

贮藏时间对造纸法再造烟叶抗张强度和热失重特性的影响

Effects of storage time on tensile strength and thermogravimetric properties of paper-making reconstituted tobacco

曹 毅¹ 朱怀远¹ 汪 祺²

CAO Yi¹ ZHU Huai-yuan¹ WANG Qi²

袁广翔³ 殷瑜东¹ 薛 冬¹

YUAN Guang-xiang³ YIN Yu-dong¹ XUE Dong¹

(1. 江苏中烟工业有限责任公司技术中心, 江苏 南京 210019; 2. 江苏省烟草质量监督检测站, 江苏 南京 210018; 3. 江苏鑫源烟草薄片有限公司, 江苏 淮安 223002)

(1. Technology Center, China Tobacco Jiangsu Industrial Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210019, China;
2. Jiangsu Tobacco Quality Test Station, Nanjing, Jiangsu 210018, China;
3. Jiangsu Xinyuan Reconstituted Tobacco Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223002, China)

摘要:目的:了解造纸法再造烟叶在贮藏过程中内在化学成分、抗张强度和热失重特性随时间变化的规律,获得再造烟叶最佳使用时间。方法:对不同贮藏时间下 3 种造纸法再造烟叶(JS-A、JS-B 和 JS-C)的常规化学成分、抗张强度和热失重特性进行分析比较。结果:JS-A 和 JS-B 样品的总植物碱、总糖、总氮和水分含量随贮藏时间增加变化显著,JS-C 样品的总植物碱和总氮含量变化不显著。贮藏时间对 3 种再造烟叶的纵向抗张强度影响显著,均在 180 d 时出现最大值。3 种样品的第二阶段失重率和归一化热焓值随贮藏时间的增加有显著变化,均在 360 d 时达到最大值。结论:3 种再造烟叶适宜的贮藏时间为 180~360 d。

关键词:造纸法再造烟叶;贮藏时间;化学成分;抗张强度;热重分析

Abstract: Objective: To investigate the effect of storage time on the quality of paper-making reconstituted tobacco, the change of internal chemical components, tensile strength and thermogravimetric properties of paper-making reconstituted tobacco were studied. **Methods:** Continuous flow analyzer, tensile strength

tester and thermogravimetric analyzer were introduced to analyze three kinds of paper-making reconstituted tobacco with different storage time. **Results:** The contents of total alkaloids, total sugar, total nitrogen and moisture of JS-A and JS-B samples changed significantly with the increase of storage time. While the content of total alkaloids and total nitrogen of JS-C samples didn't change much. Besides, storage time had a significant effect on the longitudinal tensile strength of the three kinds of reconstituted tobacco leaves. Further, for all of the samples, the maximum values appeared at 180 days. The weight loss rate and normalized enthalpy of the three samples in the second stage changed significantly with the increase of storage time, and reached the maximum value at 360 days. **Conclusion:** The suitable storage time of three kinds of reconstituted tobacco leaves was between 180 and 360 days.

Keywords: paper-making reconstituted tobacco; storage time; chemical components; tensile strength; thermogravimetric analysis

再造烟叶主要由烟末、碎片、烟梗或低次烟叶、胶黏剂和其他添加剂等组成,是卷烟叶组配方的重要原料之一。再造烟叶因其能够充分利用烟草废弃物,降低生产成本,同时在改善卷烟产品质量、降焦减害和新型烟草制品中发挥重要作用,因此受到卷烟企业的高度重视^[1-2]。

目前,与再造烟叶相关的研究主要集中在生产加工工艺优化^[3-4]、物理性能改进^[5-6]、化学成分和热性能分

基金项目:江苏中烟工业有限责任公司科技项目(编号:201912)
作者简介:曹毅,男,江苏中烟工业有限责任公司高级工程师,博士。

通信作者:薛冬(1976—),男,江苏中烟工业有限责任公司工程师,硕士。E-mail:hy1999003@jszygs.com

收稿日期:2021-06-21

析^[7-8]等方面。而关于贮藏时间对烟草及烟草制品的影响更多地集中在烟叶和成品卷烟的外观、内在化学成分和感官质量方面^[9-10],以及再造烟叶的颜色、常规化学成分和感官质量变化等方面^[11-12]。然而,再造烟叶在贮藏过程中,其理化性质的改变是一个复杂的变化过程,单独从某一方面进行研究尚难以对再造烟叶的品质变化进行综合评价。因此,综合考察贮藏过程中再造烟叶的物理和化学性质变化规律,对于客观评价和优化再造烟叶贮藏时间具有重要意义。再造烟叶的原料特性决定了其内在成分中纤维素、半纤维素、木质素和多糖类大分子物质含量较高。通常认为,贮藏过程中,再造烟叶的内在物质在无机催化剂或酶的作用下会发生改变,产生类似烟叶醇化过程中的酶促反应^[13-14]。研究^[12]发现,再造烟叶在装箱贮藏期间,其内在质量和感官品质都受到贮藏时间的影响。其中,抗张强度的变化会对再造烟叶成丝和掺配性能造成影响,而化学成分和热失重的变化则反映了再造烟叶产品内在品质和燃烧性能的波动。因此,文章拟以造纸法再造烟叶为研究对象,对比分析不同贮藏时间下再造烟叶的化学成分、抗张强度和热失重的变化趋势,以期对再造烟叶最佳使用时间提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

针叶浆:加拿大虹鱼牌,加拿大 Domtar 公司;
阔叶浆:巴西鹦鹉牌,巴西 Aracruz Celulose 公司;
轻质碳酸钙:分析纯,四川益帮科技有限公司;
瓜尔胶:分析纯,昆山京昆油田化学科技开发公司;
3 种规格造纸法再造烟叶(见表 1):2018 年 5 月生产,江苏鑫源烟草薄片有限公司;
电子天平:XP205 型,感量 0.000 01 g,瑞士 Mettler Toledo 公司;
连续流动分析仪:AAS-305D 型,美国 API 公司;
抗张强度仪:F81502 型,德国 Frank 公司;
热重分析仪:TGA/DSC 3⁺ 型,瑞士 Mettler Toledo 公司。

1.2 方法

1.2.1 取样 仓库环境温湿度为温度 $\leq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$,湿度 $\leq$

70%。包装方式为纸箱附塑料内衬袋包装。仓库中再造烟叶分垛贮藏,每垛 4 箱,每次取样均从相同垛的 4 个箱中分别取出不少于 1 kg 的再造烟叶,混匀后放入干净密封袋中。取样时间按入库时间,间隔 90,180,360,510,670 d 依次取样。

1.2.2 化学成分和水分含量测定

- (1) 总植物碱含量:按 YC/T 160—2002 执行。
- (2) 水溶性糖含量:按 YC/T 159—2002 执行。
- (3) 总氮含量:按 YC/T 161—2002 执行。
- (4) 水分含量:按 YC/T 31—1996 执行。

1.2.3 抗张强度测定 样品于温度 $(22\pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(60\pm 3)\%$ 下平衡不少于 6 h。从平衡后无损伤的再造烟叶样品上,切取宽度为 $(15.0\pm 0.1)\text{ mm}$,长度足够夹持在两夹头之间的试样。应避免用裸手接触试样的试验区域,试验区域内不应有水印、折痕和皱褶。试样的两长边应平直,整个夹持长度内其平行度应不超过 $\pm 0.1\text{ mm}$ 。切口应整洁、无损伤。切取足够数量的试样,使要求的每个方向(纵向或横向)至少可进行 10 次试验^[15]。

1.2.4 热重分析 样品分析前,以空氧化铝坩埚为参比,在 40 mL/min 空气流量下,以 20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温速率从室温升至 800 $^{\circ}\text{C}$,恒温 10 min,重复升温 3 次,以此为空白参比。将平衡后的再造烟叶样品用打孔器截取一完整圆形截片,称重后平铺于氧化铝坩埚底部,按相同的升温条件测定样品的热重数据。

1.3 数据处理与分析

采用 Excel 2010 软件进行数据的基础整理和分析,SPSS 19 软件进行方差分析,通过 LSD 多重比较分析样品各项指标随贮藏时间变化的显著性,显著性水平设定为 $P=0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 贮藏时间对再造烟叶化学成分和水分含量的影响

由表 2 可知,JS-C 样品的总植物碱($P=0.242$)和总氮($P=0.088$)含量随贮藏时间的变化不显著,而其余各项指标均随贮藏时间的增加有显著性变化。其中,JS-A 和 JS-B 样品的总植物碱含量随贮藏时间的增加逐渐降低,在贮藏 670 d 时达到最低值,与贮藏初期相比分别下

表 1 3 种再造烟叶的主要原料配比[†]

Table 1 Main raw material ratio of three kinds of reconstituted tobacco %

样品	烟草原料配比			外加原料占烟草原料质量百分比		
	烟梗	烟叶碎片	烟末	外加纤维	填料	助剂
JS-A	50.0	35.0	15.0	7.0~10.0	8.0~12.0	0.1~0.2
JS-B	20.0	70.0	10.0	7.5~10.5	8.0~12.0	0.1~0.2
JS-C	30.0	55.0	15.0	7.5~10.5	8.0~12.0	0.1~0.2

[†] 烟叶碎片为打叶复烤过程中收集得到;烟末为卷烟加工过程中收集得到;外加纤维为针叶浆与阔叶浆按质量比 6 : 4 掺配;填料为碳酸钙;助剂为瓜尔胶。

表 2 3 种再造烟叶化学成分随贮藏时间的变化[†]

Table 2 Results of the chemical components of three kinds of reconstituted tobacco with different storage time

贮藏时 间/d	总植物碱/%			总糖/%			总氮/%		
	JS-A	JS-B	JS-C	JS-A	JS-B	JS-C	JS-A	JS-B	JS-C
0	1.11±0.04 ^a	1.37±0.03 ^a	1.43±0.05 ^a	9.31±0.44 ^{ab}	12.37±0.10 ^b	9.96±0.02 ^b	1.47±0.02 ^b	1.65±0.04 ^b	1.62±0.05 ^b
90	1.10±0.02 ^a	1.36±0.01 ^a	1.43±0.04 ^a	9.24±0.47 ^{ab}	12.28±0.11 ^{bc}	9.87±0.23 ^b	1.47±0.02 ^b	1.60±0.13 ^b	1.65±0.16 ^{ab}
180	1.01±0.03 ^b	1.26±0.03 ^b	1.32±0.01 ^b	9.73±0.13 ^a	12.93±0.28 ^a	10.38±0.18 ^a	1.48±0.08 ^b	1.63±0.06 ^b	1.57±0.06 ^b
360	1.02±0.03 ^b	1.23±0.03 ^b	1.36±0.04 ^{ab}	9.16±0.46 ^{ab}	12.75±0.13 ^{ab}	10.44±0.29 ^a	1.47±0.04 ^b	1.60±0.06 ^b	1.65±0.08 ^{ab}
510	0.98±0.03 ^c	1.23±0.05 ^b	1.36±0.09 ^{ab}	8.86±0.41 ^b	11.89±0.46 ^c	9.43±0.43 ^b	1.61±0.04 ^a	1.75±0.05 ^{ab}	1.64±0.09 ^b
670	0.96±0.05 ^c	1.22±0.06 ^b	1.40±0.14 ^{ab}	8.67±0.57 ^b	11.29±0.43 ^c	9.53±0.91 ^b	1.60±0.02 ^a	1.78±0.04 ^a	1.79±0.10 ^a

† 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

降了 13.5%,10.9%;JS-A、JS-B 和 JS-C 样品的总糖含量随贮藏时间的增加先增高后降低,在贮藏 180~360 d 内出现峰值,510 d 后均低于初始值。

研究^[16]表明,烟草中烟碱在陈化和发酵过程中由于酶和非酶反应作用可在某种程度上实现降解转化。因此贮藏过程中,再造烟叶中烟碱含量逐渐降低,但是变化幅度相对较小。再造烟叶内部的淀粉在淀粉酶的作用下,水解生成低聚糖,导致贮藏初期总糖含量升高。但是随着时间的推移,再造烟叶中酶活性降低,而非酶棕色化反应程度加深,低聚糖中部分还原糖与氨基酸发生反应,生成低级羰基化合物、低级脂肪酸、呋喃化合物和吡咯衍生物等,造成贮藏后期总糖含量减少。再造烟叶的总氮含量在贮藏 0~360 d 内较为稳定,但在 510 d 后却略有上升,可能与再造烟叶原料中含氮无机盐的转变有关,其相关机理有待进一步研究。

由表 3 可知,3 个样品的水分含量随贮藏时间的增加均有显著性改变,总体呈先降低后升高的趋势。入库前,样品水分含量均在 11% 左右。随着贮藏时间的增加,再造烟叶中的蛋白质和淀粉等物质在酶的作用下发生水解反应。该过程消耗了部分水分,同时也导致再造烟叶吸湿性能下降,水分散失加快,再造烟叶中水分含量开始降低,并在贮藏 180~360 d 内降至了 9.42%~9.61%。随着贮藏时间的增加,再造烟叶中淀粉水解产生的单糖和低聚糖会提高再造烟叶的保润性能,而且这一阶段再造烟叶内部的还原糖和氨基酸缓慢发生非酶棕色化反应,伴随着水分的生成,再造烟叶水分含量又回升至 10.23%~11.24%。

2.2 贮藏时间对再造烟叶抗张强度的影响

由表 4 可知,JS-B 和 JS-C 样品的横向抗张强度随贮藏时间的变化不显著,JS-A 样品的横向抗张强度以及 3 种样品的纵向抗张强度随贮藏时间的增加均呈显著性变化。JS-A 样品的横向抗张强度为 0.53~0.62 kN/m,纵向抗张强度为 1.08~1.20 kN/m,明显高于 JS-B 和 JS-C 样品的,说明 JS-A 样品的结构较为紧密,烟草原料和外加纤维之

表 3 3 种再造烟叶水分含量随贮藏时间的变化[†]

Table 3 Results of the water content of three kinds of reconstituted tobacco with different storage time

贮藏时 间/d	水分/%		
	JS-A	JS-B	JS-C
0	11.16±0.43 ^a	11.00±0.27 ^a	10.93±0.15 ^a
90	9.92±0.17 ^{bc}	10.00±0.07 ^c	10.07±0.48 ^b
180	9.47±0.49 ^c	9.51±0.38 ^d	9.45±0.42 ^c
360	9.61±0.29 ^c	9.49±0.32 ^d	9.42±0.19 ^c
510	10.23±0.08 ^b	10.37±0.05 ^b	11.24±0.26 ^a
670	10.65±0.16 ^b	10.42±0.13 ^b	10.84±0.50 ^a

† 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

间结合程度较高。JS-B 和 JS-C 样品的抗张强度比较接近,在整个贮藏期间,两者的横向抗张强度变化不显著,均值分别为 0.40~0.48 kN/m 和 0.40~0.43 kN/m。这可能是两者的烟草原料和外加纤维之间结合程度较为相近,在微观结构上差异不大。

JS-A 样品初始横向和纵向抗张强度分别为 0.53, 1.10 kN/m。随着贮藏时间的增加,JS-A 样品的横向和纵向抗张强度逐渐增大,180 d 时达到最大;随后,JS-A 样品的抗张强度有所降低。其中,横向抗张强度在贮藏 360 d 时降低到 0.57 kN/m,之后又有所回升,接近贮藏 180 d 时的抗张强度;而纵向抗张强度在贮藏 180 d 后有所降低,其中贮藏 360~510 d 内维持在 1.15 kN/m,但是贮藏 670 d 时,纵向抗张强度甚至比开始贮藏前还要低。与 JS-A 样品相似,JS-B 样品的横向和纵向抗张强度在贮藏 180 d 时达到最大。随着贮藏时间的增加,该样品的横向和纵向抗张强度有所降低。但是贮藏 360~670 d,JS-B 样品的抗张强度基本维持在较为稳定的水平。说明这一阶段 JS-B 样品的结构经过长时间贮藏后处于比较稳定的状态。与 JS-A 和 JS-B 样品相比,JS-C 样品的横向抗张强度一直处于比较稳定的状态,整体变化不显著,说明贮藏时间对该样品的横向抗张强度影响不大。JS-C 样品的

表 4 3 种再造烟叶抗张强度随贮藏时间的变化[†]

Table 4 Results of the tensile strength of three kinds of reconstituted tobacco with different storage time

贮藏时间/d	横向抗张强度/(kN·m ⁻¹)			纵向抗张强度/(kN·m ⁻¹)		
	JS-A	JS-B	JS-C	JS-A	JS-B	JS-C
0	0.53±0.01 ^b	0.44±0.01 ^{ab}	0.40±0.01	1.10±0.02 ^{bc}	0.77±0.03 ^{bc}	0.77±0.01 ^c
90	0.56±0.03 ^b	0.41±0.02 ^b	0.43±0.04	1.12±0.01 ^{bc}	0.79±0.06 ^b	0.80±0.02 ^b
180	0.62±0.02 ^a	0.48±0.06 ^a	0.43±0.02	1.20±0.03 ^a	0.85±0.04 ^a	0.87±0.002 ^a
360	0.57±0.04 ^b	0.41±0.02 ^{ab}	0.43±0.02	1.14±0.03 ^b	0.72±0.02 ^c	0.86±0.02 ^a
510	0.62±0.01 ^{ab}	0.44±0.02 ^{ab}	0.43±0.01	1.16±0.06 ^{ab}	0.75±0.05 ^{bc}	0.76±0.01 ^c
670	0.61±0.05 ^{ab}	0.40±0.09 ^b	0.43±0.04	1.08±0.04 ^c	0.72±0.02 ^c	0.85±0.03 ^a

[†] 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

纵向抗张强度在贮藏 0~180 d 时处于逐渐增大的趋势。而贮藏 180~510 d 时,该样品的纵向抗张强度又逐步减弱。但是继续延长贮藏时间后,该样品的纵向抗张强度又重新增强,在 670 d 后再次达到峰值。

从原料分析,3 种再造烟叶的外加纤维、填料和助剂的添加比例相当,差异主要体现在烟梗的添加量。其中,JS-A 的烟梗添加量最大(50%),其横向和纵向抗张强度在贮藏过程中显著高于同时期的 JS-B 和 JS-C 再造烟叶。JS-B 的烟梗添加量最低,其纵向抗张强度明显低于同时期的 JS-C 和 JS-A 样品。由于烟梗中纤维含量较高,是再造烟叶基片强度和骨架的重要组成,因此在其他原料添加量相近的条件下,烟梗添加量与再造烟叶的抗张强度尤其是纵向抗张强度呈正相关。贮藏 0~180 d,再造烟叶在装箱后受自身沉降作用,逐渐被压实,长纤维之间网状结构通过氢键连接变得更加紧密,整体抗张强度得以加强。贮藏 180~360 d 是抗张强度回落阶段,再造烟叶在箱中的醇化过程持续进行,逐渐变得柔软,整体抗张强度有所回落。贮藏 360 d 后,再造烟叶的抗张强度相对较为稳定,说明此阶段再造烟叶的性能已经较为稳定。

2.3 3 种再造烟叶的 TG/DSC 表征

以 JS-A 样品为例,其贮藏 180 d 后的 TG/DSC 表征结果如图 1 所示。由图 1 可知,JS-A 样品在空气氛围下,随着温度的升高,主要出现 4 个阶段热失重:① 35~100 °C 为第 1 失重阶段,失重较小约为 7%,DTG 曲线表现为一个较小的包峰,主要是再造烟叶中的水分和一些易挥发物质受热逸出引起的^[17]。② 139~397 °C 为第 2 失重阶段,失重率约为 43%。DTG 曲线上,195,270 °C 处有两个比较微弱的热失重峰,310 °C 处有一个较强的失重峰。其中,195 °C 处是再造烟叶中的保润剂、单糖和其他一些小分子物质热裂解引起的^[8];270 °C 处是样品中半纤维素热裂解引起的;而 310 °C 处较大的失重则是再造烟叶中纤维素热裂解造成的。③ 397~545 °C 为第 3 失重阶段,约有 26% 的失重。相对应的,这一阶段的 DTG 峰形非常尖锐,说明反应非常剧烈。DSC 曲线上出现强度

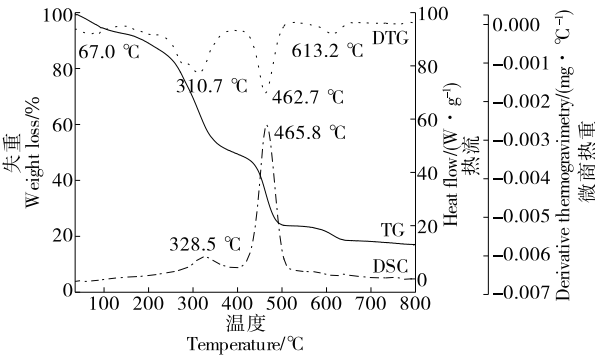


图 1 JS-A 样品的热重、热流、微商热重—温度曲线

Figure 1 TG, DSC, DTG-Temperature curves of JS-A sample

最大的一个尖锐的放热峰,主要是再造烟叶中的多糖物质和木质素等高分子物质受热裂解造成的^[18-19]。④ 545~670 °C 为第 4 失重阶段,失重率约为 5%。DSC 曲线上对应出现非常微弱的吸热峰,主要是再造烟叶中添加的 CaCO₃ 受热分解造成的^[20]。同时,第 4 失重阶段后期,TG 曲线并未完全水平,直至 800 °C 一直呈现缓慢下降的趋势,说明再造烟叶中的 CaCO₃ 在第 4 阶段未被分解完全,随着温度的升高仍在缓慢分解。JS-B 和 JS-C 样品的 TG/DSC 曲线与 JS-A 样品较为相似,主要区别在于 DSC 和 DTG 曲线对应的峰值温度略有差异。

2.4 贮藏时间对 3 种再造烟叶热失重特性的影响

由表 5 可知,贮藏 180~670 d 时,3 种样品的总失重率为 84.23%~88.54%,整体变化不显著。从变化趋势分析,贮藏 180~360 d 时,3 种再造烟叶的总失重率略有升高,而 360 d 后,再造烟叶的总失重率有所回落,但是幅度不大,说明再造烟叶的热裂解性能达到较为稳定的状态。

再造烟叶的第 2 和第 3 失重阶段是最主要的两个热裂解失重阶段。第 2 阶段失重率约占总失重率的 50% 左右,且随贮藏时间的增加,该阶段的失重率变化显著。贮藏 180~360 d 时,3 种样品的第 2 阶段失重率处于较高水平,随着贮藏时间的增加,失重率有所降低。由于第 2

表 5 3 种再造烟叶在不同贮藏时间下的热重结果[†]

Table 5 Thermogravimetric results of three kinds of reconstituted tobacco with different storage time

贮藏时间/d	总失重率/%			第 2 阶段失重率/%			第 3 阶段失重率/%		
	JS-A	JS-B	JS-C	JS-A	JS-B	JS-C	JS-A	JS-B	JS-C
180	84.23±1.48 ^b	85.67±2.16 ^b	86.40±0.98	43.89±1.66 ^b	42.02±0.71 ^b	49.98±1.21 ^a	26.87±0.65	26.47±1.17	27.20±1.15
360	86.72±1.16 ^{ab}	88.54±1.44 ^a	87.99±1.06	48.28±1.37 ^a	48.91±1.60 ^a	48.24±1.49 ^b	27.45±0.89	26.28±2.25	27.95±1.19
510	85.88±1.50 ^{ab}	87.30±0.97 ^{ab}	86.71±2.82	42.69±0.31 ^b	41.27±5.84 ^b	44.06±1.10 ^c	27.52±1.62	27.41±1.85	26.71±1.49
670	87.55±2.72 ^a	85.96±1.90 ^{ab}	87.57±0.20	44.59±1.83 ^b	42.44±1.91 ^b	43.84±0.26 ^c	27.75±0.98	26.00±1.01	27.17±1.95

[†] 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

阶段的失重主要是再造烟叶中的保润剂、单糖、纤维素和一些小分子物质热裂解引起的,说明在贮藏过程中再造烟叶中这些物质的含量在不断变化。以总糖为例,由表 2 可知,3 种再造烟叶的总糖含量在贮藏 180~360 d 时达到最大峰值,与样品的 TG 结果相吻合。3 种再造烟叶的第 3 阶段失重率约占总失重率的 30% 左右,但是该阶段的失重率随贮藏时间的变化不显著。而第 3 阶段的失重主要是再造烟叶中的多糖物质和木质素等高分子物质受热裂解造成的,这类物质性质相对稳定,受贮藏时间的影响较小,因而第 3 阶段的热失重变化并不显著。

由表 6 可知,3 种样品的第 2 阶段归一化热焓随贮藏时间的增加变化显著,而第 3 阶段归一化热焓变化不显著。结合表 5 可知,第 2 和第 3 阶段是再造烟叶主要的快速失重阶段,对应的失重率分别在 40% 和 20% 以上,但是相应的归一化热焓值却是第 3 阶段远大于第 2 阶段。

由于归一化热焓值正比于吸收或释放的热量,所以第 3 阶段的放热量远高于第 2 阶段。其中,第 2 阶段失重主要是再造烟叶中的保润剂、单糖、小分子物质,以及半纤维素和纤维素热解造成的,而热解需要吸热,使得第 2 阶段总的放热量减少。而第 3 阶段主要是再造烟叶中的多糖物质和木质素等高分子物质热解造成。这类物质在热解炭化过程中,在有氧环境中会进一步发生燃烧反应,使得第 3 阶段的放热更加剧烈,其归一化热焓值也更高。从整个贮藏周期进行对比,第 2 和第 3 阶段归一化热焓值在贮藏 360~510 d 时出现最高值,对应于 3 种再造烟叶热解性能达到高峰,虽然有利于再造烟叶参与卷烟燃烧,但是热焓贡献主要来源于第 3 阶段多糖物质和木质素等物质热解,反而会使卷烟木质气凸显,影响其感官品质。因此,综合各方面影响因素,3 种再造烟叶适宜的贮藏时间为 180~360 d。

表 6 3 种再造烟叶归一化热焓在不同贮藏时间下的变化[†]

Table 6 Normalized enthalpy results of three kinds of reconstituted tobacco with different storage time

贮藏时间/d	第 2 阶段/(J·g ⁻¹)			第 3 阶段/(J·g ⁻¹)		
	JS-A	JS-B	JS-C	JS-A	JS-B	JS-C
180	564.61±63.33 ^{ab}	561.92±82.59 ^b	761.98±36.53 ^a	7 074.40±178.73	6 542.60±470.89	7 002.70±247.01 ^{ab}
360	693.00±132.26 ^a	779.87±74.67 ^a	797.49±122.73 ^a	7 126.93±161.08	6 793.53±332.12	7 189.63±347.40 ^a
510	539.72±25.78 ^b	517.79±19.24 ^b	507.25±26.87 ^b	7 425.21±233.98	7 021.85±618.79	6 717.27±279.50 ^b
670	453.37±86.28 ^b	537.26±94.13 ^b	444.09±64.78 ^b	7 080.42±406.36	6 841.87±525.17	7 161.69±134.00 ^a

[†] 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

3 结论

考察了 3 种造纸法再造烟叶的总植物碱、总糖、总氮、水分、抗张强度和热失重特性随贮藏时间的变化趋势。结果表明,造纸法再造烟叶在贮藏过程中,其内在化学成分含量、抗张强度和热失重特性均会不断变化。其中,180~360 d 是较为理想的贮藏时间。在这期间,再造烟叶经醇化后,内在化学成分含量更加合理、抗张强度适中、燃烧性能较好,更适合工业加工并与烟丝进行配伍,有利于卷烟企业根据产品设计需求优化再造烟叶的贮藏时间和使用周期。后续可从再造烟叶原料配方入手,有针对性地研究不同配方类型的再造烟叶在贮藏过程中内在品质的变化规律,从而为卷烟工业企业优化再造烟叶

贮藏时间,实现再造烟叶原料的精细化管理和使用提供理论依据。

参考文献

- [1] 王小升, 苏丹丹, 魏明文, 等. 造纸法再造烟叶降焦综合技术探讨[J]. 纸和造纸, 2020, 39(1): 28-31.
WANG Xiao-sheng, SU Dan-dan, WEI Ming-wen, et al. Discussion on comprehensive technology of tar reduction of paper-making reconstituted tobacco[J]. Paper and Paper Making, 2020, 39(1): 28-31.
- [2] 董高峰, 田永峰, 尚善斋, 等. 用于加热不燃烧(HNB)卷烟的再造烟叶生产工艺研究进展[J]. 中国烟草学报, 2020, 26(1): 109-117.
DONG Gao-feng, TIAN Yong-feng, SHANG Shan-zhai, et al. Production technology of reconstituted tobacco leaves for heating non-

- burn (HNB) cigarettes: A review[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2020, 26(1): 109-117.
- [3] 唐杰斌, 赵传山, 韩文佳. 造纸法再造烟叶生产工艺的改进[J]. *烟草科技*, 2009(7): 15-17.
- TANG Jie-bin, ZHAO Chuan-shan, HAN Wen-jia. Technological improvement of paper-making process reconstituted tobacco[J]. *Tobacco Science and Technology*, 2009(7): 15-17.
- [4] 林进杯, 叶文新, 林大燕, 等. 造纸法再造烟叶制浆工艺的研究进展[J]. *黑龙江造纸*, 2018, 46(1): 26-28.
- LIN Jin-bei, YE Wen-xin, LIN Da-yan, et al. Research progress on pulping technology by paper-making tobacco[J]. *Heilongjiang Pulp & Paper*, 2018, 46(1): 26-28.
- [5] 贺磊, 吴立群, 刘攀, 等. 造纸法再造烟叶表面涂布碳酸钙工艺[J]. *烟草科技*, 2013(12): 5-8.
- HE Lei, WU Li-qun, LIU Pan, et al. Technology for coating calcium carbonate on surface of paper-making process reconstituted tobacco[J]. *Tobacco Science and Technology*, 2013(12): 5-8.
- [6] 黄明, 姚建武, 姚元军, 等. 造纸法再造烟叶烟草提取液醇沉净化处理研究[J]. *食品与机械*, 2016, 32(11): 198-201.
- HUANG Ming, YAO Jian-wu, YAO Yuan-jun, et al. Research on the alcohol precipitation and purification treatment on tobacco extracting solution of reconstituted tobacco by paper-making process[J]. *Food & Machinery*, 2016, 32(11): 198-201.
- [7] 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.
- BAI Xiao-li, ZOU Quan, MOU Ding-rong, et al. Effects of primary processing on physical and chemical characteristics of reconstituted tobacco[J]. *Tobacco Science and Technology*, 2009(8): 14-17.
- [8] 白晓莉, 霍红, 蒙廷峰, 等. 几种烟草薄片的热性能分析[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2010, 46(6): 696-699.
- BAI Xiao-li, HUO Hong, MENG Yan-feng, et al. Thermal quality of reconstituted tobacco sheets [J]. *Journal of Beijing Normal University(Natural Science)*, 2010, 46(6): 696-699.
- [9] 许江虹, 王浩雅, 徐广晋, 等. 外加纤维对再造烟叶物理与常规烟气指标的影响[J]. *湖北农业科学*, 2017, 56(2): 276-280.
- XU Jiang-hong, WANG Hao-ya, XU Guang-jin, et al. Effects of different kinds of additional fiber on physical and smoke of paper-process reconstituted tobacco[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2017, 56(2): 276-280.
- [10] 赖炜扬, 林凯, 鹿洪亮, 等. 再造烟叶正交优化提取及其化学成分和致香成分分析[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2016, 55(1): 144-148.
- LAI Wei-yang, LIN Kai, LU Hong-liang, et al. The optimization of extraction method of reconstituted tobacco by orthogonal test and its TLC and GC/MS analysis[J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2016, 55(1): 144-148.
- [11] 王小升, 金权蓉, 陈方敏, 等. 再造烟叶贮存过程中颜色变化的研究[J]. *云南农业大学学报(自然科学)*, 2019, 34(2): 290-296.
- WANG Xiao-sheng, JIN Quan-rong, CHEN Fang-min, et al. Research on color change during the storage of reconstituted tobacco[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2019, 34(2): 290-296.
- [12] 彭琛, 王晓园, 李宙文, 等. 贮存条件对造纸法再造烟叶感官质量的影响[J]. *湖北农业科学*, 2018, 57(3): 57-63.
- PENG Chen, WANG Xiao-yuan, LI Zhou-wen, et al. Effects of storage condition on smoking quality of paper-process reconstituted tobacco[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2018, 57(3): 57-63.
- [13] 韩锦峰, 朱大恒, 杨素勤, 等. 不同陈化时期烤烟几种酶活性及相关化学成分的分析[J]. *中国烟草科学*, 1999, 20(1): 1-2.
- HAN Jin-feng, ZHU Da-heng, YANG Su-qin, et al. Analysis of enzyme activity and relevant chemical components of flue-cured tobacco in different stages of aging[J]. *Chinese Tobacco Science*, 1999, 20(1): 1-2.
- [14] 张西仲, 徐晓燕, 韩中明, 等. 烤烟片陈化过程中化学成分及相关酶活性的分析[J]. *贵州农业科学*, 2008, 36(6): 24-26.
- ZHANG Xi-zhong, XU Xiao-yan, HAN Zhong-ming, et al. Analysis on chemical components and relevant enzyme activity of tobacco strips during aging process[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2008, 36(6): 24-26.
- [15] 中国轻工业联合会. 纸和纸板 抗张强度的测定 恒速拉伸法 (100 mm/min): GB/T 22898—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 3-9.
- China National Light Industry Council. Paper and board-Determination of tensile properties-Constant rate of elongation method (100 mm/min): GB/T 22898—2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009: 3-9.
- [16] 杨宗灿, 王鹏飞, 许衡, 等. 陈化对烟叶常规化学成分、中性致香物质含量和评吸质量的影响[J]. *河南农业大学学报*, 2017, 51(5): 615-619, 625.
- YANG Zong-can, WANG Peng-fei, XU Heng, et al. Effects of aging on conventional chemical content, change of neutral aroma component content and sensory quality of tobacco leaves[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2017, 51(5): 615-619, 625.
- [17] LONGANEZI T, CAMPOS M P A, MOTHE C G. Thermal investigation of uncased and cased tobacco [J]. *Thermochimica Acta*, 2002, 392: 51-54.
- [18] 庄亚东, 朱怀远, 曹毅, 等. 烟叶中多酚含量与储存时间的关系[J]. *烟草科技*, 2014(6): 38-39.
- ZHUANG Ya-dong, ZHU Huai-yuan, CAO Yi, et al. Relation between polyphenol content in tobacco leaves and storage period[J]. *Tobacco Science and Technology*, 2014(6): 38-39.
- [19] 罗海银, 田红, 唐世斌, 等. 木质素热裂解特性及动力学研究[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2014, 44(6): 923-929.
- LUO Hai-yin, TIAN Hong, TANG Shi-bin, et al. On the characteristics and kinetics of lignin pyrolysis[J]. *Journal of Northwest University (Natural Science)*, 2014, 44(6): 923-929.
- [20] 杨继, 杨帅, 段沅杏, 等. 加热不燃烧卷烟烟草材料的热分析研究[J]. *中国烟草学报*, 2015, 21(6): 7-13.
- YANG Ji, YANG Shuai, DUAN Yuan-xing, et al. Investigation of thermogravimetry and pyrolysis behavior of tobacco material in two heat-not-burn cigarette brands[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2015, 21(6): 7-13.