

烟草薄片平衡含水率影响因素探究

Study on Influencing Factors of equilibrium moisture content of reconstituted tobacco

王迅键¹ 钟芳¹ 陈茂深¹ 田海龙² 张家树²

WANG Xun-jian¹ ZHONG Fang¹ CHEN Mao-shen¹ TIAN Hai-long² ZHANG Jia-shu²

(1. 江南大学, 江苏 无锡 214000; 2. 瑞博斯烟草公司, 山东 临沂 276000)

(1. Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214000, China; 2. Rebirth Tobacco Co., LTD, Linyi, Shandong 276000, China)

摘要:平衡含水率及主流烟气水分对再造烟叶的物理性能、加工特性、燃烧、风味和感官质量有很大影响。为研究再造烟叶中影响平衡含水率的因素,测定了再造烟叶的物理结构(比表面积、孔体积、孔径)和化学成分(烟草常规成分、细胞壁物质、灰分及钙),应用 SPSS 简单相关性分析分析了其与平衡含水率的相关性。结果表明,碳酸钙、灰分与平衡含水率呈显著负相关;钾、氯、果胶与平衡含水率呈显著正相关;其他成分相关性不显著。

关键词:再造烟叶;平衡含水率;相关性;烟草保润

Abstract: The moisture content of reconstituted tobacco (RT) and moisture content in mainstream smoke can influence its physical properties, processing characteristics, combustion, flavor and sensory quality. There were plenty of studies on equilibrium moisture content (EMC) of natural tobacco, but there was a lack of system study on EMC of RT. To solve the problem, the physical structure, chemical components of RT were determined, and then the correlation between them and EMC was established by simple correlation analysis of SPSS. Correlation analysis showed that remarkable negative correlation was found between EMC and the content of calcium carbonate, ash, but the potassium, chlorine, pectin showed positive correlation to EMC, while other components showed less correlation.

Keywords: reconstituted tobacco; equilibrium moisture content; correlation analysis; water-holding capacity

烟草薄片是利用烟梗、烟末、碎烟片等卷烟生产过程中的废弃物,外加植物纤维,经过重新组合而成的产品,又称再造烟叶。其主要优势在于:加工过程中,由于存在萃取浓缩、打浆抄造、高温干燥和加入木浆纤维等重组过程,其化学成

分可以按照人们的意愿进行调整。其生产已经突破了单纯的下脚料利用方式,在改善和提高卷烟产品质量等方面起到至关重要的作用,其在卷烟工业上的使用比例和范围已得到了较大发展^[1-2]。目前,中国再造烟叶普遍存在刺激性大、干燥感严重、烟气不协调、木质气重的问题,与国外产品存在一定差距^[3]。

平衡含水率是烟草行业用于评价烟草保润性能的常用指标^[4-6]。薄片的平衡含水率是影响其柔韧性、燃烧性及吸食舒适度等特性的重要因素。烟气水分对抽吸感官品质有较大影响,有研究^[7-10]发现,随相对湿度降低,烟丝平衡含水率降低,烟气水分含量减少,造成抽吸时干燥感、刺激性变大。

目前,人们对影响烟丝平衡含水率的因素已进行了大量研究^[9,11-13],发现总糖、还原糖、果胶、氯、钾、比表面积、比孔体积显著影响烟丝的平衡含水率,而对影响薄片平衡含水率的因素却很少关注。经过重组工艺,无论在结构还是成分上,薄片与天然烟丝都存在较大差异。因此,有必要对影响薄片平衡含水率的因素进行系统研究,从而提升品质,扩大应用。

本研究拟采用相关标准和测定方法,对薄片的物理结构和化学成分进行表征与测定。考察其对薄片平衡含水率的影响,以便后期对工艺进行针对性调节,提升薄片品质。

1 试验方法

1.1 材料与设备

1.1.1 试验材料与试剂

法国莫迪、杭州利群等 16 种国内外烟草薄片样品;山东瑞博斯烟草公司及安徽中烟公司;

浓硫酸、氢氧化钠、硫酸钾、硼酸、盐酸、乙酸、无水乙醇、醋酸钠、氧化镧、苯、乙醚、丙酮;分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

硝酸:优级纯,国药集团化学试剂有限公司;

半乳糖醛酸:标准品,美国 Sigma 公司;

作者简介:王迅键,男,江南大学在读硕士研究生。

通信作者:钟芳(1972—),女,江南大学教授,博士生导师。

E-mail: fzhong@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2017-01-08

果胶酶:3×10⁴ U/g,山东隆大生物工程有限公司。

1.1.2 试验仪器与设备

数显温控消化炉:KDN-08C型,上海新嘉电子有限公司;

自动定氮仪:KDN-103F型,上海纤检仪器有限公司;

马弗炉:XMTA型,上海实验仪器总厂;

全自动比表面积分析仪:3H-2000PS1型,贝士德仪器科技有限公司;

全自动连续流动分析:AA3型,德国SEAL公司;

紫外可见光分光光度计:UV759型,上海精密科学仪器有限公司;

原子吸收分光光度计:AA-240型,美国瓦里安公司。

1.2 薄片物理结构的测定

参考GB/T 19587—2004,用3H-2000PS1型全自动比表面积分析仪测定薄片样品的比表面积。

1.3 薄片平衡水分含量的测定

将薄片置于干燥器中,底部放置饱和盐溶液,控制相对湿度为80%,75%,65%,54%,43%,33%,平衡后按YC/T 31—1996《烟草及烟草制品 试样的制备和水分测定 烘箱法》测定含水率。

1.4 薄片蛋白质、总氮的测定

(1) 蛋白质测定:样品制备方法参考YC/T 249—2008《烟草及烟草制品 蛋白质的测定 连续流动法》,用乙酸溶液沉淀样品中的蛋白质氮,同时除去非蛋白氮,采用凯氏定氮法测定。

(2) 总氮测定:样品经硫酸消化后用凯氏定氮法测定。

1.5 薄片果胶的测定

按YC/T 346—2010《烟草及烟草制品 果胶的测定 离子色谱法》执行。

1.6 薄片常规成分的测定

(1) 水溶性总糖和还原糖:按YC/T 159—2002《烟草及烟草制品 水溶性糖的测定 连续流动法》执行。

(2) 烟碱:按YC/T 160—2002《烟草及烟草制品 总植物碱的测定 连续流动法》执行。

(3) 总氯:按YC/T 162—2002《烟草及烟草制品 氯的测定 连续流动法》执行。

(4) 总钾:按YC/T 217—2007《烟草及烟草制品 钾的测定 连续流动法》执行。

1.7 薄片灰分及碳酸钙的测定

(1) 灰分:按YC/T 427—2012《烟草及烟草制品 灰分的测定》执行。

(2) 总钙:按YC/T 174—2003《烟草及烟草制品 钙的测定 原子吸收法》执行。

(3) 游离钙离子:样品用去离子水萃取,萃取液消解后用原子吸收法测定钙含量。

(4) 碳酸钙:根据文献[14~15],并修改如下:以总钙减去游离钙来表示碳酸钙,根据YC/T 174—2003《烟草及烟草制品 钙的测定 原子吸收法》样品直接干法灰化后用盐酸溶

解,以原子吸收法测定总钙;用水萃取样品后,用硝酸消解有机物,以原子吸收法测定游离钙。结合实际测定结果,以总钙近似计算碳酸钙含量。

1.8 薄片纤维素、半纤维素、木质素的测定

参考文献[16]^[105-111]。

1.9 不同碳酸钙含量薄片的制备

(1) 混合浆料制备:烟梗:烟末:木浆质量比为45:45:10,打浆度(22±2)°SR(叩解度,打浆度的表示方法)制备混合浆料。

(2) 抄造:将轻质碳酸钙配置成10%的悬浊液,吸取不同体积加入,以使碳酸钙含量为10%,15%,20%,25%,30%。

(3) 涂布:按照工厂实际生产工艺以37%涂布率对切丝后薄片进行涂布,120℃烘箱烘至水分含量为12%。

1.10 各指标间的相关性分析

用SPSS 20.0将薄片平衡含水率、物理结构和主要化学成分分别进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 薄片平衡含水率

在卷烟行业中,常以平衡含水率评价烟草的保润性能^[17]。由表1可知,随着相对湿度降低,薄片的平衡含水量显著下降,在室温环境,54%的相对湿度下,薄片水分已低于12%。随着相对湿度降低,样品间差距逐步减小,在低相对湿度下都含有较少水分。相对湿度80%时,烤烟中水分可达30%以上。而在较高相对湿度下(75%及80%),薄片水分基本在25%以下,远低于烤烟中水分。与烤烟相比,薄片样品普遍表现出较差的吸湿保湿性,具有较差的保润性能。这可能是经过重组工艺后,薄片在化学成分和物理结构上都和烟叶有所不同,从而造成保润性能的下降。因此,有必要对影响薄片平衡含水率的因素做详细的研究。

2.2 物理结构对平衡含水率的影响

烟草为毛细管多孔物质,比表面积和比孔体积是重要的物理指标。薄片的物理结构见表2。由表2可知,薄片的比表面积和比孔体积分别为0.4~1.1 m²/g和(3.1~6.8)×10⁻³ mL/g,显著高于天然烟叶的测定值0.1~0.3 m²/g和(0.5~1.4)×10⁻³ mL/g^[18]^[17-18],经过重组工艺以及外加纤维,薄片的物理结构和天然烟叶有很大差异,可能对保润性能产生影响。

由表3可知,物理结构与平衡含水率未表现出显著相关性。有研究^[18]^[17-19]发现,随着比孔体积的增加,烟丝水分扩散系数增加,低湿度下平衡含水率降低。马林等^[19]研究发现,在30%相对湿度下,比表面积与平衡含水率呈正相关,烟丝结构对保润性能起正面作用;60%相对湿度下,比表面积与平衡含水率呈负相关。本研究结论不同于上述,可能与重组工艺对天然烟叶结构的破坏有关。在各个相对湿度下,比表面积、比孔体积、孔径均与平衡含水率呈负相关,说明薄片多孔结构及由此形成的较大表面积已经不具备截留持水能力。经过重组工艺后,孔径的增大减弱了毛细管作用,使得比表面积的增大表现为失水作用。

表 1 不同相对湿度下样品的平衡含水量[†]

Table 1 The equilibrium moisture content in different humidity environment % dry basis

样品	RH=33%	RH=43%	RH=54%	RH=65%	RH=75%	RH=80%
1	6.59±0.05 ^e	8.63±0.10 ^{hi}	11.00±0.12 ^c	13.85±0.19 ^{ef}	19.85±0.09 ^{ef}	25.14±0.15 ^c
2	6.56±0.09 ^e	8.74±0.07 ^{gh}	10.73±0.15 ^d	13.53±0.20 ^f	17.96±0.15 ^h	22.74±0.21 ^{fg}
3	6.92±0.10 ^e	8.72±0.11 ^{gh}	11.04±0.18 ^c	14.60±0.08 ^d	20.34±0.17 ^{cd}	24.68±0.16 ^d
4	6.51±0.06 ^{ef}	8.76±0.07 ^{fgh}	10.69±0.10 ^d	13.59±0.11 ^f	19.38±0.13 ^g	23.68±0.14 ^e
5	6.68±0.07 ^{de}	8.54±0.09 ^{ij}	10.65±0.07 ^d	13.20±0.15 ^g	18.20±0.06 ^h	22.82±0.10 ^{fg}
6	6.48±0.07 ^{ef}	7.92±0.06 ^l	9.65±0.07 ^g	12.00±0.14 ⁱ	15.77±0.16 ^j	20.24±0.06 ⁱ
7	6.63±0.09 ^{de}	8.43±0.10 ^j	9.95±0.13 ^f	12.54±0.03 ^h	16.39±0.19 ⁱ	19.83±0.17 ^j
8	7.72±0.09 ^a	9.64±0.02 ^a	12.32±0.07 ^a	15.55±0.13 ^c	23.02±0.09 ^a	28.58±0.20 ^a
9	6.82±0.05 ^{cd}	9.12±0.08 ^{bc}	11.23±0.04 ^c	16.01±0.08 ^b	21.10±0.15 ^b	24.59±0.23 ^d
10	7.27±0.15 ^b	8.92±0.08 ^{def}	11.69±0.14 ^b	15.52±0.13 ^c	19.65±0.17 ^{fg}	24.53±0.11 ^d
11	6.33±0.11 ^f	8.85±0.04 ^{efg}	10.38±0.11 ^e	16.05±0.22 ^b	17.87±0.13 ^h	23.08±0.18 ^f
12	6.51±0.10 ^{ef}	8.21±0.13 ^k	10.02±0.09 ^f	14.13±0.26 ^e	17.94±0.06 ^h	21.82±0.15 ^h
13	7.37±0.10 ^b	9.23±0.06 ^b	11.65±0.06 ^b	15.95±0.18 ^b	20.02±0.16 ^{de}	22.50±0.16 ^g
14	6.97±0.07 ^c	9.12±0.02 ^{bc}	12.13±0.11 ^a	14.86±0.10 ^d	20.60±0.19 ^c	25.05±0.12 ^c
15	7.03±0.10 ^c	9.05±0.01 ^{cd}	11.55±0.12 ^b	18.51±0.18 ^a	20.63±0.16 ^c	25.27±0.24 ^c
16	7.02±0.06 ^c	9.00±0.07 ^{cde}	11.57±0.12 ^b	15.90±0.13 ^b	21.21±0.19 ^b	26.46±0.16 ^b

† 所有的含水量都以占干重的百分含量计;同一列中不同的小写字母代表差异显著(P≤0.05)。

表 2 薄片物理结构测定

Table 2 The determination of physical structure

样品	比表面积/ (m ² ·g ⁻¹)	孔体积/ (mL·g ⁻¹)	孔径/nm	样品	比表面积/ (m ² ·g ⁻¹)	孔体积/ (mL·g ⁻¹)	孔径/nm
1	0.460 1	0.004 7	19.28	9	0.512 1	0.005 4	26.95
2	0.532 8	0.005 1	22.43	10	0.601 0	0.005 2	24.07
3	0.491 0	0.002 5	20.37	11	1.028 8	0.006 8	22.02
4	0.561 3	0.003 1	22.09	12	0.846 8	0.004 7	18.35
5	0.553 2	0.003 6	26.03	13	0.466 6	0.003 4	19.46
6	0.592 9	0.003 8	25.64	14	0.452 1	0.004 2	23.28
7	0.783 6	0.005 9	30.12	15	0.352 6	0.003 2	20.94
8	0.448 2	0.004 1	22.93	16	1.173 3	0.004 7	15.06

表 3 16 个薄片样品物理结构与其平衡含水率相关性

Table 3 Correlation analysis between physical structure and equilibrium moisture content

指标	80%	75%	65%	54%	43%	33%
比表面积	-0.173	-0.274	-0.043	-0.352	-0.242	-0.338
比孔体积	-0.190	-0.282	-0.013	-0.234	-0.045	-0.308
孔径	-0.431	-0.401	-0.370	-0.291	-0.188	-0.149

2.3 常规成分对平衡含水率的影响

常规成分是考察烟草品质与协调性的重要指标,对平衡含水率也有较大影响。薄片的常规成分见表 4。由表 4 可知,薄片总糖含量最高仅为 12.81%,远低于烤烟中约 25%的水平,其中,还原糖占到 80%甚至 90%以上。糖在烟草中燃烧裂解可以产生香味物质,同时,也会产生甲醛、乙醛等有毒

甚至致癌的物质^[20]。因此,低糖分不利于感官抽吸,但利于发挥薄片减焦降害的作用。

碳水化合物含有亲水性的羟基和羧基,可以与水分子以氢键结合,增加持水力。大量研究^[11-13,21-22]表明,糖类物质与烟丝平衡含水率呈正相关。常规成分与平衡含水率的相关性见表 5。由表 5 可知,再造烟叶中糖并未表现出显著的吸湿作用,可能与薄片中总糖含量远低于烤烟,薄片中浓缩液的浓缩工艺及薄片成分间相互作用有关。

在各个相对湿度下,氯与平衡含水率表现出显著正相关。在较高相对湿度下(≥75%),钾和平衡含水率也表现出显著正相关。钾和氯均可增加烟叶的吸湿性,此外,钾可以改善烟叶颜色和身份,促进燃烧,提高烟叶持火力。而氯则被认为是对烟草燃烧最不利的非金属元素,高氯会导致熄火^{[16]47-49[23]}。

表 4 常规成分含量[†]

Table 4 The content of basic chemical components							% dry basis
样品	氯	烟碱	钾	总糖	还原糖	蛋白质	总氮
1	0.88±0.01 ^{fg}	1.04±0.03 ^c	2.86±0.02 ^b	11.64±0.05 ^c	9.72±0.03 ^c	4.28±0.07 ^d	1.38±0.04 ^{ghi}
2	0.82±0.01 ^{gh}	0.94±0.01 ^d	2.24±0.06 ^e	11.33±0.04 ^{de}	9.47±0.01 ^d	4.08±0.05 ^e	1.36±0.02 ^{ghi}
3	0.97±0.02 ^{de}	1.02±0.02 ^c	2.62±0.03 ^c	11.84±0.04 ^b	9.95±0.07 ^b	3.93±0.04 ^f	1.43±0.04 ^{d-h}
4	0.94±0.02 ^{ef}	1.05±0.04 ^c	2.14±0.02 ^g	11.02±0.06 ^f	9.28±0.05 ^e	4.12±0.08 ^e	1.35±0.02 ^{hi}
5	0.80±0.03 ^h	1.00±0.03 ^c	2.15±0.03 ^{fg}	12.81±0.07 ^a	11.00±0.07 ^a	4.20±0.07 ^{de}	1.24±0.03 ^j
6	0.67±0.03 ⁱ	1.00±0.02 ^c	1.85±0.03 ⁱ	11.20±0.07 ^e	9.10±0.05 ^f	4.71±0.05 ^b	1.47±0.02 ^{cdef}
7	0.70±0.02 ⁱ	1.11±0.03 ^b	2.03±0.04 ^h	8.15±0.04 ⁱ	7.16±0.03 ⁱ	5.05±0.06 ^a	1.49±0.04 ^{cde}
8	1.40±0.02 ^a	1.32±0.03 ^a	3.04±0.03 ^a	10.91±0.01 ^f	9.07±0.07 ^f	4.65±0.07 ^{bc}	1.88±0.03 ^a
9	1.25±0.04 ^b	0.81±0.01 ^e	2.27±0.02 ^{de}	11.28±0.08 ^{de}	9.33±0.06 ^e	3.86±0.06 ^f	1.39±0.02 ^{fgh}
10	1.03±0.05 ^{cd}	0.67±0.02 ^g	2.32±0.03 ^d	11.62±0.05 ^c	9.49±0.05 ^d	3.52±0.11 ^h	1.38±0.00 ^{ghi}
11	0.86±0.01 ^g	0.45±0.02 ⁱ	2.22±0.02 ^{ef}	8.69±0.03 ^h	7.70±0.03 ^h	4.73±0.06 ^b	1.44±0.02 ^{defg}
12	0.66±0.04 ⁱ	0.57±0.02 ^h	2.28±0.01 ^{de}	8.79±0.05 ^h	7.26±0.05 ⁱ	4.52±0.07 ^c	1.53±0.05 ^{bc}
13	1.00±0.02 ^{cd}	0.74±0.02 ^f	1.80±0.02 ⁱ	10.05±0.06 ^g	8.72±0.06 ^g	4.97±0.02 ^a	1.60±0.06 ^b
14	1.02±0.04 ^{cd}	0.66±0.01 ^g	2.11±0.04 ^g	11.37±0.06 ^d	9.24±0.06 ^e	3.69±0.10 ^g	1.30±0.04 ^{ij}
15	1.05±0.02 ^c	0.81±0.03 ^e	2.09±0.04 ^{gh}	11.30±0.08 ^{de}	9.48±0.05 ^d	3.88±0.09 ^f	1.41±0.06 ^{efgh}
16	0.99±0.02 ^{cde}	0.69±0.01 ^g	2.34±0.01 ^d	10.98±0.07 ^f	9.20±0.06 ^{ef}	4.54±0.01 ^c	1.50±0.00 ^{cd}

† 所有的成分含量都以干重计;同一列中不同的小写字母代表差异显著(P≤0.05)。

表 5 薄片常规成分与其平衡含水率相关性[†]

Table 5 Correlation analysis between basic chemical components and equilibrium moisture content

成分	80%	75%	65%	54%	43%	33%
氯	0.839**	0.910**	0.637**	0.852**	0.910**	0.765**
钾	0.710**	0.569*	0.081	0.376	0.359	0.319
总糖	0.439	0.374	0.029	0.405	0.164	0.242
还原糖	0.413	0.355	0.045	0.381	0.186	0.220
烟碱	0.118	0.087	-0.436	-0.006	0.015	0.196
蛋白质	-0.397	-0.363	-0.258	-0.412	-0.200	-0.103
总氮	0.300	0.345	0.187	0.247	0.379	0.574*

† * 表示在 0.05 水平上达到显著; * * 表示在 0.01 水平上达到显著。

薄片结构和成分与天然烟叶有很大不同,因此,影响其保润性能的因素也有较大变化。烟草的吸湿作用来源为表面吸附、毛细管凝结、胶体物质的渗透和晶体物质的潮解^[24]。对薄片影响较大的因素为晶体物质的潮解作用。含有钾和氯的盐类对薄片吸水 and 持水起了重要作用。

2.4 细胞壁成分对平衡含水率的影响

细胞壁物质会影响烟草平衡含水率,有研究^[25]表明粗纤维含量越高,平衡含水率越高。由于原料多采用低等级烟叶,添加烟梗及木浆纤维,薄片的细胞壁成分含量显著高于烤烟。薄片细胞壁物质含量见表 6。由表 6 可知,薄片全纤维素、木质素、果胶含量分别为 25%~34%,4.33%~6.48%,7.40%~11.39%,均高于中国烤烟中一般水平(10%~16%,0.5%~4.0%,5%~9%^[26])。与孙伟峰^[27]研究结果相比较,可以发现,薄片的化学成分更接近于下部烟

叶,表现出低氮、低烟碱、低糖、高钾、高细胞壁物质的特性。这样的成分组成可以达到降低焦油含量的作用,但较高的细胞壁物质会降低烟气品质,增加刺激性,同时增加烟气中一氧化碳的含量^[28-30],限制了其在卷烟中的应用。细胞壁成分与平衡含水率相关性分析结果见表 7。由表 7 可知,在较高相对湿度下(≥75%),果胶表现出显著正相关。果胶具有吸水持水性能,如黄强等^[31]酶解苹果皮渣制备 D-吡喃半乳糖醛酸新型保润剂。

2.5 灰分、总钙对平衡含水率的影响

由图 1 可知,游离钙含量极少,所以总钙含量可以近似表示结合钙含量。此外薄片生产中一般加入大量碳酸钙(约占总浆料的 10%~20%),所以,可以将总钙换算得到碳酸钙含量。

由表 8 可知,薄片灰分为 15%~20%,远高于烤烟中(8%~10%)的灰分水平^[32]。薄片生产时,为了降低成本,提升填充值,改善外观质量,会加入一定量的碳酸钙,其对感官品质也会有一定影响^[33-34]。罗冲等^[35]研究发现,薄片中添加 PCC(轻质碳酸钙)会增加灰分,提高薄片物理性能,降低烟气中有害物质的生成。

由表 9 可知,除了 33%的相对湿度外,灰分均与平衡含水率呈显著负相关。在各个相对湿度下,平衡含水率都与碳酸钙显著负相关。灰分中碳酸钙含量较高,因此推测,灰分对平衡含水率的影响主要通过碳酸钙实现。有研究^[36]发现,随碳酸钙增加,薄片平衡含水率降低,当添加量超过 30%后,平衡含水率略有上升。高文花等^[37]将碳酸钙添加至涂料中,发现在 80%相对湿度下,随 PCC 添加量增大,薄片吸湿性能明显降低,主要是由于 PCC 吸湿性能小于烟草浸渍浓缩液组分的吸湿性,与本研究结论相符。

表 6 薄片细胞壁成分含量[†]

Table 6 The content of cell wall components					% dry basis
样品	果胶	纤维素	半纤维素	木质素	全纤维
1	9.03±0.19 ^{ef}	21.10±0.63 ^f	10.30±0.08 ^{ab}	5.99±0.31 ^{bcd}	31.40±0.55 ^{cd}
2	10.10±0.29 ^{cd}	21.31±0.06 ^{ef}	10.09±0.05 ^{ab}	5.01±0.32 ^{fgh}	31.40±0.01 ^{cd}
3	11.39±0.27 ^a	22.86±0.12 ^c	9.69±0.38 ^{bc}	4.60±0.14 ^{gh}	32.56±0.50 ^{ab}
4	8.76±0.24 ^{fg}	25.09±0.19 ^a	8.01±0.53 ^{de}	5.73±0.15 ^{cde}	33.10±0.34 ^a
5	10.00±0.27 ^{cd}	23.88±0.18 ^b	9.01±0.34 ^{cd}	6.75±0.06 ^a	32.89±0.53 ^{ab}
6	9.51±0.31 ^{de}	19.68±0.78 ^g	8.42±0.41 ^d	5.75±0.09 ^{cde}	28.09±0.37 ^e
7	7.45±0.17 ^h	22.53±0.05 ^{cd}	9.01±0.20 ^{cd}	6.73±0.36 ^a	31.55±0.15 ^{cd}
8	10.86±0.29 ^{bc}	17.64±0.03 ^h	7.25±0.47 ^e	6.45±0.24 ^{ab}	24.88±0.50 ^f
9	9.75±0.18 ^{cd}	22.98±0.29 ^c	8.43±0.01 ^d	4.84±0.28 ^{gh}	31.42±0.30 ^{cd}
10	10.35±0.29 ^{bc}	24.42±0.03 ^{ab}	9.00±0.35 ^{cd}	6.43±0.33 ^{ab}	33.42±0.39 ^a
11	7.40±0.19 ^h	21.79±0.04 ^{def}	8.87±0.60 ^{cd}	5.13±0.24 ^{fg}	30.66±0.56 ^d
12	8.58±0.28 ^{fg}	24.08±0.20 ^b	8.80±0.69 ^{cd}	5.41±0.07 ^{de}	32.88±0.49 ^{ab}
13	8.35±0.30 ^g	23.00±0.02 ^c	8.93±0.47 ^{cd}	6.29±0.32 ^{abc}	31.93±0.45 ^{bc}
14	8.96±0.16 ^{ef}	22.87±1.10 ^c	10.05±0.57 ^{ab}	5.15±0.14 ^{fg}	32.92±0.52 ^a
15	10.26±0.43 ^c	22.15±0.17 ^{cde}	10.95±0.55 ^a	4.56±0.06 ^h	33.10±0.38 ^a
16	10.85±0.20 ^{bc}	22.26±0.08 ^{cd}	10.61±0.12 ^{ab}	5.47±0.23 ^{def}	32.88±0.20 ^{ab}

† 所有的成分含量都以干重计;同一列中不同的小写字母代表差异显著(P≤0.05)。

表 7 薄片细胞壁成分与其平衡含水率相关性[†]
Table 7 Correlation analysis between macromolecule substances and equilibrium moisture content

成分	80%	75%	65%	54%	43%	33%
果胶	0.616 *	0.544 *	0.208	0.475	0.284	0.496
全纤维	-0.187	-0.099	0.143	0.043	0.176	-0.279
纤维素	-0.262	-0.140	0.001	-0.134	-0.216	-0.311
半纤维素	0.063	0.037	0.328	0.155	-0.006	-0.077
木质素	-0.208	-0.202	-0.375	-0.063	-0.063	0.240

† * 表示在 0.05 水平上达到显著; * * 表示在 0.01 水平上达到显著。

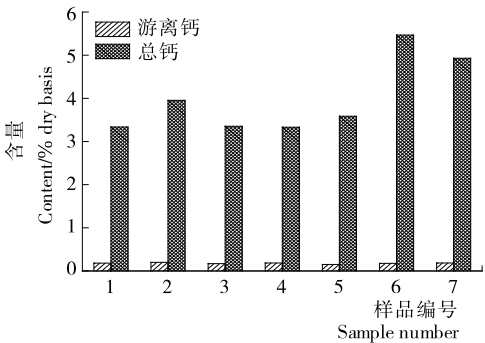


图 1 薄片中总钙、游离钙含量
Figure 1 The content of total calcium, free Calcium in RT

表 8 薄片灰分、碳酸钙含量[†]

Table 8 The content of calcium carbonate and ash			% dry basis		
样品	灰分	碳酸钙	样品	灰分	碳酸钙
1	16.39±0.13 ^g	8.34±0.26 ^{fg}	9	16.36±0.05 ^g	6.65±0.25 ^{ij}
2	17.29±0.03 ^e	9.89±0.68 ^d	10	15.08±0.13 ^j	6.23±0.25 ^j
3	16.89±0.01 ^f	8.38±0.56 ^{fg}	11	16.87±0.05 ^e	9.17±0.42 ^e
4	15.84±0.002 ^h	8.33±0.11 ^{fg}	12	18.76±0.004 ^c	11.32±0.35 ^c
5	15.76±0.10 ^h	8.96±0.15 ^{ef}	13	15.39±0.21 ⁱ	7.35±0.21 ^{hi}
6	20.78±0.06 ^a	13.67±0.03 ^a	14	15.21±0.02 ^j	7.23±0.04 ⁱ
7	19.77±0.01 ^b	12.32±0.10 ^b	15	15.27±0.13 ^j	6.96±0.34 ^j
8	17.65±0.09 ^d	7.99±0.35 ^{gh}	16	15.24±0.08 ^j	6.41±0.27 ^j

† 所有的成分含量都以干重计;同一列中不同的小写字母代表差异显著(P≤0.05)。

表 9 薄片灰分、碳酸钙与其平衡含水率相关性[†]

Table 9 Correlation analysis between ash content, Ca and equilibrium moisture content

成分	80%	75%	65%	54%	43%	33%
灰分	-0.592 *	-0.645 **	-0.644 **	-0.723 **	-0.642 **	-0.387
碳酸钙	-0.771 **	-0.840 **	-0.748 **	-0.854 **	-0.802 **	-0.582 *

† * 表示在 0.05 水平上达到显著; * * 表示在 0.01 水平上达到显著。

王相凡等^[33]研究发现,随薄片碳酸钙增加,除香气量外,其他感官指标变好。而本研究发现,薄片碳酸钙的增加可能带来物理保润性能的下降,造成烟气干燥感增加。

2.6 碳酸钙对平衡含水率影响的验证

为验证结论,制备了不同碳酸钙添加量的薄片,分别测定其不同湿度下平衡含水率与实际钙含量。不同相对湿度下,钙含量与平衡含水量的关系见图 2。由图 2 可知,随碳酸钙含量升高,成品薄片在各个相对湿度下平衡含水量都降低。碳酸钙在低添加量(<15%)时对水分的影响大于高添加量。钙含量和平衡含水率的相关性见表 10。即在各个相对湿度(除 33%)下,钙含量与平衡含水率均呈显著负相关。因此反添加试验进一步验证了上述结论。

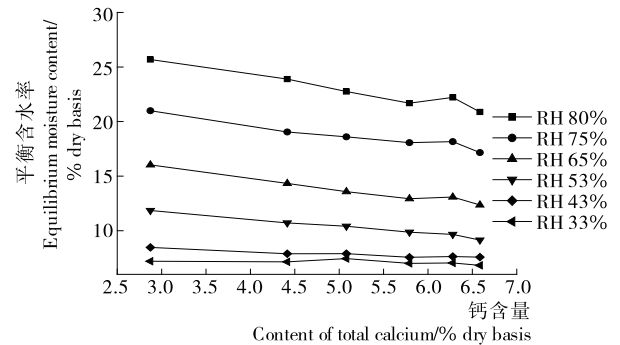


图 2 不同相对湿度下钙含量对薄片平衡含水率的影响
Figure 2 The effect of total calcium on the equilibrium moisture content in RT in different humidity

表 10 薄片钙含量与其 EMC 的相关性分析[†]
Table 10 Correlation analysis between Ca and equilibrium moisture content

RH	80%	75%	65%
相关系数	-0.973 **	-0.972 **	-0.983 **

RH	54%	43%	33%
相关系数	-0.993 **	-0.958 **	-0.556

† * 表示在 0.05 水平上达到显著; * * 表示在 0.01 水平上达到显著。

3 结论

造纸法再造烟叶在物理结构与化学成分上与烤烟烟叶都有较大不同,从而造成其保润性能的差异。已有的对天然烟叶和烟丝平衡含水率的研究,多涉及吸湿性物质,本研究结论与其不同,相关性分析结果表明:碳酸钙、灰分与平衡含水率和烟气水分呈显著负相关;钾、氯、果胶与平衡含水率呈显著正相关;其他成分相关性不显著。薄片中添加碳酸钙会使平衡含水率与灰分发生变化,影响烟气水分含量,进而影响抽吸感官品质。在本研究基础上,还需要进一步考察碳酸钙对烟气水分,对薄片抽吸感官品质的具体影响。

参考文献

[1] 于建军. 卷烟工艺学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 332-334.
[2] 陈茂深. 针叶木浆纤维对再造烟叶主流烟气中挥发性羰基化合

物的影响机制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 1-3.
[3] 戴路, 陶丰, 袁凯龙, 等. 造纸法再造烟叶的研究进展[J]. 中国造纸学报, 2013, 28(1): 65-69.
[4] 何保江, 刘强, 赵明月, 等. 烟草保润性能测试方法[J]. 烟草科技, 2009(2): 25-28.
[5] 伍锦鸣, 卓浩廉. 淀粉改性烟草保润剂的制备[J]. 现代食品科技, 2012, 28(1): 77-81.
[6] 严恒, 郭国宁, 程艳, 等. 魔芋葡甘聚糖基吸水剂的保润性能研究[J]. 食品工业科技, 2010(3): 142-145.
[7] 李庆华, 杨叶昆, 王保兴, 等. 卷烟纸、接装纸和滤嘴丝束对卷烟烟气水分和焦油的影响[J]. 烟草科技, 2008(2): 43-45.
[8] 马营, 徐静, 马起云, 等. 总粒相物含水率、烟丝含水率、感官质量的关系[J]. 食品工业, 2013(7): 73-77.
[9] 徐安传, 胡巍耀, 段俊杰, 等. 烟叶内含糖类和多酚类组分对其主流烟气水分的影响[J]. 食品工业, 2013(1): 46-48.
[10] 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.
[11] 彭斌, 王洪波, 颜权平, 等. 烤烟化学成分与平衡含水率的关系[J]. 烟草科技, 2013(6): 57-63.
[12] 王建民, 韩明, 张相辉, 等. 烤烟化学指标和平衡含水率间的关系[J]. 烟草科技, 2011(2): 43-46.
[13] 黎洪利, 朱立军, 王鹏, 等. 烤烟烟叶部分化学成分与平衡含水率的相关性[J]. 烟草科技, 2010(10): 44-47.
[14] 汤建国, 伊奥尔, 黄燕南, 等. 一种再造烟叶中碳酸钙含量的测定方法: 中国, CN102901791A[P]. 2013-01-30.
[15] 黄燕南. 四种造纸法再造烟叶质量特性剖析[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2013: 34-39.
[16] 张槐冬, 葛翠英, 穆怀静. 烟草分析与检验[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1994.
[17] 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.
[18] 殷春燕. 乳酸钾改善卷烟保润性能及烟气品质的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
[19] 马林, 帖金鑫. 烟丝组织结构与平衡含水率的关系[J]. 烟草科技, 2015, 48(9): 75-80.
[20] TALHOUT R, OPPERHUIZEN A, VAN AMSTERDAM J G. Sugars as tobacco ingredient: Effects on mainstream smoke composition[J]. Food & Chemical Toxicology An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association, 2006, 44(11): 1 789-1 798.
[21] 程传玲, 普凡凡, 汪文良, 等. 不同地区烟叶水溶性总糖与平衡含水率之间的关系研究[J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2009, 24(5): 36-38.
[22] 马林, 张相辉, 刘强, 等. 烟丝中糖组分含量对平衡含水率的影响[J]. 中国烟草学报, 2010, 16(6): 10-13.
[23] 王瑞新. 烟草化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 147.
[24] 马林, 周冰. 烟草自身保润性能[J]. 广东化工, 2009, 36(10): 93-94.
[25] 穆林, 刘丁伟, 王建民, 等. 烟叶粗纤维素含量与吸湿性及感官质量的相关性[J]. 西南农业学报, 2011, 24(2): 509-512.
[26] 任晓红. 烤烟细胞壁物质与烟叶质量的关系[D]. 郑州: 河南农业大学, 2007: 15-20.

age[J]. Journal of Food Process Engineering, 2008, 34(4): 1 156-1 171.

[41] SILVA-PEREIRA M C, TEIXEIRA J A, PEREIRA-JÚNIOR V A, et al. Chitosan/corn starch blend films with extract from Brassica oleraceae, (red cabbage) as a visual indicator of fish deterioration[J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 61(1): 258-262.

[42] LIU Bin, HAN Xu, ZHAO Hui-ying, et al. Preparation and characterization of intelligent starch/PVA films for simultaneous colorimetric indication and antimicrobial activity for food packaging applications[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 157: 842-849.

[43] ABREU A S, OLIVEIRA M, DE S A, et al. Antimicrobial nanostructured starch based films for packaging[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 129: 127-134.

[44] MORRO A, CATALINA F, CORRALES T, et al. New blends of ethylene-butyl acrylate copolymers with thermoplastic starch Characterization and bacterial biodegradation[J]. Carbohydrate Polymers, 2016(10): 149-168.

[45] 庄海宁, 金征宇, 张燕萍. 微孔淀粉在食品微胶囊化中的应用[J]. 食品与机械, 2007, 23(2): 129-132.

[46] ZHANG Li, WANG Ying, LIU Hua, et al. Developing hydroxypropyl methylcellulose/hydroxypropyl starch blends for use as capsule materials[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 98(1): 73-79.

[47] 曹余, 何绍凯, 刘全亮, 等. 空心胶囊用马铃薯复合改性淀粉的制备[J]. 绿色科技, 2016(4): 196-199.

[48] NAZILA Oladzadabbasabadi, SHOKOUFEH Ebadi, ABDORREZA Mohammadi Nafchi, et al. Functional properties of dually modified sago starch/ κ -carrageenan films; An alternative to gelatin in pharmaceutical capsules[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 160: 43-51.

[49] 周雨佳, 肖茜, 邓放明. 纳米淀粉的制备及其在可食性薄膜中的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 229-232.

(上接第 178 页)

[4] 廖文艳, 周凌华, 王荫榆, 等. 近年来益生菌肠道功能作用机制及研究方法的进展[J]. 中国微生态学杂志, 2011, 23(2): 184-189.

[5] 李琴, 张世春, 曾晓燕, 等. 益生菌营养及保健作用[J]. 食品研究与开发, 2004, 25(2): 106-108.

[6] MARTENSSON O, OSTEBO R, HOLST O. The effect of yoshurt culture on the survival of probiotic bacteria in oat-based, non-dairy products[J]. Food Research International, 2002(35): 775-784.

[7] 纵伟, 盛欣昕, 谭洪卓, 等. 益生菌发酵苦荞粉酶解液制备工艺研究[J]. 食品与机械, 2009, 25(3): 14-17.

[8] 万萍. 食品分析与实验[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2015.

[9] 顾国贤. 酿酒工艺学[M]. 2 版. 北京: 中国轻工业出版社, 2012: 113.

[10] 王春萍, 高丽鹃, 潘志芬, 等. 青藏高原青稞农家品种淀粉颗粒结合蛋白组成及 GBSSI 基因 5 前导序列的多态性[J]. 作物学报, 2012, 38(7): 1 148-1 154.

[11] 万萍, 张宇, 杨兰, 等. 响应面法优化苦荞干黄酒主发酵工艺[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(11): 1 185-1 191.

[12] 李秀霞, 王珍, 李娇, 等. 响应面法优化盐藻油的超声波辅助提取工艺[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(8): 203-207.

(上接第 194 页)

[27] 孙伟峰. 利用酶法和外加香料法对下部烟叶的增香提质研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 14-21.

[28] 邱晔, 卢伟, 王建, 等. 造纸法烟草薄片对卷烟一氧化碳碳排放量影响研究[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2010(S1): 130-133.

[29] 葛少林. 造纸法再造烟叶热解过程与烟气组分调控技术研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2014: 33-43.

[30] 梅秦源. 造纸法重组烟叶品质提升及保香性能研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2014: 27-28.

[31] 黄强, 李楠, 蒋元力. 固定化酶反应器制备新型烟草保润剂的研究[J]. 郑州大学学报: 工学版, 1999, 20(4): 50-52.

[32] 蒋次清, 王岚, 廖臻, 等. 微波马弗炉测定烟草中灰分的研究[J]. 安徽农业科学, 2012(7): 3 980-3 980.

[33] 王非凡. 碳酸钙加入量对造纸法再造烟叶的影响[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(24): 162-163.

[34] 曾健, 陈克复, 谢剑平, 等. 碳酸钙对造纸法再造烟叶片基的影响[J]. 烟草科技, 2013(10): 5-16.

[35] 罗冲, 胡惠仁, 温洋兵. 填料在造纸法烟草薄片生产中的应用研究[J]. 中华纸业, 2012, 33(16): 22-25.

[36] 王浩雅, 殷艳飞, 杨帅, 等. 碳酸钙添加量对再造烟叶物理性能与烟气指标的影响[J]. 中华纸业, 2015, 36(12): 22-26.

[37] 高文花. 特种植物废弃物高效利用技术的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013: 68-71.

(上接第 210 页)

[45] STREIT W R, SCHMITZ R A. Metagenomics-the key to the uncultured microbes[J]. Current Opinion in Microbiology, 2004, 7(5): 492-498.

[46] CHUNG E J, LIM H K, KIM J C, et al. Forest soil metagenome gene cluster involved in antifungal activity expression in Escherichia coli[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2008, 74(3): 723-730.

[47] KAKIRDE K S, PARSLEY L C, LILES M R. Size Does Matter: Application-driven Approaches for Soil Metagenomics[J]. Soil Biol Biochem, 2010, 42(11): 1 911-1 923.

[48] 蒋云霞, 郑天凌. 天然红树林土壤微生物大片段宏基因组文库的构建[J]. 环境科学, 2007, 28(11): 2 609-2 614.

[49] KIM U J, BIRREN B W, SLEPAK T, et al. Construction and Characterization of a Human Bacterial Artificial Chromosome Library[J]. Genomics, 1996, 34(2): 213-218.

[50] 苟敏, 曲媛媛, 周集体, 等. 活性污泥宏基因组 Fosmid 文库的构建[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2012, 40(1): 120-124.