

# 美拉德反应改善烟草薄片质量的应用研究

## Application of Maillard reaction to improve the quality of tobacco sheets

张鹏<sup>1</sup> 于静洋<sup>1</sup> 龙章德<sup>2</sup> 李志华<sup>2</sup> 张晓鸣<sup>1</sup>

ZHANG Peng<sup>1</sup> YU Jing-yang<sup>1</sup> LONG Zhang-de<sup>2</sup> LI Zhi-hua<sup>2</sup> ZHANG Xiao-ming<sup>1</sup>

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 广西中烟工业有限责任公司, 广西 南宁 530001)

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. China Tobacco Guangxi Industrial Co., Ltd., Nanning, Guangxi 530001, China)

**摘要:**基于美拉德反应原理,分析烟末提取浓缩液美拉德反应时间,以及外源氨基酸与糖类的组合与配比对烟草薄片质量的改善效果。研究表明:当体系初始 pH 为 7.0~8.0,美拉德反应温度为 70 °C 时,最佳美拉德反应时间为 13 h,最佳外源氨基酸与糖类的组合与配比为:脯氨酸:甘氨酸:苯丙氨酸:半胱氨酸:短链肽:果糖=13:13:13:2:0.3:70。采用感官评吸、气相色谱质谱联用等技术分析发现,美拉德强化修饰可有效降低烟末提取液中的不利成分,增加风味致香成分,如糠醛、巨豆三烯酮等醛酮类物质;减少薄片杂气和木质气,如 5-甲基-2-呋喃甲醇、十二烷基醚等物质。因此,美拉德反应在改善烟草薄片质量的应用中是一条有效途径。

**关键词:**烟草薄片;美拉德反应;气质联用;感官评定

**Abstract:** According to the principles, the influences of conditions of the maillard reaction, such as reaction time and ratios of exogenous amino acids to sugars, on the improving effects of tobacco sheets were evaluated. The results showed that when the initial pH being 7.0~8.0 and thermal reaction temperature of 70 °C, the optimum conditions for maillard reaction of extracts were as follows: reaction time of 13h, and the ratios of exogenous amino acids to carbohydrates being Pro : Gly : Phe : Cys : peptides : fructose as 13 : 13 : 13 : 2 : 0.3 : 70. GC-MS was used to analyze the main flavor components of the reaction mixture, and the tobacco sheet samples were sensory evaluated by professionally smoking group. Flavor components, such as Furfural and Megastigmatrienone were effectively increased via Maillard reaction, and unfavorable adverse ingredients of tobacco sheets, such as 5-Methyl-2-furanmethanol and Lauryl ether, were significantly reduced. Therefore, the maillard reaction is an effective method to improve the quality of tobacco sheets.

**基金项目:** 广西中烟工业有限责任公司技术创新项目(编号: 2014035)

**作者简介:** 张鹏,男,江南大学在读硕士研究生。

**通讯作者:** 张晓鸣(1965-),男,江南大学教授,博士。

E-mail: xmzhang@jiangnan.edu.cn

**收稿日期:** 2016-01-22

**Keywords:** tobacco sheets; Maillard reaction; GC-MS; sensory evaluation

烟草薄片是指将卷烟生产过程中的烟梗、烟末以及部分低次烟叶按造纸方法先加工处理成纸基(基片),基片经涂布、烘干,最终制成接近天然烟叶的薄片<sup>[1-2]</sup>。烟草薄片可以使烟叶原料最大限度地得到利用,有效降低卷烟的生产成本,达到降耗增效的目的,同时在卷烟中添加适量的烟草薄片,可以在一定程度上按人们的意愿和要求来调整和改善卷烟的物理性能和化学成分,从而有助于减少、改善卷烟中的不良成分<sup>[3]</sup>,更加突出卷烟的风格和特点,提高卷烟的内在品质,增强卷烟的吸食风味强度和安全性。

美拉德反应是法国化学家 L. C. Maillard 在 1912 年提出,又被称为“非酶棕色化反应”。它是羰基化合物(还原糖类)和氨基化合物(氨基酸和蛋白质)间的反应,美拉德反应经过复杂的历程最终生成棕色甚至是黑色的大分子物质类黑精或称拟黑素,所以又被称为羰胺反应<sup>[4]</sup>。

本研究拟在烟末提取液的浓缩过程中,添加不同种类的糖和氨基酸或短链肽,进行美拉德反应前体物质的修饰,利用提取液中降解的小分子物质,通过美拉德反应,增加反应液和烟草薄片烟气的致香成分<sup>[5]</sup>,减少杂气量和刺激性,达到进一步改善造纸法烟草薄片品质的目的。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与仪器

烟末提取浓缩液、纸基:广东国润造纸法烟草薄片有限公司;

苯丙氨酸、甘氨酸、脯氨酸、半胱氨酸、短链肽、木糖、果糖、葡萄糖、乙酸苯乙酯、二氯甲烷:国药集团化学试剂有限公司;

三重四级杆气相色谱-质谱联用仪:TSQ Quantum XLS 型,美国赛默飞世尔公司;

同时蒸馏萃取装置:SDE1000ML 型,安徽天长市华玻实验仪器厂。

1.2 分析方法

1.2.1 美拉德反应处理方法 向烟末提取浓缩液中加入不同配比的外源氨基酸和糖类,用 NaOH 溶液调节 pH 至 7.0~8.0,70 °C 恒温加热一定时间,进行美拉德反应,反应结束冷却至室温备用。

1.2.2 美拉德反应液风味物质的 GC—MS 分析

(1) SPME 条件:固相微萃取纤维在 250 °C 老化 1 h。取 2 mL 美拉德反应液置于顶空瓶中,加入 10 μL 乙酸苯乙酯(0.102 5 mg/mL)。平衡温度 60 °C,采用 50/30 m DVB/CAR/PMDS 萃取头顶空吸附 30 min,250 °C 解吸 5 min。

(2) GC 条件:Tg-WAX 毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);载气:He,流速 1.0 mL/min,不分流进样。程序升温<sup>[6]</sup>:起始柱温 40 °C,保持 2 min,以 5 °C/min 升温到 200 °C,保持 10 min,再以 12 °C/min 升温到 230 °C,保持 6 min,进样口温度 250 °C。

(3) MS 条件:电子轰击电离源 EI;电子能量 70 eV;离子源温度 250 °C;四级杆温度 275 °C;检测器电压 350 V;扫描质量范围 33~450 amu。

1.2.3 薄片中风味物质的测定

(1) 薄片样品前处理:同时蒸馏萃取法。准确称取薄片 20 g,量取饱和氯化钠溶液 350 mL 放入 SDE 装置一端 1 000 mL 圆底烧瓶中,加热进行水相蒸馏<sup>[7]</sup>;取二氯甲烷 40 mL 为萃取剂,放入 SDE 装置另一端 250 mL 圆底烧瓶中,65 °C 水浴加热,控制循环槽冷凝水温度为 15 °C;调节装置两端加热温度使水相和二氯甲烷相的馏出速度相等,萃取 2 h,收集萃取液<sup>[8]</sup>;二氯甲烷萃取液冷却至室温,加入 80 μL 乙酸苯乙酯(0.105 3 mg/mL),混合均匀后加入适量的无水

硫酸钠干燥过夜后过滤,一定压力下 60 °C 水浴中旋转蒸发浓缩至 1 mL,经 0.22 μm 有机膜过滤,进行 GC—MS 分析。

(2) GC 条件:色谱柱:HP-5MS(30 m×0.25 mm×0.25 μm)。升温程序:起始温度 60 °C,保持 2 min,以 5 °C/min 速率升温到 250 °C,保持 40 min。1 μL 进样,分流比 50:1。

(3) MS 条件:电子轰击电离源 EI;电子能量 70 eV;离子源温度 250 °C;四级杆温度 250 °C;扫描质量范围 50~450 amu。

1.2.4 烟草薄片卷烟感官分析 将得到的美拉德反应液均匀涂布在纸基上,一定温度下保温干燥,切丝,得到烟草薄片;将切丝的烟草薄片进行卷烟,由专业感官评吸员对薄片进行多项指标的评吸。

按照 GB/T 16447—2004 制备样品。按 GB 5606.4—2005,利用香味轮廓剖析法对卷烟样品进行感官评价<sup>[9]</sup>。包括品质指标(烟香味、透发性、杂气、刺激性、辛辣感、协调性、余味、劲头)(表 1)。采用十分制打分,由 10 名评吸专家组成的评吸小组对卷烟样品进行综合评定。

值得注意的是,杂气越重卷烟评分越低,反之越高,刺激性和辛辣感品质指标同理。

2 结果与分析

2.1 美拉德反应时间对薄片感官品质的影响

结合实际薄片提取液浓缩工艺,确定反应温度 70 °C,反应初始 pH 为 7.0~8.0,按浓缩液总质量的 2.5%~3.5% 添加脯氨酸与木糖进行美拉德反应,然后将反应液涂布到纸基制得薄片,将所得薄片卷制成烟支,在温度(22±1) °C、相对湿度(60±2)% 的恒温恒湿环境条件下平衡 48 h。专业评吸小组的感官评吸结果见表 2。

表 1 薄片卷烟香味轮廓剖析法感官评价指标<sup>†</sup>

Table 1 Cigarette sensory evaluation by flavor profile analysis

烟香味	评价指标							分数
	透发性	杂气	刺激性	辛辣感	协调性	余味	劲头	
足↑	好↑	无↑	无↑	弱↑	好↑	干净↑	大↑	10
足—	好—	无—	无—	弱—	好—	干净—	大—	8
足↓	好↓	无↓	无↓	弱↓	好↓	干净↓	大↓	7
中↑	中↑	略有↑	略有↑	中↑	中↑	较净↑	中↑	6
中—	中—	略有—	略有—	中—	中—	较净—	中—	5
中↓	中↓	略有↓	略有↓	中↓	中↓	较净↓	中↓	4
薄↑	差↑	有↑	有↑	强↑	差↑	尚净↑	小↑	3
薄—	差—	有—	有—	强—	差—	尚净—	小—	2
薄↓	差↓	有↓	有↓	强↓	差↓	尚净↓	小↓	1

† 表中“↑”、“—”、“↓”依次表示该指标的优中劣程度。

表 2 不同美拉德反应时间制得薄片样品的感官评吸结果

Table 2 Sensory profiles of tobacco sheet samples from Maillard reactions of various time

时间/h	品质指标得分							
	烟香味	透发性	杂气	刺激性	辛辣感	协调性	余味	劲头
8	7.8	7.1	6.9	7.0	7.6	7.6	7.4	5.3
10	7.7	7.3	7.3	7.4	7.5	7.5	7.6	5.3
12	8.0	7.5	7.2	7.2	7.9	7.5	7.5	5.5
13	8.3	7.5	7.6	7.7	8.0	8.0	7.8	6.4
14	7.8	7.7	7.6	7.1	7.7	7.9	7.4	5.8
16	7.2	7.4	7.3	7.2	7.5	7.4	6.9	5.7

由表 2 可知,不同美拉德反应时间对薄片的感官评吸结果影响差异显著,感官属性除透发性、辛辣感之外,烟香味、杂气、刺激性、协调性、余味、劲头均有明显的差异,劲头和烟香味在不同处理组间的差异性尤为显著,说明不同美拉德反应时间的处理对于改善薄片品质具有重要意义,最适反应时间为 13 h。随着反应时间延长,烟香味、透发性、杂气、刺激性、辛辣感、协调性、余味、劲头均有不同程度的提高,其中,烟香味和余味改善明显,杂气、刺激性降低显著。当反应时间达到 13 h,以烟香味、刺激性及杂气为主的品质指标均达

到最佳值,说明在热反应温度为 70 °C,按浓缩液总质量的 2.5%~3.5%添加脯氨酸与木糖的条件下,13 h 为最佳热反应时间。此时反应充分利用浓缩液中小分子物质,实现美拉德强化修饰,将不利的前体物质转化为风味致香成分,减少薄片杂气和刺激性,明显改善薄片质量。随着反应时间继续增加,各项品质指标均呈下降趋势。

针对不同反应时间的美拉德反应液进行 GC—MS 分析,比较反应时间对美拉德反应挥发性风味成分及薄片吸味品质的影响。主要香气成分见表 3。

表 3 不同美拉德反应时间所得反应液的主要香气成分

Table 3 The volatility components of samples from Maillard reactions of various time

保留时间/min	化合物	香气成分含量/( $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ )					
		8 h	10 h	12 h	13 h	14 h	16 h
3.04	戊醛	0.011 5	0.010 7	0.009 8	0.013 2	0.015 8	0.007 3
3.09	2-甲基丁醛	—	—	0.025 5	0.026 1	0.021 8	0.018 2
3.27	草酸	0.007 2	0.011 6	0.013 4	0.008 5	0.007 9	0.010 5
5.42	2,3-戊二酮	—	0.004 0	0.001 7	—	—	—
5.71	己醛	0.056 0	0.017 1	0.009 8	0.022 5	0.024 4	0.019 5
8.21	吡啶	0.053 5	0.061 1	0.078 6	0.082 2	0.044 6	0.050 2
9.42	2-正戊基呋喃	—	—	0.007 2	0.008 1	—	—
9.55	6-甲基-2-庚酮	0.009 1	0.012 5	0.015 5	0.017 9	0.016 8	—
9.86	3-辛酮	—	—	—	0.019 2	0.012 3	0.010 5
10.63	3-羟基-2-丁酮	—	0.014 9	0.015 3	—	—	—
11.15	1-羟基-2-丙酮	0.053 3	0.060 5	0.068 6	0.089 5	0.081 2	0.071 1
11.64	2,5-二甲基吡嗪	0.055 4	0.052 8	0.074 6	0.093 5	0.067 9	0.068 1
11.83	2,6-二甲基吡嗪	0.033 8	0.055 2	0.049 1	0.080 3	0.070 5	0.061 3
11.15	2-乙基吡嗪	—	—	—	—	0.007 1	—
13.10	6-甲基-2-庚醇	0.008 7	0.011 6	0.009 2	0.017 8	—	—
13.28	2-乙基-5-甲基吡嗪	0.022 5	0.019 8	0.035 6	0.033 4	0.021 6	0.025 4
13.53	2-乙基-6-甲基吡嗪	—	0.055 5	0.061 2	0.062 2	0.070 3	0.064 5
13.58	壬醛	—	—	0.011 2	0.010 8	—	—
13.68	2,3,5-三甲基吡嗪	—	—	0.121 1	0.143 4	0.148 0	0.135 8
14.88	月桂醛	0.056 7	0.090 6	0.087 5	0.112 5	0.073 4	0.035 8
15.18	乙酸	0.244 5	0.304 5	0.268 9	0.454 9	0.322 1	0.178 0
15.62	紫罗烯	0.487 5	0.528 7	0.554 2	0.532 0	0.491 9	0.505 1
16.55	2-乙酰基呋喃	—	0.072 2	0.099 1	0.094 5	0.089 3	—
16.83	苯甲醛	0.045 1	0.071 3	0.061 5	0.070 9	0.066 2	0.059 7
18.38	异氟尔酮	0.065 5	0.091 2	0.077 3	0.102 4	0.117 6	0.098 6
19.52	紫罗烯	0.835 7	0.108 1	0.132 4	0.156 5	0.162 2	0.095 3
20.24	2-乙酰基-1-甲基吡咯	—	—	—	—	0.041 2	0.038 6
20.63	2-呋喃甲醇	0.979 7	1.129 1	1.081 8	1.324 5	1.203 5	1.218 2
22.85	5-甲基-2-呋喃甲醇	—	—	—	0.103 4	0.101 7	—
23.16	茄酮	0.687 8	1.005 3	0.978 2	1.102 2	0.886 5	0.909 1
28.43	3-甲基-1,2-环戊二酮	—	0.052 8	0.091 3	0.087 7	0.085 4	—
29.59	木酚	—	0.081 2	0.076 5	0.095 2	0.100 5	0.085 8
30.09	苯甲醇	0.078 2	0.101 1	0.099 5	0.122 8	0.116 8	0.087 9
30.94	$\beta$ -苯乙醇	0.056 7	0.082 5	0.078 7	0.123 2	0.103 3	0.086 2
31.23	2-苯基-2-丁烯醛	—	—	0.007 2	—	—	—
32.03	麦芽酚	—	—	0.005 6	0.018 9	0.008 5	—
33.76	甘油三乙酸酯	0.095 5	0.134 9	0.121 0	0.157 5	0.138 2	0.115 1
34.58	巨豆三烯酮	0.910 4	0.822 3	1.007 6	1.125 6	1.114 5	0.976 2
36.44	二烯烟碱	0.079 6	0.087 3	0.112 5	0.103 3	0.125 8	0.095 6
37.39	柠檬酸三乙酯	—	0.038 1	0.052 3	0.059 5	0.060 5	0.044 9
	总量	4.933 9	5.188 5	5.600 5	6.671 1	6.019 3	5.172 5

由表3可知,不同美拉德反应时间对应的反应液中检出的挥发性香味物质总量分别为4.939 9,5.188 5,5.600 5,6.671 1,6.019 3,5.172 5  $\mu\text{g/mL}$ ,其中反应时间为13 h时,反应液中检出主要香气成分最多,明显高于其他试验组。呋喃类物质和醛酮类物质是重要的烟草香味物质<sup>[10]</sup>,另外,生成的吡嗪类物质不仅可使产品风格独特,掩盖杂气,改善余味而且能使烟气丰满,提高烟气浓度<sup>[11]</sup>。由表3还可以发现:经过13 h美拉德反应处理得到的反应液中含有更多易挥发性风味物质,其中对烟香贡献较大的酮类、醛类、呋喃类和酯类的种类和含量都有明显的增加。可见低温美拉德反应13 h可以有效提高烟草薄片涂布液的风味强度,有利于最终薄片质量的改善。

### 2.2 热反应外源氨基酸与糖类的组合与配比对薄片感官品质的影响

确定美拉德反应初始pH为7.0~8.0,反应温度和时间分别为70  $^{\circ}\text{C}$ 和13 h,优化反应过程中添加的外源氨基酸与糖类的组合与配比,具体方案见表4,感官评吸结果见表5。

表5 外源氨基酸与糖类不同组合与配比美拉德反应制得薄片样品的感官评吸结果

Table 5 Sensory profiles of tobacco sheet samples from Maillard reactions of various types and ratios of exogenous amino acids and sugars

试验组	品质指标得分							
	烟香味	透发性	杂气	刺激性	辛辣感	协调性	余味	劲头
处理1	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.4	7.5	7.2
处理2	7.6	7.8	7.5	7.7	7.4	7.9	8.0	7.8
处理3	8.0	7.9	8.0	8.2	8.1	8.3	7.9	8.1
处理4	7.7	7.9	7.9	8.1	7.8	7.8	7.6	7.7
处理5	7.9	7.9	8.1	8.1	7.9	8.0	7.7	7.7
处理6	8.6	8.5	8.9	8.5	8.4	8.5	8.5	8.3
处理7	8.3	8.2	8.3	8.0	8.0	7.9	8.5	8.2
处理8	8.4	8.3	8.6	8.3	8.2	8.4	8.4	8.1

由表5可知,添加不同外源氨基酸与糖类配比的试验组感官评吸得分值均高于空白组,其中处理6,即不同氨基酸用量与果糖复配使用的试验组感官评吸得分值最高,且产品烟香味和透发性较好,杂气小,刺激性较小,余味干净,烟气柔和,舌面残留小,其他处理整体效果明显不及处理6。

针对不同氨基酸与糖类反应制得的美拉德反应产物分别进行了GC-MS分析,通过比较不同氨基酸-糖类美拉德反应产物香气成分之间的差异,结合感官评吸结果及其香味物质与感官属性的相关性,寻求外源氨基酸和糖类的最适配比组合,可以确定美拉德反应的最佳底物。

由表6可知,在不同的美拉德反应体系中,反应液中的主要香气成分含量相差较大,对烟香贡献较大的酮类、吡嗪类、醛类、呋喃类和酯类的种类和含量都有不同程度的变化,处理6、处理7和处理8试验组香气成分含量明显高于其他处理组,其中以处理6效果最为明显。除空白组以外,不同试验组美拉德产物均形成了大量的吡嗪类物质,生成的产物都具有焙烤、浓郁焦烤、咖啡香气<sup>[11]</sup>,可见吡嗪类物质对卷烟的烤香香味具有积极贡献。反应生成的吡嗪类物质有2-乙基-5-甲基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪、2-乙基-6-甲基吡嗪、2-乙基吡嗪、2,3,5-三甲基吡嗪等,它们都具有浓郁的焦烤香

表4 美拉德反应中不同外源氨基酸与糖类的组合与配比方案

Table 4 Various types and ratios of exogenous amino acids and sugars during Maillard reaction

试验组	试验方案
处理1	空白对照
处理2	苯丙氨酸:木糖=1:1
处理3	甘氨酸:木糖=1:1
处理4	脯氨酸:木糖=1:1.3
处理5	半胱氨酸:木糖=1:1.25
处理6	苯丙氨酸:甘氨酸:脯氨酸:半胱氨酸:短链肽:果糖=13:13:13:2:0.3:70
处理7	苯丙氨酸:甘氨酸:脯氨酸:半胱氨酸:短链肽:木糖=13:13:13:2:0.3:70
处理8	苯丙氨酸:甘氨酸:脯氨酸:半胱氨酸:短链肽:葡萄糖=13:13:13:2:0.3:70

气,能使卷烟劲头适中,并能掩盖部分杂气,改善余味<sup>[12]</sup>。其中,2-乙基-5-甲基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪和2-乙基-6-甲基吡嗪能增强烟香,提升烟草成熟感,同时掩盖一定的杂气,还可以使烟气圆润柔和细腻<sup>[13]</sup>;2-甲基吡嗪、2,3,5-三甲基吡嗪能使烟气饱满,提高烟香浓度,减少杂气。而醛酮类多数可以改善卷烟烟味,如苯甲醛、巨豆三烯酮等能与烟香协调,增加烟草的自然风味和玫瑰味花香<sup>[14]</sup>,能降低刺激性,掩盖杂气,达到有效改善薄片品质的目的。通过对结果的分析 and 讨论,处理6所添加的外源氨基酸与糖类配比为美拉德反应最佳底物,具体配比为脯氨酸:甘氨酸:苯丙氨酸:半胱氨酸:短链肽:果糖=13:13:13:2:0.3:70。

### 2.3 最优条件试验组与对照产品评价

由表7可知,其中,最优条件试验组试验条件为体系初始pH 7.0~8.0,热反应温度70  $^{\circ}\text{C}$ ,热反应时间13 h,最佳外源氨基酸与糖类的组合与配比:脯氨酸:甘氨酸:苯丙氨酸:半胱氨酸:短链肽:果糖=13:13:13:2:0.3:70;对照组薄片样品为市售产品。

由表7可知,对照组薄片样品刺激性较大,木质气和杂气重,无明显烟香,烟气不协调,有异味,吃味不佳;而试验组薄片样品烟香和烘焙烤香明显,香气足,协调性好,顺畅,平和,

表 6 外源氨基酸与糖类不同组合与配比的美拉德反应液主要香气成分

Table 6 The volatility components of samples from Maillard reactions of various types and ratios of exogenous amino acids and sugars

化合物	香气成分含量/( $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ )							
	处理 1	处理 2	处理 3	处理 4	处理 5	处理 6	处理 7	处理 8
2-甲基呋喃	0.006 5	0.010 3	0.018 8	—	—	0.024 9	0.019 8	0.020 3
戊醛	—	0.010 5	—	0.011 3	0.015 2	0.021 7	0.023 4	0.020 9
2-甲基丁醛	—	—	0.026 3	0.018 1	0.019 8	0.035 2	0.019 8	0.026 7
3-甲基丁醛	—	—	0.012 1	—	—	0.007 5	0.010 2	—
草酸	0.007 2	0.001 6	0.012 6	0.010 5	0.008 1	—	0.004 6	0.010 2
2-正丁基呋喃	0.010 1	—	0.006 7	—	0.009 2	0.018 7	0.008 5	0.012 1
2,3-戊二酮	—	0.004 5	0.006 7	—	—	—	0.005 9	0.003 2
己醛	0.060 0	0.016 1	—	0.009 5	0.025 4	0.036 2	0.015 5	0.021 1
吡啶	0.023 6	0.045 9	0.058 6	0.050 2	0.043 6	0.072 9	0.049 6	0.053 3
2-正戊基呋喃	—	—	0.006 3	—	0.013 3	0.010 9	0.012 5	0.008 5
6-甲基-2-庚酮	0.008 2	0.012 5	0.015 6	0.011 5	0.016 9	0.022 5	—	0.031 6
3-辛酮	—	—	0.020 8	0.011 6	0.013 2	0.026 1	—	—
2-烯丙基呋喃	—	0.003 5	0.010 9	—	0.008 7	0.012 1	—	0.007 4
3-羟基-2-丁酮	—	0.011 9	—	—	—	—	0.016 2	—
1-羟基-2-丙酮	0.072 5	0.061 4	—	0.075 3	0.050 2	0.133 6	0.098 5	0.101 2
2,5-二甲基吡嗪	—	0.049 7	0.058 7	0.062 8	0.069 7	0.123 5	0.106 2	0.089 8
2,6-二甲基吡嗪	0.007 9	0.054 3	0.046 2	0.032 3	0.068 5	0.157 9	0.110 6	—
2-乙基吡嗪	—	0.005 4	0.109 6	0.006 2	0.007 0	0.100 7	—	—
6-甲基-2-庚醇	—	0.021 6	—	—	—	0.027 8	0.044 5	0.007 9
2-乙基-5-甲基吡嗪	0.027 7	0.016 8	0.038 4	0.024 5	0.056 2	0.115 6	0.044 3	0.008 2
2-乙基-6-甲基吡嗪	—	—	0.050 8	0.004 5	0.071 8	0.092 2	—	0.025 1
壬醛	0.006 5	0.013 9	0.013 2	—	—	0.051 8	0.032 2	0.060 9
2,3,5-三甲基吡嗪	—	—	—	0.106 1	0.120 9	0.167 9	0.035 5	0.054 7
月桂醛	0.052 2	0.091 7	0.081 2	0.047 8	0.072 6	0.102 3	0.086 1	0.037 9
乙酸	0.248 3	0.317 2	0.269 8	0.108 7	0.324 4	0.462 9	0.288 1	0.257 9
3-糠醛	—	0.006 6	0.052 8	0.003 6	0.043 9	0.078 5	—	0.034 7
紫罗烯	0.284 9	0.594 7	0.334 1	0.501 6	0.418 9	0.718 0	0.535 2	0.498 5
2-乙酰基呋喃	—	0.071 2	—	—	0.084 5	0.129 4	0.150 8	0.077 5
苯甲醛	0.034 0	0.072 5	0.036 6	0.040 7	0.063 2	0.091 8	0.008 2	0.060 5
乙酸糠酯	—	0.034 7	0.006 5	—	0.028 9	0.055 8	—	—
2-乙酰基-1-甲基吡咯	—	—	—	—	0.007 2	—	0.041 2	—
2-呋喃甲醇	0.900 5	1.125 6	0.898 7	1.011 3	1.205 1	1.565 2	0.983 7	1.356 2
5-甲基-2-呋喃甲醇	—	—	0.102 9	—	0.111 5	0.203 5	0.103 4	0.145 9
2,2'-联呋喃	—	—	—	0.087 5	—	0.134 2	—	0.104 5
茄酮	0.072 8	1.003 6	0.928 5	0.919 3	0.678 0	1.309 5	0.984 6	1.082 8
木酚	—	0.028 5	0.064 7	0.075 8	0.101 2	0.108 3	0.122 5	0.008 3
苯甲醇	0.067 2	0.133 1	0.121 5	0.095 6	0.096 3	0.135 8	0.127 4	0.078 9
麦芽酚	—	—	0.006 5	—	0.009 3	0.039 2	0.065 0	0.047 6
巨豆三烯酮	0.921 3	1.018 3	1.027 0	0.964 1	1.118 9	1.545 6	1.128 3	1.309 9
二烯烟碱	0.078 5	0.093 7	0.142 5	0.098 7	0.135 6	0.124 3	0.108 0	0.112 2
柠檬酸三乙酯	—	0.036 3	0.071 2	0.034 6	0.061 5	0.069 5	—	0.005 4
总量	2.889 9	4.967 6	4.656 8	4.423 7	5.178 7	8.133 5	5.390 3	5.781 8

表7 薄片样品感官评吸结果

Table 7 Sensory profiles of tobacco sheet samples

产品	呼吸结果
对照组	刺激性大,木质气重;辛辣感明显,余味差;烧纸气味重,烟香气息少;烟香重但协调性不佳,吃味缺失明显;香气较浓,但刺激性很大,效果不佳;香气不厚实,杂气大,异味较明显;青杂气较突出,烟草香较明显
最优试验组	烟气干净,刺激性较小,整体香气协调;烘焙烤香明显,余味干净,无明显辛辣感;异味较弱,有较浓烟香;烟香浓度大,顺畅,平和,刺激感弱;特征香不明显,但更平和,烟香协调;烟香和烘焙香明显,杂气较少,余味干净;烘烤香突出,香气丰富、协调

刺激性较弱,余味干净。通过感官评吸结果不难发现经过美拉德反应所得薄片相较于对照组薄片质量有明显的改善。

采用同时蒸馏萃取法,将最优试验组薄片和空白对照组薄片进行 GC—O 和 GC—MS 分析,主要特征香气物质的强度变化见表 8。由表 8 可知,烟香味增加主要是由于薄片糠醛、巨豆三烯酮等醛酮类物质引起的<sup>[15]</sup>,而由 5-甲基-2-呋喃甲醇、十二烷基醚等物质带来的木质气和杂气减少,刺激性和辛辣感降低。在对照产品的基础上,试验组薄片致香成

表8 处理后薄片样品的特征香气成分强度变化<sup>†</sup>

Table 8 The strength changes of typical volatile compounds of treated tobacco sheet samples

序号	保留时间/ min	物质	风味类型	强度变化
1	14.7	乙酸-2-丁基酯	奶油香味	+
2	17.1	富马酸	焦香味	+
3	18.9	糠醛	焙烤香味	+
4	19.5	2-乙酰基呋喃	木质气味	↓
5	24.3	2-甲基呋喃	木质味	-
6	24.4	5-甲基-2-呋喃甲醇	辛辣味	-
7	25.3	6-乙基草酸	烟香味	↑
8	26.2	2(5H)-呋喃酮	原烟烟香	↑
9	27.8	甲基环戊烯醇酮	烤烟味	↑
10	28.4	3-(2-哌啶基)-吡啶	木质气味	↓
11	30.0	1-(1H-吡咯)-丙酮	持续烟香	+
12	32.9	3-吡啶甲醇	辛辣味	-
13	33.6	巨豆三烯酮	烟香味	↑
14	36.2	2-乙基吡嗪	考烟烟香	+
15	36.8	十二烷基醚	刺激辣味	-
16	37.2	7-甲基喹啉	花香味	↑
17	38.6	杂环丁烷	发甜药材味	+
18	42.6	2-环己烯-1-酮	浓香味	↑
19	43.2	15-冠醚-5	异味	↓
20	44.4	杂辛烷	木质异味	-

† 强度变化“+”,“-”分别表示和对照产品相比,风味新增和减少;“↑”,“↓”表示该指标的变化趋势,即增强和减弱。

分增多,不利风味物质成分较少,薄片质量得到明显改善。

### 3 结论

与传统美拉德反应高温条件不同,本试验结合生产实际,在温和加热条件下进行,通过调控美拉德反应时间及外源氨基酸和糖类的种类与配比,使美拉德反应效果达到最佳。美拉德反应液风味物质的分析及最后薄片风味成分的测定结果表明,优化美拉德反应的条件不仅能有效降低不利风味成分的前体物质,还能强化美拉德反应进程,加速浓缩液中还原糖和氨基酸发生的美拉德反应,将更多不利于最终感官质量的化学成分转化为有利的风味物质。同时,调整外源氨基酸与糖类的组合与配比可以使得薄片杂气和刺激性降低,烟香等风味致香成分增加,薄片质量得到提高。因此,美拉德反应是一条改善烟草薄片质量的有效途径。

### 参考文献

[1] 缪应菊,刘维涓,刘刚,等.烟草薄片制备工艺的现状[J].中国造纸,2009(7):55-60.

[2] 夏新兴,马娜,吉英.小茴香秆造纸法烟草薄片的制造工艺研究[J].中华纸业,2008(8):44-47.

[3] Chen Mao-shen, Xu Zhi-qiang, Chen Gang, et al. The generation of carbon monoxide and carbonyl compounds in reconstituted tobacco sheet[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2014, 151(1): 961-970.

[4] Cardoso J C, Pereira N L, Nunes P S, et al. Effect of the Maillard reaction on properties of casein and casein films[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2010, 104(1): 249-254.

[5] Xu Qian-qian, Liu Jian-bin, Song Huan-lu, et al. Formation mechanism of volatile and non-volatile compounds in peptide-xylose Maillard reaction[J]. Food Research International, 2013, 54(1): 683-690.

[6] 黎新钦,张静,田兆福,等.液相美拉德反应优化烟梗烟末提取液的应用研究[J].食品与机械,2015,31(5):21-27.

[7] 舒俊生,姚忠达,郭东锋.烤烟叶片稳定同位素与致香物质关系的研究[J].安徽农业大学学报,2013,40(2):308-315.

[8] 黄兰,徐迎波,田振峰,等.气相色谱-质谱/选择离子监测法分析烟草中的重要香味物质[J].烟草科技,2012(1):34-42.

[9] 翁划阳,刘艺,许健民,等.香味轮廓分析法在卷烟评香中的应用[C]//中国烟草学会工业专业委员会,烟草化学学术研讨会论文集.海口:中国烟草科技,2005:468-472.

[10] 张欢欢.卷烟制丝过程中烟丝化学成分和感官质量的动态变化研究[D].郑州:河南农业大学,2014:23-35.

[11] 肖怀秋,李玉珍,林亲录.美拉德反应及其在食品风味中的应用研究[J].中国食品添加剂,2005(2):27-30.

[12] 郭正,吕建明.烟用香精中烷基吡嗪类化合物的合成及应用[J].烟草科技,1996(3):4-5.

[13] 何建龙.国内低焦油卷烟市场现状及发展前景流通经济[J].中国市场,2011(6):137-140.

[14] 赵铭钦.卷烟调香学[M].北京:科学出版社,2008:99-105.

[15] 叶协锋,李正,刘旭锋,等.烤烟巨豆三烯酮含量与中性香气成分含量关系分析[J].土壤通报,2009(5):1167-1170.