



马胜涛,赵旭,贾辉,等. 氨基酸/甘油复合物的制备及其烟草保润性能研究[J]. 轻工学报,2025,40(6): 98-106.

MA S T,ZHAO X,JIA H,et al. Preparation of amino acid/glycerol complex and study on its tobacco moisturizing properties[J]. Journal of Light Industry,2025,40(6):98-106. DOI:10.12187/2025.06.010

氨基酸/甘油复合物的制备及其烟草保润性能研究

马胜涛¹,赵旭¹,贾辉¹,陈泽少¹,杨柳依¹,赵永振¹,贾涛²,席高磊¹

1. 河南中烟工业有限责任公司 技术中心,河南 郑州 450016;
2. 东北林业大学 化学化工与资源利用学院,黑龙江 哈尔滨 150040

摘要:【目的】探究氨基酸与甘油通过超分子作用构建的新型烟草保润剂体系在烟草中的保润性能。【方法】制备 14 种氨基酸/甘油复合物,通过热重分析、Zeta-电位测试、水分吸附实验、烟叶保润性能测试、分子动力学模拟及扫描电子显微镜等手段进行筛选,并探究复合物在烟草中的防潮与保润性能。【结果】14 种氨基酸/甘油复合物中,L-组氨酸/甘油复合物的稳定性最好;在 20 ℃、相对湿度 80%的条件下,L-组氨酸/甘油复合物的吸湿能力弱于甘油,可起到防潮作用;在 20 ℃、相对湿度 60%的条件下,L-组氨酸/甘油复合物的平衡含水率(13.27%)可满足烟草防潮保润需求。【结论】L-组氨酸与甘油之间可通过超分子作用力而结合,并附着于烟叶表面,促使烟叶气孔闭合,减少水分流失或外界水分侵入,从而表现出良好的防潮保润效果。

关键词:氨基酸/甘油复合物;烟草保润剂;防潮保润性能;超分子作用力

中图分类号:TS41 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-1553(2025)06-0098-09

0 引言

烟草中的水分含量对烟草品质和口感具有重要影响,水分含量过高可能导致烟支受潮,燃烧不良,产生劣质烟气;水分含量过低则可能使烟支过于干燥,燃烧过快,口感不佳。因此,控制烟支的水分含量是烟草生产过程中的重要环节。保润剂是一类具有从环境中吸收水分和保持水分能力的物质^[1-2],添加在烟草中可通过调控烟草含水率,增加烟叶的柔软性、降低烟气的干燥感和辛辣感^[3-4]、保

障卷烟的吸食品质^[5]。目前,国内主要采用甘油等单一的多元醇类物质、多糖或者酯类化合物作为保润剂^[6],这些化合物因其结构中富含羟基官能团,能够与水分子形成氢键,从而具有单向吸湿性^[7-9],但此类保润剂往往保润性能不足且缺乏防潮能力^[10-11],无法满足烟草行业需求。针对上述问题,林钊^[12]通过将蔗糖酯和黄精多糖及其酶解物复配制备的双向保润剂(SPMs),能够同时提高烟丝的保润与防潮性能,其中 S-5-H1 的双向保润性能优于丙二醇。王慧娟^[13]为了提高多糖保湿剂的保湿性能,

收稿日期:2025-01-03;修回日期:2025-01-24;出版日期:2025-12-15

基金项目:河南中烟工业有限责任公司 A 类科技项目(AW2023010);黑龙江省重点研发项目(2022ZX02C13)

作者简介:马胜涛(1989—),男,河南省郑州市人,河南中烟工业有限责任公司高级工程师,主要研究方向为烟草化学。
E-mail:mstao89@126.com

通信作者:席高磊(1987—),男,河南省许昌市人,河南中烟工业有限责任公司副研究员,博士,主要研究方向为烟草化学。
E-mail:xigaoleijida@126.com

将保湿效果较好的壳聚糖与黄精多糖进行可控降解后复配的复合保润剂,可提高烟丝平衡含水量,降低解吸速率,并改善表面平整度。因此,制备新型的复合保润剂是一种提高烟草保润效果的可行方式。

超分子相互作用是指分子间通过非共价键产生的可逆结合力,主要是由氢与高电负性原子之间的静电相互作用所形成^[14],包括氢键作用、 $\pi-\pi$ 相互作用和疏水作用等。基于超分子作用力原理,将含有不同 N 原子功能基团的氨基酸与甘油结合形成氢键 $O-H\cdots N$,可以减弱甘油束缚水分的能力,增强甘油防潮性能^[15-16],从而实现对甘油保润剂的改性。

据此,本文拟将不同氨基酸与甘油通过超分子相互作用形成氨基酸/甘油复合物,制备氨基酸/甘油复合物保润剂,利用热重分析(Thermogravimetric Analysis, TGA)和 Zeta-电位测试,评价其稳定性;通过水分吸附性能实验和防潮保润测试,研究其防潮保润性能,并筛选出最优配方;进一步结合分子动力学模拟和场发射扫描电子显微镜(Field Emission Scanning Electron Microscope, FESEM),从分子/微观尺度阐述氨基酸/甘油复合物的防潮保润机理,以期新型烟草保润剂的开发提供理论参考与技术路径。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

主要材料:空白烟叶,由河南中烟工业有限责任公司提供。

主要试剂:甘油、L-亮氨酸、L-异亮氨酸、D-丙氨酸、甘氨酸、缬氨酸、L-色氨酸、D-色氨酸、L-赖氨酸、L-精氨酸、L-组氨酸、D-组氨酸、L-天冬氨酸、L-苏氨酸、L-酪氨酸,上海易恩化学技术有限公司。以上试剂纯度均 $\geq 98\%$ 。

1.2 主要仪器与设备

HWS-50B 型恒温恒湿箱,长葛市明途机械设备有限公司;BSA124 S 型电子分析天平,赛多利斯科学仪器北京有限公司;DF-101 S 型集热式恒温加热磁力搅拌器,上海力辰邦西仪器科技有限公司;PerkinElmer STA-8000 型热重分析仪,珀金埃尔默企业管理有限公司;Nanotrac Wave II 型 Zeta-电位

仪,美国麦奇克仪器有限公司;JSM-7500F 型 FESEM,日本电子公司。

1.3 实验方法

1.3.1 氨基酸/甘油复合物的制备 选取不同氨基酸(极性氨基酸:L-亮氨酸、L-异亮氨酸、D-丙氨酸、甘氨酸、缬氨酸、L-色氨酸、D-色氨酸;非极性氨基酸:L-赖氨酸、L-精氨酸、L-组氨酸、D-组氨酸、L-天冬氨酸、L-苏氨酸、L-酪氨酸)与甘油复合形成不同种类氨基酸/甘油复合体系。以 L-组氨酸为例:称取 5 g 甘油,向其中加入 0.5 g L-组氨酸,在 600 r/min、60 ℃ 的条件下搅拌 4 h,静置 48 h,每隔 6 h 观察 L-组氨酸/甘油复合物的状态。筛选出体系更稳定的复合物,即能够长时间保持均一稳定状态,即为该氨基酸/甘油复合物。

1.3.2 氨基酸/甘油复合物的热重分析 使用热重分析仪测定不同氨基酸/甘油复合物及甘油在不同温度下的热失重行为,筛选出热稳定性更好的复合物。载气为空气,流速为 35 mL/min,升温速率为 10 ℃/min,温度范围为室温至 400 ℃,同步记录热重(TG)曲线数据。TG 曲线的绘制:以加热温度($\theta/^\circ\text{C}$)为横坐标,以样品质量变化率($w/\%$)为纵坐标。

1.3.3 L-组氨酸/甘油复合物 Zeta-电位测定 称取 5 g 甘油,分别加入 0.25 g、0.50 g 和 0.75 g L-组氨酸,于 600 r/min、60 ℃ 条件下搅拌 4 h,获得质量分数为 5%、10% 和 15% 的 L-组氨酸/甘油复合物。称取 0.2 g L-组氨酸/甘油复合物,分散于 5 mL 蒸馏水中,使用 Zeta-电位仪测试其 Zeta-电位,重复测定 3 次,计算平均值。

1.3.4 L-组氨酸/甘油复合物的水分吸附性能测试 室温下准确称取 2 份 0.5 g L-组氨酸/甘油复合物,分别置于直径 3 cm 的玻璃器皿中,将其置于温度 20 ℃、相对湿度分别为 40% 和 80% 的恒温恒湿箱中,分别静置 3 h、6 h、12 h、24 h 和 48 h,分别测定样品初始质量(W_0)和放置后质量(W_n)。以甘油为对照组,每个样品重复 3 次,结果取平均值,按如下公式计算水分吸附率^[17]:

$$\text{水分吸附率} = \frac{W_n - W_0}{W_0} \times 100\%$$

1.3.5 L-组氨酸/甘油复合物在烟叶中的防潮保

润性能测试 分别准确称取 0.4 g 甘油和 L-组氨酸/甘油复合物,分散于 10 mL 蒸馏水中,均匀喷施于平铺在平板上未经处理的烟叶上,空白组喷洒 10 mL 蒸馏水。将已经喷洒复合物溶液的烟叶放在室温下干燥 24 h,使复合物能够被烟叶充分吸收;随后将烟叶置于恒温恒湿箱中,在温度 20 ℃、相对湿度 60%条件下平衡 48 h 后,称量并记录质量 m_1 ,将烟叶放入洁净铝盒(质量 m_0)放入烘箱,控制烘箱温度 100 ℃,烘干 2 h 后取出,冷却至室温称其质量,记为 m_2 。利用差量法测试其平衡含水率^[18]。

$$\text{平衡含水率} = \frac{(m_1 - m_0) - (m_2 - m_0)}{m_1 - m_0} \times 100\%$$

将平衡后喷洒不同 L-组氨酸/甘油复合物的烟叶和空白组烟叶置于温度 20 ℃、相对湿度 40%条件下,测定 120 h 内烟叶的含水率变化,评估保湿性能。另取平衡后喷洒不同配比氨基酸/甘油复合物的烟叶和空白组烟叶,置于温度 20 ℃、相对湿度 80%条件下,测定 120 h 内烟叶的含水率变化,评估防潮性能。

1.3.6 L-组氨酸/甘油复合物的分子动力学模拟 为进一步研究 L-组氨酸/甘油复合物在烟叶中防潮保润的作用机制,使用 GROMACS 2021 软件包对 L-组氨酸和甘油分子进行 MD 模拟^[19-20]。采用高斯 16 编码计算 L-组氨酸、甘油分子的原子电荷,以 6-311 G(d,p)为基函数,利用 GAFF 力场(General Amber Force Field)和 AuToFF 辅助力场(Auxiliary Tools of Force Field)对所有原子进行参数化,将 L-组氨酸与甘油的单体比例控制为 1:25,再将 20 个 L-组氨酸和 500 个甘油分子随机插入边长为 6.0 nm 的立方体盒中,并在所有方向上施加周期边界条件以避免在模拟过程中出现边缘效应。采用最陡下降法对系统进行能量最小化,力容限为 1 kJ/(mol·nm),Berendsen 恒压器以各向同性的方式将压力维持在 1 bar,V-rescale 恒温器将温度维持在 298.15 K。在 NPT 条件下以 2 fs 时间步长进行 20 ns 的分子动力学模拟。采用四阶插值的粒子-网格-埃瓦尔德(Particle-mesh Ewald,PME)评估静电相互作用^[21],以 1.0 nm 的截止值来计算近程范德华相互作用。

1.3.7 施加 L-组氨酸/甘油复合物前后烟叶的微观形貌 将喷洒 L-组氨酸/甘油复合物溶液后的烟叶于室温下晾干,利用 FESEM 观察烟叶表面微观形貌。将烟叶样品切成小段,用导电胶带固定在载物台上,真空喷金处理 90 s,用 FESEM 观察拍照。每份样品均在 1000 倍下拍照,分析比较烟叶表面微观结构。

1.4 数据处理

借助 Microsoft Excel 对所得数据进行汇总整理;采用 Origin 2021 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 氨基酸/甘油复合物的筛选结果

不同氨基酸/甘油复合物的状态如表 1 和图 1 所示。由表 1 和图 1 可知,L-赖氨酸/甘油复合物、L-精氨酸/甘油复合物、L-组氨酸/甘油复合物和 D-组氨酸/甘油复合物形成了稳定的超分子体系,可长时间保持均相状态,无明显沉降或分层现象,具有更好的稳定性,故选取这 4 种氨基酸/甘油复合物进行下一步实验。

2.2 氨基酸/甘油复合物的热重分析

对 L-赖氨酸/甘油复合物、L-精氨酸/甘油复合物、L-组氨酸/甘油复合物、D-组氨酸/甘油复合物和甘油进行热重分析,结果如图 2 所示。由图 2 可知,L-赖氨酸/甘油复合物、L-精氨酸/甘油复合物和甘油的分解温度分别在 125~135 ℃、160~170 ℃和 175~185 ℃之间,其他两种构型的组氨酸/甘油复合物分解温度更高,均在 190~200 ℃之间,这表明组氨酸/甘油复合物的热稳定性更好,且其空间构型与氢键强弱无关,因此选用成本较低的 L-组氨酸/甘油复合物进行后续实验。

表 1 不同氨基酸/甘油复合物的状态

Table 1 States of different amino acid/glycerol complexes

复合物	状态	复合物	状态
L-亮氨酸/甘油	明显分层	L-赖氨酸/甘油	均相(黄色透明状)
L-异亮氨酸/甘油	略微分层	L-精氨酸/甘油	均相(无色透明状)
D-丙氨酸/甘油	略微分层	L-组氨酸/甘油	均相(乳白色不透明状)
甘氨酸/甘油	略微分层	D-组氨酸/甘油	均相(乳白色不透明状)
缬氨酸/甘油	明显分层	L-天冬氨酸/甘油	略微分层
L-色氨酸/甘油	明显分层	L-苏氨酸/甘油	略微分层
D-色氨酸/甘油	明显分层	L-酪氨酸/甘油	略微分层



图 1 不同氨基酸/甘油复合物的状态图片

Fig. 1 State images of different amino acid/glycerol complexes

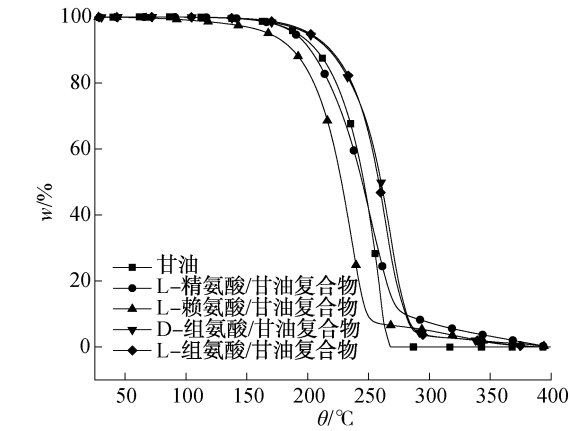


图 2 不同氨基酸/甘油复合物的 TG 曲线

Fig. 2 TG curves of different amino acid/glycerol complexes

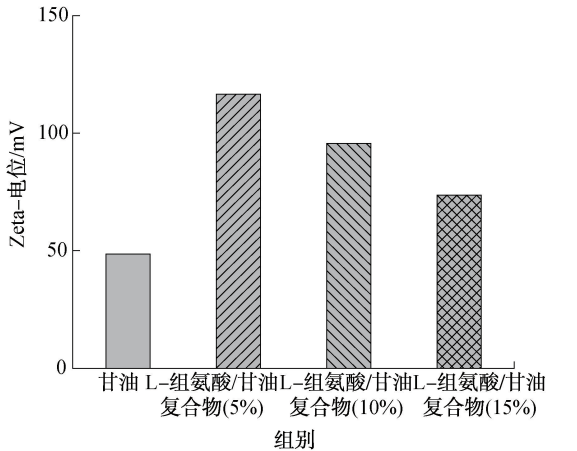


图 3 不同 L-组氨酸/甘油复合物的 Zeta-电位测定结果
Fig. 3 Zeta-potential test results of L-histidine/glycerol complexes

2.3 L-组氨酸/甘油复合物 Zeta-电位测定结果

为了研究 Zeta-电位胶体分散的稳定性,对甘油及不同 L-组氨酸/甘油复合物进行 Zeta-电位测定。Zeta-电位可表征颗粒间相互排斥或吸引作用的强度,分散粒子越小,Zeta-电位绝对值(正或负)越高,体系越稳定,溶解或分散状态越能抵抗聚集^[22];反之,Zeta-电位绝对值越低,越倾向于凝结或凝聚,即吸引力超过了排斥力,分散体系会被破坏而发生凝结^[23]。不同 L-组氨酸/甘油复合物的 Zeta-电位测定结果如图 3 所示。

由图 3 可知,L-组氨酸/甘油复合物的 Zeta-电位均明显高于甘油(48.6 mV),且 L-组氨酸/甘油复合物(5%)的 Zeta-电位最高,为 116.6 mV,这进一步证明了 L-组氨酸/甘油复合体系具有更好的稳定性。

2.4 L-组氨酸/甘油复合物的水分吸附性能分析

不同保润剂随放置时间变化的水分吸附率测定结果如表 2 所示。由表 2 可知,无论在低湿还是高湿环境中,不同 L-组氨酸/甘油复合物和甘油的

表 2 不同保润剂随放置时间变化的水分吸附率测定结果

Table 2 Determination results of moisture adsorption rate of different humectants over storage time %

组别	放置时间/h									
	3		6		12		24		48	
	相对湿度 40%	相对湿度 80%	相对湿度 40%	相对湿度 80%	相对湿度 40%	相对湿度 80%	相对湿度 40%	相对湿度 80%	相对湿度 40%	相对湿度 80%
甘油	17.09	32.54	18.53	57.85	20.01	59.01	22.31	69.38	27.50	79.36
L-组氨酸/甘油复合物(5%)	16.15	39.77	17.69	51.52	20.38	56.44	23.02	71.69	23.93	75.98
L-组氨酸/甘油复合物(10%)	15.84	39.44	17.26	47.97	19.50	53.12	20.40	65.91	21.31	72.35
L-组氨酸/甘油复合物(15%)	15.05	32.38	15.15	43.20	17.48	47.41	19.21	61.81	19.57	64.29

水分吸附率均随时间变化呈上升趋势,但在放置 48 h 后,不同 L-组氨酸/甘油复合物的水分吸附率明显低于甘油,且随 L-组氨酸质量分数增加而降低,这表明 L-组氨酸可通过与甘油形成超分子复合物,有效减少甘油羟基与水分子的接触,从而降低体系的水分吸附率,起到防潮保润作用。

2.5 L-组氨酸/甘油复合物的防潮保润性能分析

在 20 ℃、相对湿度 60% 条件下,保润剂对烟叶平衡含水率的影响见表 3。由表 3 可知,不同 L-组

氨酸/甘油复合物的烟叶平衡含水率均介于空白组与甘油之间,这表明施加 L-组氨酸/甘油复合物的烟叶在不同湿度条件下具有较好的适应性,既能 在高相对湿度下抑制吸湿,又能在低湿度下维持水分,从而说明 L-组氨酸/甘油复合物具有较好的防潮保润性能。

图 4 为不同 L-组氨酸/甘油复合物处理的烟叶在不同相对湿度下的含水率变化。由图 4 可知,在低相对湿度(40%)环境下,不同 L-组氨酸/甘油复合物处理烟叶的含水率在平衡 120 h 后分别为 11.5%、8.9% 和 10.5%,高于空白组(5.8%),并低于甘油处理烟叶(13.5%),表明 L-组氨酸/甘油复合物可有效避免烟叶中水分的过度流失,具有保润作用。在高相对湿度(80%)环境下,不同 L-组氨酸/甘油复合物处理烟叶的含水率分别稳定在 21.4%、20.9% 和 23.0%,高于空白组(19.6%),并低于甘油处理烟叶(25.1%),表明 L-组氨酸/甘油复合物能够有效阻隔外界过多水分进入烟叶,从而

表 3 在 20 ℃、相对湿度 60% 条件下,保润剂对烟叶平衡含水率的影响

Table 3 Effects of moisturizing agent on the equilibrium moisture content of tobacco leaves at 20 ℃ and 60% relative humidity

组别	平衡含水率/%
空白组	11.59
甘油	14.63
L-组氨酸/甘油复合物(5%)	13.58
L-组氨酸/甘油复合物(10%)	13.27
L-组氨酸/甘油复合物(15%)	13.34

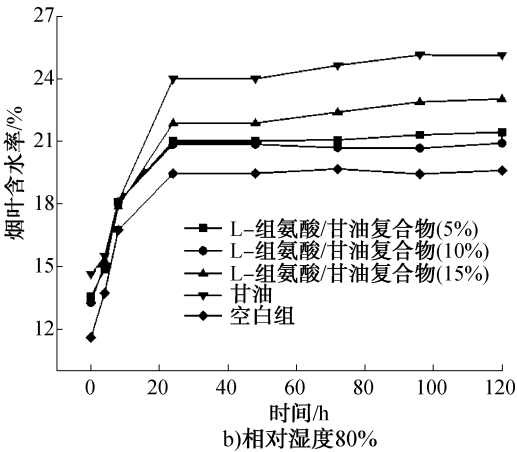
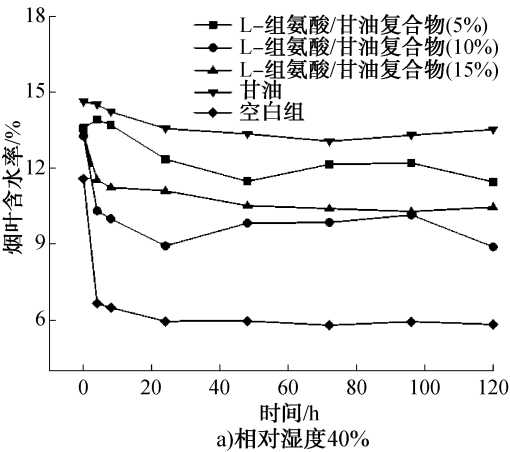


图 4 不同 L-组氨酸/甘油复合物处理的烟叶在不同相对湿度下的含水率变化

Fig. 4 Moisture content changes of tobacco leaves treated with different L-histidine/glycerol complexes under varied relative humidities

起到良好的防潮作用。综合来看,L-组氨酸/甘油复合物可赋予烟叶较好的防潮保湿性能,能够为烟叶在不同相对湿度环境下的品质稳定提供有力保障,并提升烟叶的综合品质与储存稳定性,具有良好的应用潜力。

2.6 L-组氨酸/甘油复合物的分子动力学模拟

甘油与 L-组氨酸的分子间相互作用及体系的模拟初末态模型如图 5 所示,其中 coul 表示静电相互作用,rdw 表示范德华相互作用。由图 5 可知,L-组氨酸与甘油的分子间相互作用随着模拟时间延长迅速降低,而后趋于稳定状态。通过计算得到 L-组氨酸与甘油分子之间的平均静电相互作用能和范德华相互作用能分别为-9 285. 77 kJ/mol 和-7 760. 34 kJ/mol,说明驱动超分子形成的弱相互作用力是静电相互作用和范德华相互作用。

通过模拟计算得出 L-组氨酸分子与甘油分子间形成氢键的 4 种形式如图 6 所示。由图 6 可知,第 1 种氢键形式是甘油分子中羟基上的氢与 L-组氨酸分子中羧基上的氧形成的键长 1. 67 Å 的氢键;第 2 种氢键形式是甘油分子中羟基上的氧与 L-组氨酸分子中氨基上的氢形成的键长 2. 51 Å 的氢键;第 3 种氢键形式是甘油分子中羟基上的氢与 L-组氨酸分子环上的氮形成的键长 1. 96 Å 的氢键;第 4 种氢键形式是甘油分子中的羟基上的氧与 L-组氨酸分子环上的氮形成的键长 1. 97 Å 的氢键。上述模拟结果充分证明了 L-组氨酸与甘油能够形成超

分子复合物,从而减少甘油与外界水分子接触结合的机会。

2.7 施加 L-组氨酸/甘油复合物前后烟叶的表面微观形貌分析

烟叶的组织结构中存在着许多多孔结构,具有良好的吸湿解湿特性^[24]。当周围环境相对湿度较高时,外界水分通过孔道进入烟叶,烟叶含水量增加并维持适宜湿度;而当周围环境相对湿度较低时,烟叶中的水分也会通过孔道逐渐释放出来^[25-26]。这种吸湿解湿特性会影响烟叶的加工、储存和使用,进而影响烟叶的感官品质。不同处理方式下烟叶表面的 FESEM 图如图 7 所示。由图 7a) 可知,仅喷洒了蒸馏水的空白组烟叶表面各气孔张开,水分可快速进出烟叶;由图 7b) 和 c) 可知,喷洒了甘油和 L-组氨酸/甘油复合物的烟叶,表皮细胞中部向上突起,表面凹凸不平,存在大量不规则的褶皱状的纹理结构。喷洒甘油的烟叶微观结构的褶皱颇深,内部组织较为光滑饱满,表示其吸水能力较强。而喷洒 L-组氨酸/甘油复合物的烟叶微观结构的褶皱干瘪,证明其吸水能力弱于甘油。这表明 L-组氨酸/甘油复合物和甘油均可附着在烟叶表面,从而有效减少水分流失或者外界水分进入。相较于甘油,L-组氨酸/甘油复合物可增加烟叶防潮能力,为烟叶在不同环境相对湿度下保持相对稳定的水分含量提供保障,这对于提升烟叶的品质和抽吸体验具有不可忽视的作用。

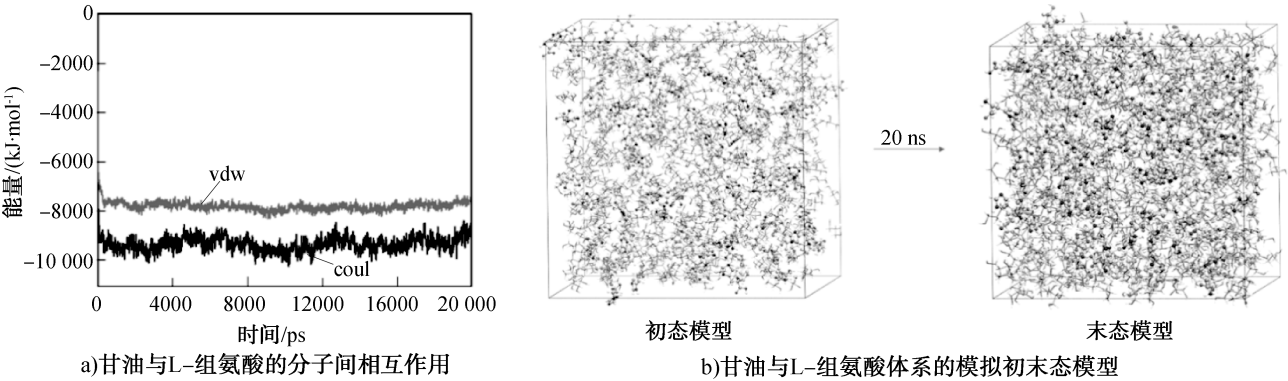


图 5 甘油与 L-组氨酸的分子间相互作用及体系的模拟初末态模型
Fig. 5 Intermolecular interactions between glycerol and L-histidine and the initial and final state models of the system

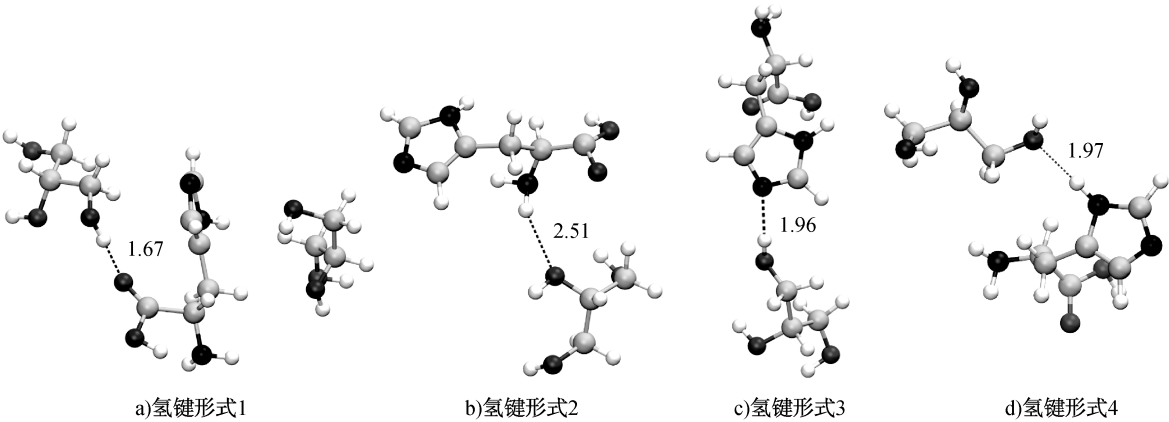


图 6 L-组氨酸与甘油分子间形成氢键的 4 种形式
Fig. 6 Four types of hydrogen bonds formed between L-histidine and glycerol molecules

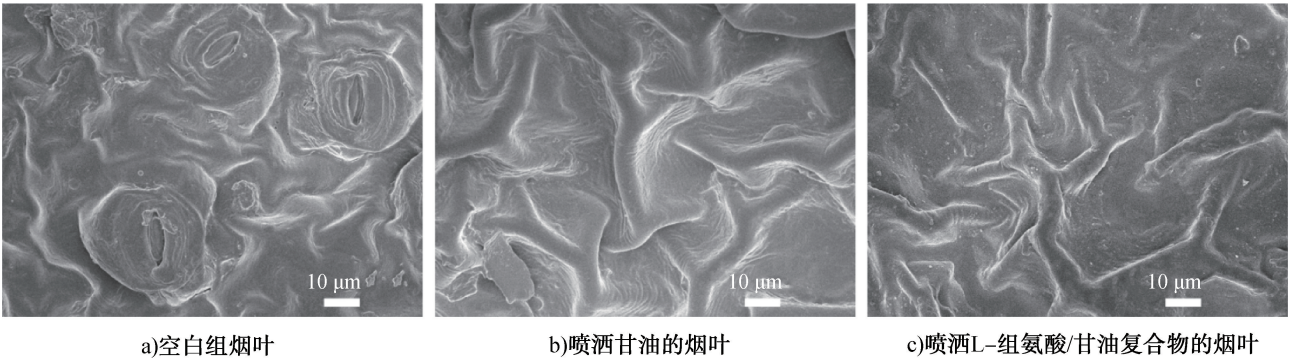


图 7 不同处理方式下烟叶表面的 FESEM 图
Fig. 7 FESEM images of tobacco leaf surfaces under different treatments

3 结论

本文基于超分子作用力原理,建立了由氨基酸与甘油组成的新型烟草保润剂体系,并利用热重分析、Zeta-电位、分子动力学模拟等手段研究其防潮保润性能及作用机制,得到如下结论:筛选出 L-组氨酸、D-组氨酸、L-赖氨酸和 L-精氨酸 4 种稳定性较好的氨基酸/甘油复合物;L-组氨酸/甘油与 D-组氨酸/甘油复合物热稳定性最优且较为接近,说明 L-组氨酸构型对其与甘油的结合无显著影响;L-组氨酸/甘油复合物在低、高相对湿度环境下均具备良好的防潮保润能力;L-组氨酸与甘油通过超分子作用力结合,减少了甘油与外界水分的接触机会,增强了保润防潮效果,将其应用于烟叶表面,可促使烟叶表面气孔闭合,减少水分流失及外界水分进入,且效果优于单独使用甘油。综上,L-组氨酸/甘油复合物作为烟草保润剂,能有效维持烟叶适宜

含水量,减少因水分含量过低或过高导致的品质下降,提升烟草制品感官稳定性,为烟草行业仓储、加工及产品品质提升提供技术支撑。

参考文献:

[1] 楚文娟,樊文鹏,高子婷,等. 新型保润剂丙二醇吡咯酯的制备及其对再造烟叶保润效果研究[J]. 轻工学报, 2024, 39(2): 87-93.
CHU W J, FAN W P, GAO Z T, et al. Preparation of a novel moisturizing agent propylene glycol pyrrolide and its moisturizing effect on reconstructed tobacco leaves [J]. Journal of Light Industry, 2024, 39(2): 87-93.

[2] 蔡波,常晟,周博,等. 天然保润剂的开发及其在卷烟中的应用[J]. 食品工业, 2023, 44(10): 45-49.
CAI B, CHANG S, ZHOU B, et al. Development of natural moistening agent and its application in cigarette [J]. The Food Industry, 2023, 44(10): 45-49.

[3] 徐迎波,陈开波,徐志强,等. 卷烟烟丝食用蜡复配保润剂的保润性能及应用[J]. 食品与机械, 2017, 33

- (2): 179–182.
- XU Y B, CHEN K B, XU Z Q, et al. Retain moisture properties of tobacco recombination humectant of edible wax and its application[J]. Food & Machinery, 2017, 33 (2): 179–182.
- [4] GAO Z T, CHU W J, HAN L, et al. Analysis of hygroscopicity and pyrolysis behaviour of propanediol esters synthesized by the enzymatic method[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2024, 39(2): 125–135.
- [5] 郭华诚,李强,孙雪平,等. 烟草孔隙结构与其物理保润性能的关联性分析[J]. 食品与机械, 2019, 35(8): 44–48, 54.
- GUO H C, LI Q, SUN X O, et al. Correlation between physical moisture retention property in tobacco samples and its pore structure[J]. Food & Machinery, 2019, 35 (8): 44–48, 54.
- [6] 卢武钟,卢红梅,姜黎. 海洋多糖在卷烟中的应用研究进展[J]. 农业与技术, 2023, 43(17): 38–40.
- LU W Z, LU H M, JIANG L. Research progress on the application of marine polysaccharide in cigarettes[J]. Agriculture and Technology, 2023, 43(17): 38–40.
- [7] 陈欢. 糖酯在烟草中的应用研究进展[J]. 农产品加工, 2021, (13): 79–80, 85.
- CHEN H. Application research progress of sucrose esters in tobacco[J]. Farm Products Processing, 2021 (13): 79–80, 85.
- [8] MA H W, JIANG Z Q, TIE J X, et al. Insights into the interfacial transfer impedance behavior of moisture and dynamics of sorption diffusion in dried tobacco leaves surface[J]. Cellulose, 2024, 31(1): 169–185.
- [9] 贾学伟,代玉祥,崔春,等. 甘草固体颗粒香料的改良及卷烟加香应用[J]. 中国烟草学报, 2025, 31(1): 30–39.
- JIA X W, DAI Y X, CUI C, et al. Improvement of licorice solid granular spice and its application in cigarette flavoring[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2025, 31 (1): 30–39.
- [10] 楚桂林. 多糖的热裂解性质分析及其在卷烟中的应用[D]. 南昌: 南昌大学, 2022.
- CHU G L. Analysis of pyrolytic properties of polysaccharides and its application in cigarette[D]. Nanchang: Nanchang University, 2022.
- [11] NADDAFI K, NABIZADEH R, BAGHANI A N, et al. Bioaerosols in the waterpipe cafés: Genera, levels, and factors influencing their concentrations[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019, 26 (20): 20297–20307.
- [12] 林钊. 蔗糖酯-黄精多糖酶解物双向保润作用及应用[D]. 无锡: 江南大学, 2020.
- LIN C. Bilateral moisturizing effect of sucrose ester-polygonatum sibiricum polysaccharide hydrolysate and its application[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.
- [13] 王慧娟. 壳聚糖/黄精多糖酶解物的保湿性能及在卷烟中的应用[D]. 无锡: 江南大学, 2020.
- WANG H J. Moisture retention properties of chitosan/polygonatum polysaccharide enzymatic hydrolysates and its application in cigarettes[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.
- [14] 李翔宇. 调控淀粉超分子作用力制备具有高性能、低迁移量的 PBAT/TPS 全生物降解薄膜[D]. 广州: 华南理工大学, 2023.
- LI X Y. Preparation of PBAT/TPS fully biodegradable films with high performance and low migration weight by regulating the supermolecular interaction of starch[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2023.
- [15] 谢东,田孝诚,周霞,等. 红外和拉曼光谱结合量子力学计算确定甘油分子的室温构象[J]. 大学化学, 2024, 39(12): 302–309.
- XIE D, TIAN X C, ZHOU X, et al. Determining the room-temperature conformation of glycerol molecules using infrared and raman spectroscopy combined with quantum mechanical calculations[J]. University Chemistry, 2024, 39(12): 302–309.
- [16] ESCALANTE D E, ALDRICH C C, FERGUSON D M. Parameterization and application of the general amber force field to model fluoro substituted furanose moieties and nucleosides[J]. Molecules, 2022, 27(9): 2616.
- [17] 李永齐,王芬,廖头根,等. 白鬼笔菌托多糖作为烟草保润剂的性能评价[J]. 食药菌, 2019, 27(6): 383–389.
- LI Y Q, WANG F, LIAO T G, et al. Evaluation of polysaccharides from *Volva* of *Phallus impudicus* as cigarette humectant[J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2019, 27(6): 383–389.
- [18] 单绍琪. 远红外—热风干燥结合保润剂对烟草保润性能及品质的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2020.
- SHAN S Q. Study on the far-infrared-hot air drying combined with humectant on the moisturizing performance and quality of tobacco[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020.
- [19] KOHNKE B, KUTZNER C, GRUBMÜLLER H. A GPU-accelerated fast multipole method for GROMACS: Performance and accuracy[J]. Journal of Chemical Theory and Computation, 2020, 16(11): 6938–6949.
- [20] BOLNYKH V, ROTHLSBERGER U, CARLONI P. Biomolecular simulation: A perspective from high performance computing[J]. Israel Journal of Chemistry, 2020, 60(7): 694–704.
- [21] BURNHAM C J, ENGLISH N J. A new relatively simple approach to multipole interactions in either spherical harmonics or cartesians, suitable for implementation into Ewald sums[J]. International Journal of Molecular

Sciences,2020,21(1): 277.

[22] 张馨予,王婷,王叶凡,等. 小麦麸皮制备纳米纤维素晶体及其性能分析[J]. 天津科技大学学报,2025,40(1): 42-48,56.

ZHANG X Y,WANG T,WANG Y F,et al. Preparation of nanocellulose crystals from wheat bran and analysis of their properties [J]. Journal of Tianjin University of Science and Technology,2025,40(1): 42-48,56.

[23] 李红霞,朴永革,刘友杰,等. 超声波辅助提取绞股蓝多糖及其在卷烟中的应用[J]. 云南民族大学学报(自然科学版),2021,30(4): 347-354.

LI H X,PIAO Y G,LIU Y J,et al. Ultrasound-assisted extraction of *Gynostemma pentaphyllum* polysaccharide and its application in cigarette [J]. Journal of Yunnan Minzu University (Natural Sciences Edition), 2021, 30(4): 347-354.

[24] 楚桂林. 多糖的热裂解性质分析及其在卷烟中的应用[D]. 南昌: 南昌大学,2022.

CHU G L. Analysis of pyrolytic properties of polysaccharides and its application in cigarette [D]. Nanchang: Nanchang University,2022.

[25] 刘欢,楚桂林,任周营,等. 多糖的保润增香机制研究及其在卷烟中的应用[J]. 食品工业,2022,43(7): 39-44.

LIU H , CHU G L, REN Z Y, et al. Study on the moisturizing and flavor-increasing mechanism of polysaccharides and its application in cigarettes[J]. The Food Industry,2022,43(7): 39-44.

[26] 马丹,马林,王君婷,等. 芋头多糖的提取及对烟丝的保润效果[J]. 农产品加工,2019 (13): 55-58.

MA D,MA L,WANG J T,et al. Extraction of polysaccharide from taro and its application in cigarettes[J]. Farm Products Processing,2019 (13): 55-58.

Preparation of amino acid/glycerol complex and study on its tobacco moisturizing properties

MA Shengtao¹,ZHAO Xu¹,JIA Hui¹,CHEN Zeshao¹,YANG Liuyi¹,
ZHAO Yongzhen¹,JIA Tao²,XI Gaolei¹

1. Technology Center,China Tobacco Henan Industrial Co.,Ltd.,Zhengzhou 450016,China;

2. College of Chemistry,Chemical Engineering and Resource Utilization,Northeast Forestry University,Harbin 150040,China

Abstract: **【Objective】** To investigate the moisture-retaining performance of a novel tobacco humectant system based on amino acid-glycerol supramolecular complexes. **【Methods】** Fourteen amino acid-glycerol complexes were synthesized and screened using techniques including thermogravimetric analysis, Zeta-potential measurement, water adsorption tests, tobacco moisture retention assays, molecular dynamics simulations, and scanning electron microscopy to evaluate their moisture-proof and moisture-retaining properties. **【Results】** Among the 14 complexes, the L-histidine/glycerol complex demonstrated superior stability. At 20 °C and 80% RH, it showed lower water adsorption capacity than glycerol, indicating its moisture-barrier function. At 20°C and 60% RH, its equilibrium moisture content (13.27%) satisfied tobacco moisture protection requirements. **【Conclusion】** The complex forms via supramolecular interactions, adheres to tobacco leaf surfaces, and promotes stomatal closure to reduce water loss and prevent external moisture intrusion, thereby providing effective moisture-proof and moisture-retaining properties.

Key words: amino acid/glycerol complex;tobacco humectant;moistureproof and moisturizing property;supramolecular force

[责任编辑:王晓波 贾学伟]