

DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).201608031

不同切丝宽度烟丝在干燥过程中挥发性香味物质的变化*

刘 静^{1#}, 赵佳成^{2#}, 高 辉¹, 华一崑², 邱杰斐²,
张 雯¹, 翁瑞杰², 邓瑞君², 王 慧^{2**}

[1. 云南同创检测技术股份有限公司, 云南 昆明 650106;

2. 红云红河烟草(集团)有限责任公司, 云南 昆明 650231]

摘要:【目的】为卷烟配方叶组切丝宽度的选择和优化提供参考依据。【方法】利用方差分析、主成分分析与聚类分析等统计方法系统研究了滚筒干燥前后及不同切丝宽度烟丝干燥后挥发性香味物质的差异性及变化规律, 并通过感官质量评价对上述分析结果进行了验证。【结果】(1) 干燥前后及不同切丝宽度烟丝干燥后的挥发性香味物质存在较大差异; 干燥后烟丝中的挥发性香味物质总体含量较干燥前呈降低趋势; 对于干燥后烟丝, 随着切丝宽度的增加, 挥发性香味物质综合含量呈逐渐降低的变化趋势。(2) 聚类结果显示: 干燥前的烟丝样品与切丝宽度为 0.85 mm 的干燥后烟丝样品聚为一类; 切丝宽度为 0.95 mm 和 1.05 mm 的干燥后烟丝样品各自单独聚为一类; 随着切丝宽度的增加, 挥发性香味物质综合含量的差异在增大。(3) 不同切丝宽度成品卷烟的整体感官品质存在一定差异, 且随着切丝宽度的增加, 感官品质呈逐渐降低的变化趋势。【结论】在卷烟加工过程中, 切丝宽度对卷烟品质具有较大影响, 在设定切丝宽度时, 应同时兼顾感官品质和工艺损耗两个因素。

关键词: 干燥工序; 切丝宽度; 挥发性香味物质; 方差分析; 主成分分析; 聚类分析; 感官质量

中图分类号: TS 452.3

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X(2018) 01-0079-11

Change of the Volatile Aroma Components of Cut Tobacco in Different Cutting Widths in Drying Process

LIU Jing¹, ZHAO Jiacheng², GAO Hui¹, HUA Yikun², QIU Jiefei²,
ZHANG Wen¹, WENG Ruijie², DENG Ruijun², WANG Hui²

[1. Yunnan Tongchuang Technology Analysis Co., Ltd., Kunming 650106, China;

2. Hongyun-Honghe Tobacco (Group) Co., Ltd., Kunming 650231, China]

Abstract: [Purpose] Our aim was to provide reference basis for selection and optimization of cutting width of cigarette formulation leaf group. [Method] The difference and change law of volatile aroma components of different cutting width cut tobacco before and after drying were studied using variance analysis, principal component analysis and cluster analysis, respectively. Finally, sensory

收稿日期: 2016-08-31

修回日期: 2016-11-30

网络出版时间: 2018-01-05

*基金项目: 红云红河烟草(集团)有限责任公司科技项目(HYHH2015GY01)。

作者简介: #对本文贡献等同, 为并列第一作者。刘静(1980—), 女, 云南昭通人, 硕士, 高级工程师, 主要从事烟草、卷烟及配套材料等方面的分析检测及质量控制工作。E-mail: liujingr2@163.com; 赵佳成(1986—), 男, 云南大理人, 硕士, 工程师, 主要从事烟草工艺技术研究。E-mail: zhaojc1315@163.com

**通信作者 Corresponding author: 王慧(1965—), 男, 河南新郑人, 硕士, 高级工程师, 主要从事卷烟工艺技术研究。
E-mail: gywh01@163.com

网络出版地址: [http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201608031](http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201608031)

evaluation was also carried out to verify outcomes. [**Results**] (1) For the cut tobacco before and after drying, and cut tobacco of different cutting width after drying, their volatile aroma compounds had great differences. Volatile aroma compounds content of cut tobacco after drying showed a decreasing trend compared with before drying. For the cut tobacco after drying, the volatile aroma compounds content showed a gradually decreasing trend with the increase of cutting width. (2) Cluster result based on the first two principal component score of volatile aroma compounds showed that. The cut tobacco samples before drying and cutting width at 0.85 mm after drying were clustered into a group. The cut tobacco samples of cutting width at 0.95 mm and 1.05 mm after drying were individually clustered into a group. The difference of volatile aroma compounds content was increasing with the increase of cutting width. (3) There was a difference in cigarette sensory quality of different cutting width. Sensory quality showed a gradually decreasing trend with the increase of cutting width. [**Conclusion**] The cutting width has a great influence on cigarette quality in the cigarette processing. Two factors with sensory quality and process loss should be taken into consideration when the cutting width was set.

Keywords: drying process; cutting width; volatile aroma components; variance analysis; principal component analysis; cluster analysis; sensory quality

切丝工序是卷烟生产过程中的一个重要环节, 其中切丝宽度作为切丝工序的重要参数, 是影响卷烟产品质量的主要因素之一^[1-3]。相关研究表明^[4]: 在一定范围内, 切丝宽度小, 卷烟香气透发性和烟气细腻度提升明显, 但叶丝过窄时易因过度膨胀而造碎, 造成制丝过程工艺损耗增加; 叶丝过宽时, 虽然能够提升成品烟丝中的整丝率, 但同时也会由于膨胀不充分而导致卷烟的香气透发性减弱, 刺激性增强, 影响卷烟的整体感官质量。此外, 对烟气有害成分研究发现^[5-7]: 降低切丝宽度, 有利于降低主流烟气中的 NH_3 , 但同时也会增加烟气中的苯酚和 HCN 含量。由此可见, 适宜的切丝宽度对于提升卷烟感官品质、降低过程消耗和控制烟气中的某些有害成分含量显得尤为重要。近年来, 行业针对切丝宽度对卷烟加工质量的影响开展了大量的研究工作。于存峰等^[4]研究了分组加工中不同叶丝宽度组合对卷烟物理质量的影响; 邱玉春等^[5]研究了切丝宽度对卷烟主流烟气中 7 种 Hoffmann 成分释放量的影响; 张涛等^[8]研究了切丝宽度、HT 工作蒸汽流量、烘丝排潮风门开度等制丝工艺参数对 9 种主流烟气成分释放量的影响; 田忠等^[9]分析了切丝宽度以及烘丝工艺对细支卷烟燃烧温度、烟气成分以及感官质量的影响。以往的研究主要集中在卷烟物理质量、烟气成分和感官品质等方面, 关于不同切丝宽度烟丝在干燥过程中重要挥

发性香味物质的变化趋势研究尚未见报道。

叶丝干燥也是卷烟制丝加工过程中的关键工序之一。在此工序, 由于高温高湿环境, 烟丝的物理特性、化学特性及感官特性均发生剧烈的变化^[10-12]。切丝宽度不同, 单位重量或体积烟丝的比表面积也会发生变化, 烟丝在增温增湿工序的吸水能力和吸水量就会存在一定差异, 在烘丝出口烟丝水分保持一致的情况下, 必然导致干燥工序相关工艺参数及烟丝单位重量脱水速率的变化, 干燥过程中烟丝的挥发性物质也将随之发生相应的变化。鉴于此, 笔者以“云烟”某规格卷烟配方叶组为试验材料, 在以往生产经验和工艺技术标准要求的基础上, 在切丝工序分别设定了 3 种切丝宽度 (0.85、0.95、1.05 mm), 切后烟丝依次利用滚筒烘丝机进行干燥处理, 利用方差分析、主成分分析、聚类分析等统计方法系统深入地研究了薄板干燥前后及不同切丝宽度烟丝干燥后重要挥发性香味物质的差异性及变化趋势, 并通过感官质量评价对统计分析结果进行验证, 旨在为特定配方叶组切丝宽度的选择和优化提供数据支撑和理论依据, 进一步提升卷烟精细化加工水平。

1 材料与方法

1.1 材料

“云烟”某规格卷烟配方叶组, 由红云红河烟草 (集团) 有限责任公司昆明卷烟厂提供。该规

格卷烟在制丝过程中的叶丝干燥方式采用薄板干燥。

1.2 方法

1.2.1 切丝宽度设置及叶丝干燥

准备3个批次同一个规格卷烟的配方叶组,在工艺流程与加工参数均保持一致的情况下,分别在切丝工序设定不同的切丝宽度(0.85、0.95、1.05 mm)对其进行切丝;3个批次不同切丝宽度的烟丝依次分别进行增温增湿和薄板干燥,通过烘丝机的自动反馈调节功能保证出料水分一致(约12.5%)。

1.2.2 试验样品制备

干燥前烟丝样品:待烘丝机进入稳定生产状态后,在增温增湿工序的入口取干燥前烟丝样品,每个批次取样50次,每次取样约30 g,取样间隔时间约5 s,即每个批次或每种切丝宽度的干燥前烟丝样品约取1.5 kg;在实验室将3个批次的共4.5 kg干燥前烟丝样品充分混匀形成1个大样本,最后再从该大样本的不同位置取样6次并做好标识待检(每个待检样品约200 g)。

干燥后烟丝样品:对于每个批次或每种切丝宽度的干燥后烟丝样品,待烘丝机进入稳定生产状态后,在干燥工序冷却出口的同一位置进行取样,每个批次取样100次,每次取样约30 g,取样间隔时间约5 s,即每个批次或每种切丝宽度的干燥后烟丝样品约取3 kg;在实验室分别将每个批次的3 kg干燥后烟丝样品充分混匀,最后再从每个批次大样本的不同位置各取样6次并做好标识待检(每个待检样品约200 g)。

1.2.3 挥发性香味物质的测定及分类方法

按照文献[13]中描述的方法利用气相色谱—质谱联用仪对干燥前后的不同烟丝样品进行挥发性香味物质的测定,每组试验样品测定6次。根据致香前体物的分类方法^[14-16],美拉德反应产物3种:糠醛、糠醇、5-甲基糠醛;苯丙氨酸降解产物4种:苯甲醛、苯甲醇、苯乙醛、苯乙醇;西柏烷类降解产物3种:茄酮、螺岩兰草酮、降茄二酮;胡萝卜素降解产物11种: β -大马酮、 β -二氢大马酮、 β -紫罗兰酮、3-氧代- α -紫罗兰醇、香叶基丙酮、二氢猕猴桃内酯、巨豆三烯酮A~D、金合欢基丙酮;叶绿素降解产物1种:新植二烯。

1.2.4 感官质量评价

分别利用3个试验批次在线生产的成品烟

丝,采用同一台卷烟机和相同的卷烟辅材对不同切丝宽度的成品烟丝进行烟支卷制。由9名评吸人员组成评吸小组,采用三点检验法^[17]和对比评吸法^[18]对不同试验烟支样品进行感官质量评价。

1.2.5 数据处理与统计分析

利用R语言统计软件(R i386 3.1.2)中的相关函数对数据进行统计分析并作图:(1)利用aov和TukeyHSD函数对不同试验烟丝样品挥发性香味物质的6次重复测定值进行方差分析和多重比较;(2)利用cor和principal函数对数据进行基于相关系数矩阵的主成分分析,并利用fa.parallel函数确定主成分的抽取个数;(3)利用KMO和bartlett.test函数对相关系数矩阵进行主成分分析前的Kaiser-Meyer-Olkin(KMO)和Bartlett球形度检验,利用该检验的统计量比较变量之间的简单相关和偏相关系数,KMO值介于0~1之间,越接近1,表明所有变量之间简单相关系数平方和远大于偏相关系数平方和,越适合主成分分析^[19];(4)在进行主成分得分计算时,利用scale函数对原始的指标矩阵进行标准化处理,标准化处理后,矩阵中每1列化学指标的均值为0,标准偏差为1;(5)利用boxplot函数对不同试验样品挥发性香味物质的主成分综合得分进行箱线图的绘制;(6)以挥发性香味物质主成分分析的前两个主成分得分(PC1和PC2)为变量,利用hclust函数对24个烟丝样品进行系统聚类分析,系统聚类的距离计算方法为欧氏距离(Euclidean distance),类与类之间的距离采用最长距离法(complete method)^[20]。

2 结果与分析

2.1 干燥前及不同切丝宽度烟丝干燥后挥发性香味物质方差分析

2.1.1 挥发性香味物质测定结果

干燥前及不同切丝宽度烟丝干燥后22种挥发性香味物质的测定结果如表1所示。其中,美拉德反应产物3种,苯丙氨酸降解产物4种,胡萝卜素降解产物11种,西柏烷类降解产物3种和叶绿素降解产物1种。

2.1.2 挥发性香味物质方差分析与多重比较

干燥前及不同切丝宽度烟丝干燥后22种挥发性香味物质6次测定值的平均值及方差分析的多重比较结果见表2。可以看出,干燥前后烟丝中的挥发性香味物质含量总体存在较大差异。美

表 1 干燥前及不同切丝宽度烟丝干燥后的挥发性香味物质测定结果
Tab. 1 Determination results of volatile aroma components of cut tobacco before drying and cut tobacco with different cutting width after drying

致香前体物及其降解产物 aroma precursor and its degradation products		干燥前烟丝 cut tobacco before drying						0.85 mm 切丝宽度烟丝干燥后 0.85 mm-width cut tobacco after drying					
		GQ-1	GQ-2	GQ-3	GQ-4	GQ-5	GQ-6	GH0.85-1	GH0.85-2	GH0.85-3	GH0.85-4	GH0.85-5	GH0.85-6
美拉德反应产物 maillard reaction products	糠醛 furfural	1.76	1.79	1.78	1.81	1.80	1.84	1.61	1.58	1.61	1.63	1.64	1.63
	糠醇 furfuryl alcohol	0.99	1.00	1.01	1.03	1.04	1.05	0.95	0.94	0.94	0.96	0.97	0.96
	5-甲基糠醛 5-methylfurfural	0.13	0.12	0.13	0.13	0.14	0.12	0.11	0.12	0.11	0.11	0.12	0.11
苯丙氨酸 phenylalanine	苯甲醛 benzaldehyde	0.27	0.25	0.23	0.25	0.25	0.26	0.21	0.20	0.20	0.20	0.19	0.20
	苯甲醇 benzyl alcohol	6.63	6.53	6.48	6.62	6.45	6.70	5.46	5.58	5.34	5.52	5.71	5.26
	苯乙醛 phenylacetaldehyde	0.76	0.75	0.77	0.77	0.76	0.80	0.60	0.65	0.65	0.65	0.68	0.66
	苯乙醇 benzyl ethanol	4.42	3.88	4.09	4.30	4.31	4.58	3.52	3.44	3.59	3.57	3.35	3.77
西柏烷类 cembranoids	茄酮 solanone	16.56	16.40	16.72	16.79	16.32	17.12	15.56	15.65	15.82	15.91	15.80	15.93
	螺岩兰草酮 solavetivone	3.67	3.63	3.70	3.77	3.79	3.89	4.75	4.65	4.72	4.68	4.60	4.46
	降茄二酮 norsolandione	0.89	0.91	0.91	0.92	0.92	0.94	1.00	0.99	1.03	1.01	0.98	1.03
胡萝卜素 carotenoids	β -大马酮 β -damascenone	6.83	6.77	6.58	6.84	6.66	7.02	6.53	6.59	6.68	6.75	6.89	6.71
	β -二氢大马酮 β -2H-damascenone	2.45	2.41	2.33	2.43	2.39	2.44	2.48	2.48	2.48	2.56	2.58	2.67
	β -紫罗兰酮 β -ionone	1.38	1.52	1.38	1.43	1.34	1.46	1.27	1.25	1.26	1.26	1.30	1.18
	3-氧代- α -紫罗兰醇 3-oxo- α -ionol	0.84	0.84	0.89	0.86	0.87	0.83	0.83	0.84	0.77	0.81	0.78	0.79
	香叶基丙酮 geranyl acetone	3.88	3.94	3.86	3.87	3.58	3.91	3.30	3.30	3.40	3.40	3.36	3.47
	二氢猕猴桃内酯 dihydroactinidiolide	2.34	2.54	2.61	2.55	2.60	2.56	2.72	2.79	2.65	2.75	2.75	2.71
	巨豆三烯酮 A megastigmatrienone A	2.95	3.08	2.93	3.00	2.90	3.00	2.99	2.91	3.06	3.04	2.91	3.17
	巨豆三烯酮 B megastigmatrienone B	12.75	12.71	11.81	12.68	12.55	12.97	13.23	12.99	13.67	13.38	13.29	13.07
	巨豆三烯酮 C megastigmatrienone C	2.51	2.52	2.67	2.64	2.69	2.70	2.80	2.81	2.87	2.90	2.80	3.07
	巨豆三烯酮 D megastigmatrienone D	11.87	11.93	11.75	12.22	12.31	12.64	12.61	12.84	12.85	13.08	12.91	13.52
	金合欢基丙酮 farnesylacetone	12.93	13.18	12.78	13.10	12.89	13.10	12.05	12.26	12.74	12.50	12.42	12.39
	叶绿素 chlorophyll	新植二烯 neophytadiene	544.94	539.37	528.05	545.45	552.11	535.80	502.29	493.36	506.64	507.47	498.41

表 1(续)

拉德反应产物、苯丙氨酸降解产物、叶绿素降解产物以及 1 种西柏烷类降解产物、5 种胡萝卜素降解产物共 14 种香味物质在干燥后出现了降低趋势；对于切丝宽度为 0.85 mm 的烟丝，干燥后有 2 种西柏烷类降解产物和 6 种胡萝卜素降解产物含量高于干燥前，其余 14 种香味物质低于干燥前；对于切丝宽度为 0.95 mm 的烟丝，干燥后仅有 1 种香味物质 (螺岩兰草酮) 含量略高于干燥前，有 20 种香味物质含量低于干燥前；对于切

丝宽度为 1.05 mm 的烟丝，干燥后 22 种香味物质含量均明显低于干燥前。由此可以看出，无论切丝宽度如何，干燥后烟丝中的挥发性香味物质总体含量呈降低趋势。在叶丝干燥工序，挥发性香味物质的散失和产生并存，但散失量总体大于生成量。但在一定切丝宽度条件下，干燥后某些香味物质的生成量大于散失量。

此外，由不同切丝宽度烟丝干燥后挥发性香味物质的均值及多重比较可以看出，随着切丝宽

表 2 不同切丝宽度烟丝挥发性香味物质的多重比较结果

Tab. 2 Multiple comparison results of volatile aroma components of cut tobacco of different cutting width w/(μg·g⁻¹)

挥发性香味物质 volatile aroma components	干燥前烟丝 cut tobacco before drying	不同宽度烟丝干燥后 cut tobacco of different cutting width after drying		
		0.85 mm	0.95 mm	1.05 mm
糠醛 furfural	1.80 Aa	1.62 Bb	1.64 Bb	1.08 Cc
糠醇 furfuryl alcohol	1.02 Aa	0.95 Bb	0.92 Bc	0.57 Cd
5-甲基糠醛 5- methylfurfural	0.13 Aa	0.11 Bb	0.10 Bc	0.08 Cd
苯甲醛 benzaldehyde	0.25 Aa	0.20 Bb	0.19 Cc	0.17 Dd
苯甲醇 benzyl alcohol	6.57 Aa	5.48 Bb	4.65 Cc	3.30 Dd
苯乙醛 phenylacetaldehyde	0.77 Aa	0.65 Bb	0.44 Cc	0.29 Dd
苯乙醇 benzyl ethanol	4.26 Aa	3.54 Bb	3.19 Cc	2.53 Dd
茄酮 solanone	16.65 Aa	15.78 Bb	15.16 Cc	13.67 Dd
螺岩兰草酮 solavetivone	3.74 Cc	4.64 Aa	4.00 Bb	2.59 Dd
降茄二酮 norsolandione	0.91 Bb	1.01 Aa	0.91 Bb	0.68 Cc
β-大马酮 β-damascenone	6.78 Aa	6.69 Aa	6.07 Bb	4.83 Cc
β-二氢大马酮 β-2H-damascenone	2.41 Bb	2.54 Aa	2.22 Cc	1.74 Dd
β-紫罗兰酮 β-ionone	1.42 Aa	1.25 Bb	1.24 BCb	1.18 Cc
3-氧化-α-紫罗兰醇 3- oxo-α-ionol	0.85 Aa	0.80 Ab	0.83 Aab	0.55 Bc
香叶基丙酮 geranyl acetone	3.84 Aa	3.37 Bb	2.90 Cc	3.00 Cc
二氢猕猴桃内酯 dihydroactinidiolide	2.53 Bb	2.73 Aa	2.48 Bb	1.92 Cc
巨豆三烯酮 A megastigmatrienone A	2.98 Aab	3.01 Aa	2.87 Ab	2.56 Bc
巨豆三烯酮 B megastigmatrienone B	12.58 Bb	13.27 Aa	11.52 Cc	10.57 Dd
巨豆三烯酮 C megastigmatrienone C	2.62 Bb	2.88 Aa	2.47 Cc	1.95 Dd
巨豆三烯酮 D megastigmatrienone D	12.12 Bb	12.97 Aa	11.68 Bb	10.04 Cc
金合欢基丙酮 farnesylacetone	13.00 Aa	12.40 Ab	11.03 Bc	9.26 Cd
新植二烯 neophytadiene	540.95 Aa	503.28 Bb	467.38 Cc	402.99 Dd

注：表中同一行数字后面小写字母、大写字母不同的分别表示差异达到 0.05 和 0.01 显著水平。

Note: Different small letters and capital letters in same row mean significant difference at the level of 0.05 and 0.01.

度的增加, 挥发性香味物质的总体含量呈降低趋势。0.95 mm 切丝宽度烟丝干燥后仅有 2 种香味物质(糠醛、3-氧代- α -紫罗兰醇) 含量略高于 0.85 mm 切丝宽度; 1.05 mm 切丝宽度烟丝干燥后的 22 种香味物质含量均低于 0.85 mm 切丝宽度的烟丝, 21 种香味物质含量低于 0.95 mm 切丝宽度的烟丝。

2.2 挥发性香味物质的主成分分析

2.2.1 主成分分析的适合度检验

通过对上述 22 种挥发性香味物质的 Pearson 相关性检验发现: 各项挥发性香味物质彼此之间

均存在显著相关性。因此, 选择基于相关系数矩阵的主成分分析法对上述 22 种挥发性香味物质进行降维处理。

在指标间的相关系数矩阵为正定矩阵(样本数 $\geq$ 指标数)的前提下, 对相关系数矩阵进行主成分分析前的 KMO 和 Bartlett 球形度检验(表 3)。可以看出: 22 种挥发性香味物质主成分分析的 KMO 度量值大于 0.5, 且 Bartlett 球形度检验给出的相伴概率为 0.000, 远小于显著性水平 0.05, 说明上述挥发性香味物质适合进行主成分分析。

表 3 挥发性香味物质主成分分析前的 KMO 及 Bartlett 球形度检验

Tab. 3 KMO and Bartlett sphericity test before principal component analysis of volatile aroma components

化学指标 chemical index	KMO	Bartlett 球形度检验 Bartlett sphericity test		
		近似卡方 approximate chi square	自由度 degree of freedom	显著性水平 significant level
挥发性香味物质 volatile aroma component	0.511	1 536.906	231	0.000

2.2.2 主成分抽取

表 4 为 22 种挥发性香味物质主成分分析的前两个主成分的特征值及方差贡献率。可以看出: 前两个主成分的累积方差贡献率达到 93.244%,

且前两个主成分的特征值均大于 1。因此, 抽取前两个主成分(PC1 和 PC2) 进行下一步的分析。同时也进一步验证了采用主成分分析法对上述 22 种挥发性香味物质可实现有效降维的可行性。

表 4 挥发性香味物质主成分分析的特征值及方差贡献率

Tab. 4 Eigenvalue and variance contribution rate of principal component analysis of volatile aroma components

主成分 principal component	特征值 eigenvalue	方差贡献率/% variance contribution rate	累积方差贡献率/% cumulative variance contribution rate
PC1	18.200	82.729	93.244
PC2	2.313	10.515	

2.2.3 主成分得分的二维分布解析

挥发性香味物质主成分分析的前两个主成分的载荷量见表 5, 载荷量除以对应主成分特征值的平方根得到各项挥发性香味物质的特征向量

(特征向量表示主成分与对应变量的相关系数)(表 5)。

根据表 5 中的主成分特征向量得到 22 种挥发性香味物质前两个主成分得分的计算公式:

$$\begin{aligned} \text{PC1} = & 0.221Z_1 + 0.226Z_2 + 0.223Z_3 + 0.191Z_4 + 0.225Z_5 + 0.223Z_6 + 0.216Z_7 + 0.228Z_8 + 0.190Z_9 + \\ & 0.212Z_{10} + 0.232Z_{11} + 0.222Z_{12} + 0.171Z_{13} + 0.171Z_{14} + 0.211Z_{15} + 0.212Z_{16} + 0.209Z_{17} + 0.215Z_{18} + \\ & 0.212Z_{19} + 0.210Z_{20} + 0.228Z_{21} + 0.226Z_{22} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{PC2} = & -0.015Z_1 - 0.054Z_2 + 0.124Z_3 + 0.362Z_4 + 0.169Z_5 + 0.153Z_6 + 0.211Z_7 + 0.113Z_8 - 0.369Z_9 - \\ & 0.270Z_{10} - 0.038Z_{11} - 0.156Z_{12} + 0.382Z_{13} + 0.383Z_{14} - 0.240Z_{15} - 0.122Z_{16} - 0.122Z_{17} - 0.230Z_{18} - \\ & 0.229Z_{19} - 0.088Z_{20} + 0.044Z_{21} + 0.105Z_{22} \end{aligned} \quad (2)$$

式中: $Z_1 \sim Z_{22}$ 变量依次分别代表糠醛、糠醇、5-甲基糠醛、苯甲醛、苯甲醇、……、金合欢基丙酮、新植二烯(按照表 5 中的香味物质排列顺序); $Z_1 \sim Z_{22}$ 是原始指标数据经过标准化变换后的标准变量。

根据上述公式计算不同试验烟丝样品挥发性香味物质的前两个主成分得分, 不同试验烟丝样

品挥发性香味物质主成分分析在 PC1 和 PC2 上的得分投影如图 1 所示。可以看出: 干燥前后及不同切丝宽度烟丝干燥后的挥发性香味物质综合含量存在较大差异; 干燥前及不同切丝宽度干燥后的烟丝样品各自落在不同的区域; 不同切丝宽度干燥后烟丝样品挥发性香味物质主成分分析的前两个主成分得分在二维平面上的分布呈规律性

表 5 前两个主成分的载荷矩阵和特征向量
Tab. 5 Load matrix and feature vector of the first two principal components

挥发性香味物质 volatile aroma components	主成分载荷矩阵 load matrix of principal component		主成分特征向量 feature vector of principal component	
	PC1	PC2	PC1	PC2
糠醛 furfural	0.943	-0.023	0.221	-0.015
糠醇 furfuryl alcohol	0.966	-0.082	0.226	-0.054
5-甲基糠醛 5-methylfurfural	0.953	0.189	0.223	0.124
苯甲醛 benzaldehyde	0.815	0.550	0.191	0.362
苯甲醇 benzyl alcohol	0.959	0.257	0.225	0.169
苯乙醛 phenylacetaldehyde	0.951	0.232	0.223	0.153
苯乙醇 benzyl ethanol	0.922	0.321	0.216	0.211
茄酮 solanone	0.972	0.172	0.228	0.113
螺岩兰草酮 solavetivone	0.812	-0.562	0.190	-0.369
降茄二酮 norsolandione	0.903	-0.411	0.212	-0.270
β-大马酮 β-damascenone	0.989	-0.058	0.232	-0.038
β-二氢大马酮 β-2H-damascenone	0.949	-0.237	0.222	-0.156
β-紫罗兰酮 β-ionone	0.731	0.581	0.171	0.382
3-氧代-α-紫罗兰醇 3-oxo-α-ionol	0.730	0.583	0.171	0.383
香叶基丙酮 eranyl acetone	0.902	-0.365	0.211	-0.240
二氢猕猴桃内酯 dihydroactinidiolide	0.904	-0.185	0.212	-0.122
巨豆三烯酮 A megastigmatrienone A	0.891	-0.186	0.209	-0.122
巨豆三烯酮 B megastigmatrienone B	0.917	-0.350	0.215	-0.230
巨豆三烯酮 C megastigmatrienone C	0.904	-0.348	0.212	-0.229
巨豆三烯酮 D megastigmatrienone D	0.897	-0.134	0.210	-0.088
金合欢基丙酮 farnesylacetone	0.971	0.067	0.228	0.044
新植二烯 neophytadiene	0.966	0.160	0.226	0.105

变化趋势，切丝宽度相近的干燥后烟丝样品在二维平面上的分布区域或距离也较为接近。

2.2.4 主成分综合得分的变化趋势

干燥前及不同切丝宽度烟丝干燥后挥发性香味物质主成分综合得分 (0.827 29PC1+0.105 15PC2) 的箱线图如图 2 所示。主成分综合得分在一定程度上可以表征某一类化学物质的综合含量，因此，从不同试验样品挥发性香味物质主成分综合得分的变化趋势就可以看出挥发性香味物质综合含量的变化趋势。

从图 2 可知：无论切丝宽度如何，干燥后烟丝中的挥发性香味物质综合含量均低于干燥前；不同切丝宽度烟丝干燥后，其挥发性香味物质综合含量也存在一定差异，且随着切丝宽度的增加，干燥后烟丝中的挥发性香味物质综合含量呈逐渐降低的变化趋势。

2.3 挥发性香味物质主成分得分聚类分析

利用挥发性香味物质主成分分析的前两个主

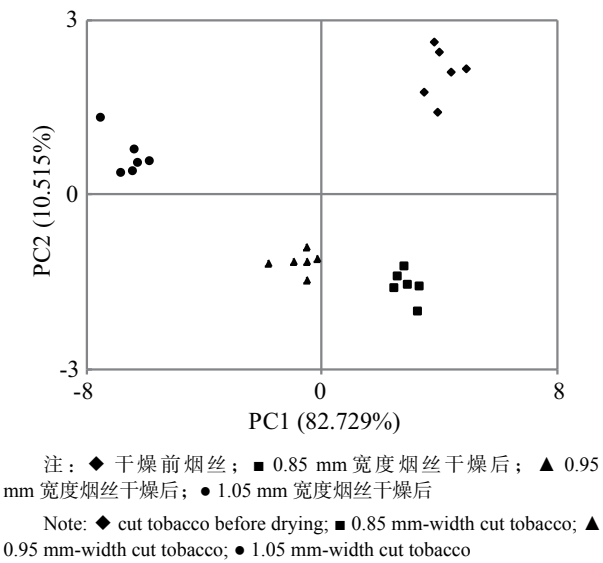
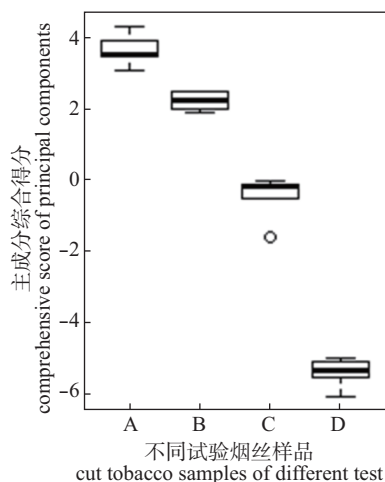


图 1 不同烟丝样品挥发性香味物质前两个主成分得分在二维平面上的投影图

Fig. 1 Projection of the first two principal components score in the two-dimensional plane of volatile aroma components of different cut tobacco samples



注: A. 干燥前烟丝; B. 0.85 mm 切丝宽度烟丝干燥后; C. 0.95 mm 切丝宽度烟丝干燥后; D. 1.05 mm 切丝宽度烟丝干燥后。

Note: A. cut tobacco before drying; B. cut tobacco after drying with cutting width at 0.85 mm; C. cut tobacco after drying with cutting width at 0.95 mm; D. cut tobacco after drying with cutting width at 1.05 mm.

图 2 不同烟丝样品挥发性香味物质主成分综合得分的箱线图

Fig. 2 Boxplot of principal components comprehensive score of volatile aroma components of different cut tobacco samples

成分得分 (PC1 和 PC2) 对 24 个烟丝样品进行系统聚类分析的结果如图 3 所示。可以看出: 干燥前及不同切丝宽度烟丝干燥后的 24 个烟丝样品可以分成三类: 切丝宽度为 1.05 mm 的 6 个干燥后烟丝样品 (GH1.05-1~GH1.05-6) 单独聚为一类; 切丝宽度为 0.95 mm 的 6 个干燥后烟丝样品 (GH0.95-1~GH0.95-6) 聚为一类; 干燥前的 6 个烟丝样品 (GQ-1~GQ-6) 与切丝宽度为 0.85 mm 的 6 个干燥后烟丝样品 (GH0.85-1~GH0.85-6) 聚为一类。此外, 干燥前及每种切丝宽度的 6 个干燥后烟丝样品均各自聚为一小类。

从聚类结果可以直观地看出: 干燥前后及不同切丝宽度烟丝干燥后的挥发性香味物质综合含量均存在较大差异, 且随着切丝宽度的增加, 干燥后烟丝中的挥发性香味物质综合含量与干燥前的差异在增大。

2.4 不同切丝宽度成品卷烟的感官质量分析

通过比较 3 种不同切丝宽度成品卷烟的感官质量, 在一定程度上验证上述的方差分析、主成分分析及聚类分析结果, 进一步为该规格卷烟配方叶组切丝宽度的设定提供参考依据。

2.4.1 不同切丝宽度成品卷烟的感官质量三点检验

由表 6 可见: 以 0.85 mm 切丝宽度为基准,

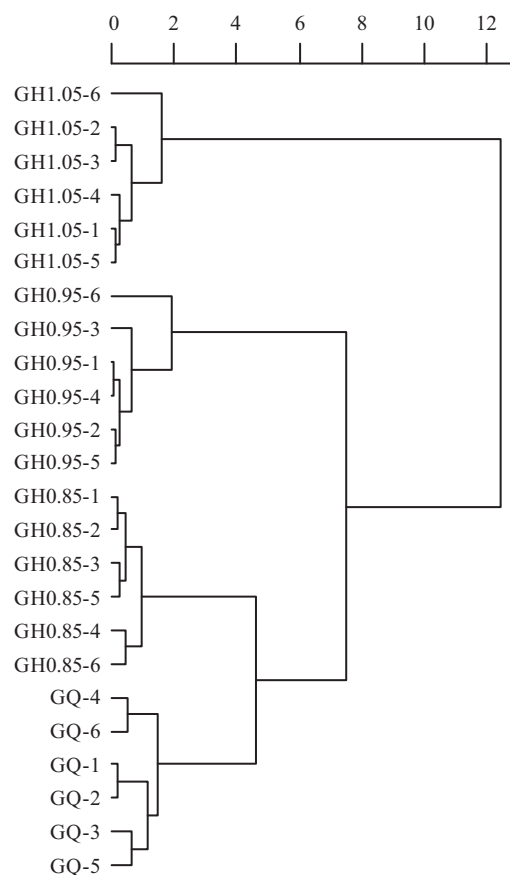


图 3 不同烟丝样品挥发性香味物质前两个主成分得分的聚类图

Fig. 3 Dendrogram of the first two principal components score of volatile aroma components of different cut tobacco samples

随着切丝宽度的增加, 成品卷烟感官质量的差异性在增大。检验结果与挥发性香味物质主成分得分的聚类分析结果基本一致。

2.4.2 不同切丝宽度成品卷烟的感官质量对比评吸

对不同切丝宽度的成品卷烟, 从香气特性 (香气质、香气量、杂气)、烟气特性 (劲头、浓度、细腻程度) 和口感特性 (刺激性、干燥感、干净程度) 三方面进行感官对比评价的结果见表 7。可以看出: 以 0.85 mm 宽度烟丝的成品卷烟为对照样, 当切丝宽度增加至 0.95 mm 时, 其成品卷烟在香气质、杂气、细腻程度和刺激性等感官指标上略有下降, 烟气浓度略有提升; 当切丝宽度增加至 1.05 mm 时, 其成品卷烟在香气质、杂气、细腻程度、刺激性、干燥感和干净程度等感官指标上有不同程度的下降趋势, 香气量、劲头和浓度略有提升。从对比评吸结果可知, 在一定范围内, 随着切丝宽度的增加, 成品卷烟的整体

表 6 不同试验烟支样品感官质量的三点法检验结果

Tab. 6 Test result of sensory evaluation of different test cigarette samples by three point method

样品对子 sample pair	参与评吸人数 ^① number of smoking	正确识别人数 number of correct identification	正确识别率/% correct recognition rate	整体品质特征差异 characteristic difference of whole quality
0.85 mm 与 0.95 mm	9	4	44.44	不显著
0.95 mm 与 1.05 mm	9	7	77.78	显著
0.85 mm 与 1.05 mm	9	8	88.89	显著

注：① $\alpha=0.05$ 时，三点检验临界值为 6。
Note: ① Critical value of three point test is six when α is equal to 0.05.

表 7 不同试验烟支样品的感官质量变化趋势

Tab. 7 Sensory quality changes of different test cigarette samples

样品编号 sample number	香气特性 aroma characteristics			烟气特性 smoke characteristics			口感特性 taste characteristics		
	香气质 aroma quality	香气量 aroma quantity	杂气 offensive odor	劲头 vigor	浓度 concentration	细腻程度 delicate degree	刺激性 irritation	干燥感 dry sense	干净程度 clean degree
CK (0.85 mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.95 mm	-1	0	-1	0	+1	-1	-1	0	0
1.05 mm	-2	+1	-1	+1	+2	-2	-2	-1	-1

注：表中的数值分别表示与对照样品相比指标质量的变化方向及变化程度。
Note: Different values in the table respectively express change direction and degree of quality indexes compared with the control sample.

感官品质呈逐渐降低的变化趋势。

3 讨论

烟丝宽度是卷烟制丝过程的重要参数之一，也是影响卷烟产品质量的主要因素之一^[21]。相同重量的片烟原料，由于其切丝宽度不同，必然导致切后烟丝的比表面积存在一定差异，从而影响烟丝在增温增湿工序的吸水性能及干燥工序的脱水性能，最终影响干燥后烟丝的物理特性^[3]及成品卷烟的烟气成分^[5-8]和感官品质^[4]。挥发性香味物质作为影响卷烟感官质量的主要化学成分^[22]，研究其在干燥工序不同切丝宽度烟丝中的变化规律，对于特定配方叶组切丝宽度的选择和优化，进一步提升卷烟精细化加工水平具有指导意义。

在切丝机出口水分一致的情况下，随着切丝宽度的增加，单位重量或体积烟丝的比表面积减小。在 SIROX 蒸汽流量一定的情况下，切丝宽度较高的烟丝在增温增湿环节的吸水能力和吸水量降低，为保证干燥后烟丝含水率一致并满足产品工艺技术标准的要求（约 12.5%），薄板烘丝机通过自身的反馈调节功能，相应降低筒壁温度（在本试验研究中，切丝宽度增加 0.1 mm，薄板烘丝机筒壁温度约降低 3.5 ℃），使烟丝的单位重量脱水速率降低，即降低干燥强度。正是由于烘丝机筒壁温度的降低，使得烟丝中的部分致香前

体物未发生充分的降解反应，这也就是随着切丝宽度的增加，干燥后烟丝中的挥发性香味物质逐渐降低的主要原因之一。同时也从化学层面上解释了于存峰等^[4]的研究结果，即在一定范围内，随着切丝宽度的增加，卷烟感官品质呈逐渐降低的变化趋势。

基于方差分析和主成分分析的研究结果显示：干燥前后及不同切丝宽度烟丝干燥后，各项挥发性香味物质含量总体均存在较大差异；干燥后烟丝中的挥发性香味物质总体含量较干燥前呈降低趋势；对于干燥后烟丝，随着切丝宽度的增加，挥发性香味物质综合含量呈逐渐降低的变化趋势。感官质量评价结果显示，不同切丝宽度成品卷烟的整体感官品质存在一定差异，且随着切丝宽度的增加，成品卷烟整体感官品质呈逐渐降低的变化趋势。

[参考文献]

[1] 罗登山, 姚光明, 刘朝贤. 中式卷烟加工工艺技术探讨[J]. 烟草科技, 2005(5): 4. DOI: 10.1007/s12028-009-9223-y.

[2] 卢彦华, 于录, 阮晓明, 等. 分组加工工艺过程研究[J]. 烟草科技, 2008(1): 12. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0861.2008.01.004.

[3] 魏玉玲, 阴耕耘, 李绍臣, 等. 几个重要制丝工序对烤烟烟丝填充值和碎丝率的影响[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2010, 32(S1): 183.

- [4] 于存峰, 于录, 杨雷, 等. 模块加工中叶丝宽度组合对卷烟质量的影响[J]. 烟草科技, 2011(6): 9. DOI: [10.3969/j.issn.1002-0861.2011.06.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-0861.2011.06.002).
- [5] 邱玉春, 林志平, 黄朝章, 等. 切丝宽度对卷烟主流烟气 7 种 Hoffmann 成分释放量的影响[J]. 郑州轻工业学院学报 (自然科学版), 2013, 28(6): 9. DOI: [10.3969/j.issn.2095-476X.2013.06.003](https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-476X.2013.06.003).
- [6] 薛芳, 李东亮, 陈昆燕, 等. 卷烟加工重点工序工艺参数与卷烟主流烟气中苯酚释放量的关系研究[J]. 江西农业大学学报, 2010, 32(6): 1307. DOI: [10.3969/j.issn.1000-2286.2010.06.040](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-2286.2010.06.040).
- [7] 谭兰兰, 施丰成, 薛芳, 等. 卷烟制丝工艺参数对主流烟气中苯并[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(1): 165.
- [8] 张涛, 苏明亮, 赵伟, 等. 制丝工艺参数对 9 种主流烟气成分释放量的影响[J]. 烟草科技, 2014(8): 32. DOI: [10.3969/j.issn.1002-0861.2014.08.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-0861.2014.08.008).
- [9] 田忠, 陈闯, 许宗保, 等. 制丝关键工序对细支卷烟燃烧温度及主流烟气成分的影响[J]. 中国烟草学报, 2015, 21(6): 19. DOI: [10.16472/j.issn.2015.107](https://doi.org/10.16472/j.issn.2015.107).
- [10] 王廷, 李斌, 朱文魁. 叶丝滚筒干燥过程中化学成分的动态变化特征研究[J]. 烟草科技, 2010(11): 9. DOI: [10.3969/j.issn.1002-0861.2010.11.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-0861.2010.11.002).
- [11] 王宗英, 王建民, 王海妮, 等. 基于均匀设计分析滚筒烘丝工艺参数对叶丝质量的影响[J]. 烟草科技, 2011(8): 5. DOI: [10.3969/j.issn.1002-0861.2011.08.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-0861.2011.08.001).
- [12] 张强, 董高峰, 李红武, 等. 滚筒烘丝机工艺参数对烤烟感官质量的影响[J]. 烟草科技, 2011(11): 10. DOI: [10.3969/j.issn.1002-0861.2011.11.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-0861.2011.11.002).
- [13] 刘泽, 何邦华, 杨蕾, 等. “干头干尾”烟丝挥发性香味物质的主成分聚类分析[J]. 烟草科技, 2015(2): 47. DOI: [10.16135/j.issn1002-0861.20150210](https://doi.org/10.16135/j.issn1002-0861.20150210).
- [14] 李鹏飞, 周冀衡, 张建平, 等. 烤烟成熟期土壤水分状况对烟叶挥发性香气物质及主要化学成分的影响[J]. 中国烟草学报, 2009, 15(3): 44. DOI: [10.3969/j.issn.1004-5708.2009.03.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-5708.2009.03.009).
- [15] 薛超群, 王建伟, 奚家勤, 等. Agri 土壤调理剂用量对烟叶香气质量的影响[J]. 烟草科技, 2012(7): 86. DOI: [10.3969/j.issn.1002-0861.2012.07.019](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-0861.2012.07.019).
- [16] 阴耕耘, 徐世涛, 阮昕, 等. 复烤过程中 B4F 烤烟烟叶类胡萝卜素和西柏烷类降解产物的变化[J]. 烟草科技, 2012(10): 61. DOI: [10.3969/j.issn.1002-0861.2012.10.014](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-0861.2012.10.014).
- [17] GB/T 17321—1998. 感官分析方法 二、三点检验[S].
- [18] YC/T 138—1998. 烟草及烟草制品 感官评价方法[S].
- [19] 时立文. SPSS 19.0 统计分析从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013: 290.
- [20] 汤银才. R 语言与统计分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 332.
- [21] 于建军. 卷烟工艺学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 179.
- [22] 张梦楚, 王龙, 朱波, 等. 红花大金元烟叶中性致香成分含量与感官质量预测分析[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(22): 5438. DOI: [10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2014.22.027](https://doi.org/10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2014.22.027).