

植物蛋白肽美拉德反应中间体与加香卷烟 燃吸品质香气风格的相关性

Correlation between the preparation technology of the Maillard
reaction intermediates derived from vegetable peptides and
the smoking quality and style of its flavoring cigarettes

雷 声¹ 崔和平² 杨乾栩¹ 王 凯¹

LEI Sheng¹ CUI He-ping² YANG Qian-xu¹ WANG Kai¹

刘志华¹ 段焰青¹ 王 晋¹ 张晓鸣²

LIU Zhi-hua¹ DUAN Yan-qing¹ WANG Jin¹ ZHANG Xiao-ming²

(1. 云南中烟工业有限责任公司技术中心, 云南 昆明 650231; 2. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122)

(1. Technology Center, China Tobacco Yunnan Industrial Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650231, China;

2. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:目的:利用植物蛋白酶解产物制备美拉德反应中间体并将其添加至卷烟中,改善卷烟燃吸品质,强化卷烟香气风格。方法:以玉米蛋白、葵花籽蛋白、小麦面筋蛋白、大豆蛋白等植物蛋白为原料,利用碱性蛋白酶和风味蛋白酶在不同的工艺条件下对其进行水解,酶解液与还原糖以 $m_{\text{酶解液}} : m_{\text{还原糖}} = 100 : 15$ 的比例混合后,通过二阶段变温美拉德反应明确美拉德反应中间体水相形成条件,在此条件下制备肽美拉德中间体并通过注射法对卷烟进行加香,完成 12 种卷烟品质特征指标和 15 种烟气香气风格指标的量化评分,采用偏最小二乘回归分析法(PLSR)对中间体制备条件与其加香卷烟品质特征及香气风格特征进行相关性分析。结果:确定了美拉德中间体形成的条件为 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、60 min;将在此条件下反应制备的肽美拉德反应中间体添加至卷烟中进行感官评吸,发现中间体能够强化卷烟特征吃味、圆和烟气,具有良好的加香矫味效果,其中玉米肽美拉德反应中间体增香效果最理想。植物蛋白酶解后的蛋白溶出率与烟气口腔刺激/

舌部灼烧、收敛、喉部干燥、劲头呈显著正相关;与口腔残留/干燥感、喉部刺激、鼻腔刺激、香气、丰富性、细腻/柔和/圆润、杂气、烟气浓度呈显著负相关。用于进行美拉德反应的底物蛋白肽浓度,是调控美拉德反应中间体对卷烟燃吸品质影响的最关键因素。蛋白水解度与中间体加香卷烟的烤烟烟香、清香、木香、青滋香、花香、可可香呈显著负相关,与果香、辛香、药草香、豆香呈显著正相关;蛋白溶出率与烤烟烟香、清香、药草香、豆香、可可香呈显著正相关,与果香、辛香、木香、青滋香、花香呈显著负相关。结论:可以针对不同的卷烟产品香韵特征,按照该研究结果,通过调节水解度和蛋白溶出率制备不同的肽美拉德反应中间体强化不同的卷烟香气风格。

关键词:植物蛋白肽;美拉德反应中间体;燃吸品质;偏最小二乘回归分析

Abstract: **Objective:** Maillard reaction intermediates were prepared from the enzymatical hydrolysates of vegetable proteins. Then they were added to cigarettes to improve the smoking quality and enhance the aroma style of cigarettes. **Methods:** the vegetable protein such as corn protein, sunflower seed protein, wheat gluten protein and soybean protein were hydrolyzed by alkaline protease and flavourase under different conditions. The enzymatic hydrolysates were mixed with reducing sugar at a ratio of $m_{\text{hydrolysates}} : m_{\text{sugar}} = 100 : 15$. The formation conditions of the peptide-derived Maillard intermediates were determined through the Maillard reaction performed under the stepwise increase of temperature. The intermediates prepared under these determined

基金项目:云南省重点研发计划项目(编号:2018BA084);国家自然科学基金面上项目(编号:NSFC31671826);科技部国家重点研发计划项目(编号:2017YFD0400105)

作者简介:雷声,男,云南中烟工业有限责任公司工程师,博士。

通信作者:王晋(1984—),男,云南中烟工业有限责任公司副研究员,博士。E-mail: wangjin@ccas.ac.cn

张晓鸣(1965—),男,江南大学教授,博士。

E-mail: xmzhang@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2021-03-06

formation conditions were added into the cigarettes via injection, and 12 cigarette quality characteristic indexes and 15 smoke aroma style indexes were quantitatively scored. Partial least-squares regression analysis (PLSR) was further applied to analyze the correlation between flavored cigarettes' quality characteristics and aroma style characteristics. **Results:** the formation conditions of the peptide-derived Maillard intermediates were determined as 90 °C and 60 min. The peptide-derived Maillard intermediates prepared under the determined formation conditions were added into cigarettes. Sensory evaluation of the flavoring cigarettes was conducted. It was found that the Maillard intermediates enhanced the characteristic taste, roundness and smoke of cigarettes, and took a desirable effect of flavor enhancement and modification. Among the intermediate samples, the Maillard reaction intermediates derived from corn peptide took the best effect of flavor enhancement. The results showed that the protein dissolution rate of the protease hydrolysates was significantly positively correlated with oral irritation/tongue burning, convergence, laryngeal dryness and strength, while negatively correlated with oral residue/dryness, laryngeal irritation, nasal irritation, aroma, richness, delicacy/softness/round, offensive odor and concentration of flue gas. The concentration of the substrate peptide used for the Maillard reaction is the most crucial factor to regulate the effect of Maillard reaction intermediates on cigarette smoking quality. The degree of hydrolysis of the protein was significantly negatively correlated with the aroma of flue-cured tobacco, fresh, woody, green, fragrant and cocoa characteristics, and positively correlated with the aroma of fruit, spicy, herb and bean characteristics. The protein dissolution rate was significantly positively correlated with tobacco fragrance, fresh, herb, bean and cocoa characteristics, and significantly negatively correlated with fruit, spicy, wood, green and flower characteristics. **Conclusion:** According to the aroma characteristics of different cigarette products, different peptide Maillard reaction intermediates can be prepared by adjusting the degree of hydrolysis as well as the rate of protein dissolution for different cigarette aroma style enhancement, with following the research results shown in this research.

Keywords: vegetable peptides; Maillard reaction intermediates; smoking quality; partial least squares regression analysis

卷烟烟气的香味是体现卷烟燃吸品质与风格的重要指标。理想的卷烟香气通常由合理的叶组配方获得,然而在烟草工业中,往往需要针对卷烟产品风格特征,向卷烟中添加一定的香精香料,供其加香矫味,强化烟气特征香气,赋予卷烟优美舒适的口味,不仅可以掩盖卷烟燃烧产生的杂气,而且可以消除不同等级烟叶之间的差异并使其相互协调^[1-3]。此外,烟用香精香料的加入还可为卷烟提供清香、浓香、甜香、花香、水果香、坚果香等不同

风格,满足不同消费者的需要。美拉德反应产物是卷烟加香的常用香料,对卷烟香气质、香气量、杂气、刺激性和余味有明显的改善作用,而且烘烤香、焦香显著,在强化卷烟特征香气、提高卷烟燃吸品质方面产生良好的应用效果^[4-6]。

美拉德反应产物在卷烟中良好的加香效果一方面是因为其作为烟草加工及卷烟燃烧过程中形成的重要香气物质,与烟草本味协调性良好^[7-9];另一方面,美拉德反应产物挥发性较强,对卷烟头香贡献显著^[7]。然而,其较强的挥发性会带来加香效果不稳定的问题,使美拉德反应烟用香精的应用受到限制^[10-11]。针对这一问题,可以采用稳定的美拉德反应香味前体物替代完全美拉德反应产物应用于卷烟加香,在卷烟燃烧的过程中继续完成后续美拉德反应形成香气^[1,4,12]。美拉德反应初期,糖与氨基酸或肽发生羰氨反应,通过脱水缩合形成希夫碱,进一步发生分子重排形成 Amadori 重排产物(ARP)或 Heyns 重排产物(HRP)^[13-15]。ARP 和 HRP 是理化性质较稳定的美拉德反应中间体,是香气物质形成的重要前体物,可以作为完全美拉德反应产物的替代物对卷烟进行加香,保证卷烟制品在加工、贮藏过程中维持良好的加香稳定性,应用前景广阔^[4]。

在农产品加工过程中,如大豆、葵花籽油脂的提取及玉米淀粉的生产,会同时形成大量富含蛋白质的副产物,这些副产物通常作为优质饲料用于禽畜养殖,或者直接作为工业废渣排放,直接导致了蛋白资源价值流失甚至环境污染的问题。研究拟以玉米蛋白、葵花籽蛋白、小麦面筋蛋白、大豆蛋白以及花生蛋白等植物蛋白为原料,利用不同种类的酶对其水解以获得小分子肽,再将其作为氮源制备美拉德反应中间体,并应用于卷烟加香。

在高温水相美拉德反应过程中,美拉德反应中间体一旦形成就会迅速降解完成次级反应,很难被捕捉并稳定制备。对于植物蛋白酶解产物的混合肽体系,更不可能通过 HPLC 外标分析法对中间体的形成进行追踪分析^[16]。因此,研究拟采用二阶段变温美拉德反应方法^[17],通过找到美拉德褐变抑制最有效的时间点,确定中间体水相形成条件,达到对中间体形成示踪的目的,进一步采用低温水相美拉德反应对中间体进行制备。将制备得到的肽美拉德中间体添加至卷烟中进行感官评吸,以烟气口腔刺激/舌部灼烧、口腔残留/干燥感、收敛、喉部刺激、喉部干燥、鼻腔刺激、香气、丰富性、细腻/柔和/圆润、杂气、烟气浓度、劲头作为卷烟品质特征指标,以烤烟烟香、晾晒烟香、豆香、可可香、奶香、膏香、清香、果香、辛香、药草香、烘焙香、木香、青滋香、花香、甜香为烟气香气风格指标,采用偏最小二乘回归分析法(PLSR)对加香卷烟品质特征及香气风格特征进行主成分分析,明确肽美拉德反应中间体制备条件对香气风格的贡献性,阐明卷

烟燃吸品质与中间体制备条件之间的相关关系,为肽美拉德反应中间体在卷烟加香中的应用提供理论依据与技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

小麦面筋蛋白、玉米蛋白粉、葵花籽蛋白粉、脱脂豆粉、花生蛋白粉:食品级,安徽强旺调味食品有限公司;

L-半胱氨酸、*D*-阿拉伯糖、*D*-半乳糖、*D*-葡萄糖、*D*-果糖、*D*-木糖、NaOH、百花蜜、椴树蜜、荆条蜜、洋槐蜜、枣花蜜:市售;

碱性蛋白酶(2.3×10^5 U/g)、风味蛋白酶(3.4×10^4 U/g):生物级,诺维信生物技术有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

电子天平:EL104 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

磁力搅拌器:C-MAG-HS7 型,德国 IKA 公司;

集热式恒温加热磁力搅拌器:DF-101S 型,巩义市予华仪器有限责任公司;

实验室 pH 计:FE20 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

恒温恒湿培养箱:HWS-150 型,上海森信实验设备有限公司;

紫外可见分光光度计:UV-1800 型,岛津科学仪器(中国)有限公司。

1.2 分析方法

1.2.1 植物蛋白肽的制备 取适量过 80 目筛的蛋白粉,按 $m_{\text{蛋白粉}}:m_{\text{水}}=1:10$ 添加去离子水并混合均匀。在 90 °C 下加热 30 min 以灭活样品内源酶,冷却后调节溶液 pH 至 8,添加一定量碱性蛋白酶或者碱性蛋白酶与风味蛋白酶的组,在酶最适温度下进行水解。反应结束后立即在沸水浴中搅拌加热 15 min,冷却,于 4 300 r/min 离心 10 min,上清液即为蛋白肽,在 -20 °C 下保存待用。

1.2.2 二阶段变温美拉德反应 参照 Cui 等^[17]的方法进行二阶段变温美拉德反应。取适量蛋白肽分散液与还原糖按照糖肽比($m_{\text{酶解液}}:m_{\text{还原糖}}$)为 100:15 混合均匀,采用 6 mol/L NaOH 溶液调节溶液 pH 至 7,进行二阶段变温美拉德反应。第一阶段(低温阶段):将溶液分装在耐压反应瓶中,于 90 °C 条件下反应不同时间后,取出冷却;第二阶段(高温阶段):添加质量分数 1.00% 半胱氨酸,并重新调节 pH 至 7,然后将溶液的温度迅速升高至 120 °C,油浴加热 110 min 后,立即将反应液置于冰水中终止反应。所得变温美拉德反应产物用于褐变指数测定。

1.2.3 褐变指数的测定 波长 420 nm 处的吸光度能反

映样品中类黑素的含量,因此美拉德反应产物的褐变指数通常用其在 420 nm 处的吸光度值($A_{420\text{ nm}}$)来表示^[18]。采用紫外可见分光光度计测定变温美拉德反应液的褐变指数 $A_{420\text{ nm}}$ 。

1.2.4 美拉德反应中间体的制备 通过测量二阶段变温美拉德反应终产物的褐变指数($A_{420\text{ nm}}$),找到色泽最浅的反应液样品,确定该样品的低温反应条件即为美拉德反应中间体形成的临界条件。参照试验方法 1.2.2 配制反应液,在美拉德反应中间体形成的临界条件下进行反应,反应结束后立即在冰水中终止反应,即得到美拉德反应中间体。将反应液进行冷冻干燥即得中间体固体产品。

1.2.5 蛋白溶出率的测定 蛋白质含量测定按 GB 5009.5—2016 的凯氏定氮法执行。根据式(1)计算蛋白溶出率。

$$D_R = \frac{m_1}{m_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

D_R ——蛋白溶出率,%;

m_1 ——上清液中蛋白质含量,g;

m_0 ——原料中蛋白质含量,g。

1.2.6 水解度的测定 采用甲醛滴定法测定植物蛋白酶解产物中氨基氮含量,按式(2)计算水解度^[19]。

$$D_H = \frac{C \times (V_1 - V_2) \times V/10}{m_1 \times N \times 9.20} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

D_H ——水解度,%;

C ——氢氧化钠标准溶液浓度,mol/L;

V_1 ——样品溶液在加入甲醛后滴定至终点所消耗的 NaOH 标准溶液的体积,mL;

V_2 ——空白溶液在加入甲醛后滴定至终点所消耗的 NaOH 标准溶液的体积,mL;

V ——酶解上清液的体积,mL;

10——取样体积,mL;

m_1 ——样品质量,g;

N ——原料中蛋白质含量,%;

9.20——每克蛋白质所含的肽键毫摩尔数,mmol/g。

1.2.7 卷烟试验样品的制备 向烟丝中添加肽美拉德反应中间体溶液,加香量(以中间体与烟丝的质量分数计)为 0.1%。采用注射加香机将香料单体以一定浓度注射到烟支中心,制成加香卷烟样品。将得到的试验烟放在 (22 ± 1) °C、湿度 $(60 \pm 2)\%$ 的恒温恒湿箱中平衡 48 h 以上,控制烟支质量为 0.82 g,平均质量偏差在 ± 0.02 g 内,备用于感官品质评吸。

1.2.8 卷烟感官评吸方法 感官评吸由 9 名省级以上卷烟感官评吸专家完成。参考 GB/T 16447—2004《烟草和烟草制品调节和测试的大气环境》调节卷烟样品的水分,制备样品。参考 YC/T 497—2014《卷烟中式卷烟风格感

官评价方法》对各卷烟样品的品质特征、风格特征进行评分,中式卷烟风格的感官评价方法包含卷烟产品的燃吸品质特征(包括舒适感特性,烟气特性)和风格特征(包括风味特征,香气风格)共 27 个指标。卷烟燃吸品质特征和评吸香气风格评分标准分别见表 1 和表 2。

1.2.9 数据处理 所有试验重复至少 3 次,试验结果表示为平均值±标准偏差。数据采用 Microsoft Excel 2016、SPSS Statistic 22.0 软件,通过邓肯多重范围检验进行统计分析,筛选去除异常数据,以 $P<0.05$ 表示数据间显著性差异。利用 Unscrambler 9.7 软件对卷烟燃吸品质、特征香气成分、肽美拉德反应中间体制备条件之间进行相关性分析。

表 1 卷烟燃吸品质特征指标评分标准

Table 1 Scoring standard of smoking quality characteristic index of the cigarettes

品质特征	指标	评分标准					
		10	9	8	7	6	≤5
舒适感特性	口腔刺激/舌部灼烧	无	轻微	稍有	有	较强	强烈
	口腔残留/干燥感	无	轻微	稍有	有	较强	强烈
	收敛	无	轻微	稍有	有	较强	强烈
	喉部刺激	无	轻微	稍有	有	较强	强烈
	喉部干燥	无	轻微	稍有	有	较强	强烈
	鼻腔刺激	无	轻微	稍有	有	较强	强烈
烟气特性	香气	优雅、丰满、协调	优雅、较丰满、较协调	较丰满、尚协调	淡薄、尚协调	淡薄、欠协调	淡薄、不协调
	丰富性	非常丰富	丰富	较丰富	尚丰富	欠丰富	单调
	细腻/柔和/圆润	细腻、柔和、圆润	较细腻、较柔和、较圆润	较细腻、较柔和、较圆润	尚细腻、尚柔和、尚圆润	尚细腻、尚柔和、尚圆润	欠细腻、欠柔和、欠圆润
	杂气	无	轻微	稍有	有	较明显	明显
	烟气浓度	非常浓馥、非常饱满	浓馥、饱满	较浓馥、较饱满	尚浓馥、尚饱满	欠浓馥、欠饱满	淡薄
	劲头	≥8 非常大	7 大	6 较大	5 适中	4 较小	≤3 小

表 2 卷烟香气风格指标评分标准

Table 2 Scoring standard of aroma style index of the cigarettes

指标	评分标准					指标	评分标准				
	6~10	3~5	2	1	0		6~10	3~5	2	1	0
烤烟烟香	强烈	较强	有	微有	无	药草香	强烈	较强	有	微有	无
晾晒烟香	强烈	较强	有	微有	无	豆香	强烈	较强	有	微有	无
清香	强烈	较强	有	微有	无	可可香	强烈	较强	有	微有	无
果香	强烈	较强	有	微有	无	奶香	强烈	较强	有	微有	无
辛香	强烈	较强	有	微有	无	膏香	强烈	较强	有	微有	无
木香	强烈	较强	有	微有	无	烘焙香	强烈	较强	有	微有	无
青滋香	强烈	较强	有	微有	无	甜香	强烈	较强	有	微有	无
花香	强烈	较强	有	微有	无						

反应分成两个阶段:第一阶段反应温度 90 ℃,反应时间 0~140 min,然后加入半胱氨酸开始第二阶段反应,将反应温度升高至 120 ℃,反应 110 min。测定变温反应终产物的 $A_{420\text{ nm}}$,发现在第一阶段反应 60 min 时添加半胱氨酸,变温美拉德反应产物的 $A_{420\text{ nm}}$ 值均为最低,不同体系

的试验结果一致。说明玉米蛋白、葵花籽蛋白、小麦面筋蛋白、大豆蛋白等植物蛋白肽美拉德反应中间体形成的临界条件为 90 ℃、60 min。在此条件下进行低温美拉德反应,制备不同体系的肽美拉德反应中间体,不同中间体样品的编号如表 3 所示。

表 3 肽美拉德反应中间体样品编号及其制备条件[†]

Table 3 Labels and preparation conditions of the peptide derived Maillard reaction intermediates

C 玉米肽	K 葵花籽肽	G 小麦面筋蛋白肽	S 大豆肽	P 花生肽	水解酶+还原糖
C-1 (4.91;4.4)	K-1 (5.15;5.5)	G-1 (4.38;9.0)	S-1 (7.52;7.0)	P-1 (8.16;8.0)	碱性蛋白酶+果糖
C-2 (4.91;4.4)	K-2 (5.15;5.5)	G-2 (4.38;9.0)	S-2 (7.52;7.0)	P-2 (8.16;8.0)	碱性蛋白酶+葡萄糖
C-3 (4.91;4.4)	K-3 (5.15;5.5)	G-3 (4.38;9.0)	S-3 (7.52;7.0)	—	碱性蛋白酶+木糖
C-4 (9.11;6.2)	K-4 (8.74;5.0)	G-4 (9.29;9.2)	S-4 (10.93;7.5)	P-4 (12.22;8.4)	碱性蛋白酶+风味蛋白酶+果糖
C-5 (9.11;6.2)	K-5 (8.74;5.0)	G-5 (9.29;9.2)	S-5 (10.93;7.5)	—	碱性蛋白酶+风味蛋白酶+葡萄糖
C-6 (9.11;6.2)	K-6 (8.74;5.0)	G-6 (9.29;9.2)	S-6 (10.93;7.5)	P-6 (12.22;8.4)	碱性蛋白酶+风味蛋白酶+木糖
C-7 (9.11;6.2)	K-7 (8.74;5.0)	G-7 (9.29;9.2)	S-7 (10.93;7.5)	—	碱性蛋白酶+风味蛋白酶+阿拉伯糖
C-1' (5.40;3.8)	K-1' (8.50;3.8)	—	—	—	碱性蛋白酶+果糖
C-2' (5.40;3.8)	—	G-2' (5.57;7.3)	—	—	碱性蛋白酶+葡萄糖
C-4' (10.95;5.9)	K-4' (13.20;4.1)	—	S-4' (7.88;6.8)	—	碱性蛋白酶+风味蛋白酶+果糖
—	—	G-5' (13.57;7.5)	—	—	碱性蛋白酶+风味蛋白酶+葡萄糖
C-6' (10.95;5.9)	—	—	—	—	碱性蛋白酶+风味蛋白酶+木糖
—	—	—	S-7' (11.05;7.2)	—	碱性蛋白酶+风味蛋白酶+阿拉伯糖
CB (4.91;4.4)	—	—	—	NB (12.22;8.4)	碱性蛋白酶+百花蜜
CD (4.91;4.4)	—	—	—	ND (12.22;8.4)	碱性蛋白酶+椴树蜜
CJ (4.91;4.4)	—	—	—	NJ (12.22;8.4)	碱性蛋白酶+荆条蜜
CY (4.91;4.4)	—	—	—	NY (12.22;8.4)	碱性蛋白酶+洋槐蜜
CZ (4.91;4.4)	—	—	—	NZ (12.22;8.4)	碱性蛋白酶+枣花蜜

[†] 括号中的分别为水解度(%)和蛋白溶出率(%)。

2.2 加香卷烟燃吸品质特征主成分及其与中间体制备条件的相关性

将 C、K、G、S、P 5 组不同样品分别通过注射加香添加至某云烟品牌烟丝中,添加量为烟丝重量的 0.1%。美拉德反应中间体在卷烟燃烧过程中发生后续美拉德反

应,产生香气物质,强化卷烟特征吃味、圆和烟气。对添加中间体的卷烟进行感官评吸,其燃吸品质特征得分如表 4 所示。总体来看,C 系列样品的评分高于其他系列样品,表明玉米肽美拉德反应中间体比其他植物蛋白肽美拉德中间体的卷烟加香作用更显著。

表 4 卷烟样品的燃吸品质特征得分

Table 4 Scores of the smoking quality characteristics of the cigarette samples

样品	口腔刺激/ 舌部灼烧	口腔残留/ 干燥感	收敛	喉部 刺激	喉部 干燥	鼻腔 刺激	香气	丰富性	细腻/柔 和/圆润	杂气	烟气 浓度	劲头
C1	8.12	8.22	7.92	7.22	7.09	7.11	7.41	7.00	7.11	7.21	7.10	5.10
C2	8.21	8.11	7.58	7.39	7.09	7.41	7.88	7.43	7.08	7.92	7.60	5.42
C3	6.39	6.12	6.57	7.03	7.07	7.38	6.87	6.83	6.25	6.95	6.12	5.43
C4	7.01	6.38	6.38	6.87	6.85	7.23	7.12	7.08	6.87	6.99	8.11	5.03
C5	6.21	6.11	6.42	6.12	6.21	6.48	6.08	6.02	6.98	7.28	5.81	4.92
C6	8.09	8.22	7.94	8.19	8.02	8.03	8.38	8.39	8.91	8.01	8.01	4.98
C7	6.90	6.12	6.58	6.21	6.10	6.42	6.13	5.92	6.79	6.03	5.92	6.47
K1	7.88	8.11	8.61	8.11	7.93	8.47	7.99	7.90	8.51	8.01	8.03	4.99
K2	6.01	6.07	6.81	6.08	6.09	6.11	6.12	6.01	5.89	6.99	5.98	4.98
K3	6.49	5.89	6.79	7.04	6.03	7.09	6.02	6.50	7.52	6.01	6.10	5.03
K4	6.57	7.24	7.35	6.22	6.56	6.99	6.38	6.39	6.31	5.55	5.84	5.22
K5	7.38	5.37	6.82	6.89	6.55	6.93	7.21	6.55	6.57	6.34	7.21	5.23
K6	6.38	7.38	6.22	6.57	7.26	6.21	6.55	6.98	7.21	7.34	7.53	6.05
K7	7.24	7.53	6.21	6.44	7.21	6.22	5.34	6.75	6.21	6.66	7.23	5.09
G1	6.77	7.82	7.65	7.53	7.85	6.67	7.26	7.68	7.59	6.47	7.42	5.21
G2	8.68	8.24	7.51	8.85	7.58	7.29	7.33	7.52	8.23	8.95	7.45	7.79
G3	6.54	6.83	7.21	7.59	7.76	8.11	6.33	6.09	6.72	6.25	7.11	4.35
G4	5.45	6.21	8.78	6.59	5.78	7.24	7.21	7.34	5.68	6.21	6.55	5.13
G5	5.14	6.72	6.51	6.24	7.21	5.35	5.22	5.58	5.35	6.27	5.82	4.91
G6	5.78	6.22	6.21	5.94	6.89	7.52	6.87	5.43	6.42	5.51	4.75	4.74
G7	7.84	5.83	5.97	6.23	6.46	5.77	4.69	5.11	6.30	5.28	4.39	6.22
S1	7.26	7.51	6.23	8.11	6.24	6.99	4.34	5.21	6.27	5.85	6.12	7.76
S2	7.83	6.79	5.98	7.43	7.42	5.53	5.47	6.11	5.55	5.58	5.46	6.21
S3	6.24	6.23	6.54	5.83	6.31	6.74	6.59	6.88	7.01	6.62	6.13	5.66
S4	7.31	6.64	6.56	5.75	7.28	5.44	6.28	6.31	6.42	7.53	4.11	5.34
S5	6.12	5.39	5.76	6.38	7.72	5.97	4.85	6.62	7.37	5.36	5.21	5.69
S6	6.65	7.72	7.78	7.31	7.72	7.51	5.35	6.64	6.23	6.57	7.01	6.44
S7	7.29	6.01	6.84	7.39	7.01	5.88	7.02	6.48	7.55	8.57	6.35	6.98
C1'	8.32	8.58	7.61	8.78	9.24	8.94	8.79	8.45	8.97	8.56	7.85	8.73
C2'	8.53	9.28	8.44	7.79	8.27	8.12	8.93	8.57	8.02	8.64	8.89	7.20
C4'	8.12	8.33	7.75	8.58	8.37	8.21	9.89	9.11	8.63	8.69	8.84	8.92
C6'	8.21	8.53	8.46	7.92	8.55	8.36	7.94	8.19	9.11	8.67	8.10	7.21
K1'	6.24	6.51	6.47	6.73	6.25	5.99	7.02	6.61	5.34	6.75	6.02	6.34
K4'	7.65	8.35	6.33	6.01	7.14	6.43	7.83	5.97	6.22	6.41	6.55	7.01
G2'	7.85	6.74	6.62	7.03	6.57	5.85	6.27	6.81	5.23	5.19	6.94	4.33
G5'	6.24	6.63	7.12	7.33	6.86	6.42	6.55	6.79	6.68	6.45	5.78	6.03

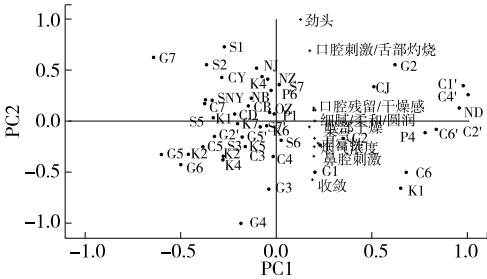
续表 4

样品	口腔刺激/ 舌部灼烧	口腔残留/ 干燥感	收敛	喉部 刺激	喉部 干燥	鼻腔 刺激	香气	丰富性	细腻/柔 和/圆润	杂气	烟气 浓度	劲头
S4'	7.03	6.78	6.45	6.57	7.22	6.34	7.82	6.78	6.49	7.72	6.24	6.98
S7'	6.99	7.34	7.68	7.11	6.53	6.76	6.58	6.91	5.49	6.68	6.39	6.47
P1	7.17	5.97	6.83	6.43	6.98	6.79	6.46	7.13	6.98	7.09	8.00	7.02
P2	7.79	6.45	6.71	6.41	7.13	6.98	6.57	6.32	7.17	6.85	7.15	6.82
P4	7.98	8.12	8.65	8.21	7.87	8.01	8.69	8.12	8.63	7.88	8.14	7.21
P6	7.78	7.21	6.85	7.41	6.22	6.19	7.23	6.84	6.55	7.17	6.30	6.43
CB	7.22	6.78	6.83	5.75	6.49	6.21	7.57	6.38	6.54	6.20	7.53	6.99
CD	7.01	6.58	6.55	6.84	6.18	7.04	6.69	6.35	7.12	5.38	5.75	6.19
CJ	8.24	6.91	7.38	8.54	7.23	8.21	7.41	8.05	7.79	8.12	7.32	7.96
CY	7.67	6.84	6.24	6.83	4.53	6.86	6.59	6.28	6.84	6.32	5.70	6.62
CZ	7.42	6.46	6.87	6.12	7.34	7.81	6.58	6.97	6.24	6.51	6.93	7.06
NB	7.21	6.64	6.59	5.73	6.88	6.92	6.49	7.01	6.65	6.26	6.98	7.33
ND	8.83	8.97	8.82	8.88	8.13	8.92	8.84	8.59	8.42	8.19	7.27	7.96
NJ	7.29	7.44	6.83	6.45	6.73	6.37	6.19	6.22	6.58	7.04	6.49	7.84
NY	7.34	6.51	5.52	6.67	7.41	5.53	6.27	7.20	6.21	6.04	5.58	5.26
NZ	7.71	7.49	6.28	7.15	6.42	6.73	6.98	7.01	6.24	6.69	6.47	6.92

为明确卷烟燃吸品质特征指标与肽美拉德反应中间体制备条件的相关关系,采用 PLSR 方法对两者的量化结果进行分析。PLSR 是一种重要的相关性分析方法,与主成分回归有关系,但不是寻找响应和独立变量之间最小方差的超平面,而是通过投影预测变量和观测变量到一个新空间来寻找一个线性回归模型^[20]。由于变量 X 和 Y 都投影至新空间,PLS 系列的方法都是双线性因子模型,当 Y 是分类数据时进行偏最小二乘判别分析。PLS 用于查找两个矩阵(X 和 Y)的基本关系,即一个在这两个空间对协方差结构建模的隐变量方法。PLS 模型将试图找到 X 空间的多维方向来解释 Y 空间方差最大的多维方向。PLSR 特别适合当预测矩阵比观测的有更多变量,以及 X 的值中有多重共线性的时候。相比之下,除吉洪诺夫正则化情况外,标准的回归分析在这些情况下效果不理想。以加香卷烟的 12 个品质特征指标为变量进行主成分(PCA)分析。通过 PCA 分析,品质特征的 12 个指标的变量信息被第一主成分(PC1)和第二主成分(PC2)代替,两个主成分共同解释了原始变量信息的 69%,结果见图 1。

主成分分析中的主成分都是由原始变量线性组合而来,组合系数的大小反映了原始变量对各个主成分影响的程度。从图 1 可以看出,所有特征指标均未位于原点附近,皆有对两个主成分的贡献;劲头位于纵坐标 PC2 的上方,对 PC2 的贡献较大,对 PC1 的贡献则较小。12 个品质特征指标均位于横坐标右侧,对 PC1 的贡献较大,说明这 12 个品质特征指标之间具有较强关联性。

从品质特征来看,51 个卷烟样品分成品质特征得分



C1、C2、C3、C4 等的坐标值分别代表样品 C1、C2、C3、C4 和其余卷烟样品在 PC1 和 PC2 上的得分

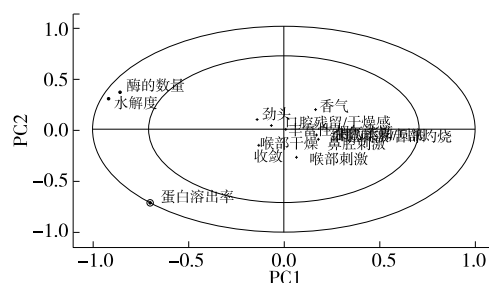
图 1 基于燃吸品质特征的加香卷烟样品主成分分析
Figure 1 Principal component analysis of the flavoring cigarette samples for smoking quality characteristics

较高的一类(C1'、C4'、P4、ND、C2'、C6'),品质特征得分较低的一类(G7、G5、S5、G6、K2)。样品 G7、G5 位于最左侧,离卷烟品质特征指标最远,是卷烟中品质最差的。由以上分析知:卷烟品质特征指标之间有较强协调性;卷烟品质特征能够区分出卷烟的品质高高低;以大豆肽、葵花籽肽作为氮源进行美拉德反应形成的中间体普遍使卷烟存在口腔和喉部刺激大、收敛大、香气不足、烟气丰富性欠佳等问题;采用玉米肽作为氮源的美拉德反应中间体使卷烟具有口腔刺激小、烟气柔和圆润、香气足、杂气少的特点,与评吸结果一致。

采用 PLSR 分析法分析肽美拉德反应中间体制备条件与品质特征的相关关系,作为一种双线性模型分析方法,PLSR 可同时实现对自变量矩阵(X)和因变量矩阵

(Y) 的潜变量映射变换。PLSR 分析分为单因变量 (PLS1) 回归分析和多因变量 (PLS2) 回归分析两种, 前者适用于只有一个因变量存在时的相关分析, 后者适用于 2 个或 2 个以上因变量存在的分析。PLS1 即贡献性分析, 一次只能对一个因变量进行解释和预测。PLS2 是多因变量回归分析, 能消除因变量之间存在的多重共线性, 当因变量数目较多且相互之间关系较复杂时, 使用 PLS2 更有优势。在进行具体数据分析, 常常结合使用 PLS2 和 PLS1。首先通过 PLS2 分析快速判断自变量对因变量的整体影响, 进而根据 PLS2 分析结果, 针对性地对变量进行 PLS1 分析。以常规化学成分为 X 变量矩阵, 卷烟品质特征为 Y 变量矩阵进行 PLS2 相关性分析, 并建立模型, 结果见图 2。

由图 2 可知, 模型中前两个主成分累积提取了 X 变量 92% 的信息和 Y 变量 4% 的信息。水解度、蛋白溶出率及使用酶的数量在左侧, 对卷烟的品质特征产生负面影响。为进一步明确肽美拉德反应中间体制备条件对烟



小椭圆代表 50% 的解释方差, 大椭圆代表 100% 的解释方差; 小圆圈标注代表存在显著相关性 ($P < 0.05$)

图 2 肽美拉德反应中间体制备条件及其加香卷烟品质特征的相关性分析 (PLS2)

Figure 2 Correlation analysis of preparation conditions of the peptide derived Maillard reaction intermediates and quality characteristics of the flavoring cigarettes

气特性的影响关系, 对烟气特性的每个指标进行 PLS1 分析, 结果见图 3。

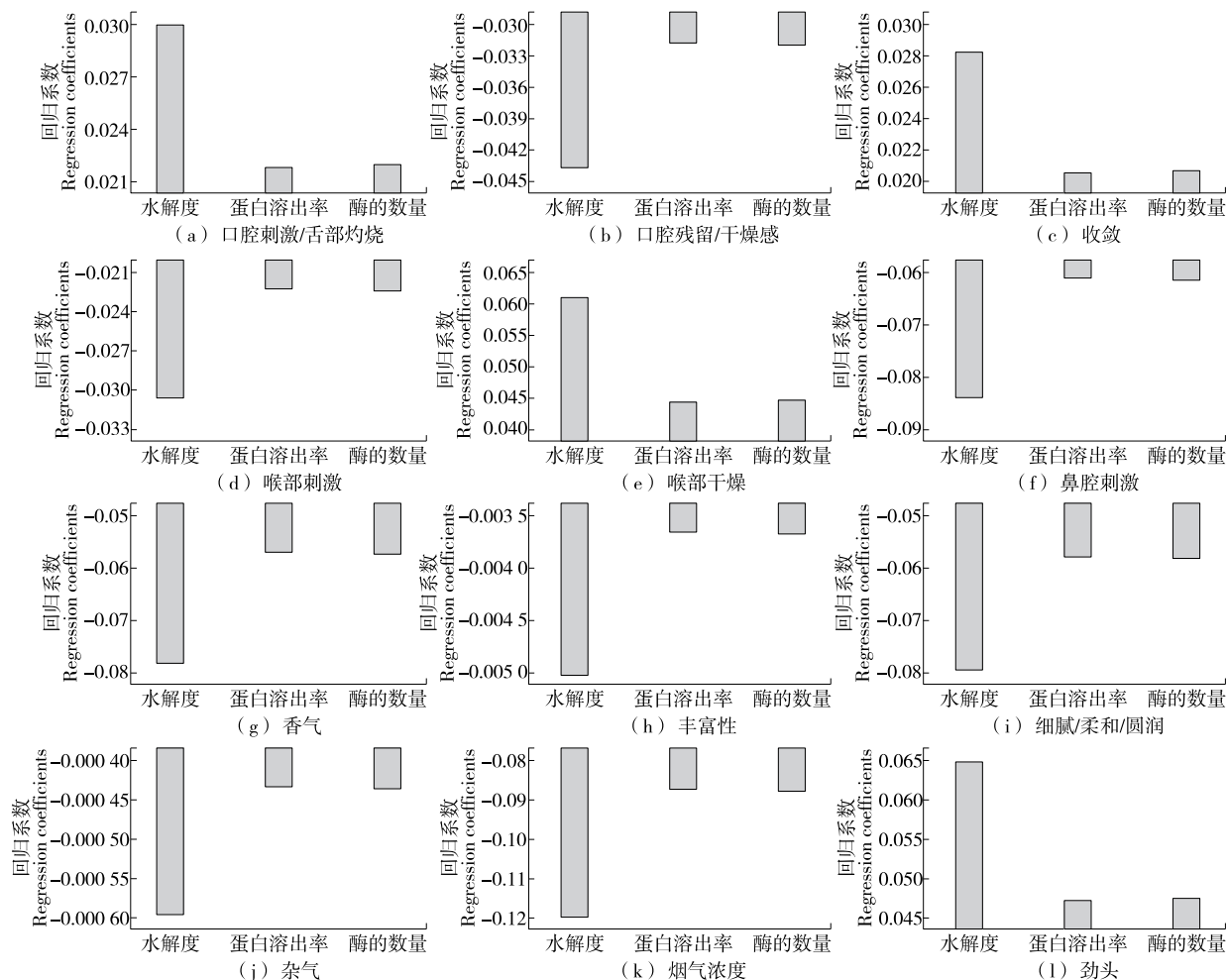


图 3 肽美拉德反应中间体制备条件对其加香卷烟烟气特性的贡献性分析 (PLS1)

Figure 3 Analysis of preparation conditions of the peptide derived Maillard reaction intermediates contribution to quality characteristics of the flavoring cigarettes (PLS1)

由图3可知,蛋白溶出率与口腔刺激/舌部灼烧、收敛、喉部干燥、劲头呈显著正相关,与口腔残留/干燥感、喉部刺激、鼻腔刺激、香气、丰富性、细腻/柔和/圆润、杂气、烟气浓度呈显著负相关;而水解程度亦即酶的种数对各个燃吸品质指标没有相关性。可见,用于进行美拉德反应的底物蛋白肽浓度是调控美拉德反应中间体对卷烟燃吸品质影响的最关键因素,实际应用时应考虑采用蛋白溶出率大的蛋白肽进行美拉德反应中间体的制备并将

其应用于卷烟加香。

2.3 加香卷烟香气风格特征主成分及其与中间体制备条件的相关性

为进一步探索添加不同中间体的卷烟香气风格指标之间的相互影响及其对不同肽中间体的卷烟香韵分类情况,以评吸香气风格(表5)为变量对施加了美拉德反应中间体的卷烟样品进行PCA分析,结果见图4。

由图4可知,PC1和PC2仅代表了嗅香香气风格变

表5 卷烟样品的评吸香气风格得分[†]

Table 5 Scores of the aroma style of the cigarette samples

样品	烤烟烟香	晾晒烟烟香	清香	果香	辛香	木香	青滋香	花香	药草香	豆香	可可香	奶香	膏香	烘焙香	甜香
C1	8.0	—	2.0	3.5	—	—	3.0	1.0	—	—	—	—	—	7.5	6.0
C2	7.5	—	1.5	1.0	—	2.0	3.5	—	—	—	—	—	—	7.0	6.0
C3	6.5	—	—	3.5	—	2.0	1.0	—	—	—	—	—	—	7.0	4.0
C4	7.0	—	1.5	1.0	—	1.5	1.5	1.5	—	—	—	—	—	7.0	6.5
C5	7.5	—	1.5	3.5	—	1.0	2.0	—	—	1.0	—	1.0	—	7.0	4.0
C6	8.0	—	1.0	3.5	—	1.0	2.0	—	—	—	—	—	—	6.0	4.0
C7	9.0	—	4.0	2.0	—	1.0	1.0	—	—	—	—	1.0	—	5.0	5.0
K1	8.0	—	5.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	—	—	—	—	1.0	1.0	2.0
K2	7.5	—	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	—	—	1.0	—	—	1.0	7.0	2.0
K3	7.5	—	3.5	2.0	1.0	2.0	1.5	—	—	—	—	—	1.0	6.0	2.0
K4	7.5	—	5.5	1.0	1.0	1.0	1.5	—	—	—	—	—	1.0	2.0	1.5
K5	8.5	—	4.0	1.0	—	1.0	1.0	0.5	—	—	—	—	1.0	2.0	2.0
K6	7.0	—	6.0	1.0	—	1.0	1.0	—	—	—	—	—	1.0	2.0	1.0
K7	6.0	—	2.5	1.0	—	1.0	1.5	—	—	—	—	—	1.0	7.0	1.0
G1	7.5	—	3.5	—	—	1.0	—	—	—	—	1.0	—	—	1.0	—
G2	8.0	—	6.5	—	—	1.5	—	—	—	—	1.0	—	—	1.0	—
G3	8.5	—	4.5	—	—	1.0	—	2.0	—	—	1.0	—	—	7.5	—
G4	7.5	—	7.0	—	—	1.0	—	—	—	—	1.0	1.0	—	1.0	—
G5	7.5	—	2.5	—	—	1.0	—	—	0.5	—	1.0	1.0	—	1.0	—
G6	6.0	—	5.0	—	—	1.5	—	—	—	—	—	1.0	—	8.5	—
G7	6.5	—	—	—	—	1.0	—	—	—	—	—	0.5	—	7.5	—
S1	7.5	—	—	1.0	—	—	2.0	0.5	—	6.0	1.0	—	—	8.5	1.0
S2	8.5	—	—	1.0	—	—	2.0	—	—	6.0	1.0	—	—	3.0	1.5
S3	8.5	—	5.5	1.0	—	—	2.0	—	—	6.5	—	—	—	3.0	1.5
S4	9.0	—	—	2.0	—	—	2.0	—	—	6.0	—	—	—	3.0	1.5
S5	8.5	—	7.5	6.0	1.0	—	2.0	—	—	6.0	—	—	—	3.0	1.5
S6	7.0	—	—	2.0	1.0	—	2.0	—	—	6.0	—	—	—	3.0	1.0
S7	8.5	—	8.0	2.0	—	—	2.0	—	—	6.5	—	—	—	3.0	1.0
C1'	7.5	—	6.5	2.0	—	2.0	2.5	—	—	—	—	—	—	7.0	4.5
C2'	7.5	—	4.5	2.5	—	4.0	2.5	—	—	—	—	—	—	7.0	5.5
C4'	7.5	—	7.0	2.0	—	1.5	2.5	—	—	—	—	—	—	6.0	5.5
C6'	7.5	—	7.5	3.0	—	1.5	2.0	—	—	—	—	—	—	7.0	6.0
K1'	5.0	—	—	1.0	1.0	1.0	1.0	—	—	—	—	—	—	5.5	2.0

续表 5

样品	烤烟烟香	晾晒烟烟香	清香	果香	辛香	木香	青滋香	花香	药草香	豆香	可可香	奶香	膏香	烘焙香	甜香
K4'	7.5	—	—	1.0	1.0	1.0	1.0	—	—	—	—	—	—	7.0	1.5
G2'	6.5	—	—	—	—	—	1.5	—	—	—	1.0	—	—	4.0	—
G5'	3.0	—	—	6.5	—	—	1.0	—	—	—	1.0	0.5	—	4.0	—
S4'	8.0	—	1.5	1.0	—	—	2.0	—	—	5.5	2.0	—	—	3.0	2.5
S7'	6.5	—	1.5	1.0	—	—	2.0	1.0	—	5.5	1.5	—	—	8.5	1.0
P1	7.5	—	—	—	—	—	1.0	—	—	1.0	1.5	—	—	9.0	1.0
P2	8.0	—	—	—	—	—	1.0	—	—	1.5	1.5	—	—	9.0	1.0
P4	6.5	—	—	—	—	—	1.0	—	—	1.5	1.5	—	—	9.5	1.5
P6	8.5	—	—	—	—	—	1.0	—	—	1.0	1.0	—	—	9.0	1.0
CB	3.0	—	2.0	—	—	1.0	2.0	3.5	—	—	—	—	—	7.5	3.5
CD	7.0	—	1.5	1.0	—	1.0	2.0	5.0	—	—	—	—	—	3.0	4.5
CJ	8.5	—	2.0	1.0	—	1.0	2.5	6.0	—	—	—	—	—	3.0	6.0
CY	5.0	—	1.5	—	—	1.0	2.0	5.0	—	—	—	—	—	7.0	5.5
CZ	5.0	—	1.5	1.0	—	1.0	2.0	6.5	—	—	—	—	—	7.5	5.5
NB	6.5	—	1.5	1.0	—	—	1.0	5.0	—	—	—	—	—	2.0	5.0
ND	7.5	—	2.0	1.0	—	—	1.0	5.5	—	—	—	—	—	7.0	6.0
NJ	3.0	—	1.5	—	—	—	1.0	4.0	—	0.5	—	—	—	7.0	5.5
NY	5.5	—	1.5	1.0	—	—	—	4.5	—	—	—	—	—	7.0	5.5
NZ	7.5	—	—	—	—	—	—	3.0	—	—	—	—	—	7.0	5.1

† “—”表示卷烟样品未表现出该香韵香气。

量的 32% 的信息,各个指标及卷烟样品在主成分分析图上也较为分散,可能是由香气风格指标较多且相互之间协同作用较弱导致的;由图 2 也可以明显看出样品 CJ、NJ 和 CY 的评吸香气风格类似,甜香和花香都比较突出;果香、膏香、豆香和清香距离相对较近,说明 4 种评吸香韵风格可能具有一定的协同作用^[21],奶香和药草香距离较近,说明这两种评吸香韵风格可能具有一定的协同作用,产生奶香的物质在一定程度上也能产生药草香。该研究结果表明不同的香型会存在同源情况,即同一种物质或同一类物质的协同将引起两个或多个香型的同时出现。

以美拉德反应中间体制备时蛋白水解度、蛋白溶出率及使用酶的数量为 X 变量矩阵,评吸香气风格烤烟

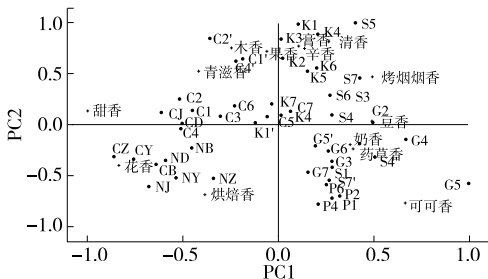


图 4 基于香气风格的卷烟样品主成分分析
Figure 4 Principal component analysis of the flavoring cigarette samples for aroma style

烟香、清香、果香、辛香、木香、青滋香、花香、药草香、豆香、可可香、奶香、膏香、烘焙香、甜香为 Y 变量矩阵,对两者进行 PLS2 分析建立模型,结果如图 5。

由图 5 可知,模型对 X 变量的解释率为 93%,对 Y 变量的解释率为 14%,因此主要从 X 轴距离判定不同样品的差异性。青滋香和木香位于椭圆最左侧,可可香和奶香位于椭圆最右侧;水解度、蛋白溶出率及加酶量与可可香、奶香呈正相关。对评吸香气风格青滋香、木香、烘焙香、烤烟烟香等进行 PLS1 分析,结果如图 6 所示。

由图 6 可知,水解度与烤烟烟香、清香、木香、青滋

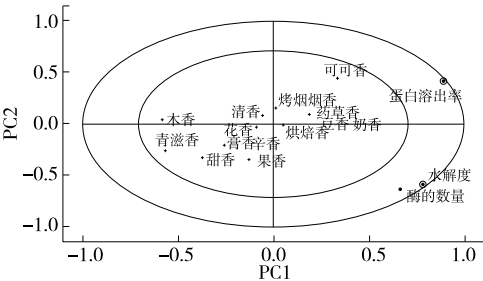


图 5 美拉德反应中间体制备条件与香气风格的相关性分析
Figure 5 Correlation analysis of preparation conditions of the peptide derived Maillard reaction intermediates and aroma style of the flavoring cigarettes

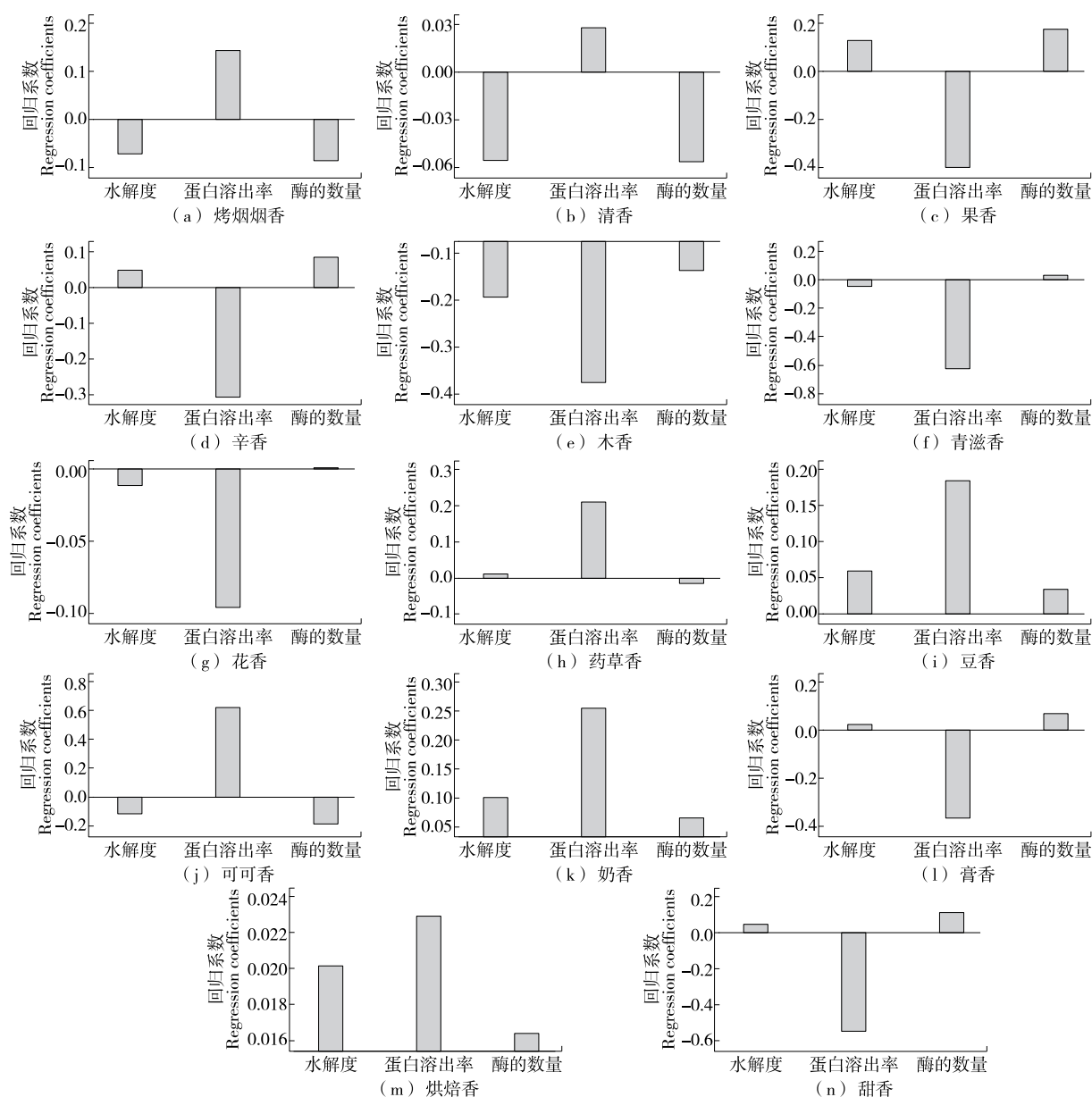


图6 美拉德反应中间体制备条件对香气风格的贡献性分析(PLS1)

Figure 6 Analysis of preparation conditions of the peptide derived Maillard reaction intermediates contribution to aroma style of the flavoring cigarettes (PLS1)

香、花香、可可香呈显著负相关,与果香、辛香、药草香、豆香呈显著正相关。蛋白溶出率与烤烟烟香、清香、药草香、豆香、可可香呈显著正相关,与果香、辛香、木香、青滋香、花香呈显著负相关。水解度越高,水解产物的分子量越小,因此更容易发生美拉德反应^[22],尤其通过 Strecker 降解形成吡嗪强化烘烤香、形成 Strecker 醛强化青滋香和花香。如果美拉德反应程度弱,则烘烤香弱化,酯类物质或呋喃类物质的形成相对增强,对果香、药草香和豆香的强化作用提高。蛋白溶出率越高,美拉德反应越容易发生,因此与水解度对卷烟香韵的影响关系相似,然而还可以发现不同之处,蛋白溶出率较高而水解度较低时,酶解产物

浓度较高但是以相对分子量较大的肽形式存在,该条件下药草香和豆香得以强化,说明药草香和豆香的形成与相对分子量较大的肽的美拉德反应有关;在蛋白溶出率较低而水解度较高时,大量的酪氨酸 R 基暴露,在美拉德反应过程中易发生交联,引起酚类聚合物的形成,导致木香气味的产生。根据该研究结果,可以针对不同的卷烟产品香韵特征,通过调节水解度和蛋白溶出率制备不同的肽美拉德反应中间体强化不同的卷烟香气风格。

3 结论

利用碱性蛋白酶和风味蛋白酶在不同的工艺条件下

对玉米蛋白、葵花籽蛋白、小麦面筋蛋白、大豆蛋白进行水解,得到植物蛋白肽,再通过二阶段变温美拉德反应明确了肽美拉德反应中间体形成的条件为 90 ℃、60 min,在此条件下进行热反应制备的肽美拉德反应中间体添加至卷烟中,发现中间体能够强化卷烟特征吃味、圆和烟气,具有良好的加香矫味效果,其中玉米肽美拉德反应中间体增香效果最理想。植物蛋白酶解后的蛋白溶出率与烟气口腔刺激/舌部灼烧、收敛、喉部干燥、劲头呈显著正相关,与口腔残留/干燥感、喉部刺激、鼻腔刺激、香气、丰富性、细腻/柔和/圆润、杂气、烟气浓度呈显著负相关。用于进行美拉德反应的底物蛋白肽浓度是调控美拉德反应中间体对卷烟燃吸品质影响的最关键因素。水解度与烤烟烟香、清香、木香、青滋香、花香、可司香呈显著负相关,与果香、辛香、药草香、豆香呈显著正相关。蛋白溶出率与烤烟烟香、清香、药草香、豆香、可司香呈显著正相关,与果香、辛香、木香、青滋香、花香呈显著负相关。可以针对不同的卷烟产品香韵特征,通过调节水解度和蛋白溶出率制备不同的肽美拉德反应中间体强化不同的卷烟香气风格。

参考文献

- [1] 甘学文, 王光耀, 邓仕彬, 等. 外源美拉德反应中间体在卷烟加工中的含量变化及致香效果[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 77-82.
GAN Xue-wen, WANG Guang-yao, DENG Shi-bin, et al. The content change of exogenous Maillard reaction intermediates during cigarette processing and its improving effect on aromas[J]. Food & Machinery, 2017, 33(5): 77-82.
- [2] 张敦铁. Maillard 反应中间体的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006: 6-7.
ZHANG Dun-tie. Research on Maillard reaction intermediates[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2006: 6-7.
- [3] WANG X, WANG Y, XU S. DSC analysis of a simply supported anisotropic rectangular plate[J]. Composite Structures, 2012, 94(8): 2 576-2 584.
- [4] 鲍辰卿, 邱家丹, 许春平, 等. 美拉德反应产物在烤烟型卷烟中的增香效果[J]. 轻工科技, 2015(8): 131-133.
BAO Chen-qing, QIU Jia-dan, XU Chun-ping, et al. Enhancing effect of Maillard reaction products on flue-cured cigarettes[J]. Light Industry Science & Technology, 2015(8): 131-133.
- [5] ALI H, PATZOLD R, BRUCKNER H. Determination of L- and D-amino acids in smokeless tobacco products and tobacco[J]. Food Chemistry, 2006, 99(4): 803-812.
- [6] RODGMAN A, PERFETTI T A. The chemical components of tobacco and tobacco smoke[M]. Los Angeles: CRC Press, 2013: 27-42.
- [7] 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 Xue-wen, WANG Guang-yao, DENG Shi-bin, 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.
- [8] 毕莉莎, 李璠, 刘志华. 美拉德反应产物的抗氧化性及在烟草中应用研究进展[J]. 云南化工, 2020, 37(1): 58-61.
BI Li-sha, LI Fan, LIU Zhi-hua. Review on the antioxidant activity of the Maillard reaction products and its applications in the tobacco industry[J]. Yunnan Chemical Technology, 2020, 37(1): 58-61.
- [9] 程传玲, 杨艳勤, 刘仕民, 等. 美拉德反应产物在烟草工业中的应用[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2014, 29(1): 59-62.
CHENG Chuan-ling, YANG Yan-qin, LIU Shi-min, et al. Application of Maillard reaction products in tobacco industry[J]. Journal of Zhengzhou University of Light Industry (Natural Science Edition), 2014, 29(1): 59-62.
- [10] CERNY C. Origin of carbons in sulfur-containing aroma compounds from the Maillard reaction of xylose, cysteine and thiamine[J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(8): 1 309-1 315.
- [11] SHIPAR M. Formation of the Heyns rearrangement products in dihydroxyacetone and glycine Maillard reaction: A computational study[J]. Food Chemistry, 2006, 97(2): 231-243.
- [12] 徐晓燕, 孙五三, 王能如. 烟草多酚类化合物的合成与烟叶品质的关系[J]. 中国烟草科学, 2003, 24(1): 3-5.
XU Xiao-yan, SUN Wu-san, WANG Neng-ru. Synthesis of polyphenolic compounds and their effects on tobacco quality[J]. Chinese Tobacco Science, 2003, 24(1): 3-5.
- [13] 高艳华, 王联结. 国内外食品蛋白质发展概况[J]. 食品研究与开发, 2003, 24(5): 58-60.
GAO Yan-hua, WANG Lian-jie. The development of food protein[J]. Food Research & Development, 2003, 24(5): 58-60.
- [14] 潘超然. 卵白蛋白提取及其口服液的研制[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2005, 34(4): 531-534.
PAN Chao-ran. Extraction of egg albumen protein and preparation of its beverage[J]. Journal of Fujian Agriculture & Forestry University (Natural Science Edition), 2005, 34(4): 531-534.
- [15] 张治国, 王君虹, 陈新峰, 等. 酶解蛋清粉制备蛋清蛋白肽工艺条件研究[J]. 浙江农业科学, 2010(2): 318-320.
ZHANG Zhi-guo, WANG Jun-hong, CHEN Xin-feng, et al. Processing conditions of albumin peptides preparation by enzymolysis of egg albumen powders[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2010(2): 318-320.
- [16] YANG Jun, DENG Shi-bin, YIN Jie, et al. Preparation of 1-amino-1-deoxyfructose derivatives by stepwise increase of temperature in aqueous medium and their flavor formation compared with Maillard reaction products[J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 11: 694-704.
- [17] CUI H, JIA C, HAYAT K, et al. Controlled formation of flavor compounds by preparation and application of Maillard reaction intermediate (MRI) derived from xylose and phenylalanine[J]. RSC Advances, 2017, 7(72): 45 442-45 451.

(下转第 50 页)

- total flavonoids of different *dendrobium officinale* extracts [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2014, 20(3): 438-442.
- [11] 李志强, 周红秋, 欧阳臻, 等. 不同生长年限霍山石斛的主要成分和对急性肝损伤保护作用的比较研究[J]. *中国中药杂志*, 2021, 46(2): 298-305.
- LI Zhi-qiang, ZHOU Hong-qiu, OU-YANG Zhen, et al. Comparison of active ingredients and protective effects of *dendrobium huoshanense* of different growth years on acute liver injury[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2021, 46(2): 298-305.
- [12] 李娟, 麻晓雪, 李顺祥, 等. 铁皮石斛中总酚的含量测定[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2013, 19(24): 60-62.
- LI Juan, MA Xiao-xue, LI Shun-xiang, et al. Determination of total phenols in *dendrobium officinale* caulis[J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2013, 19(24): 60-62.
- [13] DONG Xu-zhe, HUANG Yu-ying, WANG Yi-hai, et al. Anti-inflammatory and antioxidant jasmonates and flavonoids from lychee seeds[J]. *J Funct Foods*, 2019, 54(3): 74-80.
- [14] JIN Liang, LI Xiao-bai, TIAN Dan-qing, et al. Antioxidant properties and color parameters of herbal teas in China[J]. *Ind Crops Prod*, 2016, 87(9): 198-209.
- [15] 陈静, 陈乃东, 郑途. 四种石斛的根、茎、叶主要成分及其 DPPH 自由基清除能力对比[J]. *北方园艺*, 2020(10): 128-133.
- CHEN Jing, CHEN Nai-dong, ZHENG Quan. Comparative study on the main constituents and scavenging DPPH free radicals of root, stem and leaf of four *dendrobium* plants[J]. *Northern Horticulture*, 2020(10): 128-133.
- [16] 黄彪, 何伟, 吴建鸿, 等. UPLC-MS/MS 同时测定铁皮石斛茎、叶、花中酚类组分的含量[J]. *食品科学*, 2021, 42(10): 262-268.
- HUANG Biao, HE Wei, WU Jian-hong, et al. Simultaneous determination of phenolic components in *dendrobium officinale* stem, leave and flower by ultra high performance liquid [J]. *Food Science*, 2021, 42(10): 262-268.
- [17] 李芳, 魏石, 陈艳杰. 铁皮石斛茎、叶、花中黄酮含量及其体外抗氧化活性研究[J]. *中医学报*, 2019, 34(5): 1 020-1 023.
- LI Fang, WEI Shi, CHEN Yan-jie. Study on the content of flavonoids in stems, leaves and flowers of *dendrobium officinale* kimura & migo and its antioxidant activity in vitro [J]. *Acta Chinese Medicine*, 2019, 34(5): 1 020-1 023.
- [18] 魏明, 刘艳艳, 蔡为荣, 等. 霍山石斛多酚超声波辅助提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. *食品与机械*, 2016, 32(7): 136-140.
- WEI Ming, LIU Yan-yan, CAI Wei-rong, et al. Optimization on ultrasonic-assisted extraction of polyphenols from *Dendrobium huoshanense* and its antioxidant activity[J]. *Food & Machinery*, 2016, 32(7): 136-140.
- [19] 陈明威, 魏明, 陶良凡, 等. 大孔树脂分离纯化霍山石斛多酚及其抗氧化活性研究[J]. *食品与机械*, 2020, 36(11): 148-153.
- CHEN Ming-wei, WEI Ming, TAO Liang-fan, et al. Purification of polyphenols from *Dendrobium huoshanense* by macroporous resin and its antioxidant activity[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(11): 148-153.
- [20] CHO J Y, KIM C M, LEE H J, et al. Caffeoyl triterpenes from pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai.) fruit peels and their antioxidative activities against oxidation of rat blood plasma[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(19): 4 563-4 569.
- [21] 黄凯伟, 严慕贤, 李运容, 等. 铁皮石斛碱溶性和水溶性多糖的比较研究[J]. *广东药学院学报*, 2016, 32(1): 46-50.
- HUANG Kai-wei, YAN Mu-xian, LI Yun-rong, et al. Comparison between alkali-soluble and water-soluble polysaccharides from *dendrobium officinale* [J]. *Journal of Guangdong Pharmaceutical University*, 2016, 32(1): 46-50.
- [22] 诸燕, 张爱莲, 何伯伟, 等. 铁皮石斛总生物碱含量变异规律[J]. *中国中药杂志*, 2010, 35(18): 2 388-2 391.
- ZHU Yan, ZHANG Ai-lian, HE Bo-wei, et al. Quantitative variation of total alkaloids contents in *dendrobium officinale* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2010, 35(18): 2 388-2 391.
- [23] 尚喜雨. 不同来源铁皮石斛不同部位生物碱的分布规律研究[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(23): 12 441-12 442.
- SHANG Xi-yu. Research on the distribution of the alkaloids in the different parts of the *dendrobium candidum* with various origins[J]. *Journal of Agri Sci*, 2010, 38(23): 12 441-12 442.
- (上接第 44 页)
- [18] HONG P K, BETTI M. Non-enzymatic browning reaction of glucosamine at mild conditions: Relationship between colour formation, radical scavenging activity and alpha-dicarbonyl compounds production[J]. *Food Chemistry*, 2016, 212: 234-243.
- [19] 徐珊珊. 小麦面筋蛋白美拉德肽的制备及风味特性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018: 10.
- XU Shan-shan. Research on preparation and flavor characteristics of wheat gluten Maillard peptide[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018: 10.
- [20] SONG S, ZHANG X, HAYAT K, et al. Correlating chemical parameters of controlled oxidation tallow to gas chromatography-mass spectrometry profiles and e-nose responses using partial least squares regression analysis[J]. *Sensors & Actuators: B. Chemical*, 2010, 147: 660-668.
- [21] 沈宁. 基于品质风格特征剖析的中低档卷烟改善研究[D]. 无锡: 江南大学, 2016: 16.
- SHEN Ning. Research on improvement of intermediate and low grade cigarette based on the analysis of its quality style characteristics[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016: 16.
- [22] YAN F, CUI H, ZHANG Q, et al. Small peptides hydrolyzed from pea protein and their Maillard reaction products as taste modifiers: Saltiness, umami, and kokumi enhancement [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2021, 14: 1 132-1 141.