

烤烟游离氨基酸与美拉德反应产物的相关分析

魏晓凯, 罗小兵, 赵杰, 姚忠虎

甘肃省烟草公司庆阳市公司, 甘肃 庆阳

收稿日期: 2023年2月28日; 录用日期: 2023年3月23日; 发布日期: 2023年3月31日

摘要

目的: 明确烤烟内游离氨基酸与美拉德反应产物的相关关系, 为改善烤烟香味成分、提高烟叶工业可用性提供理论依据。方法: 采集正宁县植烟区3个乡镇的烤烟样品进行游离氨基酸含量和美拉德反应产物含量的测定, 并对两者进行描述统计性分析、简单相关和典型相关分析。结果: 简单相关分析表明, 组氨酸含量与糠醛含量呈极显著正相关关系。缬氨酸含量与2-乙酰基咪唑含量呈极显著负相关关系, 蛋氨酸含量与2-乙酰基咪唑、3,4-二甲基-2,5-咪唑二酮以及2-乙酰基吡咯含量均呈极显著正相关关系。色氨酸含量与5-甲基糠醛含量呈极显著负相关关系。苯丙氨酸含量与3,4-二甲基-2,5-咪唑二酮以及2-乙酰基吡咯含量均呈极显著正相关关系, 与2-乙酰基咪唑含量呈显著正相关关系。典型相关分析表明, 在一定范围内, 随着蛋氨酸和苯丙氨酸含量的降低以及色氨酸含量的升高, 引起美拉德反应产物糠醇、2-乙酰基咪唑、3,4-二甲基-2,5-咪唑二酮和2-乙酰基吡咯含量的升高。随着组氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、色氨酸和丙氨酸含量的升高, 引起美拉德反应产物糠醛含量的升高和2-乙酰基咪唑、5-甲基糠醛含量的降低。结论: 烤烟内游离氨基酸及其组合与美拉德反应产物含量密切相关。在大田生育期, 可以通过喷施外源氨基酸来调控美拉德反应产物含量, 进而满足卷烟工业香味风格需要, 提高烤烟工业可用性。

关键词

游离氨基酸, 美拉德反应产物, 香味物质, 典型相关分析

Correlation Analysis of Free Amino Acids and Maillard Reaction Products in Flue-Cured Tobacco

Xiaokai Wei, Xiaobing Luo, Jie Zhao, Zhonghu Yao

Qingyang Company of Gasu Tobacco Company, Qingyang Gasu

Received: Feb. 28th, 2023; accepted: Mar. 23rd, 2023; published: Mar. 31st, 2023

文章引用: 魏晓凯, 罗小兵, 赵杰, 姚忠虎. 烤烟游离氨基酸与美拉德反应产物的相关分析[J]. 植物学研究, 2023, 12(2): 103-112. DOI: 10.12677/br.2023.122015

Abstract

Objective: To clarify the correlation between free amino acids and Maillard reaction products in flue-cured tobacco, and to provide a theoretical basis for improving the aroma components of flue-cured tobacco and improving the usability of the tobacco industry. **Methods:** The contents of free amino acids and Maillard reaction products in flue-cured tobacco samples collected from 3 towns in Zhengning County were determined, and the two were analyzed by descriptive statistics, simple correlation and canonical correlation. **Results:** Simple correlation analysis showed that there was a significant positive correlation between histidine content and furfural content. The content of valine was negatively correlated with 2-acetylfuran, the content of methionine was positively correlated with 2-acetylfuran, 3,4-dimethyl-2,5-furandione and 2-acetylpyrrole, the content of tryptophan was negatively correlated with 5-methylfurfural, and the content of phenylalanine was positively correlated with 3,4-dimethyl-2,5-furandione, the content of 5-furandione and 2-acetylpyrrole was significantly positively correlated, and the content of 2-acetylfuran was significantly positively correlated. Canonical correlation analysis showed that with the decrease of methionine and phenylalanine content and the increase of tryptophan content, the contents of furfuryl alcohol, 2-acetylfuran, 3,4-dimethyl-2,5-furandione and 2-acetylpyrrole increased. With the increase of the contents of histidine, valine, methionine, tryptophan and alanine, the content of furfural in Maillard reaction products increased and the content of 2-acetylfuran and 5-methylfurfural decreased. **Conclusion:** The content of free amino acids and their combinations in flue-cured tobacco is closely related to Maillard reaction products. In the field growth period, the content of Maillard reaction products can be regulated by spraying exogenous amino acids, so as to meet the needs of the cigarette industry flavor style and improve the usability of the flue-cured tobacco industry.

Keywords

Free Amino Acids, Maillard Reaction Products, Aroma Substances, Canonical Correlation Analysis

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

烟叶中性香味物质是影响烟叶质量最直接的化学成分,对烟叶香气质、香气量以及香型起着决定性作用[1]。美拉德反应产物是氨基酸与还原糖在一定条件下产生分子重组的结果,它作为香味物质的重要组成部分,主要包括糠醛、糠醇、2-乙酰基呋喃、5-甲基糠醛、3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮和2-乙酰基吡咯6种物质,其具有的坚果香、面包香、黄油香、谷香、油香和甜香对烤烟香气风格的形成尤为重要[2] [3] [4]。游离氨基酸是烤烟中重要的含氮化合物,不仅影响烟叶的外观质量,还是多种香味物质的直接前体物质,对烤烟香吃味起着关键性作用[5] [6]。因此,明确烤烟内游离氨基酸种类及其含量对美拉德反应产物含量的影响,对调控烤烟香吃味进而提高卷烟感官品质有重要的意义。烤烟的香味物质种类及其含量受多种因素的影响。乔新荣等[7]研究发现,光照强度对烤烟内美拉德反应产物含量有显著的影响,弱光不利于美拉德反应产物含量的提高。文俊等[8]研究表明,烤烟上部叶适熟以18片/株的留叶数对于提高美拉德反应产物含量作用显著。王林等[9]研究发现,8月的平均气温及3月的平均日照时数对美拉德反

应产物中的糠醇、糠醛和 3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮含量影响显著或极显著。李玲燕等[10]研究发现,年积温、无霜期与美拉德反应产物之间的关系密切,年积温 5000℃左右和无霜期 230 d 左右时,美拉德反应产物含量较高。樊文举等研究发现,烤烟品种 K326 的美拉德反应产物含量显著高于 YN99 和秦烟 96。氨基酸是美拉德反应产物的主要底物之一已被人熟知,但具体哪种氨基酸会影响哪一类美拉德反应产物却鲜有报道。本文以正宁县烤烟样品为研究对象,通过描述性统计分析、简单相关和典型相关分析,来揭示烤烟内游离氨基酸与美拉德反应产物含量的关联程度,以期改善烤烟香吃味、提高烟叶工业可用性提供理论依据。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

试验供试品为秦烟 96,采集于正宁县 3 个植烟乡镇,其中永正 25 个,榆林子 20 个,宫河 30 个,共 75 个烤烟样品。

2.2. 试验方法

试验于 2022 年在正宁县植烟区进行,烤烟的育苗方式为湿润育苗,各采集区均按照当地优质烟叶的大田生产管理方式进行烟田管理。待烟叶成熟时进行取样,每个样品剪去主脉后采取半叶法取样。一半叶片 105℃杀青 20 分钟后,再 60℃烘干,用于氨基酸含量测定。另一半烘烤调制后,均匀置于 45℃左右的烘箱内 2 个小时,用碾子研磨后过 60 目的筛子,而后对烤烟美拉德反应产物含量进行测定。

2.3. 测定项目及方法

按照烟草行业标准 YC/T 31-1996 [11]规定的方法处理烟叶样品,通过 60 目筛过滤制备试样。所得试样采用 YC/T 282-2009 [12]规定的方法测定样品游离氨基酸的含量与组分:称取 1 g 烟末(精确至 0.0001 g)于 100 ml 磨口三角瓶中,准确加入 0.005 mol/L 盐酸溶液 50 ml,超声萃取 30 min,经离心、过滤后,样品上氨基酸自动分析仪检测。

烤烟美拉德产物含量测定参考王玉华等[13]方法,利用蒸馏萃取仪和气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)测定。

2.4. 统计分析

数据分析采用 SPSS 25.0 进行描述统计性分析、因子分析、简单相关和典型相关分析。

3. 结果分析

3.1. 烤烟游离氨基酸含量与美拉德反应产物含量描述性统计分析结果

由表 1 可知,游离氨基酸各项指标的变异系数依次为:天冬氨酸 > 组氨酸 > 谷氨酸 > 蛋氨酸 > 亮氨酸 > 赖氨酸 > 色氨酸 > 丝氨酸 > 精氨酸 > 酪氨酸 > 胱氨酸 > 4-氨基丁酸 > 甘氨酸 > 苏氨酸 > 缬氨酸 > 异亮氨酸 > 脯氨酸 > 苯丙氨酸 > 丙氨酸,美拉德反应产物各项指标的变异系数依次为:2-乙酰基呋喃 > 2-乙酰基吡咯 > 3,4-二甲基-2,5 呋喃二酮 > 糠醇 > 5-甲基糠醛 > 糠醛。游离氨基酸的变异系数范围在 10.35%~33.32%之间,美拉德反应产物的变异系数在 38.02%~142.49%之间。烤烟的所有指标除苏氨酸、丝氨酸、丙氨酸、缬氨酸、胱氨酸、异亮氨酸和酪氨酸偏度系数为左偏峰(负值)外,其余指标偏度系数均是右偏峰(正值)。丝氨酸、丙氨酸、精氨酸、脯氨酸和糠醇的峰度系数为负值,为平阔峰,数据相对分散,其余烤烟各项指标的峰度系数均为正值,为尖峭峰,数据分布相对集中。说明烤烟内各

项游离氨基酸指标均呈正态分布，数据稳定性较好，具有较强统计学意义。

Table 1. Results of descriptive statistical analysis of free amino acid content and Maillard reaction product content in flue-cured tobacco

表 1. 烤烟游离氨基酸含量与美拉德反应产物含量描述性统计分析结果

指标	均值	标准差	峰度系数	偏度系数	变异系数
天冬氨酸($\mu\text{g/g}$)	190.79	63.57	1.58	0.98	33.32
苏氨酸($\mu\text{g/g}$)	136.10	22.66	0.40	-0.13	16.65
丝氨酸($\mu\text{g/g}$)	255.40	69.03	-0.46	-0.31	27.03
谷氨酸($\mu\text{g/g}$)	185.52	56.81	0.77	1.04	30.62
甘氨酸($\mu\text{g/g}$)	40.32	7.35	1.99	1.09	18.22
丙氨酸($\mu\text{g/g}$)	855.66	88.59	-0.05	-0.72	10.35
缬氨酸($\mu\text{g/g}$)	474.24	65.26	0.34	-0.72	13.76
胱氨酸($\mu\text{g/g}$)	46.38	9.54	4.19	-1.05	20.57
蛋氨酸($\mu\text{g/g}$)	4.57	1.39	0.43	0.69	30.33
异亮氨酸($\mu\text{g/g}$)	8.00	1.07	0.28	-0.21	13.41
亮氨酸($\mu\text{g/g}$)	34.06	9.92	1.86	1.31	29.13
酪氨酸($\mu\text{g/g}$)	61.14	12.63	2.60	-0.36	20.65
苯丙氨酸($\mu\text{g/g}$)	140.69	16.37	0.06	0.68	11.64
4-氨基丁酸($\mu\text{g/g}$)	313.99	63.08	4.87	1.24	20.09
赖氨酸($\mu\text{g/g}$)	46.82	13.56	2.11	1.00	28.97
组氨酸($\mu\text{g/g}$)	186.02	61.91	5.31	1.68	33.28
色氨酸($\mu\text{g/g}$)	352.34	99.29	4.23	1.79	28.18
精氨酸($\mu\text{g/g}$)	58.01	15.50	-0.47	0.67	26.72
脯氨酸($\mu\text{g/g}$)	9855.87	1293.93	-0.24	0.15	13.13
糠醛($\mu\text{g/g}$)	13.02	4.95	2.74	1.08	38.02
糠醇($\mu\text{g/g}$)	4.16	2.56	-0.79	0.54	61.40
2-乙酰基咪喃($\mu\text{g/g}$)	1.75	2.49	5.00	2.15	142.49
5-甲基糠醛($\mu\text{g/g}$)	1.52	0.84	1.85	1.17	55.54
3,4-二甲基-2,5 咪喃二酮($\mu\text{g/g}$)	2.41	1.85	-0.85	0.56	76.74
2-乙酰基吡咯($\mu\text{g/g}$)	1.98	1.93	0.07	0.91	97.54

3.2. 烤烟游离氨基酸含量的因子分析结果

为了便于烤烟内游离氨基酸含量和美拉德反应产物含量的相关关系研究，利用因子主成份分析法对烤烟内游离氨基酸进行筛选。由表 2 可知，共筛选出具有代表性的 11 个主因子，且 11 个主因子的累计贡献率达到 86.15%。其中，因子 1 主要反应组氨酸的变化，因子 2 主要反应缬氨酸的变化，因子 3 主要反应蛋氨酸的变化，因子 4 主要反应胱氨酸的变化，因子 5 主要反应色氨酸的变化，因子 6 主要反应苏

氨酸的变化, 因子 7 主要反应丝氨酸的变化, 因子 8 主要反应丙氨酸的变化, 因子 9 主要反应精氨酸的变化, 因子 10 主要反应苯丙氨酸的变化, 因子 11 主要反应谷氨酸的变化。

Table 2. Factor load matrix of free amino acids in flue-cured tobacco

表 2. 烤烟游离氨基酸指标的因子载荷矩阵

指标	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	因子 6
天冬氨酸	0.0072	-0.0533	0.0327	0.3352	0.6297	-0.2553
苏氨酸	-0.1080	0.0817	-0.0870	0.0318	-0.0169	0.8750
丝氨酸	-0.0850	-0.0208	0.0374	0.0074	-0.0248	-0.0849
谷氨酸	0.0402	0.0215	0.0049	0.0580	0.0034	0.0151
甘氨酸	0.6854	0.3285	0.1128	-0.0210	-0.0765	-0.2108
丙氨酸	0.1869	0.1051	0.1329	-0.0027	0.1939	-0.0217
缬氨酸	0.2361	0.8242	0.0216	0.2204	-0.0114	0.1527
胱氨酸	0.1177	0.3334	0.2330	0.7740	0.0826	0.1881
蛋氨酸	0.3539	-0.1434	0.8003	0.1546	0.1457	0.1435
异亮氨酸	-0.0045	0.2983	0.7925	0.0195	0.0640	-0.3113
亮氨酸	0.6451	0.3442	0.1196	0.1029	0.1832	0.3355
酪氨酸	0.5383	0.0528	0.0341	0.2998	0.0415	-0.2112
苯丙氨酸	-0.0179	-0.0577	0.0184	-0.0858	-0.0894	0.0385
4-氨基丁酸	0.3894	0.6086	0.1422	-0.0057	0.5240	-0.1161
赖氨酸	0.7273	0.3134	0.1826	0.2953	0.0549	-0.0319
组氨酸	0.8756	-0.0015	0.0872	0.0489	0.2568	-0.0237
色氨酸	0.3313	0.1078	0.2006	0.0097	0.7126	0.1843
精氨酸	0.2127	0.0821	0.0183	0.0309	0.0311	0.2337
脯氨酸	0.4618	-0.0157	-0.0675	0.6402	0.1081	-0.1735

指标	因子 7	因子 8	因子 9	因子 10	因子 11
天冬氨酸	-0.4599	0.2144	0.0833	0.0431	0.0219
苏氨酸	-0.0688	-0.0533	0.2184	0.0464	0.0237
丝氨酸	0.9291	-0.0105	-0.0830	0.0274	0.0505
谷氨酸	0.0498	0.0086	0.0016	-0.0782	0.9823
甘氨酸	-0.2417	0.1119	0.2277	0.1226	0.0270
丙氨酸	-0.0357	0.8664	0.0675	0.0275	-0.0098
缬氨酸	-0.0411	0.1642	0.0913	-0.0647	-0.0153
胱氨酸	-0.1784	0.0471	-0.1021	-0.1443	0.0420
蛋氨酸	0.0575	0.0535	-0.0607	-0.0396	-0.1433
异亮氨酸	-0.0143	0.1603	0.0930	0.0685	0.1574

Continued

亮氨酸	-0.0633	0.3088	-0.0324	-0.0546	-0.0674
酪氨酸	-0.0179	0.4688	0.1490	0.0220	0.1076
苯丙氨酸	0.0211	0.0251	-0.0256	0.9757	-0.0805
4-氨基丁酸	0.1047	-0.0763	0.0137	-0.0386	0.1317
赖氨酸	-0.0154	-0.0198	0.2313	-0.0879	-0.0043
组氨酸	0.0144	0.1416	0.0002	-0.0395	0.0356
色氨酸	0.0720	0.2969	-0.0027	-0.2224	-0.0525
精氨酸	-0.1034	0.0997	0.8956	-0.0305	-0.0002
脯氨酸	0.3329	0.0209	0.2547	-0.0203	0.0907

3.3. 烤烟游离氨基酸含量与美拉德反应产物含量的简单相关分析结果

将正宁县 3 个植烟乡镇烤烟样品的主要氨基酸含量与美拉德反应产物含量进行简单相关分析。由表 3 可知, 组氨酸含量与糠醛含量呈极显著正相关关系, 缬氨酸含量与 2-乙酰基咪唑含量呈极显著负相关关系, 蛋氨酸含量与 2-乙酰基咪唑、3,4-二甲基-2,5-咪唑二酮以及 2-乙酰基吡咯均呈极显著正相关关系, 色氨酸含量与 5-甲基糠醛呈极显著负相关关系, 苯丙氨酸含量与 3,4-二甲基-2,5-咪唑二酮以及 2-乙酰基吡咯含量均呈极显著正相关关系, 与 2-乙酰基咪唑含量呈显著正相关关系。

Table 3. Results of simple correlation analysis between free amino acid content and Maillard reaction product content in flue-cured tobacco

表 3. 烤烟游离氨基酸含量与美拉德反应产物含量的简单相关分析结果

指标	糠醛	糠醇	2-乙酰基咪唑	5-甲基糠醛	3,4-二甲基-2,5-咪唑二酮	2-乙酰基吡咯
组氨酸	0.318**	0.037	-0.149	-0.118	0.026	0.092
缬氨酸	0.124	0.159	-0.323**	-0.071	-0.017	0.003
蛋氨酸	0.207	-0.154	0.406**	0.128	0.329**	0.316**
胱氨酸	-0.071	0.134	-0.076	-0.146	-0.142	-0.067
色氨酸	0.155	0.141	-0.104	-0.259*	0.145	0.208
苏氨酸	-0.136	-0.048	-0.020	0.085	0.195	0.038
丝氨酸	0.146	-0.095	-0.184	0.024	-0.111	-0.140
丙氨酸	-0.021	-0.092	-0.133	-0.210	-0.058	-0.051
精氨酸	0.137	0.068	0.104	0.096	0.080	0.115
苯丙氨酸	0.067	0.220	0.267*	0.123	0.318**	0.391**
谷氨酸	-0.164	-0.076	0.056	-0.097	0.026	0.195

注: *表示显著相关($P < 0.05$)。表 5 同。

3.4. 烤烟游离氨基酸含量与美拉德反应产物含量的典型相关分析结果

为进一步地研究烤烟内游离氨基酸与美拉德反应产物之间的相关关系, 运用典型相关分析法对二者进行相关分析。烤烟内的组氨酸(X_1)、缬氨酸(X_2)、蛋氨酸(X_3)、胱氨酸(X_4)、色氨酸(X_5)、苏氨酸(X_6)、丝

氨酸(X_7)、丙氨酸(X_8)、精氨酸(X_9)、苯丙氨酸(X_{10})、谷氨酸(X_{11})作为自变量, 糠醛(Y_1)、糠醇(Y_2)、2-乙酰基咪唑(Y_3)、5-甲基糠醛(Y_4)、3,4-二甲基-2,5-咪唑二酮(Y_5)、2-乙酰基吡咯(Y_6)作为因变量, 进行典型相关分析。如表 4 所示, 烤烟游离氨基酸和美拉德反应产物含量的第 1 和第 2 典型变量的相关系数达到极显著水平, 第 3、4、5 和 6 典型变量相关系数不显著。

Table 4. Results of canonical correlation analysis between free amino acid content and Maillard reaction product content in flue-cured tobacco

表 4. 烤烟游离氨基酸含量与美拉德反应产物含量的典型相关分析结果

典型变量	相关系数	Wilks	df	P 值
1	0.67761	0.16457	66	0.00012
2	0.65711	0.30428	50	0.00823
3	0.47750	0.53551	36	0.27771
4	0.43216	0.69367	24	0.47633
5	0.32114	0.85298	14	0.73780
6	0.22122	0.95106	6	0.77556

烤烟游离氨基酸含量与美拉德反应产物含量的典型变量构成:

由表 5 可知, 根据典型相关模型 mi , 计算出原始变量与典型变量之间的相关系数 rui , 结果如下。

第 1 典型变量的构成:

$$U_1 = 0.00444X_1 - 0.00023X_2 - 0.44883X_3 - 0.01800X_4 + 0.00627X_5 - 0.00245X_6 - 0.00201X_7 - 0.00255X_8 + 0.00629X_9 - 0.03023X_{10} + 0.00170X_{11}$$

$$V_1 = 0.04773Y_1 + 0.05938Y_2 + 0.00644Y_3 - 0.41377Y_4 + 0.10950Y_5 + 0.40287Y_6$$

在第 1 典型变量(U_1, V_1)中, 由 U_1 与原始数据 X_i 的相关系数可知, U_1 与色氨酸(X_5)呈极显著正相关关系, 相关系数为 0.49717, 与蛋氨酸(X_3)和苯丙氨酸(X_{10})呈极显著负相关关系, 相关系数分别为-0.36611 和-0.63882, 而与组氨酸(X_1)、缬氨酸(X_2)、胱氨酸(X_4)、苏氨酸(X_6)、丝氨酸(X_7)、丙氨酸(X_8)、精氨酸(X_9)和谷氨酸(X_{11})没有显著相关关系。 V_1 与糠醇(Y_2)、2-乙酰基咪唑(Y_3)、3,4-二甲基-2,5-咪唑二酮(Y_5)和 2-乙酰基吡咯(Y_6)呈极显著正相关关系, 相关系数分别为 0.46228、0.54442、0.75510 和 0.90765, 而与糠醛(Y_1)和 5-甲基糠醛(Y_4)没有显著相关关系。 U_1 和 V_1 表明, 正宁烟区蛋氨酸、色氨酸和苯丙氨酸含量与美拉德反应产物糠醇、2-乙酰基咪唑、3,4-二甲基-2,5-咪唑二酮和 2-乙酰基吡咯含量关系密切, 在一定范围内, 随着蛋氨酸和苯丙氨酸含量的降低以及色氨酸含量的升高, 引起美拉德反应产物糠醇、2-乙酰基咪唑、3,4-二甲基-2,5-咪唑二酮和 2-乙酰基吡咯含量的升高。

第 2 典型变量构成:

$$U_2 = 0.00312X_1 + 0.01189X_2 + 0.26647X_3 - 0.03626X_4 + 0.00366X_5 + 0.00280X_6 + 0.00225X_7 - 0.00105X_8 - 0.02213X_9 + 0.01051X_{10} - 0.00003X_{11}$$

$$V_2 = 0.05405Y_1 + 0.07911Y_2 - 0.43697Y_3 - 0.37913Y_4 + 0.09415Y_5 - 0.17586Y_6$$

在第 2 典型变量(U_2, V_2)中, 由 U_2 与原始数据 X_i 的相关系数可知, U_2 与烤烟组氨酸(X_1)、缬氨酸(X_2)、蛋氨酸(X_3)和色氨酸(X_5)呈极显著正相关关系, 相关系数分别为 0.49939、0.66597、0.52143 和 0.54974, 与丙氨酸(X_8)呈显著正相关关系, 相关系数为 0.24321, 而与胱氨酸(X_4)、苏氨酸(X_6)、丝氨酸(X_7)、精氨酸(X_9)、苯丙氨酸(X_{10})和谷氨酸(X_{11})没有显著相关关系。 V_2 与糠醛(Y_1)呈极显著正相关关系, 相关系数为

0.45036, 与 2-乙酰基咪喃(Y_3)呈极显著负相关关系, 与 5-甲基糠醛(Y_4)呈显著负相关关系, 而与糠醇(Y_2)、3,4-二甲基-2,5-咪喃二酮(Y_5)和 2-乙酰基吡咯(Y_6)没有显著相关关系。 U_2 和 V_2 表明, 正宁烟区组氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、色氨酸和丙氨酸含量与美拉德反应产物糠醛、2-乙酰基咪喃和 5-甲基糠醛含量关系密切, 在一定范围内, 随着组氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、色氨酸和丙氨酸含量的升高, 引起美拉德反应产物糠醛含量的升高和 2-乙酰基咪喃、5-甲基糠醛含量的降低。

Table 5. Typical variable composition of free amino acid content and Maillard reaction product content in flue-cured tobacco
表 5. 烤烟游离氨基酸含量与美拉德反应产物含量的典型变量构成

变量	指标	典型变量 1		典型变量 2	
		$\lambda = 0.67761$		$\lambda = 0.65711$	
		mi	rui	mi	rui
X_1	组氨酸	0.00444	0.28919	0.00312	0.49939**
X_2	缬氨酸	-0.00023	0.10558	0.01189	0.66597**
X_3	蛋氨酸	-0.44883	-0.36611**	0.26647	0.52143**
X_4	胱氨酸	-0.01800	-0.04091	-0.03626	0.13717
X_5	色氨酸	0.00627	0.49717**	0.00366	0.54974**
X_6	苏氨酸	-0.00245	-0.00041	0.00280	-0.00666
X_7	丝氨酸	-0.00201	-0.18106	0.00225	0.22064
X_8	丙氨酸	-0.00255	0.00127	-0.00105	0.24321*
X_9	精氨酸	0.00629	0.17188	-0.02213	-0.06129
X_{10}	苯丙氨酸	-0.03023	-0.63882**	0.01051	0.05514
X_{11}	谷氨酸	0.00170	0.20813	-0.00003	-0.02866
		lj	rvj	lj	rvi
Y_1	糠醛	0.04773	0.03214	0.05405	0.45036**
Y_2	糠醇	0.05938	0.46228**	0.07911	0.01216
Y_3	2-乙酰基咪喃	0.00644	0.54442**	-0.43697	-0.82195**
Y_4	5-甲基糠醛	-0.41377	-0.16040	-0.37913	-0.23088*
Y_5	3, 4-二甲基-2,5-咪喃二酮	0.10950	0.75510**	0.09415	-0.16678
Y_6	2-乙酰基吡咯	0.40287	0.90765**	0.17586	-0.18251

注: λ 表示典型变量相关系数, mi 和 rui 表示烤烟内游离氨基酸的典型系数和典型负载系数, lj 和 rvj 表示美拉德反应产物的典型系数和典型负载系数。

4. 讨论

游离氨基酸对烤烟的生长发育有重要的影响。袁帅等[14]研究表明, 烤烟游离氨基酸含量以脯氨酸和丙氨酸较高, 以赖氨酸、异亮氨酸、亮氨酸和组氨酸较低。本研究中烤烟内低含量游离氨基酸为蛋氨酸和异亮氨酸, 与上述研究略有差异, 这是由烤烟品种、气候环境以及土壤养分差异造成的。

美拉德反应是氨基酸与还原糖之间发生的非棕色化反应, 不同种类氨基酸和还原糖决定了烤烟的不同香味风格[15][16]。戚莹等[17]研究表明, 组氨酸含量与糠醛含量之间没有显著相关关系, 缬氨酸含量与 2-乙酰基咪喃含量之间也没有显著相关关系, 苯丙氨酸含量与 3,4-二甲基-2,5-咪喃二酮含量呈显著正相关关系。李洪臣和过伟民等[18][19]研究发现, 烤烟内天冬氨酸、苯丙氨酸、丝氨酸、丙氨酸、谷氨酸、

缬氨酸和异亮氨酸含量与美拉德反应产物含量有显著的相关性。本研究结果表明, 苯丙氨酸含量与 3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮以及 2-乙酰基吡咯含量均呈极显著正相关关系, 与 2-乙酰基呋喃含量呈显著正相关关系, 这与上述研究基本一致, 但本研究中组氨酸含量与糠醛含量呈极显著正相关关系, 缬氨酸含量与 2-乙酰基呋喃呈极显著负相关关系, 这与上述研究不同, 可能也与试验地点、烤烟品种、土壤状况和气候环境等因素不同有关。本研究还发现, 蛋氨酸含量与 2-乙酰基呋喃、3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮以及 2-乙酰基吡咯含量均呈极显著正相关关系, 色氨酸含量与 5-甲基糠醛含量呈极显著负相关关系。

本研究通过典型相关分析发现, 游离氨基酸含量与美拉德反应产物含量间达到极显著水平的相关系数分别为 0.67761 和 0.65711, 说明两者具有较强相关性, 这与王荣浩等[16]的研究结果一致。此外, 本研究还发现, 在一定范围内, 随着蛋氨酸和苯丙氨酸含量的降低以及色氨酸含量的升高, 引起美拉德反应产物糠醇、2-乙酰基呋喃、3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮和 2-乙酰基吡咯含量的升高。在一定范围内, 随着组氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、色氨酸和丙氨酸含量的升高, 引起美拉德反应产物糠醛含量的升高和 2-乙酰基呋喃、5-甲基糠醛含量的降低。

5. 结论

综上所述, 游离氨基酸及其组合对美拉德反应产物起着决定性作用。本文通过典型相关分析等方式, 揭示了烤烟内游离氨基酸与美拉德反应产物含量的关联程度, 明确了氨基酸的种类及其含量对烤烟美拉德反应产物含量的影响。卷烟工业企业可以根据自己对烤烟香味风格的不同需求, 在大田生育期采取调控外源氨基酸的方法调控烟叶的风格。

参考文献

- [1] 李寒雪, 王林, 徐坚强, 张学伟, 曹明峰, 杨懿德, 张启明, 喻保华, 景延秋, 宁尚辉. 重庆烟区植烟土壤理化性状对烤烟苯丙氨酸类代谢产物的影响[J]. 南方农业学报, 2018, 49(10): 1946-1952.
- [2] 赵铭钦, 王莹, 李元实, 孙国伟, 韩富根, 刘友杰, 杨磊. 增施不同有机物对延边烤烟中性致香物质含量的影响[J]. 浙江农业科学, 2008(6): 784-787.
- [3] 李广良, 朱金峰, 张豹林, 袁秀秀, 景延秋, 张月华. 施用生物菌肥对烤烟香味物质成分的影响[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(35): 12489-12490.
- [4] 王战义, 代丽, 宋朝鹏, 高远, 宫长荣. 植物生长调节剂对烤烟叶致香物质的影响[J]. 浙江农业科学, 2009(6): 1159-1162.
- [5] 董洪旭, 袁帅, 徐磊, 刘伟, 宋纪真. 采收成熟度对烤烟游离氨基酸的影响[J]. 河南科技, 2020(13): 41-44.
- [6] 周芸, 过伟民, 李小兰, 周晓, 王学杰, 郭建华, 韩加所, 张仕祥, 戴华鑫, 牟文君. 清香型产区烤烟游离氨基酸与感官质量的关联分析[J]. 烟草科技, 2018, 51(11): 28-35.
- [7] 乔新荣, 杨兴有, 刘国顺, 云菲, 郭桥燕, 王芳, 靳冬梅. 弱光胁迫对烤烟化学成分及中性挥发性致香物质的影响[J]. 烟草科技, 2008(9): 56-58+65.
- [8] 文俊. 广南烤烟不同留叶数及成熟度的主要化学成分研究[J]. 广东农业科学, 2012, 39(18): 37-39+42.
- [9] 王林, 曹明峰, 邓勇, 祝利, 徐宸, 景延秋, 周红审, 刘文龙, 宁尚辉, 张学伟. 气象因子与烤烟美拉德反应产物的相关分析[J]. 南方农业学报, 2020, 51(8): 1998-2004.
- [10] 李玲燕, 徐宜民, 王树声. 气候因子对烤烟香气物质的影响研究进展[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(1): 107-113.
- [11] 国家烟草质量监督检验中心. YC/T 31-1996 烟草及烟草制品试样的制备和水分测定烘箱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [12] 湖北中烟工业有限责任公司, 中国烟草总公司郑州烟草研究院. YC/T 282-2009 烟草游离氨基酸的测定氨基酸分析法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [13] 王玉华, 褚建忠, 徐丙升, 刘宏, 杜传印, 王术科, 刘田军, 信培林, 邱军. 烤烟自然醇化过程美拉德反应产物变化及与感官质量的关系[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(4): 85-90.

- [14] 袁帅, 董洪旭, 徐磊, 刘伟, 刘帅东, 宋纪真. 我国烤烟游离氨基酸含量区域分布研究[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(13): 29-33.
- [15] 景延秋, 宫长荣, 张月华, 刘晓萍, 李炎强. 烟草香味物质分析研究进展[J]. 中国烟草科学, 2005, 26(2): 44-48.
- [16] 王荣浩, 李林林, 陈栋, 贾宝顺, 李猛, 时向东. 美拉德反应在烟草加工中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(3): 345-350+356.
- [17] 戚莹. 烤烟基因型间美拉德反应差异研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南农业大学, 2016.
- [18] 李洪臣, 朱顺成. 氨基酸对不同烤烟品种烟叶美拉德反应的影响[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(3): 26-28+53.
- [19] 过伟民, 郭建华, 董洪旭, 徐磊, 韩加所, 刘伟, 王涛, 张仕祥, 张艳玲, 牟文君. 烤烟游离氨基酸与感官品质的关联及烘烤过程的变化规律研究[J]. 中国烟草学报, 2018, 24(6): 16-25.