

## 复合调湿凝胶对卷烟微环境湿度调节的研究

楼佳颖<sup>1</sup>, 张乾<sup>1</sup>, 张玮<sup>1</sup>, 林春伟<sup>2</sup>, 费婷<sup>1</sup>

(1.上海烟草集团有限责任公司, 上海 200082; 2.上海海洋大学 食品学院, 上海 201306)

**摘要:** **目的** 通过复合调湿凝胶 P(NAC) 调控微环境的湿度, 使微环境湿度处于相对稳定的状态, 减少环境湿度变化对烟丝含水率的影响。 **方法** 以异丙基丙烯酰胺、丙烯酸、羧甲基纤维素和丙三醇等为原料, 通过自由基聚合合成具有调湿功能的凝胶材料; 在不同湿度条件下, 研究调湿凝胶 P(NAC) 对烟丝含水率的影响。 **结果** 在相对湿度为 60% 的条件下对 P(NAC) 进行预处理。当环境相对湿度为 40%~70% 时, 含有 P(NAC) 的烟丝含水率维持在 10.94%~12.95% 范围内, 烟丝含水率变化幅度较小; 不含 P(NAC) 的烟丝含水率在 8.43%~14.36% 范围内, 烟丝含水率变化明显。 **结论** 复合调湿凝胶 P(NAC) 在调控微环境湿度, 减少烟丝含水率的变化, 保持烟丝的稳定性和质量等方面, 具有一定的实际应用价值。

**关键词:** 调节湿度; 湿度; 凝胶; 异丙基丙烯酰胺; 微环境

中图分类号: TQ326.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)13-0161-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.13.022

## Humidity Adjustment in Micro-environment of Cigarette by Compound Humidity Control Gel

LOU Jia-ying<sup>1</sup>, ZHANG Qian<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>1</sup>, LIN Chun-wei<sup>2</sup>, FEI Ting<sup>1</sup>

(1. Shanghai Tobacco Group Co., Ltd., Shanghai 200082, China;

2. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**ABSTRACT:** The work aims to control the humidity of the microenvironment with compound humidity control gel P(NAC), so that the humidity of the microenvironment is relatively stable, and the effects of changed environmental humidity on the moisture content of cut tobacco are reduced. The gel materials with humidity control function were synthesized from N-isopropylacrylamide (NIPAM), acrylic acid, carboxymethyl cellulose and glycerol by means of free radical polymerization. The effects of humidity control gel P(NAC) on the moisture content of cut tobacco were studied under different humidity. Pretreatment of P(NAC) was conducted under relative humidity RH=60%. When the ambient relative humidity was 40%-70%, the moisture content of cut tobacco containing P(NAC) changed slightly, in the range of 10.94%-12.95%; while the moisture content of cut tobacco without P(NAC) changed significantly, which was 8.43%-14.36%. The compound humidity control gel P(NAC) has certain practical application value in controlling the micro-environment humidity, reducing the moisture content change of cut tobacco, and maintaining the stability and quality of cut tobacco.

**KEY WORDS:** humidity control; humidity; gel; NIPAM; micro-environment

收稿日期: 2019-10-21

作者简介: 楼佳颖 (1985—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为烟草化学。

自然环境下储存的卷烟样品的含水率会随季节湿度的变化而波动,卷烟含水率变化与空气湿度息息相关,且比较显著<sup>[1]</sup>,烟丝含水率与吸食品质也有着至关重要的联系<sup>[2]</sup>。卷烟烟气各项指标的变化程度会对卷烟的感官质量产生较大影响,不同的烟气指标对吸烟者的满足感有较大差异<sup>[3]</sup>。吸烟者在抽烟时必然会受到卷烟湿度的影响,产生不同的吸烟感受。通常在干燥环境中的卷烟抽起来刺激性较大,口感不舒适;在高湿环境中的卷烟吸味浓度会降低<sup>[4-5]</sup>。由此可见,对于烟丝水分的控制也是企业在卷烟制造、运输过程中重要的把控环节之一<sup>[6]</sup>。改进烟用内衬纸的保湿性能、减少水分流失<sup>[7]</sup>,在烟草制造加工过程中添加保湿剂,如多元醇类<sup>[8-9]</sup>、多糖类化学物质<sup>[10-13]</sup>和有机酸<sup>[14-15]</sup>等,均可以维持卷烟的含水率。近年来,智能调节凝胶材料受到广泛关注与研究,其自身受到如温度、光强、pH、电场等变化的影响时,凝胶能够做出敏感性反应<sup>[16-20]</sup>。对于调湿材料,可分为无机盐类<sup>[21]</sup>、矿物类<sup>[22]</sup>、有机高分子类等<sup>[23-24]</sup>。

目前调湿材料主要以无机盐类为主要研究对象,聚-异丙基丙烯酰胺等高分子材料的报道较少,且此类材料在香烟保湿方面的应用还处于空白;聚-异丙基丙烯酰胺(PNIPAM)是一种高分子网络凝胶,具有亲水性,凝胶网络中存在键合水、束缚水和自由水形式的水<sup>[25]</sup>,凝胶中存在亲水基团与疏水基团,能够根据外界湿度的变化来释放或吸收水分<sup>[26]</sup>,维持环境的湿度平衡。为了维持卷烟盒内烟丝含水率的稳定,文中以N-异丙基丙烯酰胺(NIPAM)、丙烯酸(AAC)、羧甲基纤维素钠(CMC-Na)和丙三醇等原料,合成具有湿度调节作用的新型材料P(NAC),通过调节微环境的湿度来实现烟丝含水率相对稳定的效果。

## 1 实验

### 1.1 材料与仪器

主要材料:N-异丙基丙烯酰胺(NIPAM, 98%),东京化成工业株式会社;四甲基乙二胺(TEMED, 98%),国药集团化学试剂有限公司;N,N-亚甲基双丙烯酰胺(MBA),华美生物工程公司;过硫酸铵(APS, 分析纯),国药集团化学试剂有限公司;丙烯酸(AAC, 98%),国药集团化学试剂有限公司;丙三醇(99.9%),国药集团化学试剂有限公司;红双喜烟丝(焦油质量为8 mg),上海烟草集团有限责任公司。

主要仪器:数控超声波清洗器,KQ-300DE,昆山市超声仪器有限公司;电子天平,岛津AUY120,岛津企业管理(中国)有限公司;傅里叶变换红外光

谱仪,Thermo Scientific NICOLET iS10,Thermo Fisher;真空冷冻干燥机,CHRIST Alpha-2 LDplus,Martin Christ Gefrier trocknung sanlagen;电热恒温鼓风干燥箱,DHG9143B5,上海圣科仪器设备有限公司;集热式恒温加热磁力搅拌器,DF-101S,上海力辰邦西仪器科技有限公司;恒温恒湿箱,HPX-160BSH-III,上海圣科仪器设备有限公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 复合调湿凝胶P(NAC)制备与表征

取9 mL去离子水,加入0.01 g的CMC-Na在常温下超声溶解,冰浴条件下分别加入0.19 g单体NIPAM、100 μL的AAC、0.009 g交联剂MBA和1 mL丙三醇继续溶解,混合均匀;加入TEMED与APS,搅拌30 s后混合均匀,将其倒在聚碳酸酯平板上,置于4 °C低温条件下24 h,发生自由基聚合合成P(NAC);制得复合调湿凝胶P(NAC)经切割后,置于去离子水中反复泡洗,除去未反应单体残留,备用。

将P(NAC)通过真空冷冻干燥处理,获得白色干凝胶后采用傅里叶变换红外光谱仪(Thermo Scientific NICOLET iS10)对P(NAC)进行表征。

#### 1.2.2 吸湿性能测定

分别称取干燥至质量恒定的0.5 g(精确称量至0.0001 g)P(NAC)与PNIPAM样品,取预先烘干的称量瓶进行称量,在称量瓶中分别加入0.5 g的P(NAC)与PNIPAM样品,将其放入温度为25.5 °C和相对湿度为90%的恒温恒湿箱中测定吸湿性能;在不同时间段测量样品质量直至质量恒定。吸湿性能计算公式为: $W=(m_t-m_1)/m_r$ ,式中 $m_t$ 为每次称量时称量瓶与样品的总质量, $m_1$ 为称量瓶的质量, $m_r$ 为吸湿前的样品质量。

#### 1.2.3 放湿性能测定

取干燥至质量恒定的0.5 g P(NAC)与PNIPAM,置于温度为25.5 °C和相对湿度为90%的恒温恒湿箱中测量,直至质量恒定,测定其放湿性能;取预先在恒温恒湿环境中达到吸湿饱和的P(NAC)与PNIPAM样品,分别将其置于称量瓶中称量,再放入温度为25.5 °C和相对湿度为30%的恒温恒湿箱中测定其放湿性能;在不同时间段称量样品质量直至质量恒定。放湿性能计算公式: $W=(m_t-m_1)/m_s$ ,式中 $m_t$ 为每次称量时称量瓶与样品的总质量, $m_1$ 为称量瓶的质量, $m_s$ 为吸湿饱和时的样品质量。

#### 1.2.4 P(NAC)对烟丝含水率的影响

卷烟烟丝自身具有一定的吸湿性,烟丝含水率受环境湿度影响较大,成品卷烟的品质、烟气成分和感官特性等方面会发生改变<sup>[27]</sup>;孙雯等<sup>[28]</sup>通过研究烟

丝含水率对卷烟燃吸品质的影响,发现烟丝含水率由低到高,其燃吸品质发生差、好、差的变化,含水率 12.25%和 14.34%卷烟的燃吸品质均较好;即卷烟烟丝含水率在一定范围内,对卷烟的燃吸品质影响较小。按照 YC/T 31—1996<sup>[29]</sup>测定卷烟的烟丝含水率;利用恒温恒湿箱,在温度为 25.5 °C 下分别测定相对湿度为 30%~90%条件下卷烟烟丝的含水率。

将 P(NAC) 在相对湿度为(60±2)%的条件下平衡至质量恒定,一组取 0.2 g 的 P(NAC) 贴在称量皿盖内壁上,另一组不添加 P(NAC);取 1 g 烟丝置于称量皿内,在温度为 25.5 °C 的条件下置于不同湿度环境中一段时间,按照 YC/T 31—1996 测定卷烟的烟丝含水率,测定不同湿度条件下 P(NAC) 对烟丝含水率的影响。

## 2 结果与讨论

### 2.1 复合调湿凝胶 P(NAC) 的表征

制备的 P(NAC) 为白色片状凝胶见图 1。图 2 为该复合调湿凝胶的红外光谱图,其中聚-异丙基丙烯酸酰胺(PNIPAM)在 3400~3200  $\text{cm}^{-1}$  处有一宽吸收峰,为—NH—的吸收峰;2985, 2963, 2865  $\text{cm}^{-1}$  处为—CH<sub>3</sub>及≡CH的 C—H 振动峰,1665  $\text{cm}^{-1}$  处是酰胺基的 C=O 的收缩振动峰;1551  $\text{cm}^{-1}$  处为 C—N 的收缩振动峰;1470  $\text{cm}^{-1}$  处为—CH<sub>3</sub>的不对称振动峰;1399  $\text{cm}^{-1}$  和 1385  $\text{cm}^{-1}$  处为—CH(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 上双甲基的对称振动耦合分裂而出现的振动峰,1230  $\text{cm}^{-1}$  和 1222  $\text{cm}^{-1}$  处的振动收缩峰为—CH(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 中的 C—C。CMC-Na 在 3250  $\text{cm}^{-1}$  处是—OH 吸收峰,1532  $\text{cm}^{-1}$  处是羧酸盐中的—COOH 反对称吸收振动峰,1395  $\text{cm}^{-1}$  处是羧酸盐中的—COOH 对称吸收振动峰;与 P(NAC) 对比,在 3400~3200  $\text{cm}^{-1}$  处宽吸收峰增强,这是由于—NH—和—OH 共同伸缩振动导致;1510  $\text{cm}^{-1}$  处为聚-丙烯酸的 C—O 特征吸收峰,1050  $\text{cm}^{-1}$  处为 CMC 的纤维素醚 β-(1,4) 表二苷键的特征吸收峰,这表明将 NIPAM, AAC 和 CMC-Na 共聚, P(NAC) 复合调湿凝胶制备成功。



图 1 复合调湿凝胶 P(NAC) 样品  
Fig.1 Compound humidity control gel P(NAC) sample

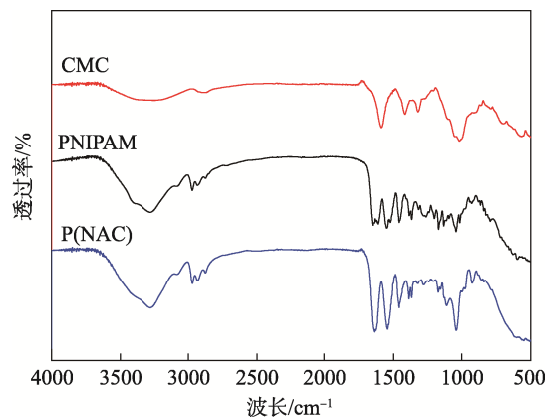


图 2 复合调湿凝胶 P(NAC) 的红外光谱  
Fig.2 FTIR spectrum of compound humidity control gel P(NAC)

### 2.2 复合调湿凝胶 P(NAC) 的吸湿性能

在相对湿度为 90%, 温度为 25.5 °C 的条件下, P(NAC) 的平衡吸湿率大于 110%, 吸湿容量大于 1.10 g/g; PNIPAM 的平衡吸湿率只有 50%, 见图 3。由于 P(NAC) 含有—CONHR<sub>2</sub>、—COOH 和—OH 等亲水基团, 使得 P(NAC) 的亲水性增加, 同时加强了凝胶网络中的氢键作用力, 产生较强水合作用, 网状结构能够提高 P(NAC) 的吸湿性能, 还能容纳更多水分, 同时限制水分子的热运动。湿容量与只含—CONHR<sub>2</sub>—的 PNIPAM 相比有明显的提升, 且 P(NAC) 吸湿动力曲线斜率较 PNIPAM 更大, 说明 P(NAC) 的吸湿敏感性高, 能够更快感知环境湿度的变化, 并吸收环境中的水分。

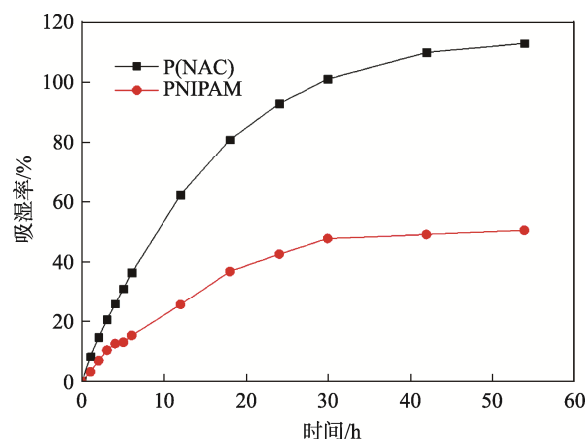


图 3 PNIPAM 和 P(NAC) 等温吸湿动力曲线  
Fig.3 Isothermal hygroscopicity dynamic curves of PNIPAM and P(NAC)

### 2.3 复合调湿凝胶的放湿性能

在相对湿度为 30%, 温度为 25.5 °C 的条件下, P(NAC) 与 PNIPAM 的放湿动力学曲线见图 4。在 0~6 h 内 2 种凝胶放湿速度较快, 其中 PNIPAM 放湿

率达 60%以上, 因为 PNIPAM 凝胶体系中亲水基团对水分子的束缚力小, 同时在低湿度环境下自由水水分快速流失, 所以 PNIPAM 的放湿率大、持水性差; P(NAC) 在前期快速失去表面自由水后, 在较长时间内表现出失水速率显著下降的趋势。由于 P(NAC) 吸湿能力强于 PNIPAM, 自身持水量高, 且凝胶体系中的 CMC-Na 与 AAC 亲水性强,  $-COOH$  和  $-COO^-$  的水合作用强, 因此能够在凝胶网络中束缚自由水的水分子, 减缓凝胶放湿速率, 使凝胶表现出较好的持水性。

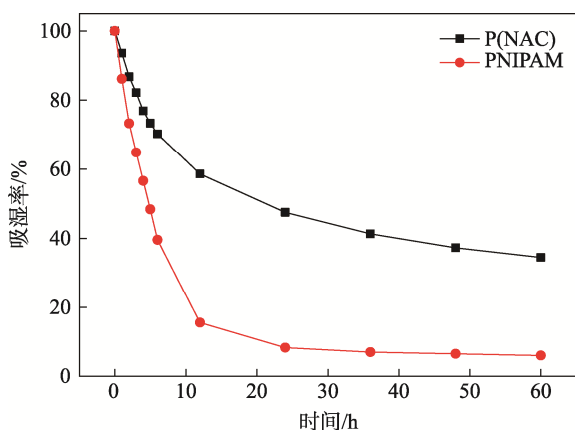


图4 PNIPAM 与 P(NAC) 等温放湿动力曲线  
Fig.4 Isothermal dehumidification dynamic curves of PNIPAM and P(NAC)

### 2.4 P(NAC) 对烟丝含水率的影响

依照 YC/T 31—1996<sup>[29]</sup>测定烟丝的含水率, 见图 5。由于烟丝自身具有一定的吸湿性, 在湿度测定范围内烟丝的含水率随湿度的增加而增大, 且含水率增加速度随湿度的增大而变快; 相同湿度条件下, 测定值总差小于 0.01%, 烟丝含水率差异较小。

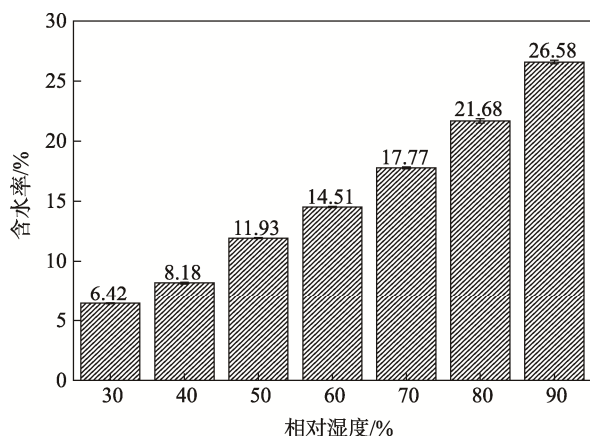


图5 在温度为 25 °C 条件下不同环境湿度的烟丝含水率

Fig.5 Moisture content of cut tobacco under different environmental humidity at 25 °C

烟丝平均含水率为  $(12.50 \pm 0.50)\%$ , 环境相对湿度在 40%~70%之间时, 不含调湿材料 P(NAC) 的烟丝含水率波动较大, 其含水率受到环境湿度的影响, 而含有调湿材料 P(NAC) 的烟丝能有效地保持含水率并维持在平均含水率左右, 环境湿度对烟丝的影响较小, 见图 6。在低湿度和高湿度环境下, P(NAC) 对于烟丝含水率的控制效果差, 是由于在低湿度环境下, 环境蒸气压明显小于 P(NAC) 表面蒸气压, P(NAC) 中的水分持续向外界扩散, 水分丢失严重, 此时环境湿度不变, 无法维持烟丝周围环境的湿度稳定, 最终导致烟丝含水率下降; 而高湿度环境下则相反, 环境蒸气压明显高于 P(NAC) 表面蒸气压, 使其不断吸收环境中的水分, P(NAC) 吸收水分的速度和容量有限, 造成环境中多余水分被烟丝吸收, 最终导致烟丝含水率增加。该实验表明, P(NAC) 可以通过环境湿度的变化进行吸湿与放湿功能, 在相对湿度为 40%~70%时, 能够抑制烟丝含水率发生较大的增加或减少, 减少烟丝水分的流失与增加。

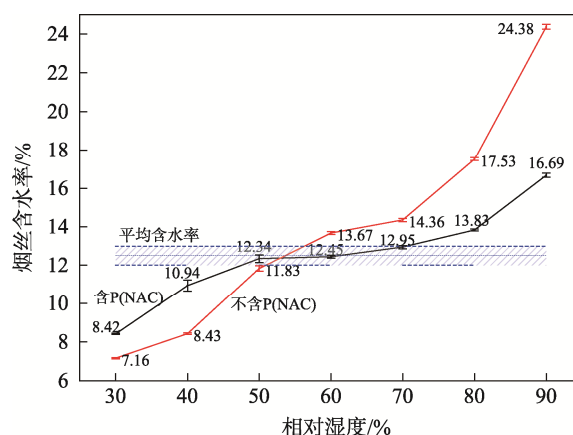


图6 在温度为 25 °C 不同湿度下 P(NAC) 对烟丝含水率的影响

Fig.6 Effect of P(NAC) on moisture content of cut tobacco under different humidity at 25 °C

### 3 结语

实验以 NIPAM、AAC、CMC 和丙三醇为原料, 得到了具有一定调湿性能的复合凝胶, 通过对调湿凝胶的红外光谱表征、吸湿性能、放湿性能和烟丝含水率影响的研究可以得出以下结论。

1) 复合调湿凝胶 P(NAC) 与传统 PNIPAM 凝胶相比, 吸湿性能和容量有明显提升, 是传统凝胶的 2 倍以上, 吸湿容量在 1.10 g/g 以上, 吸湿平衡时间约 55 h, 不仅能够吸收更多水分, 且吸湿速度也明显提高; 在低湿度环境中, P(NAC) 的持水能力高于 PNIPAM, 能在较长时间内缓释水分, 保持微环境内湿度的稳定。

2) 对复合调湿凝胶 P(NAC) 在相对湿度为  $(60 \pm$

2%)的条件下进行预处理后,环境相对湿度为40%~70%时,通过吸湿、放湿功能的调节维持烟丝含水率的相对稳定,调湿效果较好。在低湿度与高湿度条件下,其调湿作用效果差,无法维持烟丝含水率的稳定。

3) 复合调湿凝胶 P (NAC) 对于解决在储存、运输和销售等阶段烟丝水分与外界的交换,保证烟丝含水率,提高烟丝的稳定性和质量等问题,具有一定的实际应用价值。

#### 参考文献:

- [1] 吕春波. 环境湿度对卷烟理化指标及感官质量的影响[J]. 科学家, 2017, 5(17): 21—23.  
LYU Chun-bo. Effects of Environmental Humidity on Physical and Chemical Indicators and Sensory Quality of Cigarettes[J]. Scientist, 2017, 5(17): 21—23.
- [2] 阎瑾. 环境湿度对卷烟烟气成分和风格品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(11): 47—51.  
YAN Jin. Effect of Environmental Humidity on Cigarette Smoke Composition and Style Quality[J]. Food and Machinery, 2017, 33(11): 47—51.
- [3] 宋旭艳, 柯炜昌, 张耀华, 等. 环境湿度对卷烟理化指标及感官质量的影响[J]. 烟草科技, 2007(10): 9—13.  
SONG Xu-yan, KE Wei-chang, ZHANG Yao-hua, et al. Effect of Environmental Humidity on Physical and Chemical Indexes and Sensory Quality of Cigarettes[J]. Tobacco Science and Technology, 2007(10): 9—13.
- [4] 杨凯, 张朝平, 余苓, 等. 卷烟烟气水分对感官舒适度的影响[J]. 烟草科技, 2009(7): 9—11.  
YANG Kai, ZHANG Chao-ping, YU Ling, et al. The Effect of Cigarette Smoke Moisture on Sensory Comfort[J]. Tobacco Science and Technology, 2009(7): 9—11.
- [5] 许健, 李忠任, 倪朝敏, 等. 海拔和相对湿度对卷烟感官质量的影响[J]. 烟草科技, 2009(6): 8—14.  
XU Jian, LI Zhong-ren, NI Chao-min, et al. Effects of Altitude and Relative Humidity on Sensory Quality of Cigarettes[J]. Tobacco Science and Technology, 2009(6): 8—14.
- [6] 顾亮, 李春光, 刘强, 等. 环境温湿度对配送烟丝质量及卷烟质量的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(4): 190—194.  
GU Liang, LI Chun-guang, LIU Qiang, et al. The Influence of Environmental Temperature and Humidity on the Quality of Distribution Tobacco and Cigarette[J]. Food and Machinery, 2017, 33(4): 190—194.
- [7] 张莹, 詹建波, 郑晗, 等. 烟用内衬纸复合涂布设备的开发及应用[J]. 新型工业化, 2017, 7(9): 31—34.  
ZHANG Ying, ZHAN Jian-bo, ZHENG Han, et al. Development and Application of Composite Coating Equipment for Cigarette Inner Lining Paper[J]. New Industrialization, 2017, 7(9): 31—34.
- [8] 郭俊成, 吴达, 程晓蕾, 等. 保润剂对烟草吸湿特性的影响研究[J]. 中国烟草学报, 2013(4): 22—27.  
GUO Jun-cheng, WU Da, CHENG Xiao-lei, et al. The Influence of Humectants on Tobacco Hygroscopic Characteristics[J]. China Tobacco Journal, 2013(4): 22—27.
- [9] 朱保昆, 王明锋, 李先毅, 等. 几种保润剂对“云烟”产品感官舒适性的影响[J]. 烟草科技, 2011(10): 12—16.  
ZHU Bao-kun, WANG Ming-feng, LI Xian-yi, et al. Effects of Several Humectants on Sensory Pleasurableness of “Yunyan” Brand Cigarette[J]. Tobacco Science and Technology, 2011(10): 12—16.
- [10] YAN H, CAI B, CHENG Y, et al. Mechanism of Lowering Water Activity of Konjac Glucomannan and Its Derivatives(Article)[J]. Food Hydrocolloids, 2012, 26(2): 383—388.
- [11] 谭宏祥. 阿拉伯树胶对烟草保润性能的影响研究[J]. 轻工科技, 2014, 30(6): 149—150.  
TAN Hong-xiang. Study on the Effect of Gum Arabic on Tobacco Moistening Properties[J]. Light Industry Technology, 2014, 30(6): 149—150.
- [12] 陈芝飞, 孙志涛, 芦昶彤, 等. 两种果糖衍生物的合成、卷烟保润性能及毒理学试验[J]. 烟草科技, 2014(4): 43—49.  
CHEN Zhi-fei, SUN Zhi-tao, LU Chang-tong, et al. Synthesis Moisture Retentivity in Cigarette and Toxicological Test of Two Fructose Derivatives[J]. Tobacco Science and Technology, 2014(4): 43—49.
- [13] 郭国宁, 严恒, 蔡冰, 等. KSAP-T 的保润性能及其应用研究[J]. 安徽农业科学杂志, 2010, 38(12): 6569—6572.  
GUO Guo-ning, YAN Heng, CAI Bing, et al. Characteristics and Application of Novel Humectant KSAP-T in Tobacco[J]. Anhui Journal of Agricultural Sciences, 2010, 38(12): 6569—6572.
- [14] 周博, 张天栋, 李赓, 等. 乳酸和乳酸盐在卷烟保润中的应用[J]. 中国烟草学报, 2011(6): 8—12.  
ZHOU Bo, ZHANG Tian-dong, LI Geng, et al. Lactic Acid and Lactate Used as Humectants in Cigarettes[J]. Chinese Journal of Tobacco, 2011(6): 8—12.
- [15] 阮晓明, 王青海, 徐海涛, 等. 新型天然保润剂 PDS 在卷烟中的应用[J]. 烟草科技, 2006(9): 9—11.  
RUAN Xiao-ming, WANG Qing-hai, XU Hai-tao, et al. Application of PDS in Cigarette[J]. Tobacco Science and Technology, 2006(9): 9—11.
- [16] JAYARAMUDU T, VARAPRASAD K, ROTIMI S E, et al. Temperature-sensitive Semi-IPN composite Hydrogels for Antibacterial Applications[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2019: 307—316.
- [17] PU Shi-rui, SU Jia-xuan, LI Liu-xiang, et al. Bioins-

- pired Sweating with Temperature Sensitive Hydrogel to Passively Dissipate Heat from High-end Wearable Electronics[J]. *Energy Conversion and Management*, 2019, 180(1): 747—756.
- [18] CHEN Xi, LI Pan-yu, KANG Yan, et al. Preparation of Temperature-sensitive Xanthan/NIPA Hydrogel Using Citric Acid as Crosslinking Agent for Bisphenol a Adsorption[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2019(1): 94—101.
- [19] LIN Yan, FANG Gui-Gan, DENG Yong-Jun, et al. Preparation and Characteristics of a pH-sensitive Glucose-based Hydrogel[J]. *Paper and Biomaterials*, 2018, 3(3): 39—46.
- [20] 余丽丽, 姚琳, 杨黎燕, 等. 环境敏感型药物传递体系的研究进展[J]. *应用化工*, 2012, 41(2): 329—333.  
YU Li-li, YAO Lin, YANG Li-yan, et al. Research Progress of Environmentally Sensitive Drug Delivery System[J]. *Applied Chemistry*, 2012, 41(2): 329—333.
- [21] YANG H, PENG Z, ZHOU Y. Preparation and Performances of a Novel Intelligent Humidity Control Composite Material[J]. *Energy and Buildings*, 2011, 43(2/3): 386—392.
- [22] XIANG Zhuo-ya, YE Fa-yin, ZHOU Yun, et al. Performance and Mechanism of an Innovative Humidity-controlled Hot-air Drying Method for Concentrated Starch Gels: a Case of Sweet Potato Starch Noodles[J]. *Food Chemistry*, 2018, 269(15): 193—201.
- [23] ZHANG Hong-yan, ZHANG Min, LIN Cun-chong, et al. AuNPs Hybrid Black ZnO Nanorods Made by a Sol-Gel Method for Highly Sensitive Humidity Sensing[J]. *SENSORS*, 2018, 18(1): 218.
- [24] ZHANG Nan, FANG Shu-ying, XIA Wei, et al. Preparation and Characterization of Functional Humidity-controlling Materials[J]. *Journal Functional Materials*, 2013, 44(3): 3337—3342.
- [25] VAN NOSTRUM C F, VELDHUIS T F J, HERNINK W E, et al. Tuning the Degradation Rate of Poly (2-Hydroxypropyl Methacrylamide)-Graft-Oligo (Lactic Acid) Stereocomplex Hydrogels[J]. *Macromolecules*, 2004, 37(6): 2113—2118.
- [26] 董同力嘎, 王爽爽, 赵淑环, 等. 温敏水凝胶对疏水性药物的装载及释放行为[J]. *包装工程*, 2013, 34(7): 34—37.  
DONG Tungalag, WANG Shuang-shuang, ZHAO Shu-huan, et al. Drug Loading and Release Behavior of Thermosensitive Hydrogel[J]. *Packaging Engineering*, 2013, 34(7): 34—37.
- [27] 李达, 李晓科, 许仁杰, 等. 烟丝含水率对成品烟丝致香成分影响的研究[J]. *中国测试*, 2019, 45(7): 74—79.  
LI Da, LI Xiao-ke, XU Ren-jie, et al. Study on the Influence of Moisture Content of Cut Tobacco on Aroma Components of Finished Cut Tobacco[J]. *China Test*, 2019, 45(7): 74—79.
- [28] 孙雯, 李雪梅, 曾晓鹰, 等. 烟丝含水率对卷烟燃吸品质、烟气水分及粒相物挥发性成分的影响[J]. *烟草科技*, 2009(1): 33—39.  
SUN Wen, LI Xue-mei, ZENG Xiao-ying, et al. Effect of Moisture Content of Cut Tobacco on Cigarette Smoking Quality, Smoke Moisture and Volatile Components of Particulate Matter[J]. *Tobacco Science and Technology*, 2009(1): 33—39.
- [29] YC/T 31—1996, 烟草及烟草制品试样的制备和水分测定烘箱法[S].  
YC/T 31—1996, Preparation of Tobacco and Tobacco Products Samples and Oven Method for Moisture Determination[S].