隔一定的时间测定其分解率,结果见图 3。

检测成胶后的 Fmoc-F 凝胶,其 pH 为 7.0。将 Fmoc-F 凝胶置于 pH 6.5 的磷酸缓冲溶液中,在前 10 min 内仅有

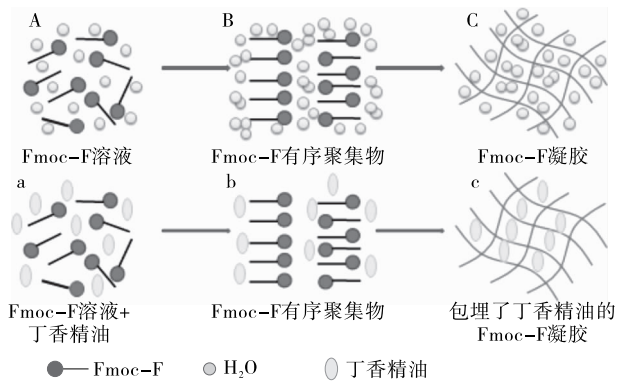


图 2 Fmoc-F 凝胶形成示意图

Figure 2 The process of Fmoc-F hydrogel formation

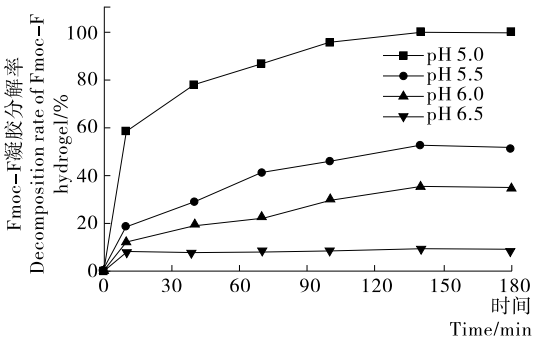


图 3 Fmoc-F 凝胶在不同 pH 溶液中分解率的变化

Figure 3 Decomposition rate of Fmoc-F hydrogel when incubated in different pH buffer

8.1%的凝胶分解,20~180 min 时,分解率基本维持在 9%左右。在 pH 为 6.0 的磷酸缓冲溶液中,前 10 min,凝胶分解率为 12.54%;10~140 min 时,凝胶分解率有缓慢增长,从 12.54%上升到 35.67%;140 min 后,凝胶分解率没有明显上升。进一步降低溶液的 pH,在 pH 为 5.5 的磷酸缓冲溶液中,前 10 min,凝胶分解率为 18.62%;10~140 min 时,凝胶分解率有显著增长,上升到 52.68%;140 min 后,凝胶分解率没有明显上升。当溶液 pH 为 5.0 时,前 10 min,凝胶快速分解,分解率为 58.62%;10~140 min 时,凝胶分解率不断增长;140 min 时,凝胶基本分解完全,分解率达到 100%。

上述结果表明,Fmoc-F 在碱性条件下呈无定形结构,在中性条件下成胶体,在酸性条件下可以分解。这是由于在中性条件下,Fmoc-F 由于疏水作用力和静电作用力形成三级网络结构,当 pH 降低后,Fmoc-F 分子带正电荷,过多的正电荷使分子间斥力增大,导致 Fmoc-F 纤维与纤维间缠结解体,从而导致 Fmoc-F 凝胶解体,Fmoc-F 分子被释放到溶液中^[10]。

2.5 Fmoc-F 凝胶在大肠杆菌菌液中对丁香精油的控制释放作用

因为 Fmoc-F 凝胶可在中性条件下成胶,在酸性条件下分解^[10],而大肠杆菌在生长过程中其菌液的 pH 可以从开始的中性不断降低到酸性^[16],因此将包埋了大蒜精油的 Fmoc-F 凝胶加入大肠杆菌菌液中,通过检测大肠杆菌菌液的 pH 和 OD_{600 nm} 值研究 Fmoc-F 对丁香精油的控制释放作用及其抑菌效果。

2.5.1 丁香精油抑菌浓度的确定 丁香精油具有广谱抗菌活性,对大肠杆菌也有显著的抑菌活性^[17]。为了选择合适的丁香精油浓度,通过滤纸片扩散法,检测不同浓度的丁香精油对大肠杆菌的抑菌圈的大小,结果见表 2。

由表 2 可知,在 0.5%~5.0% 浓度范围中,丁香精油对大肠杆菌均有良好的抑菌效果。当丁香精油浓度为 5.0% 时,平板上没有菌体长出;随着丁香精油浓度的降低,抑菌圈的直径从(1.80±0.25) cm 降到(0.60±0.24) cm。为了在控制释放研究中,使丁香精油既有明显的抑菌效果,在不同时间又有比较明显的差异,在控制释放的研究中选择丁香精油的浓度为 2.5%。

表 2 不同浓度的丁香精油对大肠杆菌的抑菌效果

Table 2 Antibacterial results of clove oil on *Escherichia coli* ($n=3$)

丁香精油 的浓度/%	5.0	3.5	2.5	1.0	0.5
抑菌圈直 径/cm	-	1.80±0.25	1.30±0.20	1.10±0.15	0.60±0.24

2.5.2 Fmoc-F 对丁香精油的控制释放作用 由表 3 可知,当溶液中只有大肠杆菌和 Fmoc-F 凝胶存在时,大肠杆菌的生长周期并没有受到影响,其 *OD* 值的变化规律与大肠杆菌正常的生长周期一致(A 和 B 组):即大肠杆菌的生长平缓期(0~2 h),对数生长期(2~9 h)和稳定期(9~12 h)。在 C 组溶液中,因为添加了丁香精油,在大肠杆菌的生长平缓期(0~2 h),大肠杆菌的生长已经受到了丁香精油的抑制,其 *OD* 值明显(0.126)小于同时时间的 A 组菌液(0.289);在随后的时间里(2~12 h),菌液的 *OD* 值有缓慢上升,从 0.126 增长到 0.743。这可能是由于一方面,丁香精油具有挥发性,其挥发造成丁香精油在溶液中有效浓度的降低;另一方面,丁香精油在空气中容易被氧化^[18],被氧化后的丁香精油的抑菌效果明显降低。当大肠杆菌的菌液中添加了包埋了丁香精油的 Fmoc-F 时(D 组),在大肠杆菌生长的平缓期(0~2 h),大肠杆菌的生长并没有得到抑制(*OD*_{600 nm}为 0.283,与 A 组同时时间的 *OD* 值接近),但在之后的时间内(2~12 h),大肠杆菌的生长受到了明显抑制,且从 3 h 开始 D 组菌液的 *OD* 值始终小于 A、B、C 组同时期的 *OD* 值,并保持在 0.30 以下。这是由于,在培养初期(2 h 前)菌液的 pH 值在 6.0 以上(D 组),Fmoc-F 凝胶的分解率还没有超过 36%(图 3),大部分丁香精油还被包埋在凝胶中,没有发挥抑菌作用。但随着培养时间的增长,菌液 pH 不断下降,当菌液 pH 下降到 5.5 以下后(4 h 后),Fmoc-F 凝胶快速分解,释放出丁香精油从而起到很好的抑菌效果。由于在培养前期,Fmoc-F 凝胶对丁香精油的包埋作用抑制了精油的挥发,因此在后期抑菌过程中,D 组中丁香精油的有效浓度大于 C 组的,从而起到了更好的抑菌效果。

表 3 Fmoc-F 凝胶—丁香精油包埋产物的抑菌效果

Table 3 Antibacterial results of clove oil embedded with or without Fmoc-F

时间/ h	A 组		B 组		C 组		D 组	
	<i>OD</i> _{600 nm}	pH	<i>OD</i> _{600 nm}	pH	<i>OD</i> _{600 nm}	pH	<i>OD</i> _{600 nm}	pH
0.0	0.000	7.0	0.000	7.0	0.000	7.0	0.000	7.0
0.5	0.078	6.8	0.079	6.8	0.067	6.8	0.087	6.7
2.0	0.289	6.0	0.276	6.0	0.126	6.1	0.283	6.0
4.0	0.596	5.1	0.593	5.1	0.396	5.5	0.307	5.2
6.0	0.875	4.7	0.870	4.7	0.457	5.2	0.297	5.0
9.0	1.279	4.4	1.278	4.4	0.695	5.0	0.286	5.2
12.0	1.307	4.3	1.306	4.3	0.743	4.9	0.277	5.1

3 结论

利用具有 pH 响应特性的 Fmoc-F 凝胶包埋丁香精油,研究了 Fmoc-F 凝胶对丁香精油的控制释放作用。结果表明:

(1) Fmoc-F 凝胶对丁香精油的包埋率可达 98.67%,远远大于 β -环糊精对丁香精油的包埋率。

(2) Fmoc-F 凝胶对丁香精油有延缓其挥发并控制其释放的作用。在中性 pH 值下,Fmoc-F 凝胶可以很好地保护丁香精油,抑制其挥发;当溶液 pH 值下降到 6.5 后,Fmoc-F 凝胶开始分解,当溶液 pH 值下降到 5.0 左右时,Fmoc-F 凝胶会快速分解,释放出包埋的丁香精油。

利用 Fmoc-F 凝胶对丁香精油控制释放的特性,可以将 Fmoc-F 凝胶对丁香精油的包埋产物应用到食品防腐领域中,该凝胶可以有效延缓丁香精油的挥发,并当在食品中致病菌增多,环境 pH 下降时有效释放丁香精油,从而发挥长效、高效的抑菌作用。

参考文献

[1] 刘晓丽, 钟少枢, 于泓鹏, 等. 微波法和水蒸气蒸馏法提取丁香精油的研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(4): 110-112.

[2] FRIEDMAN M, HENIKA P R, LEVIN C E, et al. Antibacterial activities of plant essential oils and their components against *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* in apple juice[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2004, 52(19): 6 042-6 048.

[3] ESPINA L, GARCÍA-GONZALO D, LAGLAOUI A, et al. Synergistic combinations of high hydrostatic pressure and essential oils or their constituents and their use in preservation of fruit juices[J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 161(1): 23-30.

[4] 郝喜海, 孙森, 邓靖, 等. 丁香精油- β -环糊精包合物的缓释抗菌性能[J]. 食品科学, 2012, 33(11): 86-88.

[5] 孙森. 基于丁香精油- β -环糊精包合物的聚乙烯醇抗菌膜的制备及性能研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2012: 21.

[6] 张慧芸, 郭新宇. 丁香精油-壳聚糖复合可食性膜对生肉糜保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(18):196-200.

[7] KOUTSOPOULOS S, UNSWORTH L D, NAGAI Y, et al. Controlled release of functional proteins through designer self-assembling peptide nanofiber hydrogel scaffold[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, 106(12): 4 623-4 628.

[8] ALTUNBAS A, LEE S J, RAJASEKARAN S A, et al. Encapsulation of curcumin in self-assembling peptide hydrogels as injectable drug delivery vehicles[J]. Biomaterials, 2011, 32(25): 5 906-5 914.

[9] LIANG Gao-lin, YANG Zhi-mou, ZHANG Rong-jun, et al. Supramolecular hydrogel of a *D*-amino acid dipeptide for controlled drug release in vivo[J]. Langmuir, 2009, 25(15): 8 419-8 422.

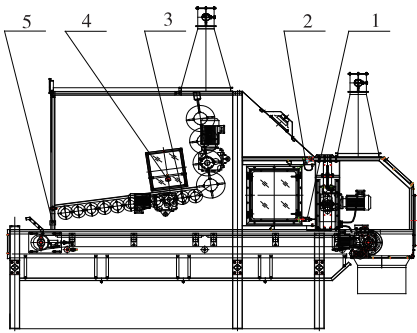
[10] SINGH V, SNIGDHA K, SINGH C, et al. Understanding the self-assembly of Fmoc-phenylalanine to hydrogel formation[J]. Soft Matter, 2015, 11(26): 5 353-5 364.

[11] 范方宇, 蒋生, 旺曹颖. 复凝聚法制备茶油微胶囊[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 181-185.

组减速电机相继启动,此时,散料料高检测漫反射光电开关 2、松散单元料空检测光电开关 4 均未触发,上游设备可以向松散机输送一包薄片烟包。烟包进入松散机的松散单元进行“翻摔筛选法松散”,此过程中如果 2 触发,表示底带上散料料层过高,水平松散辊组减速电机停止,直到 2 解除触发状态;如果 2、4 均解除触发状态,表示松散单元处烟包已经被松散且散料料层不高,松散机完成一个烟包的松散动作,上游设备可以向松散机输送下一个薄片烟包。各处可开启进入松散机内部的活门均设置安全开关 1、5,提高设备安全性。松散单元内部设置内操作急停开关,以防人员进入松散机内部时误开机造成的危险。竖直松散辊组最下端松散辊轴头处设置一只接近开关 3,用于检测松散辊是否正常旋转,不转动则表示松散辊闷车或传动异常。当开关 2、4 均解除触发状态且上游设备停止供料。

3 应用效果

传统松散方式及机械开松方式对松散回潮后再造烟叶加工质量对比检测结果见表 1。由表 1 可知,机械松散+穿



1. 检修侧门安全开关 2. 松散后散料料高检测开关 3. 松散辊转动检测接近开关 4. 松散单元料空检测光电开关 5. 松散单元内部安全补救安全开关

图 5 电控及安全系统示意图

Figure 5 Sketch map of electric control and security systems

流式回潮方式优于传统的切片+真空回潮+松散回潮方式,回潮后烟片松散率提高 0.8%,大中片率提高 2.0%,碎片率降低 0.19%,含水率标偏差减小 0.16%。

表 1 不同松散回潮方式效果对比[†]

Table 1 Loose before and after data comparison

%

松散回潮方式	回潮前				回潮后			
	大中片率	碎片率	松散率	含水率标准偏差	大中片率	碎片率	松散率	含水率标准偏差
切片+真空回潮+松散回潮	98.3	0.3	95.2	0.33	97.1	0.40	99.2	0.26
机械松散+穿流式回潮	99.2	0.2	99.8	0.11	99.1	0.21	100.0	0.10
变化	1.1	-0.1	4.6	-0.22	2.0	-0.19	0.8	-0.16

[†] 再造烟叶加工前大中片率为 99.4%,碎片率为 0.1%;表中“-”表示降低。

4 结语

开发的 FT115 型烟包松散机有效解决了传统回潮方式加工环节多、不易松散、造碎大,回潮效果差、粉尘大等问题。回潮后烟片松散率提高 0.8%,大中片率提高 2.0%,碎片率降低 0.19%,含水率标准偏差减小 0.16%。该设备运行稳定,结构简单,有利于降低卷烟消耗及提高加工质量,具有推广应用价值。

参考文献

[1] 白晓莉,邹泉,牟定荣,等.制丝过程对再造烟叶物理及化学性质的影响[J].烟草科技,2009(8):14-17.
[2] 卢幼祥,张超,严志景,等.两种不同造纸法再造烟叶加工处理方式比较[J].烟草科技,2012(9):14-17.
[3] 张玉海,席年生,王岩,等.造纸法再造烟叶与烟叶部分物理特性指标的对比分析[J].烟草科技,2015,48(8):72-75,87.
[4] 席年生,邓国栋,宋伟民,等.再造烟叶物理特性及其对切丝与卷制效果的影响[J].烟草科技,2014(4):15-19.
[5] 张志刚,许淑红,熊安言.造纸法再造烟叶使用方式对其利用率和卷烟理化指标的影响[J].烟草科技,2012(4):13-15,19.
[6] 李善莲,边腾飞,徐大勇,等.造纸法再造烟叶丝掺配工艺研究[J].烟草科技,2014(5):9-12.
[7] 李来义,闫为民,徐平.造纸法再造烟叶自动松散喂料机的设计与应用[J].烟草科技,2013(5):25-26,45.
[8] 李湘伟,刘尉.基于 PLC 控制的全自动在线清洗系统的设计[J].

食品与机械,2015,31(6):120-123.

[9] 张志强,范军庆,耿秀.椰子剥衣机自动上下料装置[J].食品与机械,2015,31(6):130-131,172.

(上接第 11 页)

[12] 王升智,高波,周智慧,等.重组大肠杆菌 DH5 α 生长曲线的测定[J].黑龙江畜牧兽医,2010(21):96-98.
[13] 王步江,刘金福,樊秀花,等.肉桂精油抑菌活性研究[J].食品与机械,2011,27(6):166-167.
[14] 韩春然,张静,李煜.超声波法制备丁香精油- β -环糊精微胶囊[J].食品科学,2013,34(22):97-100.
[15] SUTTON S, CAMPBELL N L, COOPER A I, et al. Controlled release from modified amino acid hydrogels governed by molecular size or network dynamics[J]. Langmuir the Acs Journal of Surfaces & Colloids, 2009, 25(17): 10 285-10 291.
[16] 刘宁,姚元锋,齐瑛,等.强化工业大肠杆菌生长特性的研究[J].科学技术与工程,2013,13(5):1 223-1 228.
[17] MICHIELS J, MISSOTTEN J, FREMAUT D, et al. In vitro, dose-response of carvacrol, thymol, eugenol and trans -cinnamaldehyde and interaction of combinations for the antimicrobial activity against the pig gut flora[J]. Livestock Science, 2007, 109(1/3): 157-160.
[18] CUI Hai-ying, LI Wei, LI Chang-zhu, et al. Intelligent release of cinnamon oil from engineered proteoliposome via stimulation of Bacillus cereus, protease[J]. Food Control, 2016, 67: 68-74.