

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90110

润叶参数对烟叶香味物质的影响

Effects of different conditioning parameters on aroma components of tobacco leaves

李京鑫¹ 何力² 孙觅³ 邹恩凯² 李春光³ 占小林²
LI Jing-xin¹ HE Li² SUN Mi³ ZOU En-kai² LI Chun-guang³ ZHAN Xiao-lin²
陈栋² 罗海涛² 景延秋¹ 任周营²
CHEN Dong² LUO Hai-tao² JING Yan-qiu¹ REN Zhou-ying²

(1. 河南农业大学, 河南 郑州 450046; 2. 江西中烟责任有限公司, 江西 南昌 330096;

3. 河南中烟责任有限公司, 河南 郑州 450000)

(1. College of Tobacco, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450046, China;

2. Jiangxi Zhongyan Responsibility Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi 330096, China;

3. Henan Zhongyan Responsibility Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450000, China)

摘要:目的:探索打叶复烤中润叶工艺的最佳参数。方法:以赣州上部烟叶组成的BO1模块为基础,考察一次润叶和二次润叶的热风温度、滚筒转速、加水量以及蒸汽阀门开度对烟叶香味成分的影响,并以赣州焦甜香风格为基础,结合综合平衡法筛选润叶工艺的较优参数。结果:香味物质含量经一次润叶后增加,经二次润叶后减少,但较润叶前略有增加。一次润叶中热风温度对茄酮和糠醇含量影响较为显著,而二次润叶中热风温度对苯乙醛含量影响较为显著。结论:烟叶复烤过程中的两次润叶较佳工艺条件为一次润叶热风温度135℃、滚筒转速10 r/min、加水量3.5 kg/100 kg;二次润叶热风温度145℃、滚筒转速9 r/min、蒸汽阀门开度50%。

关键词:烟叶;上部叶模块;润叶;香味成分

Abstract: Objective: This study aimed to find out the best parameters of moistening leaves in redrying. **Methods:** Based on the BO1 module of upper leaves in Ganzhou, the effects of hot air temperature, drum speed, water addition and steam valve opening on aroma components of primary and secondary leaves were investigated, and the optimum parameters of leaf moistening process were screened by comprehensive balance method based on the style of sweet and coke in Ganzhou. **Results:**

基金项目:江西中烟科技项目(编号:2020360000340238)

作者简介:李京鑫,男,河南农业大学在读硕士研究生。

通信作者:景延秋(1972—),女,河南农业大学教授,博士生导师,博士。E-mail:jingyanqiu72t@163.com

任周营(1974—),男,江西中烟工业有限责任公司农艺师。E-mail:254764211@qq.com

收稿日期:2021-10-11

The content of aroma components increased after one-time leaf wetting and decreased after two-time leaf wetting, but slightly increased, compared with that before leaf wetting. The hot air temperature in the first moistening leaf had a significant effect on the contents of solanone and furfuryl alcohol, while the hot air temperature in the second moistening leaf had a significant effect on the content of phenylacetaldehyde. **Conclusion:** The optimum process conditions of twice moistening leaves during tobacco re-drying were hot air temperature 135℃, roller speed 10 r/min and water addition 3.5 kg/100 kg. Hot air temperature 145℃, roller speed 9 r/min, steam valve opening 50%.

Keywords: tobacco leaves; upper leaf module; conditioning; flavor components

为了使烟叶充分吸水,打叶复烤中的润叶工序一般采取高温高湿的加工方法^[1],该加工环境会导致烟草中的香味物质散失^[2],而烟草的香味物质种类及含量是评价烟草质量的一个重要因素^[3]。近年来关于复烤润叶相关研究报道不少,但是大多都是关于润叶设备或润叶方式的研究,有关通过调整润叶参数来探究复烤润叶对香味物质的影响研究较少。李曼^[4]采用分布式计算机控制技术,解决了由手动操作和开关控制导致烟草水分不稳定的问题。龙明海等^[5]研究发现润叶工序对烟叶常规化学成分影响不大,汽水混合润叶比蒸汽润叶更有利于烟叶致香物质的保留。王发勇等^[6]研究发现润叶条件的改变对烟叶的感官质量有一定的影响。连长伟等^[7]通过研究不同润叶强度与烟叶色差、感官、烟叶含水率、梗叶分离情况以及能源消耗的关系,对润叶参数进行了优化,且江西赣州烟叶焦

甜香突出^[8],而 6-甲基-5-庚烯-2-酮、 β -大马酮和茄酮与焦甜香味极显著正相关;糠醇和新植二烯与焦甜香味显著正相关^[9];苯甲醛和苯乙醛与焦甜香味极显著负相关;5-甲基糠醛与焦甜香味显著负相关^[10]。研究拟以 6-甲基-5-庚烯-2 酮^[11]、 β -大马酮^[12]、茄酮^[13]、苯甲醛^[14]、苯乙醛^[15]、糠醇、5-甲基糠醛^[16]和新植二烯^[17]为指标,结合润叶的热风温度、滚筒转速、加水量、蒸汽阀门开度等关键工艺参数进行正交试验,旨在探索打叶复烤过程中润叶工序的较佳工艺参数,为其工业加工提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及设备

供试烟叶:赣州烟区上部烟叶组成的 BO1 模块;
滚筒式热风润叶机:WF3217 型,秦皇岛烟草机械有限责任公司;
气相色谱/质谱联用仪:6890N/5975N 型,美国 Agilent 公司。

1.2 试验设计

根据正交试验设计原理,采用 $L_9(3^4)$ 正交试验对打叶复烤的润叶工艺进行试验设计^[18]。一次润叶以热风温度、滚筒转速和加水量为自变量,二次润叶以热风温度、滚筒转速和蒸汽阀门开度为自变量。

1.3 取样方法

样品采集时,需在参数调节后等待 10 min 以确保设备稳定运行,取样点设定为润叶机出口,采用定点取样,且每隔 2 min 取样一次,重复取样 3 次。

1.4 中性香味物质检测

1.4.1 样品处理 烟叶除去主叶脉后于 45℃ 下干燥,粉碎过 0.250 mm 孔径筛。采用同时蒸馏萃取法提取烟叶中的致香成分,其中 1 000 mL 容量瓶中加入 600 mL 水和 20 g 烟叶样品,采用电加热套加热至沸腾;250 mL 容量瓶中加入二氯甲烷萃取液 40 mL 和 1 mL 内标(乙酸苯乙酯),60℃ 水浴,待两相分离开始计时,同时蒸馏萃取 2.5 h;将提取液用适量无水硫酸钠干燥,采用常压旋转蒸发仪浓缩至 1 mL,供 GC-MS 分析。

1.4.2 GC-MS 分析条件 毛细管柱 DB-5 ms(30 m×0.25 mm×0.25 μ m);载气为 He;流速恒流 0.8 mL/min;进样口温度 250℃;进样量 2 μ L;分流比 10:1;检测器温度 230℃;溶剂延迟 6 min;扫描离子范围 50~650 amu;初始温度 60℃,保持 2 min,2℃/min 升温至 180℃,保持 2 min,10℃/min 升温至 280℃,保持 20 min。

1.5 感官评吸

将待评吸烟叶于(22±1)℃、相对湿度为(60±2)%下平衡 48 h,切丝,将烟丝用卷烟器装填至烟筒中,每支烟重量控制在 0.8~0.9 g;将卷制好的烟支于(22±1)℃、相对湿度为(60±2)%环境中平衡 48 h,采用暗评和综合

排序法组织 5 位评吸员参照表 1 进行感官质量评价。

表 1 感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria

指标	评分标度		
	0~1	2~3	4~5
香气质	差至较差	稍好至尚好	较好至好
香气量	少至微有	稍有至尚足	较充足至充足
透发性	沉闷至较沉闷	稍透发至尚透发	较透发至透发
柔和程度	生硬至较生硬	较柔和至尚柔和	较柔和至柔和
余味	不净不舒适至欠净欠舒适	稍净稍舒适至尚静尚舒适	较净较舒适至纯净舒适
刺激性	小至较小	中等至稍大	较大至大
香韵	无至微显	稍明显至尚明显	较明显至明显
木质气	重至较重	有至微有	微有至无

1.6 数据处理

试验数据经 Excel 2019 软件处理后,用 SPSS 25 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 润叶对烟叶香味物质影响的直观分析

采用 $L_9(3^4)$ 正交试验对打叶复烤的润叶工艺进行试验设计。一次润叶以热风温度、滚筒转速和加水量为自变量,其正交试验设计及水平见表 2;二次润叶以热风温度、滚筒转速和蒸汽阀门开度为自变量,其正交试验设计及水平见表 3。

一次、二次润叶后香味物质含量结果分别见表 4、表 5,其直观分析结果分别见表 6、表 7。

表 2 一次润叶试验正交表

Table 2 Orthogonal table of primary leaf wetting test

试验号	A 热风温度/ ℃	B 滚筒转速/ (r·min ⁻¹)	C 加水量/ (10 ⁻² kg·kg ⁻¹)
1	125	9	3.0
2	125	10	3.5
3	125	11	4.0
4	135	9	3.5
5	135	10	4.0
6	135	11	3.0
7	145	9	4.0
8	145	10	3.0
9	145	11	3.5

表 3 二次润叶正交试验表

Table 3 Quadratic moistening orthogonal test table

试验号	L 热风温度/ ℃	M 滚筒转速/ (r·min ⁻¹)	N 蒸汽阀门 开度/%
1	125	9	30
2	125	10	40
3	125	11	50
4	135	9	40
5	135	10	50
6	135	11	30
7	145	9	50
8	145	10	30
9	145	11	40

由表 6 可知,经一次润叶后烟叶各指标的 R 值分别为热风温度>加水量>滚筒转速、热风温度>加水量>滚筒转速、热风温度>滚筒转速>加水量、热风温度>滚筒转速>加水量、热风温度>加水量>滚筒转速、热风温度>滚筒转速>加水量、热风温度>加水量>滚筒转速、表明热风温度对烟叶中

香味物质含量影响最大。随着热风温度、滚筒转速及加水量的增加,6-甲基-5-庚烯-2-酮含量呈先升后降趋势,且 CV 值均大于 5%,说明在一次润叶时 6-甲基-5-庚烯-2-酮含量易受加工条件的影响。随着热风温度和加水量的增加, β -大马酮含量呈先升后降趋势,而随着滚筒转速的增加则表现为降低趋势,其 CV 值为 9.03%,说明滚筒转速对 β -大马酮含量影响较大。随着热风温度和滚筒转速的增加,茄酮含量呈先升后降趋势,而随着加水量的增加则表现为下降趋势,其 CV 值均小于 5%,说明在一次润叶时滚筒转速和加水量对茄酮含量影响较小。随着热风温度和加水量的增加,苯甲醛含量呈先升后降的趋势,而随着滚筒转速的增加呈降低趋势,其 CV 值为 19.16%,表明在一次润叶时滚筒转速对苯甲醛含量影响较大。随着热风温度的增加,苯乙醛和 5-甲基糠醛含量呈下降趋势,而新植二烯和糠醇含量则呈先升后降趋势;随着滚筒转速的增加,糠醇、5-甲基糠醛和新植二烯含量均呈先升后降的趋势,而苯乙醛含量呈下降趋势;随着加水量的增加,苯乙醛、新植二烯、5-甲基糠醛含量呈先升后降的趋势,而糠醇含量呈上升趋势。

由表 7 可知,二次润叶各指标的 R 值分别为热风温

表 4 一次润叶后香味物质含量的正交试验结果

Table 4 Orthogonal results of aroma substances after once moistening leaves $\mu\text{g/g}$

试验号	6-甲基-5-庚烯-2-酮	β -大马酮	茄酮	苯甲醛	苯乙醛	糠醇	5-甲基糠醛	新植二烯
1	1.20	22.11	42.07	1.79	3.39	3.64	4.44	1 013.00
2	1.90	22.00	44.84	1.13	4.94	5.21	3.83	1 097.00
3	1.37	22.48	37.58	1.70	3.81	3.32	3.87	929.64
4	1.88	36.91	60.68	2.23	4.50	5.21	6.15	1 605.00
5	2.20	31.19	62.93	1.68	3.74	6.10	5.37	1 444.00
6	1.66	22.32	60.62	1.04	2.77	4.06	3.25	1 065.00
7	1.17	19.56	43.83	0.90	3.06	2.15	2.90	891.28
8	0.83	19.02	43.86	0.72	2.27	0.94	2.30	992.66
9	1.08	20.76	39.48	0.91	2.63	0.92	2.41	957.44

表 5 二次润叶后香味物质含量的正交试验结果

Table 5 Orthogonal results of flavor substances after secondary bleaching $\mu\text{g/g}$

试验号	6-甲基-5-庚烯-2-酮	β -大马酮	茄酮	苯甲醛	苯乙醛	糠醇	5-甲基糠醛	新植二烯
1	1.50	19.36	44.02	0.78	1.90	4.29	2.81	929.51
2	1.21	18.01	35.02	0.89	2.05	13.97	2.29	876.71
3	1.01	19.59	41.87	0.86	2.88	16.57	2.53	896.08
4	0.92	18.54	36.62	0.84	3.35	15.70	2.31	934.59
5	0.86	13.43	24.07	0.49	3.10	19.96	2.35	663.21
6	0.85	19.02	33.83	0.80	3.48	15.71	3.27	956.08
7	1.09	20.79	47.31	0.90	3.14	17.29	2.33	1 003.00
8	0.69	18.73	36.77	0.83	3.51	17.69	2.52	915.63
9	1.30	19.35	40.78	0.98	3.37	19.11	3.22	931.03

表 6 一次润叶香味物质试验结果直观分析

Table 6 Intuitive analysis of test results of perfume substances in primary run leaves

指标	项目	A	B	C	指标	项目	A	B	C
6-甲基-5-庚烯-2-酮	k_1	1.49	1.42	1.23	苯乙醛	k_1	4.05	3.65	2.81
	k_2	1.92	1.64	1.62		k_2	3.67	3.65	4.02
	k_3	1.03	1.37	1.58		k_3	2.65	3.07	3.54
	R	0.89	0.27	0.39		R	1.40	0.58	1.21
	CV 值/%	30.08	9.87	14.56		CV 值/%	20.93	9.69	17.66
β -大马酮	k_1	22.20	26.19	21.15	糠醇	k_1	4.05	3.66	2.88
	k_2	30.14	24.07	26.56		k_2	5.12	4.08	3.78
	k_3	19.78	21.85	24.41		k_3	1.34	2.76	3.85
	R	10.36	4.34	5.41		R	3.78	1.32	0.97
	CV 值/%	22.55	9.03	11.33		CV 值/%	55.71	19.21	15.46
茄酮	k_1	41.50	48.86	48.85	5-甲基糠醛	k_1	4.05	4.50	3.33
	k_2	61.41	50.54	48.33		k_2	4.93	3.83	4.13
	k_3	42.39	45.89	48.11		k_3	2.54	3.18	4.04
	R	19.91	4.65	0.74		R	2.39	1.32	0.80
	CV 值/%	23.22	4.86	0.79		CV 值/%	31.50	17.19	11.41
苯甲醛	k_1	1.54	1.64	1.18	新植二烯	k_1	1 013.21	1 169.76	1 023.55
	k_2	1.65	1.17	1.42		k_2	1 371.33	1 177.89	1 219.81
	k_3	0.85	1.22	1.43		k_3	947.13	984.03	1 088.31
	R	0.81	0.47	0.25		R	424.21	193.86	196.26
	CV 值/%	32.46	19.16	10.46		CV 值/%	20.55	9.87	9.00

度>滚筒转速>蒸汽阀门开度、滚筒转速>热风温度>蒸汽阀门开度、滚筒转速>热风温度>蒸汽阀门开度、热风温度>滚筒转速=蒸汽阀门开度、热风温度>滚筒转速>蒸汽阀门开度、热风温度>蒸汽阀门开度>滚筒转速、滚筒转速>蒸汽阀门开度>热风温度、滚筒转速>热风温度>蒸汽阀门开度；随着热风温度、滚筒转速的增加，6-甲基-5-庚烯-2-酮含量呈先降低后升高趋势，而随着蒸汽阀门开度的增加则表现为先升后降趋势，各因素的 CV 值均大于 5%，说明二次润叶时 6-甲基-5-庚烯-2-酮含量易受加工条件的影响。随着热风温度和蒸汽阀门开度的增加， β -大马酮含量呈先升后降趋势，而随着滚筒转速的增加表现为降低趋势，其 CV 值为 8.49%，说明蒸汽阀门开度对 β -大马酮含量影响较大。随着热风温度、滚筒转速和蒸汽阀门开度的增加，茄酮含量呈先降低后升高趋势，其 CV 值均大于 5%，说明在二次润叶时热风温度和滚筒转速对茄酮含量影响较大。随着热风温度和滚筒转速的增加，苯甲醛含量呈先降低后增加趋势，而随着蒸汽阀门开度的增加则呈先升后降趋势，其 CV 值为 19.16%，说明在一次润叶时滚筒转速对茄酮含量影响较大。随着滚筒转速的增加，5-甲基糠醛和新植二烯含量呈先降低后升高趋势，而苯乙醛含量呈增加趋势，糠醇含量

呈先升后降趋势；随着蒸汽阀门开度的增加，苯乙醛含量呈先降低后增加趋势，而糠醛含量呈增加趋势，5-甲基糠醛和新植二烯含量呈降低趋势；随着热风温度的升高，苯乙醛、糠醇和 5-甲基糠醛含量呈上升趋势，而新植二烯含量则呈下降趋势。在二次润叶中热风温度和滚筒转速对香味物质含量影响较大，其 CV 值均在 7.39%~17.23%，蒸汽阀门开度的 CV 值仅有茄酮和 β -大马酮的小于 5%。

两次润叶时，6-甲基-5-庚烯-2-酮和 β -大马酮含量随热风温度的升高均呈先升后降趋势，可能是高温高湿的条件下促进了类胡萝卜素的降解，但是随着类胡萝卜素的降解，其含量降低使降解速率变慢，导致生成速度低于逸散速度，从而呈现先升后降趋势，与杨涛等^[19]的结论一致。刘雨露等^[20]研究表明，西柏烷三烯含量在 40, 60, 80℃下的降解速率随温度的升高呈先升后降趋势，与试验中茄酮含量变化基本一致。苯丙氨酸通过苯丙氨酸解氨酶降解为苯甲醛和苯乙醛，苯丙氨酸解氨酶(PAL)的适宜温度为 35~55℃，最适反应温度为 45℃^[21]，而润叶过程中烟叶表面温度随热风温度的变化而变化，因此苯甲醛和苯乙醛含量呈先升高后降低趋势，与高玉珍等^[22]研究结果基本一致。糠醇和 5-甲基糠醛均是美拉德反应产物^[23]，根据白家锋等^[24]的研究结果，美拉德反应在 50，

60,70℃下,其香气含量呈先升后降趋势,与试验结论相一致。叶绿素降解的主要产物是新植二烯,且在烘烤阶段叶绿素大部分都已降解^[25],试验发现在润叶中新植二烯含量有较大幅度变化,可能是新植二烯除了由叶绿素降解外,还有部分来源于萜类代谢 MVA 途径或 MEP 途径^[26],因此在润叶中新植二烯含量增加。

2.2 方差分析

由表 8 可知,热风温度、滚筒转速和加水量对烟叶中 6-甲基-5-庚烯-2-酮、 β -大马酮、苯甲醛、苯乙醛、5-甲基糠醛和新植二烯含量影响不显著,但热风温度对茄酮和糠醇含量影响显著。热风温度、滚筒转速和加水量对 6-甲基-5-庚烯-2-酮含量的 P 值分别为 0.057,0.358,0.206,表明一次润叶处理过程中影响 6-甲基-5-庚烯-2-酮含量的主次因素依次为热风温度、加水量、滚筒转速。同理,影响 β -大马酮、苯乙醛含量的主次因素依次为热风温度、加水量、滚筒转速,影响茄酮、糠醇、苯甲醛、5-甲基糠醛、新植二烯含量的主次因素依次为热风温度、滚筒转速、加水量,与直观分析结论基本一致。

由表 9 可知,热风温度、滚筒转速和加水量对烟叶中 6-甲基-5-庚烯-2-酮、 β -大马酮、茄酮、苯甲醛、苯乙醛、糠醇、5-甲基糠醛和新植二烯含量影响均不显著。热风温

度、滚筒转速和加水量对 6-甲基-5-庚烯-2-酮含量的 P 值分别为 0.405,0.957,0.439,表明二次润叶处理过程中影响 6-甲基-5-庚烯-2-酮含量的主次因素依次为热风温度、蒸汽阀门开度、滚筒转速。同理,影响苯甲醛含量的主次因素依次为热风温度、蒸汽阀门开度、滚筒转速,影响茄酮、糠醇、苯乙醛、新植二烯含量的主次因素依次为热风温度、滚筒转速、蒸汽阀门开度,影响 β -大马酮含量的主次因素依次为滚筒转速、热风温度、蒸汽阀门开度,影响 5-甲基糠醛含量的主次因素依次为滚筒转速、蒸汽阀门开度、热风温度,与直观分析结论基本一致。

润叶工序中,一次润叶中热风温度对茄酮和糠醇含量影响较为显著,二次润叶中热风温度对苯乙醛含量影响较为显著。研究发现相对湿度较大的条件下西柏烷类化合物降解和棕色化反应更彻底,产生的香气物质多^[27],但苯乙醛在相对湿度较低条件下随温度变化更明显^[28],由于一次润叶用 50℃的温水增湿,二次润叶用 100℃的水蒸气增湿,因此导致了此现象。在润叶过程中影响香味物质含量的主次因素并不相同,可能是由各种致香物质前体物不同导致的,其中 6-甲基-5-庚烯-2-酮和 β -大马酮均为类胡萝卜素降解产物^[29]、苯甲醛和苯乙醛为苯丙氨酸降解产物^[30]、糠醇和 5-甲基糠醛为美拉德反

表 7 二次润叶香味物质试验结果直观分析

Table 7 Secondary moisturizing aroma substances test results intuitive analysis

指标	项目	L	M	N	指标	项目	L	M	N
6-甲基-5-庚烯-2-酮	k_1	1.24	1.17	1.01	苯乙醛	k_1	2.28	2.80	2.96
	k_2	0.88	0.92	1.14		k_2	3.31	2.89	2.92
	k_3	1.02	1.05	0.99		k_3	3.34	3.24	3.04
	R	0.36	0.25	0.16		R	1.06	0.45	0.12
	CV 值/%	17.23	11.91	8.01		CV 值/%	20.31	7.96	1.99
β -大马酮	k_1	18.99	19.56	19.04	糠醇	k_1	11.61	12.43	12.56
	k_2	17.00	16.72	18.63		k_2	17.12	17.21	16.26
	k_3	19.62	19.32	17.94		k_3	18.03	17.13	17.94
	R	2.63	2.84	1.10		R	6.42	4.78	5.37
	CV 值/%	7.39	8.49	3.00		CV 值/%	22.28	17.56	17.64
茄酮	k_1	40.30	42.65	38.21	5-甲基糠醛	k_1	2.55	2.48	2.87
	k_2	31.51	31.95	37.47		k_2	2.64	2.39	2.60
	k_3	41.62	38.83	37.75		k_3	2.69	3.01	2.40
	R	10.11	10.70	0.73		R	0.14	0.62	0.46
	CV 值/%	14.54	14.34	0.98		CV 值/%	2.79	12.67	8.83
苯甲醛	k_1	0.84	0.84	0.80	新植二烯	k_1	900.76	955.70	933.74
	k_2	0.71	0.74	0.90		k_2	851.29	818.51	914.11
	k_3	0.90	0.88	0.75		k_3	949.88	927.73	854.10
	R	0.19	0.15	0.15		R	98.59	137.19	79.64
	CV 值/%	12.18	9.22	9.44		CV 值/%	5.47	8.05	4.61

表 8 一次润叶试验方差结果
Table 8 Variance results of a leaf wetting test

指标	变异来源	离差平方和	自由度	均方	F 值	P 值
6-甲基-5-庚烯-2-酮	A	1.180	2	0.590	16.466	0.057
	B	0.128	2	0.064	1.790	0.358
	C	0.276	2	0.138	3.854	0.206
β -大马酮	A	176.266	2	88.133	4.754	0.174
	B	28.258	2	14.129	0.762	0.567
	C	44.468	2	22.234	1.199	0.455
茄酮	A	759.099	2	379.55	85.277	0.012
	B	33.257	2	16.629	3.736	0.211
	C	0.858	2	0.429	0.096	0.912
苯甲醛	A	1.148	2	0.574	2.411	0.293
	B	0.395	2	0.198	0.831	0.546
	C	0.117	2	0.058	0.245	0.803
苯乙醛	A	3.117	2	1.558	16.228	0.058
	B	0.673	2	0.336	3.503	0.222
	C	2.237	2	1.119	11.647	0.079
糠醇	A	22.875	2	11.438	35.519	0.027
	B	2.717	2	1.359	4.219	0.192
	C	1.77	2	0.885	2.748	0.267
5-甲基糠醛	A	8.745	2	4.372	7.493	0.118
	B	2.614	2	1.307	2.240	0.309
	C	1.161	2	0.580	0.994	0.501
新植二烯	A	312 568.678	2	156 284.339	7.647	0.116
	B	72 144.613	2	36 072.307	1.765	0.362
	C	60 004.985	2	30 002.493	1.468	0.405

应产物^[31]、新植二烯其主要是由叶绿素降解产生^[32]，茄酮为类西柏烷类降解产物^[33]。部分前体物质相同但影响其变化的主次因素也不同，可能是类胡萝卜素性质不稳定，易发生光分解和酶催化降解^[34]。类胡萝卜素在单线态氧分子攻击下被分解，经过进一步的分子重排后生成 6-甲基-5-庚烯-2-酮等物质，而 β -大马酮则是类胡萝卜素在不同的位置发生键的断裂时生成^[35-36]。苯甲醛为苯丙氨酸在苯丙氨酸解氨酶(PLA)反应生成^[37]，而苯乙醛则是通过苯丙氨酸在一定条件下脱羧再脱氨生成^[38]。美拉德反应产物与反应时间、温度、pH 值等有重要关系，也与参与反应的糖、氨基酸及蛋白质等有很大关系^[39]。酸性条件下，美拉德产物主要发生 1,2-烯醇化从而形成 5-甲基糠醛等^[40]，还原糖会脱羟基并环化生成糠醇等^[41]。

2.3 关键工艺参数优化

以赣州烟叶焦甜香型为基础，根据各物质与香型的相关性，正相关取最大值，负相关取最小值，并结合综合

平衡法^[42]，将各评价指标的最优条件综合平衡，找出兼顾各评价指标的因素水平为最佳工艺条件^[43]。

由表 6 可知，热风温度是一次润叶中造成 6-甲基-5-庚烯-2-酮、 β -大马酮、茄酮、苯甲醛、苯乙醛、5-甲基糠醛和新植二烯含量变化的主要因素，其中 6-甲基-5-庚烯-2-酮、 β -大马酮、糠醇、茄酮和新植二烯含量均以 A₂ 最优，其他物质含量均以 A₃ 水平最优，因此，按照多数倾向原则最终选取 A₂。滚筒转速是苯甲醛、糠醇、5-甲基糠醛和茄酮含量的较主要影响因素，分别以 B₂、B₂、B₃、B₂ 为最优水平，同时滚筒转速是影响 6-甲基-5-庚烯-2-酮、 β -大马酮、苯乙醛和新植二烯含量的次要因素，说明滚筒转速的变化对其影响有限，结合其对香味风格的影响，因此最终确定为 B₂。加水量是影响 6-甲基-5-庚烯-2-酮、 β -大马酮、苯乙醛和新植二烯含量较主要因素，其最优水平均为 C₂、C₂、C₁、C₂，对于苯甲醛、糠醇、5-甲基糠醛和茄酮含量来说是次要因素，说明加水量对其影响有限，综合考虑对香味风格的影响，最终选取 C₂。

表 9 二次润叶试验方差结果
Table 9 Variance results of secondary leaf wetting test

指标	变异来源	离差平方和	自由度	均方	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
6-甲基-5-庚烯-2-酮	L	0.200	2	0.100	1.468	0.405
	M	0.006	2	0.003	0.045	0.957
	N	0.174	2	0.087	1.276	0.439
β -大马酮	L	11.265	2	5.632	1.828	0.354
	M	14.867	2	7.434	2.413	0.293
	N	1.858	2	0.929	0.302	0.768
茄酮	L	181.394	2	90.697	17.224	0.055
	M	176.279	2	88.140	16.738	0.056
	N	0.823	2	0.411	0.078	0.928
苯甲醛	L	0.059	2	0.029	2.676	0.272
	M	0.033	2	0.016	1.495	0.401
	N	0.036	2	0.018	1.656	0.377
苯乙醛	L	2.199	2	1.100	24.181	0.040
	M	0.511	2	0.256	5.619	0.151
	N	0.100	2	0.050	1.095	0.477
糠醇	L	72.435	2	36.218	2.451	0.290
	M	56.366	2	28.183	1.907	0.344
	N	11.736	2	5.868	0.397	0.716
5-甲基糠醛	L	0.034	2	0.017	0.194	0.837
	M	0.668	2	0.334	3.848	0.206
	N	0.324	2	0.162	1.865	0.349
新植二烯	L	4 967.697	2	2 483.849	7.753	0.114
	M	4 924.250	2	2 462.125	7.685	0.115
	N	655.897	2	327.949	1.024	0.494

由表 7 可知,热风温度是二次润叶中造成 6-甲基-5-庚烯-2-酮、苯甲醛、苯乙醛和糠醇含量变化的主要因素,分别以 L_1 、 L_2 、 L_1 、 L_3 最优,其对 β -大马酮、新植二烯和茄酮含量而言是较主要因素,其最优水平皆为 L_3 ,对 5-甲基糠醛含量而言是次要因素且以 L_1 最优,按照多数倾向原则最终选取 L_3 。滚筒转速是 β -大马酮、5-甲基糠醛、新植二烯和茄酮含量的主要因素,分别以 M_3 、 M_2 、 M_1 、 M_1 为最优水平,同时滚筒转速是影响 6-甲基-5-庚烯-2-酮、苯甲醛和苯乙醛含量的较主要因素,对糠醇含量而言是次要因素,分别以 M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_2 为最优水平,综合考虑其对香味风格影响,最终选取 M_1 。蒸汽阀门开度是影响糠醇和 5-甲基糠醛含量的较主要因素,皆以 N_3 为最优水平,是 6-甲基-5-庚烯-2-酮、 β -大马酮、苯甲醛、苯乙醛、新植二烯和茄酮含量的次要因素,说明蒸汽阀门开度变化对其影响有限,结合其对香味风格的影响,最终选取 N_3 。

综上,一次润叶时的较佳工艺参数为 $A_2B_2C_2$,即热风

温度 135℃、滚筒转速 10 r/min、加水量 3.5 kg/100 kg;二次润叶时的较佳工艺参数为 $L_3M_1N_3$,即热风温度 145℃、滚筒转速 9 r/min、蒸汽阀门开度 50%;对照试验中一次润叶参数设定为热风温度 125℃、滚筒转速 10 r/min、加水量 3.5 kg/100 kg;二次润叶参数设定为热风温度 135℃、滚筒转速 10 r/min、蒸汽阀门开度 40%,以此进行润叶的验证实验,其结果分别见表 10 和表 11。

由表 10 可知,经润叶后 5-甲基糠醛、5-甲基-5-庚烯-2-酮、苯乙醛、茄酮含量的变化较小,新植二烯、 β -大马酮、苯甲醛和糠醇含量变化较大,且均显著高于未经过润叶的试验 1,试验 5 的新植二烯、 β -大马酮和糠醇含量显著高于试验 4。与对照试验相比,优化试验的 6-甲基-5-庚烯-2-酮、茄酮、苯甲醛、苯乙醛、糠醇、 β -大马酮、5-甲基糠醛和新植二烯含量均在一润后增加,二润后除苯乙醛外,其他香味物质含量均略有降低,但总的看来与对照相比其含量略有增加。

表 10 工艺优化验证[†]
Table 10 Process optimization verification

μg/g

处理	6-甲基-5-庚烯-2-酮	β-大马酮	茄酮	苯甲醛	苯乙醛	糠醇	5-甲基糠醛	新植二烯
试验 1	6.68±0.24 ^c	1.25±0.05 ^b	3.18±0.15 ^a	1.36±0.02 ^{ab}	2.29±0.25 ^{ab}	40.78±0.33 ^a	18.02±0.61 ^b	827.38±6.62 ^d
试验 2	8.51±0.35 ^a	1.54±0.11 ^a	3.10±0.27 ^a	1.68±0.23 ^a	2.80±0.32 ^a	40.96±0.71 ^a	18.52±0.71 ^b	910.99±4.44 ^a
试验 3	8.40±0.18 ^a	1.50±0.06 ^a	3.03±0.21 ^a	1.64±0.04 ^a	2.26±0.33 ^b	42.09±0.19 ^a	20.47±0.96 ^a	918.05±4.89 ^a
试验 4	7.45±0.28 ^b	0.80±0.18 ^c	2.45±0.04 ^b	1.19±0.23 ^b	2.45±0.09 ^{ab}	38.47±0.78 ^b	16.61±0.34 ^c	873.28±2.50 ^c
试验 5	8.13±0.54 ^a	0.83±0.05 ^c	2.87±0.08 ^a	1.53±0.20 ^a	2.72±0.25 ^{ab}	41.16±1.84 ^a	18.92±0.62 ^b	894.31±7.00 ^b

[†] 试验 1 为未经润叶的模块烟叶;试验 2 为正常工艺条件下一次润叶后的烟叶;试验 3 为参数优化条件下一次润叶后的烟叶;试验 4 为正常工艺条件下二次润叶后的烟叶;试验 5 为参数优化条件下二次润叶后的烟叶;同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 11 工艺优化验证样品感官评价结果

Table 11 Process optimization verified the sensory evaluation results of the samples

处理	样品感官质量描述
试验 1	香气较透发,香气量适中,烟气较柔和,烟气浓度好,木质气重,刺激明显,残留明显
试验 2	香气较透发,香气量好,烟气较柔和,烟气浓度适中,木质气较重,刺激明显,残留较干净
试验 3	香气透发,香气量适中,烟气柔和,烟气浓度好,有焦甜韵、木质气中,刺激较明显,残留干净
试验 4	香气透发,香气量好,烟气柔和,烟气浓度适中,有焦甜韵,稍有木质气,刺激明显,残留较干净
试验 5	香气透发,香气量适中,烟气柔和,烟气浓度好,焦甜韵凸显,木质气弱,刺激较明显,残留干净

由表 11 可知,采用优化后的工艺进行一次润叶较对照香气透发性更好、烟气更加柔和、木质气减弱、且有焦甜香韵;二次润叶较对照焦甜香韵更加凸显且木质气更弱,说明参数优化后,促进了美拉德反应,有利于香味物质的生成,平衡烟叶常规成分的协调性,从而增加香气的透发性和焦甜香韵,提升润叶后烟叶品质。参数优化后,润叶温度提高,而美拉德反应的反应温度越高,反应越剧烈,反应产物含量越高^[44],且其最终阶段在温度较高的条件下有利于一些低分子量的杂环化合物的形成^[45],从而使香味物质含量增加,感官品质提升;由于润叶工序较高的温度和水分,淀粉等大分子碳水化合物被降解,从而使总糖含量升高^[45];蛋白质含量在加工过程中几乎不变,但是由于其他干物质总量减少,致使其在干物质总量中所占比例相对增加^[46],且总糖和还原糖含量的增加或总植物碱和总氮含量的减少,可显著提高透发性评吸评分^[47],因此增加了烟叶内在品质的协调性和香气的透发性。参数优化后 6-甲基-5-庚烯-2-酮、糠醇、5-甲基糠醛和新植二烯含量均增加,虽然苯甲醛、苯乙醛等负相关的物质含量也有增加,但相较于正相关物质含量增加较少,所以优化后焦甜香韵更加凸显。

3 结论

试验表明,烟叶在经过一次润叶时香味物质含量增加,在二次润叶时含量开始降低,但最终经过润叶后烟叶香味物质含量略高于原烟。热风温度是影响润叶香味物质含量的显著因素,而滚筒转速对香味物质含量影响不

显著。BO1 模块烟叶在一次润叶热风温度为 135 ℃、滚筒转速为 10 r/min、加水量为 3.5 kg/100 kg,二次润叶热风温度为 145 ℃、滚筒转速为 9 r/min、蒸汽阀门开度 50%时,更能凸显赣州烟叶的香味风格。由于复烤模块组配各不相同,对于其他品牌或模块的润叶较优的工艺参数还有待进一步研究和验证。

参考文献

[1] 刘政钦. 打叶复烤润叶新工艺加工方式的探究[C]// 广西烟草学会 2019 年优秀论文集. 北京: 中国学术期刊电子出版社, 2020: 48-57.
LIU Z Q. Study on new processing method of threshing andredrying[C]// Guangxi Tobacco Society 2019 Excellent Papers. Beijing: China Academic Journal Electronic Publishing House, 2020: 48-57.
[2] 朱海滨, 王柱石, 胡战军, 等. 打叶复烤过程中烘烤调香烟叶香味成分及感官质量的变化研究[J]. 河南农业大学学报, 2018, 52 (5): 10-15.
ZHU H B, WANG Z S, HU Z J, et al. Effects of leaf-threshing andredrying on aromatic components and smoking quality of curing-flavored tobacco leaf[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2018, 52(5): 10-15.
[3] 景延秋, 宫长荣, 张月华, 等. 烟草香味物质分析研究进展[J]. 中国烟草科学, 2005(2): 48-52.
JING Y Q, GONG C R, ZHANG Y H, et al. Research progress of aroma compositions of tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2005 (2): 48-52.

- [4] 李曼. 烟叶加工中润叶机加水系统的改造[J]. 机床与液压, 2003(4): 312-313.
- LI M. The improvement of the watering control of the conditioning cylinder in the tobacco manufacture [J]. Machina Tool & Hydraulic, 2003(4): 312-313.
- [5] 龙明海, 张晓龙, 汪显国, 等. 打叶复烤润叶方式对烟叶质量的影响[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(1): 108-111, 116.
- LONG M H, ZHANG X L, WANG X G, et al. Effects of moistening method on quality of flue-cured tobacco of threshing andredrying[J]. Hu-bei Agricultural Sciences, 2016, 55(1): 108-111, 116.
- [6] 王发勇, 牛绍辉, 徐超, 等. 基于烟片结构和保香加工的润叶参数模式筛选[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(9): 223-227.
- WANG F Y, NIU S H, XU C, et al. Leaf moisturizing parameter model selection based on tobacco slice structure and aroma preservation processing[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(9): 223-227.
- [7] 连长伟, 张腾健, 卢敏瑞, 等. 不同润叶强度对打叶复烤在制品质量及能源消耗的影响[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(15): 194-196.
- LIAN C W, ZHANG T J, LU M R, et al. Effects of different moistening strength on the quality and energy consumption of products in the threshing andredrying process[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(15): 194-196.
- [8] 黄锡春, 杨庆根, 陈艳, 等. 赣州烟叶彰显浓香特色主要化学成分评价指标研究[J]. 农业科学, 2021, 11(6): 546-556.
- HUANG X C, YANG Q G, CHEN Y, et al. Study on evaluation index of main chemical components of Ganzhou tobacco leaf with luzhou-flavor features[J]. Hans Journal of Agricultural Sciences, 2021, 11(6): 546-556.
- [9] 王能如, 李章海, 王东胜, 等. 我国烤烟主体香味成分研究初报[J]. 中国烟草科学, 2009(3): 1-6.
- WANG N R, LI Z H, WANG D S, et al. Preliminary study on principal aroma and flavor constituents of flue-cured tobacco in China[J]. Chinese Tobacco Science, 2009(3): 1-6.
- [10] 王鹏泽, 来苗, 陶陶, 等. 不同香型烤烟主要香味物质成分与香韵指标的关系研究[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(3): 126-135.
- WANG P Z, LAI M, TAO T, et al. Relationships between main aroma constituents and aroma notes index of flue-cured tobacco leaves of different flavor styles[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2009(3): 1-6.
- [11] 姜慧娟, 赵铭钦, 任伟, 等. 浓香型烤烟中性致香成分及多酚含量与香气质量的关系研究[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(5): 25-30.
- JIANG H J, ZHAO M Q, REN W, et al. Relationships between neutral aroma constituents, polyphenol contents and aroma quality of flue-cured tobacco of strong flavor type [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2014, 20(5): 25-30.
- [12] 王佩雯, 朱金峰, 许自成. 影响烤烟大马酮含量因素的研究进展[J]. 中国农学通报, 2016, 32(4): 119-123.
- WANG P W, ZHU J F, XU Z C. Research progress of influencing factors on tobacco damascenone content[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(4): 119-123.
- [13] 牛慧伟, 许自成, 苏永士, 等. 栽培和调制措施对烟草茄酮含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2009(27): 13 076-13 078.
- NIU H W, XU Z C, SU Y S, et al. Effects of cultivation and curing practices on content of solanone in tobacco[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009(27): 13 076-13 078.
- [14] 谷凤林. 酪蛋白美拉德产物的制备、性质及在烟草中的应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2010: 11.
- GU F L. Preparation, properties and application of casein Maillard products in tobacco[D]. Wuxi: Jiangnan University 2010: 11.
- [15] 卢贤仁, 陈芝波, 向章敏, 等. 密集烘烤不同装烟方式对烤后烟叶中性致香物质含量的影响[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(12): 66-69.
- LU X R, CHEN Z B, XIANG Z M, et al. Effects of different loading methods on aroma content in bulk curing barn[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2012, 40(12): 66-69.
- [16] 杨松, 楚文娟, 孙培健, 等. 细支和常规卷烟主流烟气常规成分和 5 种关键烤甜香味成分逐口释放量的差异分析[J]. 中国烟草学报, 2019, 25(5): 1-9.
- YANG S, CHU W J, SUN P J, et al. Differential analysis of puff-by-puff deliveries of routine chemical analyses and five key roasted sweet aroma components in mainstream smoke of slim cigarettes and normal cigarettes[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2019, 25(5): 1-9.
- [17] 王雪丽. 浓香型烟叶香型细分及特征成分挖掘[D]. 郑州: 河南农业大学, 2014: 10.
- WANG X L. The subdivide of aroma type of full-aroma-style flue-cured tobacco and the characteristic components of different subtype[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2014: 10.
- [18] 滕海英, 祝国强, 黄平, 等. 正交试验设计实例分析[J]. 药学服务与研究, 2008, 8(1): 75-76.
- TENG H Y, ZHU G Q, HUANG P, et al. Analysis of an example of orthogonal test design[J]. Pharmaceutical Care and Research, 2008, 8(1): 75-76.
- [19] 杨涛, 高远, 张明坤, 等. 密集烘烤时的温湿条件对烤后烟叶类胡萝卜素及其降解产物含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(35): 17 283-17 286.
- YANG T, GAO Y, ZHANG M S, et al. Effects of different curing treatments on carotenoids and its degradation products contents of flue-cured tobacco [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(35): 17 283-17 286.
- [20] 刘雨露, 张建会, 付秋娟, 等. 烟草西柏三烯二醇稳定性及其抑菌活性研究[J]. 中国烟草科学, 2020, 41(6): 82-87, 95.
- LIU Y L, ZHANG J Q, FU Q J, et al. Study on the stability of tobaccocembratrien-diols and their antifungal activities[J]. Chinese Tobacco Science, 2020, 41(6): 82-87, 95.
- [21] 江力, 袁怀波, 张世杰, 等. 山药苯丙氨酸解氨酶特性的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(10): 36-40.

- JIANG L, YUAN H B, ZHANG S J, et al. Study on the characteristics of phenylalanine ammonia-lyase in yam[J]. Food Science, 2006, 27(10): 36-40.
- [22] 高玉珍, 王卫峰, 张骏, 等. 密集烘烤不同变黄温湿条件对烟叶中性致香物质的影响[J]. 云南农业大学学报, 2008, 23(2): 215-219.
- GAO Y Z, WANG W F, ZHANG J, et al. Effects of different temperature and humidity yellowing conditions on neutral aroma constituents of tobacco leaves during bulk curing[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2008, 23(2): 215-219.
- [23] 赵高坤, 崔国民, 黄维, 等. 不同烘烤工艺对烟叶醇类化合物的影响[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(18): 147-149, 167.
- ZHAO G K, CUI G M, HUANG W, et al. Effect on alcohol compounds of tobacco by diverse curing techniques[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2012, 18(18): 147-149, 167.
- [24] 白家峰, 刘绍华, 冉盼盼, 等. 烟草花蕾香料产香酵母发酵工艺及美拉德反应温度的优化[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(10): 126-130.
- BAI J F, LIU S H, RAN P P, et al. Optimization of fermentation process and Maillard reaction temperature for preparation of tobacco bud flavor[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2017, 45(10): 126-130.
- [25] 杨立均, 宫长荣, 马京民. 烘烤过程中烟叶色素的降解及与化学成分的相关分析[J]. 中国烟草科学, 2002, 23(2): 5-7.
- YANG L J, GONG C R, MA J M. Degradation of pigment in tobacco leaf during flue-curing process and relative analysis with chemical compositions[J]. Chinese Tobacco Science, 2002, 23(2): 5-7.
- [26] 闫双全. 烤烟调制变黄期新植二烯代谢初探[D]. 雅安: 四川农业大学, 2015: 28.
- YAN S Q. A preliminary study on the metabolic of neophytadiene during the yellowing stage of tobacco curing[J]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2015: 28.
- [27] 周海燕, 史宏志, 徐发华, 等. 晾晒环境温湿度差异对白肋烟香气物质含量和感官质量的影响[J]. 中国烟草学报, 2013(2): 47-53.
- ZHOU H Y, SHI H Z, XU F H, et al. Effect of environmental humidity and temperature during air-curing on neutral aroma components and sensory quality of burley tobacco[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2013(2): 47-53.
- [28] 代丽, 黄永成, 宫长荣, 等. 密集式烘烤条件下不同变黄温湿条件对烤后烟叶致香物质的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(6): 148-152.
- DAI L, HUANG Y C, GONG C R, et al. Effects of different temperature and humidity yellowing conditions on aroma constituents of tobacco leaves during bulk curing[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2008, 23(6): 148-152.
- [29] 杨懿德, 杨焕文. 烟草类胡萝卜素的研究进展[J]. 西南农业学报, 2006, 19(z1): 526-530.
- YANG Y D, YANG H W. The research progress of tobacco carotenoid[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2006, 19(z1): 526-530.
- [30] 王冬, 张小全, 杨铁钊, 等. 类西柏烷二萜代谢机理及调控研究进展[J]. 中国烟草学报, 2014(3): 113-118.
- WANG D, ZHANG X Q, YANG T Z, et al. Research progress on metabolic mechanism of cambranoid diterpenes and its regulation[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2014(3): 113-118.
- [31] 龚平, 阚建全. 美拉德反应产物性质的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(4): 141-146.
- LONG P, KAN J Q. Study on the progress of Maillard reaction products[J]. Food and Fermentation Industries, 2009, 35(4): 141-146.
- [32] 胡皓月, 许自成, 苏永士, 等. 影响烟草新植二烯含量因素的研究进展[J]. 江西农业学报, 2010, 22(1): 17-20.
- HU H Y, XU Z C, SU Y S, et al. Research progress in factors influencing neophytadiene content in tobacco leaves[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2010, 22(1): 17-20.
- [33] 牛慧伟, 许自成, 苏永士, 等. 烟草茄酮的合成及其在基因型和生态地区间的差异分析[J]. 安徽农业科学, 2009(26): 12 527-12 529.
- NIU H W, XU Z C, SU Y S, et al. Synthesis of solanone in tobacco and its difference analysis between different genotypes and ecological areas[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009(26): 12 527-12 529.
- [34] 许春平, 王铮, 郑坚强, 等. 类胡萝卜素降解方式的研究综述[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2012, 27(4): 56-59.
- XU C P, PING Z, ZHENG J Q, et al. Review of research on degradation pattern of carotenoid[J]. Journal of Zhengzhou Institute of Light Industry(Natural Science), 2012, 27(4): 56-59.
- [35] 云南烟叶科技信息网. 烟草质体色素代谢对烟叶品质的影响[EB/OL]. (2006-02-21)[2011-12-25]. www.yntsti.net.
- Yunnan Tobacco Science and Technology Information Network. Effect of plastid pigment metabolism on tobacco quality[EB/OL]. (2006-02-21)[2011-12-25]. www.yntsti.net.
- [36] 郭磊, 李娟娟, 索卫国, 等. 加速溶剂萃取一气质联用法测定卷烟烟丝中 39 种主要香味成分[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 60-65.
- GUO L, LI J J, SUO W G, et al. Determination of 39 main flavor components in cigarette by ASE-GC/MS[J]. Food & Machinery, 2017, 33(2): 60-65.
- [37] 柳习月, 朱琪, 杨帆, 等. 蛋白组学揭示苯丙氨酸代谢对酱香大曲风味影响[J]. 食品科技, 2021, 46(8): 1-6.
- LIU X Y, ZHU Q, YANG F, et al. Proteomics reveals the effect of phenylalanine metabolism on the flavor of Daqu[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(8): 1-6.
- [38] 江昌俊, 余有本. 苯丙氨酸解氨酶的研究进展[J]. 安徽农业大学学报, 2001, 28(4): 425-430.
- JIANG C J, YU Y B. Advances of studies on phenylalanine ammonia-lyase[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2001, 28(4): 425-430.

- [39] 郑文华, 许旭. 美拉德反应的研究进展[J]. 化学进展, 2005, 17(1): 122-129.
ZHENG W H, XU X. Research progress on Maillard reaction[J]. Progress in Chemistry, 2005, 17(1): 122-129.
- [40] ZHANG Y, HO C T. Comparison of the volatile compounds formed from the thermal reaction of glucose with cysteine and glutathione[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1991, 39(4): 760-763.
- [41] 刘建彬. 鸡肉肽参与美拉德反应的机理及其反应产物风味特性研究[D]. 北京: 北京工商大学, 2015: 2.
LIU J B. The mechanism of chicken peptide in flavor generation via Maillard reaction [D]. BeiJing: Beijing Technology and Business University, 2015: 2.
- [42] 周学政, 汪长国, 戴亚, 等. 综合平衡法在滚筒管板烘丝机工艺参数优化中的应用[J]. 烟草科技, 2009(4): 18-20, 24.
ZHOU X Z, WANG C G, DAI Y, et al. Application of comprehensive equilibrium method in optimizing technological parameters of cylinder dryer with corrugated heating plate[J]. Tobacco Science & Technology, 2009(4): 18-20, 24.
- [43] 许永明, 朱明, 龙明海, 等. 烟梗蒸汽增压回潮工艺参数优化[J]. 烟草科技, 2018, 51(12): 85-92.
XU Y M, ZHU M, LONG M H, et al. Optimization of technological parameters for tobacco stem conditioning with supercharged steam[J]. Tobacco Science & Technology, 2018, 51(12): 85-92.
- [44] 吴惠玲, 王志强, 韩春, 等. 影响美拉德反应的几种因素研究[J]. 现代食品科技, 2010, 26(5): 441-444.
WU H L, WANG Z Q, HAN C, et al. Factors affecting the Maillard reaction[J]. Modern Food Science and Technology, 2010, 26(5): 441-444.
- [45] 甘学文, 王光耀, 邓仕彬, 等. 美拉德反应中间体对卷烟评吸品质的影响及其风味受控形成研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(6): 46-52.
GAN X G, WANG G Y, DENG S L, et al. Effects of Maillard reaction intermediates on smoking quality and study on controlled formation of flavor[J]. Food & Machinery, 2017, 33(6): 46-52.
- [46] 赵铭钦, 陈红华, 刘国顺, 等. 不同温度条件对陈化期间香烟内在质量的影响[J]. 浙江农业科学, 2007(5): 607-612.
ZHAO M Q, CHEN H H, LIU G S, et al. Effects of different temperature conditions during aging on quantity of oriental tobacco leaf [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2007(5): 607-612.
- [47] 程传玲, 唐琦, 汪文良, 等. 烤烟常规化学成分与感官质量的典型相关分析[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(1): 59-61.
CHENG C L, TANG Q, WANG W L, et al. Canonical correlation between conventional chemical composition and sensory quality in flue-cured tobacco[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2011, 39(1): 59-61.
-
- (上接第 55 页)
- [3] 张红. 侵权责任之惩罚性赔偿[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版), 2020(1): 13.
ZHANG Hong. Punitive damages for tort liability[J]. Journal of Wuhan University (Philosophy and Social Sciences Edition), 2020(1): 13.
- [4] 王利明. 美国惩罚性赔偿制度研究[J]. 比较法研究, 2003(5): 1-15.
WANG Li-ming. Research on punitive damages system in the United States[J]. Comparative Law Research, 2003(5): 1-15.
- [5] ROBE R, HAMMESFAHR M. Punitive damages: A state: By-state guide to law and practice[M]. New York: West Pub Co, 2013: 76.
- [6] 美国法学会. 侵权法重述第二版: 条文部分[M]. 许传玺, 石宏, 和育东, 译. 北京: 法律出版社, 2012.
American Law Society. Restatement of tort law, second edition: Articles[M]. XU Chuan-xi, SHI Hong, HE Yu-dong. Beijing: Law Press, 2012.
- [7] 翟玉莹.《食品安全法》中惩罚性赔偿研究[D]. 上海: 上海财经大学, 2020: 8.
ZHAI Yu-ying. Research on punitive damages in food safety law[D]. Shanghai: Shanghai University of Finance and Economics, 2020: 8.
- [8] 董鲜涛. 程序法视野下的美国惩罚性赔偿制度研究[D]. 济南: 山东大学, 2012: 13.
DONG Xian-tao. Research on American punitive damages system from the perspective of procedural law[D]. Jinan: Shandong University, 2012: 13.
- [9] 人民网—国际频道. 美国夫妇因除草剂双双致癌 孟山都被判赔超 20 亿美元 [EB/OL]. (2019-05-15) [2022-01-12]. <http://world.people.com.cn/n1/2019/0515/c1002-31085020.html>.
People's Network International Channel. Monsanto was sentenced to more than US \$ 2 billion for causing cancer to both American couples due to herbicides [EB/OL]. (2019-05-15) [2022-01-12]. <http://world.people.com.cn/n1/2019/0515/c1002-31085020.html>.
- [10] 商上.《食品安全法》惩罚性赔偿研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2015: 7.
SHANG Shang. Business Research on punitive damages in food safety law[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2015: 7.
- [11] 裴宝莉. 食品消费惩罚性赔偿责任的完善维度[J]. 食品与机械, 2020, 36(3): 80-83, 90.
PEI Bao-li. Perfection dimension of punitive compensation liability for food consumption[J]. Food & Machinery, 2020, 36(3): 80-83, 90.
- [12] 吉丽颖. 法经济学视角下中国食品安全事件的规制维度[J]. 食品与机械, 2018, 34(12): 63-66.
JI Li-ying. The regulatory dimension of food safety incidents in China from the perspective of law and economics[J]. Food & Machinery, 2018, 34(12): 63-66.