

国内外部分雪茄烟叶主要化学成分比较及聚类分析

耿召良¹, 高华军¹, 李方友¹, 林北森¹, 颜统晶¹, 顾金刚², 蔡斌^{1*}

1. 中国烟草总公司海南省公司海口雪茄研究所, 海口 571100; 2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081

摘要: 全球优质雪茄烟叶产区基本以热带雨林或热带季风气候为主。因多种因素, 国内各产区雪茄原料的综合质量离国外优质产区还有一定差距。为研究国内外不同产区雪茄烟叶的化学成分, 对部分国内外雪茄烟叶样品的主要化学成分和香气成分进行比较和聚类分析。结果表明: 烟叶样品中糖类物质含量、氨基酸种类分布等体现了雪茄烟的显著特点, 国内外不同产区雪茄烟叶样品中的常规化学成分含量存在较大差异, 各烟区的雪茄烟叶样品化学成分总体较协调。海南产区和国外产区雪茄烟叶样品的总糖、还原糖、新烟草碱、谷氨酸、亚麻酸和亚油酸的含量均值明显低于国内其他 3 个产区, 但果胶含量均值则呈现相反规律。国内产区烟叶糖类、微量生物碱、谷氨酸等成分含量与国外优质产区样品有较大偏差。香气成分方面, 国内其他 3 个地区雪茄烟叶样品的巨豆三烯酮、芳樟醇、大马酮等类胡萝卜素降解产物, 吡嗪、糠醛等非酶棕色化反应产物, 茄酮等含量均值均显著高于海南产区和国外产区。国内所有产区雪茄烟叶样品的新植二烯、异戊醇、吡啶、苯乙醇等香气成分均值均高于国外产区, 且达显著或极显著差异水平。聚类结果将产区分分为 4 类, 美洲产区和国内海南产区为第一大类, 印尼产区为第二大类, 国内湖北、云南产区和四川产区分别被分为第三和第四大类。

关键词: 雪茄烟叶; 化学成分; 质量差异; 聚类分析

中图分类号: S572 文献标识码: A

Cluster and Comparative Analysis on Chemical Constituents of Domestic and Foreign Cigar Tobaccos

GENG Zhaoliang¹, GAO Huajun¹, LI Fangyou¹, LIN Beisen¹, YAN Tongjing¹, GU Jingang², CAI Bin^{1*}

1. Haikou Cigar Research Institute, Hainan Provincial Branch of China National Tobacco Corporation, Haikou, Hainan 571100, China; 2. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

Abstract: The global quality cigar tobacco planting areas are basically dominated by tropical rain forest or tropical monsoon climate. The overall quality of cigar raw materials from Chinese and overseas planting areas has the certain disparity by multiple factors. In order to study the chemical constituents, a cluster and comparative analysis was conducted on some domestic and foreign cigar tobacco. The contents of carbohydrates and the distribution of amino acids reflected the characteristics of cigar tobacco. There were large differences among cigar tobacco samples from different planting areas in the content of conventional chemical components, and the chemical components of the cigar tobacco leaves had harmonious percentage in general. The average contents of total sugar, reducing sugar, anatabine, glutamic acid, linolenic acid and linoleic acid in cigar tobacco samples from Hainan and foreign planting areas were significantly lower than those in the other three planting areas in China, but the pectin content showed the opposite pattern. In terms of aroma components, the average contents of carotenoid degradation products such as megastigmatrienone, linalool and damascenone, non-enzymatic brown-reaction products such as pyrazine and furfural, and solanone in cigar tobacco

收稿日期 2022-11-24; 修回日期 2023-01-20

基金项目 中国烟草总公司海南省公司重点科技项目 (No. 2020001); 中国烟草总公司科技重大专项项目[No. 110202101012 (XJ-04), No. 110202103017]。

作者简介 耿召良 (1978—), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 烟草化学和调制。*通信作者 (Corresponding author): 蔡斌 (CAI Bin), E-mail: caibin_hcri@qq.com。

samples from other three planting areas in China were significantly higher than those from Hainan and foreign planting areas. The average contents of neophytadiene, isoamyl alcohol, pyridine, phenyl ethanol and other aroma components in cigar tobacco samples from all domestic planting areas were higher than those from foreign planting areas, and the difference was significant or most significant. These planting areas fell into four categories according to clustering results. The first group included America areas and Hainan Province in China. The second group included Indonesian areas. Hubei Province, Yunnan Province was in the third group, and Sichuan province was in the fourth group.

Keywords: cigar tobacco; chemical constituent; quality difference; cluster analysis

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.09.012

雪茄烟的传统概念是指全部用雪茄烟叶卷制而成的烟制品，具有香气浓郁、吸味丰满、烟气碱性、焦油与烟碱比值小等特点，具有独特的风格特征^[1]。雪茄的使用最早可以追溯到美洲的土著人，在哥伦布发现新大陆后，经欧洲传播到世界各地^[2]。典型的手卷雪茄是由位于雪茄中心的茄芯（filler）、中层的茄套（binder）和最外层茄衣（wrapper）组成^[3]，因其具有特殊的雪茄烟吸味和香气，兼具高烟碱和低焦油等特点，近年来被越来越多的消费者所接受^[4]。随着消费水平的提高，我国已慢慢形成了日益庞大的雪茄消费市场，中高端雪茄的销量增速则更为迅猛。目前国外雪茄烟原料主要生产区域集中在加勒比海地区、巴西、美国、印尼等^[5-6]。雪茄是全部用烟叶构成的吸用烟卷，与传统卷烟相比，雪茄烟对原料的依赖性更强。由于种植历史较短、研究程度尚浅，国产雪茄烟叶的质量离国外优质产区还有一定差距，在很大程度上限制了我国雪茄产业的发展^[7]。

雪茄烟叶的生长对温度、降雨量、土壤和栽培技术的要求较高，世界上可以种植优质烟叶的地区非常有限，古巴、多米尼加、厄瓜多尔等国外优质雪茄烟叶产区基本均为热带雨林或热带季风气候。目前，中国的雪茄主产区主要集中在海南、云南、四川、湖北等地，其中海南是拥有国内唯一热带季风性气候的海岛，海南产雪茄烟叶的风味浓度为国内最高，是具有较大潜力的优质雪茄烟叶产区^[6-7]。因多种因素，国产雪茄茄衣和茄芯原料在组织结构、油分、燃烧性和香气等方面尚存在一定问题。国产优质雪茄原料的不足已经成为中式雪茄发展的“卡脖子”问题，生产优质、好用的雪茄烟原料，是中式雪茄发展的重要方向和内容^[8]。烟叶原料的化学物质基础与产品风格、香气质量之间关系密切，雪茄烟所表现出的特殊风格和香味也是雪茄烟叶中多种化学物质相互作用的结果^[9-11]。现阶段国内对雪茄的研究

主要集中在雪茄烟叶的品种、栽培、采收、晾晒、发酵等领域，鲜见不同产区烟叶化学成分比较的研究。为探究国内外雪茄烟叶的内在质量差异，对来自国内外代表性产区部分雪茄烟叶的主要化学成分、香气成分等进行了检测对比和聚类分析，以期国产优质雪茄烟叶的发展和研究方向提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

雪茄烟叶样品来自美洲（多米尼加、巴西）、东南亚（印尼）、中国（海南、四川、湖北、云南）等产区，为各个产区主栽品种 2017—2019 年发酵后的芯叶烟中部叶样品共 30 个，其中中国海南产区 10 个，中国四川、湖北、云南产区各 3 个，印尼产区 3 个，巴西产区 3 个，多米尼加产区 5 个。

1.2 方法

烟叶总糖和还原糖、总氮、总生物碱、钾和氯分别采用 YC/T 159—2002、YC/T 161—2002、YC/T 468—2021、YCT 217—2007、YC/T 162—2002 的方法测定；游离氨基酸采用 YC/T 282—2009 的方法测定；5 种主要生物碱、果胶、香气成分含量检测参照文献^[12-14]测定。

1.3 数据处理

利用 Excel 2003 软件整理原始数据，利用 SPSS 22 软件进行一般统计分析、方差分析和聚类分析，其中聚类分析采用系统聚类方法。

2 结果与分析

2.1 国内外部分雪茄烟叶常规化学成分分析

烟草品质的优劣，主要取决于烟叶中各种化学成分的含量和比例。其中，糖类作为烟草光合作用的主要产物，是烟草生长发育及合成蛋白质、核酸和脂类等物质的基础，对烟叶外观品质和感官质量有显著影响^[15]。由表 1 可知，不同烟叶样

表 1 国内外部分雪茄烟叶样品常规化学成分含量
Tab. 1 Routine chemical composition of some domestic and foreign cigar tobacco samples %

指标 Index	总生物碱 Total alkaloids	总氮 Total nitrogen	还原糖 Reducing sugar	总糖 Total sugar	氯 Chlorine	钾 Potassium	蛋白质 Protein	淀粉 Starch	果胶 Pectin
最小值	0.92	2.98	0.03	0.24	0.36	3.22	7.46	0.27	6.16
最大值	3.93	4.46	0.42	0.86	2.28	6.14	12.9	1.2	17.84
变异系数	0.42	0.14	0.73	0.32	0.41	0.21	0.14	0.49	0.27
海南产区均值	2.17	3.41	0.12	0.47	1.56	4.98	9.39	0.61	13.66
国内其他产区均值	2.50	3.44	0.21	0.56	1.15	4.30	9.13	0.61	8.21
国外产区均值	2.23	3.82	0.09	0.38	1.22	4.50	10.50	0.49	12.37
均值	2.26	3.66	0.12	0.43	1.28	4.57	10.02	0.54	11.93
<i>P</i> 值	0.867	0.209	0.043*	0.032*	0.430	0.518	0.131	0.593	0.019*
<i>P</i> 值(海南-国内其他)			0.107	0.245					0.008**
<i>P</i> 值(海南-国外)			0.443	0.162					0.376
<i>P</i> 值(国内其他-国外)			0.013*	0.012*					0.014*

注: *表示显著相关 ($P < 0.05$); **表示极显著相关 ($P < 0.01$)。

Note: * indicates significant correlation ($P < 0.05$); ** indicates extremely significant correlation ($P < 0.01$).

品的总生物碱、还原糖、总糖、氯、钾、淀粉和果胶含量均存在广泛变异,总氮和蛋白质变异系数较小。检测数据表明,国内外不同产区雪茄烟叶样品中的常规化学成分含量总体较协调,总糖和还原糖在所有样品中的含量均较低,还原糖为 0.03%~0.42%,总糖为 0.24%~0.86%,体现了雪茄烟叶的显著特点。但不同产区雪茄烟叶的还原糖、总糖、果胶等指标有显著性差异,其中海南产区和国外产区烟叶果胶含量均值分别极显著和显著高于国内其他产区,而海南与国外产区无显著性差异。国内其他产区烟叶还原糖、总糖含量均值分别为 0.21%、0.56%,均显著高于国外产区雪茄烟叶的 0.09%、0.38%,但中国海南产区与国外产区、国内其他产区不存在显著性差异。烟草中钾、氯含量影响燃烧性,但所有样品的钾氯比适宜,说明烟叶均具有较好的燃烧性。

2.2 国内外雪茄烟叶主要生物碱含量分析

生物碱是烟草中最重要的含氮化合物,除少量以游离态存在外,多数是与无机酸或有机酸结合成盐,少数以糖苷、酯或酰胺的状态存在,对烟草内在品质有十分重要的影响^[16-17]。烟碱及组成同样会影响雪茄烟叶的生理强度、香气吃味及产品安全性^[18]。在烟碱组成中,麦斯明和酰化降烟碱的产生可直接改变烟叶和烟气化学成分的组成和含量,对烟叶的香味品质产生不利影响^[19-20]。由表 2 可知,不同烟叶样品的烟碱含量普遍偏高,为 3.65~40.02 mg/g,烟碱和微量生物碱含量均存

在广泛变异。对比烟叶中的生物碱含量,除烟碱外的生物碱含量均值排序为国内其他产区>海南产区>国外产区。5 种生物碱中,麦斯明和新烟草碱含量在不同烟叶中有显著性差异,其中海南产区雪茄烟叶的麦斯明含量均值为 87.38 $\mu\text{g/g}$,显著高于国外产区的 55.99 $\mu\text{g/g}$;海南产区和国外产区雪茄烟叶的新烟草碱含量均值分别达 583.21 $\mu\text{g/g}$ 和 535.63 $\mu\text{g/g}$,与国内其他产区对比分别达到显著和极显著水平。

2.3 国内外雪茄烟叶氨基酸含量分析

氨基酸是构成蛋白质的基本单位,与植物的氮代谢、衰老过程以及抵御外界不良影响密切相关^[21]。烟草中游离态氨基酸的数量和种类随品种、生长发育以及调制方式的不同而不同^[22]。同时,氨基酸与烟草的香气吃味关系密切,适量的氨基酸有助于提高烟气的劲头和丰满度,过量则会增加刺激性和苦味^[23]。在烟草的调制、醇化和加热、燃烧过程中,氨基酸可与还原糖发生美拉德反应而产生多种香味成分,在去除烟草杂气的同时,赋予特有香气,对烟叶香味品质有重要影响^[24]。由表 3 可知,不同雪茄烟叶样品的游离氨基酸含量和总量均存在广泛变异。对比国内外雪茄烟叶中常见游离氨基酸含量,除谷氨酸外,其他游离氨基酸含量无显著性差异。海南产区、国外产区和国内其他产区烟叶的谷氨酸含量均值分别为 0.021%、0.044%和 0.098%,国内其他产区雪茄烟叶的谷氨酸含量极显著高于海南和国外

表 2 国内外部分雪茄烟叶样品生物碱含量

Tab. 2 Alkaloid content of some domestic and foreign cigar tobacco samples

μg/g

指标 Index	烟碱 Nicotine	降烟碱 Nornicotine	麦斯明 Myosmine	假木贼碱 Anabasine	新烟草碱 anatabine
最小值	3.65	172.98	28.42	56.92	51.58
最大值	40.02	2755.78	119.98	238.61	1933.95
变异系数	0.51	0.82	0.41	0.45	0.82
海南产区均值	19.15	784.35	87.38	119.15	583.21
国内其他产区均值	25.18	662.04	56.01	151.68	1367.58
国外产区均值	20.96	677.83	55.99	115.67	535.63
均值	21.30	698.24	62.82	122.69	690.66
P 值	0.718	0.935	0.048*	0.537	0.023*
P 值(海南-国内其他)			0.058		0.028*
P 值(海南-国外)			0.018*		0.855
P 值(国内其他-国外)			0.999		0.007**

注：*表示显著相关 (P<0.05)；**表示极显著相关 (P<0.01)。

Note: * indicates significant correlation (P<0.05); ** indicates extremely significant correlation (P<0.01).

表 3 国内外部分雪茄烟叶样品氨基酸含量分析

Tab. 3 Analysis of amino acid content of some domestic and foreign cigar tobacco samples

%

项目 Item	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	变异系数 Coefficient of variation	海南产区均值 Average value of Hainan	国内其他产区均值 Average value of other domestic production areas	国外产区均值 Average value of foreign production areas	均值 Average value	P 值 P value	P 值(海南-国内其他) P value (Hainan-other domestic production areas)	P 值(海南-国外) P value (Hainan-foreign production areas)	P 值(国内其他-国外) P value (other domestic production areas-foreign production areas)
天冬氨酸 Asp	0.035	1.349	0.853	0.328	0.790	0.370	0.434	0.100			
丝氨酸 Ser	0.000	0.016	2.661	0.000	0.000	0.003	0.002	0.369			
谷氨酸 Glu	0.000	0.140	0.800	0.021	0.098	0.044	0.048	0.004*	0.001**	0.157	0.006**
甘氨酸 Gly	0.000	0.014	3.374	0.000	0.004	0.001	0.001	0.295			
丙氨酸 Ala	0.000	0.043	1.279	0.000	0.011	0.015	0.011	0.125			
缬氨酸 Val	0.000	0.018	3.318	0.000	0.000	0.003	0.002	0.532			
苯丙氨酸 Phe	0.000	0.016	4.766	0.000	0.004	0.000	0.001	0.088			
赖氨酸 Lys	0.000	0.024	2.687	0.000	0.004	0.003	0.003	0.651			
组氨酸 His	0.000	0.011	4.796	0.000	0.003	0.000	0.000	0.088			
精氨酸 Arg	0.000	0.013	4.800	0.000	0.003	0.000	0.001	0.088			
脯氨酸 Pro	0.000	0.191	2.366	0.000	0.048	0.016	0.018	0.242			
酪氨酸 Tyr	0.000	0.020	4.795	0.000	0.005	0.000	0.001	0.088			
总量	0.035	1.800	0.868	0.348	0.968	0.455	0.521	0.079			

注：*表示显著相关 (P<0.05)；**表示极显著相关 (P<0.01)。

Note: * indicates significant correlation (P<0.05); ** indicates extremely significant correlation (P<0.01).

产区烟叶。

2.4 国内外雪茄烟叶非挥发性有机酸含量分析

有机酸广泛存在于烟草中，含量约为 10%~16%，其中二元和三元羧酸约占烤烟总羧酸含量的 70%~90%；特别是苹果酸在烤烟和香料烟中含量较多，其次是草酸，而柠檬酸在白肋烟中

含量较多^[9, 25]。虽然这些多元有机酸没有明显的香气，但它们具有减轻烟气刺激性、使烟草吸味醇和、增加烟气浓度的作用^[26]。由表 4 可知，不同烟叶样品的非挥发性有机酸的含量存在广泛变异。海南产区雪茄烟叶非挥发性有机酸的总含量均值为 96.99 mg/g，低于国内其他产区 and 国外产

表 4 国内外部分雪茄烟叶样品非挥发性有机酸含量分析
Tab. 4 Analysis of non-volatile organic acid content of some domestic and foreign cigar tobacco samples mg/g

项目 Item	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	变异系数 Coefficient of variation	海南产区均值 Average value of Hainan	国内其他产区均值 Average value of other domestic production areas	国外产区均值 Average value of foreign production areas	均值 Average value	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	<i>P</i> 值(海南-国内其他) <i>P</i> value (Hainan-other domestic production areas)	<i>P</i> 值(海南-国外) <i>P</i> value (Hainan-foreign production areas)	<i>P</i> 值(国内其他-国外) <i>P</i> value (other domestic production areas-foreign production areas)
草酸	17.34	47.19	0.234	36.53	26.35	32.80	32.49	0.131			
丙二酸	1.42	3.61	0.266	2.76	2.72	2.02	2.31	0.015*	0.902	0.013*	0.028*
丁二酸	0.32	4.71	0.690	2.13	1.06	2.06	1.90	0.383			
肉豆蔻酸	0.06	0.14	0.181	0.10	0.12	0.10	0.10	0.054			
苹果酸	6.60	113.59	0.549	32.14	58.34	49.25	47.11	0.296			
棕榈酸	0.79	2.10	0.263	1.15	1.52	1.35	1.34	0.282			
硬脂酸	0.09	0.42	0.401	0.16	0.21	0.20	0.19	0.641			
柠檬酸	6.03	72.54	0.528	21.17	32.66	39.47	34.31	0.150			
油酸	0.16	0.65	0.396	0.29	0.30	0.29	0.29	0.966			
亚油酸	0.18	1.12	0.565	0.28	0.63	0.30	0.35	0.004**	0.004**	0.842	0.002**
亚麻酸	0.19	1.18	0.587	0.28	0.75	0.39	0.43	0.006**	0.003**	0.306	0.005**
总量	50.56	193.16	0.274	96.99	124.67	128.23	120.82	0.192			

注: *表示显著相关 ($P < 0.05$) ; **表示极显著相关 ($P < 0.01$) 。

Note: * indicates significant correlation ($P < 0.05$); ** indicates extremely significant correlation ($P < 0.01$).

区的 124.67 mg/g 和 128.23 mg/g; 丙二酸、亚油酸和亚麻酸含量在不同烟叶中有显著性差异。其中, 海南和国内其他产区雪茄烟叶丙二酸含量均值分别为 2.76 mg/g 和 2.72 mg/g, 均显著高于国外产区的均值 2.02 mg/g。海南产区和国外产区雪茄烟叶亚油酸含量均值分别为 0.28 mg/g 和 0.30 mg/g, 极显著低于国内其他产区的均值 0.63 mg/g; 海南产区和国外产区雪茄烟叶亚麻酸含量均值分别为 0.28 mg/g 和 0.39 mg/g, 极显著低于国内其他产区的均值 0.75 mg/g; 海南产区和国外产区雪茄烟叶的亚油酸、亚麻酸含量均值无显著性差异。

2.5 国内外雪茄烟叶致香物质含量分析

2.5.1 叶绿素降解产物含量统计分析

叶绿素是植物进行碳氮代谢的基础, 对植物的生长发育和品质形成具有重要作用。在烟叶的成熟和调制过程中, 叶绿素降解形成叶绿醇, 叶绿醇进一步脱水形成新植二烯和植物呋喃等产物, 这是烟叶颜色和香气物质形成的基础^[27]。新植二烯是决定烟草中挥发性香气成分总量的关键致香物质, 可占烟叶挥发性香味物质总量的 85%以上, 在烟草燃烧时可直接进入烟气, 具有减少刺激性、醇和烟气的作用^[28-29]。茄酮是烟叶致香物质中西柏烷类

降解产物的代表指标^[30,36]。由表 5 可知, 不同烟叶样品的 2 种叶绿素降解产物新植二烯和叶绿醇含量均存在广泛变异。海南、国内其他产区和国外产区雪茄烟叶叶绿素降解产物总量均值分别为 508.27、419.21、379.92 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 海南产区的总含量最高, 显著高于国外产区。海南、国内其他产区和国外产区雪茄烟叶新植二烯含量均值分别为 407.35、310.37、269.48 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 海南产区含量均值极显著高于国外产区。

2.5.2 类胡萝卜素降解产物含量统计分析

类胡萝卜素是植物进行光合作用时吸收光能和防止光氧化的主要质体色素, 具有提高光合效率、抑制和清除自由基的作用。在烟叶的调制和醇化等过程中, 类胡萝卜素类物质因双键断裂的部位不同, 可产生如大马酮、紫罗兰酮、二氢猕猴桃内酯等致香物质, 对烟叶香气贡献率较大^[27-28]。由表 6 可知, 不同烟叶样品的类胡萝卜素降解产物含量均存在广泛变异。其中, 异佛尔酮、 β -环柠檬醛、 β -紫罗兰酮、二氢猕猴桃内酯和 5,6-环氧紫罗兰酮含量均值无显著性差异。海南产区雪茄烟叶巨豆三烯酮系列产物、 β -二氢大马酮、 β -大马酮的含量均值均极显著低于国内其他产区, 但

表 5 国内外部分雪茄烟叶样品叶绿素降解产物分析

Tab. 5 Analysis of chlorophyll degradation products of some domestic and foreign cigar tobacco samples $\mu\text{g}/\text{kg}$

致香物质 Fragrance-causing compounds	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	变异系数 Coefficient of variation	海南产区均值 Average value of Hainan	国内其他产区均值 Average value of other domestic production areas	国外产区均值 Average value of foreign production areas	均值 Average value	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	<i>P</i> 值(海南-国内其他) <i>P</i> value (Hainan-other domestic production areas)	<i>P</i> 值(海南-国外) <i>P</i> value (Hainan-foreign production areas)	<i>P</i> 值(国内其他-国外) <i>P</i> value (other domestic production areas-foreign production areas)
新植二烯	137.35	490.15	0.335	407.35	310.37	269.48	306.56	0.027*	0.124	0.008**	0.432
叶绿醇	46.36	270.36	0.555	100.92	108.84	110.44	108.09	0.958			
总量	226.00	629.00	0.262	508.27	419.21	379.92	414.65	0.070			

注：*表示显著相关 ($P<0.05$)；**表示极显著相关 ($P<0.01$)。

Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$); ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$).

表 6 国内外部分雪茄烟叶样品类胡萝卜素降解产物含量分析

Tab. 6 Analysis of carotenoid degradation products of some domestic and foreign cigar tobacco samples $\mu\text{g}/\text{kg}$

致香物质 Fragrance-causing compounds	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	变异系数 Coefficient of variation	海南产区均值 Average value of Hainan	国内其他产区均值 Average value of other domestic production areas	国外产区均值 Average value of foreign production areas	均值 Average value	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	<i>P</i> 值(海南-国内其他) <i>P</i> value (Hainan-other domestic production areas)	<i>P</i> 值(海南-国外) <i>P</i> value (Hainan-foreign production areas)	<i>P</i> 值(国内其他-国外) <i>P</i> value (other domestic production areas-foreign production areas)
巨豆三烯酮-1	0.93	18.05	0.830	6.10	14.85	4.05	6.38	0**	0.002**	0.281	0**
巨豆三烯酮-2	3.85	81.62	0.838	28.55	66.67	18.16	28.86	0**	0.003**	0.245	0**
巨豆三烯酮-3	0.46	7.27	0.747	2.17	5.48	1.79	2.51	0**	0.001**	0.581	0**
巨豆三烯酮-4	2.81	75.28	0.918	22.05	57.23	13.60	23.02	0**	0.001**	0.258	0**
异戊醇	0.06	1.58	0.894	0.62	0.83	0.24	0.42	0.004*	0.322	0.023*	0.002**
芳樟醇	0.08	0.90	0.845	0.30	0.56	0.16	0.26	0.001*	0.024*	0.117	0.024*
异佛尔酮	0.08	0.59	0.622	0.25	0.24	0.14	0.18	0.063			
β -环柠檬醛	0.12	0.40	0.300	0.25	0.30	0.21	0.24	0.067			
β -二氢大马酮	0.19	0.60	0.362	0.29	0.54	0.32	0.35	0.001*	0**	0.52	0**
β -大马酮	0.20	9.76	1.168	1.69	7.75	1.11	2.39	0**	0**	0.386	0**
香叶基丙酮	2.22	43.97	0.766	19.76	6.02	9.27	10.99	0.016*	0.01*	0.011*	0.434
β -紫罗兰酮	0.31	1.54	0.425	0.96	1.01	0.69	0.81	0.133			
二氢猕猴桃内酯	3.25	15.94	0.393	6.97	4.68	8.58	7.55	0.052			
5,6-环氧紫罗兰酮	0.33	1.67	0.455	0.88	0.60	0.68	0.71	0.398			
法尼基丙酮	2.10	21.09	0.525	11.97	3.87	6.66	7.33	0.001*	0**	0.002**	0.101
总量	28.10	208.90	0.553	102.82	170.65	65.66	92.00	0**	0.006**	0.043*	0**

注：*表示显著相关 ($P<0.05$)；**表示极显著相关 ($P<0.01$)。

Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$); ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$).

与国外产区则无显著性差异。中国海南产区雪茄烟叶的香叶基丙酮、法尼基丙酮含量均值显著或极显著高于国外产区和国内其他产区，但国内其他产区和国外产区则无显著性差异。国内产区雪

茄烟叶异戊醇含量均值均显著或极显著高于国外产区。中国海南产区和国外产区雪茄烟叶芳樟醇含量均值均显著低于国内其他 3 个产区，但中国海南和国外产区无显著性差异。

2.5.3 非酶棕色化反应产物含量统计分析 非酶棕色化反应也称美拉德反应,是烟叶在不需酶的参与条件下,氨基酸与糖类之间的缩合反应,其在烟叶调制、醇化和燃吸过程中均可发生。非酶棕色化反应能裂解成与烟香协调的香味物质,增加烟草的烘烤香、甜香,减少烟草的涩度和苦味、掩盖杂气和降低刺激性,是烟草特征香味形成的主要来源之一^[9]。在前人的研究中,通常以糠醛、糠醇、2-乙酰基呋喃、5-甲基糠醛、2-乙酰基吡咯作为雪茄烟叶致香物质中非酶棕色化反应产物的代表指标^[31-32]。由表 7 可知,不同烟叶样品的非酶棕色化反应产物含量均存在广泛变异。中国海南产区、国内其他产区和国外产区雪茄烟

叶非酶棕色化反应产物总含量均值分别为 3.49、6.09、3.02 $\mu\text{g}/\text{kg}$,中国海南产区与国外产区总量接近,但均显著低于国内其他产区。不同非酶棕色化反应产物含量检测对比分析表明,不同雪茄烟叶中的 2-乙基吡啶、吡咯、2-乙酰吡啶、喹啉、2-乙酰基吡咯和糖醇含量均值无显著性差异。国内产区雪茄烟叶的吡啶、2-乙酰基-5-甲基呋喃含量均值均极显著高于国外产区雪茄烟叶。中国海南产区与国外产区雪茄烟叶的吡嗪、糠醛、2-乙酰基呋喃、5-甲基糠醛含量均值无显著性差异,但均显著或极显著低于国内其他 3 个产区。噻唑含量均值在国内其他产区、中国海南和国外产区样品中均达到极显著差异,含量依次减小。

表 7 国内外部分雪茄烟叶样品非酶棕色化反应产物含量分析

Tab. 7 Analysis of non-enzymatic browning reaction products of some domestic and foreign cigar tobacco samples

致香物质 Fragrance-causing compounds	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	变异系数 Coefficient of variation	海南产 区均值 Average value of Hainan	国内其他 产区均值 Average value of other domestic production areas	国外产 区均值 Average value of foreign produc- tion areas	均值 Aver- age value	P 值 P value	$\mu\text{g}/\text{kg}$		
									P 值 (海南-国内其他) P value (Hainan-other domestic production areas)	P 值 (海南-国外) P value (Hainan-foreign production areas)	P 值 (国内其他-国外) P value (other domestic production areas-foreign production areas)
吡啶	0.63	1.83	0.306	1.47	1.59	0.97	1.18	0**	0.458	0.001**	0**
吡嗪	0.00	0.45	0.877	0.11	0.26	0.09	0.13	0.021*	0.034*	0.695	0.006**
噻唑	0.01	0.05	0.471	0.03	0.05	0.02	0.03	0**	0.001**	0.009**	0**
2-乙基吡啶	0.01	0.04	0.519	0.02	0.01	0.02	0.02	0.611			
吡咯	0.14	0.44	0.287	0.30	0.38	0.28	0.30	0.148			
2-乙酰吡啶	0.02	0.20	0.814	0.09	0.04	0.05	0.06	0.217			
喹啉	0.03	0.08	0.269	0.04	0.05	0.05	0.05	0.126			
2-乙酰基吡咯	0.03	0.38	0.782	0.07	0.08	0.10	0.09	0.626			
2-正戊基呋喃	0.03	0.71	0.693	0.30	0.43	0.17	0.24	0.008**	0.192	0.069	0.003**
2-甲基四氢呋喃-3-酮	0.01	0.11	0.793	0.03	0.04	0.02	0.03	0.192			
糠醛	0.12	3.38	1.251	0.39	1.65	0.33	0.57	0.001**	0.002**	0.825	0**
2-乙酰基呋喃	0.02	0.14	0.637	0.04	0.08	0.03	0.04	0.001**	0.004**	0.468	0**
5-甲基糠醛	0.03	0.61	0.802	0.11	0.30	0.13	0.16	0.03*	0.018*	0.707	0.014*
2-乙酰基-5-甲基呋喃	0.03	0.14	0.361	0.09	0.10	0.06	0.07	0.001**	0.317	0.005**	0.001**
糠醇	0.13	2.97	0.888	0.41	1.03	0.70	0.70	0.341			
总量	1.95	8.53	0.473	3.49	6.09	3.02	3.66	0.003**	0.009**	0.513	0.001**

注: *表示显著相关 ($P<0.05$); **表示极显著相关 ($P<0.01$)。

Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$); ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$).

2.5.4 芳香族氨基酸降解产物含量统计分析 烟叶中的某些氨基酸(如苯丙氨酸等)自身可直接分解为香味化合物(如苯甲醇、苯乙醇等),它们也是烟草中含量较丰富的香味成分^[33]。这类降解

产物在烟草调制前含量很少,经调制和醇化后,苯甲醛、苯甲醇、苯甲酸和苯丙酸等含量显著增加^[9]。由表 8 可知,不同烟叶样品的芳香族氨基酸降解产物含量均存在广泛变异。海南产区、国内其

表 8 国内外部分雪茄烟叶样品芳香族氨基酸降解产物含量分析
Tab. 8 Analysis of aromatic amino acid degradation products of some domestic and foreign cigar tobacco samples

致香物质 Fragrance-causing compounds	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	变异系数 Coefficient of variation	海南产区 Average value of Hainan	国内其他产区 Average value of other domestic production areas	国外产区 Average value of foreign production areas	均值 Average value	P 值 P value	µg/kg		
									P 值 (海南-国内其他) P value (Hainan-other domestic production areas)	P 值 (海南-国外) P value (Hainan-foreign production areas)	P 值 (国内其他-国外) P value (other domestic production areas-foreign production areas)
苯甲醛	0.35	2.28	0.360	1.10	1.27	1.38	1.30	0.530			
苯乙醛	4.05	31.47	0.435	10.08	14.12	16.27	14.55	0.173			
苯乙酮	0.17	1.25	0.530	0.62	0.32	0.60	0.56	0.228			
苯甲醇	1.51	10.51	0.544	4.41	7.06	3.44	4.28	0.015*	0.060	0.36	0.004**
苯乙醇	3.08	11.94	0.417	9.55	9.57	6.10	7.46	0.025*	0.992	0.024*	0.035*
总量	15.80	49.70	0.320	25.76	32.35	27.78	28.13	0.559			

注：*表示显著相关 (P<0.05)；**表示极显著相关 (P<0.01)。

Note: * indicates significant correlation (P<0.05); ** indicates extremely significant correlation (P<0.01).

他产区 and 国外产区雪茄烟叶芳香族氨基酸降解产物总含量均值分别为 25.76、32.35、27.78 µg/kg，海南产区低于国内其他产区和国外产区。苯甲醛、苯乙醛和苯乙酮的含量均值在不同雪茄烟叶中没有显著性差异。国外产区雪茄烟叶苯甲醇含量均值为 3.44 µg/kg，极显著低于国内其他产区均值 7.06 µg/kg，但与中国海南产区均值 4.41 µg/kg 无显著性差异。国外产区雪茄烟叶苯乙醇含量均值为 6.10 µg/kg，显著低于国内产区均值。

2.5.5 西柏烷类降解产物含量统计分析 西柏烷类化合物主要存在于烟叶的角质层中，是烟叶腺毛分泌物的主要成分，主要为 α-4,8,13-西柏三烯二醇和 β-4,8,13-西柏三烯二醇。烟草中西柏烷类化合物主要生成茄酮及其衍生物，其积累受多种因素交互影响，其中基因型影响最大，同时与产地

环境交互作用^[34-35]。烟草中西柏烷类的降解主要在调制和陈化阶段发生，调制的方式、条件和陈化时间，都会影响降解产物的积累。茄酮是烟叶致香物质中西柏烷类降解产物的代表指标^[30, 36]。由表 9 可知，不同烟叶样品的西柏烷类降解产物含量存在广泛变异。中国海南产区、国内其他产区和国外产区雪茄烟叶主要西柏烷类降解产物总含量均值分别为 6.38、16.03、3.69 µg/kg，国内产区的均值显著高于国外产区。在西柏烷类降解产物中，占比较小的降茄二酮含量无显著性差异；而中国海南产区和国外产区雪茄烟叶的茄酮含量均值分别为 5.85、3.43 µg/kg，均极显著低于国内其他产区的均值 15.49 µg/kg。

2.5.6 其它致香产物统计分析 由表 10 可知，不同烟叶样品的其它致香产物含量均存在广泛变异。

表 9 国内外部分雪茄烟叶样品西柏烷类降解产物含量分析
Tab. 9 Analysis of cephaeline degradation products of some domestic and foreign cigar tobacco samples µg/kg

致香物质 Fragrance-causing compounds	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	变异系数 Coefficient of variation	海南产区 Average value of Hainan	国内其他产区 Average value of other domestic production areas	国外产区 Average value of foreign production areas	均值 Average value	P 值 P value	µg/kg		
									P 值 (海南-国内其他) P value (Hainan-other domestic production areas)	P 值 (海南-国外) P value (Hainan-foreign production areas)	P 值 (国内其他-国外) P value (other domestic production areas-foreign production areas)
茄酮	1.51	29.01	1.014	5.85	15.49	3.43	6.05	0**	0.003**	0.296	0**
降茄二酮	0.09	1.02	0.740	0.53	0.53	0.26	0.37	0.061			
总量	1.70	30.00	0.978	6.38	16.03	3.69	6.42	0**	0.004**	0.260	0**

注：*表示显著相关 (P<0.05)；**表示极显著相关 (P<0.01)。

Note: * indicates significant correlation (P<0.05); ** indicates extremely significant correlation (P<0.01).

表 10 国内外部分雪茄烟叶样品其它致香产物含量分析
Tab. 10 Analysis of other fragrance-causing products of some domestic and foreign cigar tobacco samples $\mu\text{g}/\text{kg}$

致香物质 Fragrance-causing compounds	最小值 Mini- mum value	最大值 Maxi- mum value	变异系数 Coeffi- cient of variation	海南产 区均值 Average value of Hainan	国内其 他省份 均值 Average value of other domestic produc- tion areas	国外产区 均值 Average value of foreign produc- tion areas	均值 Aver- age value	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	<i>P</i> 值 (海南 -国内 其他) <i>P</i> value (Hainan- other domestic produc- tion areas)	<i>P</i> 值 (海南 -国外) <i>P</i> value (Hainan- foreign produc- tion areas)	<i>P</i> 值 (国内 其他-国外) <i>P</i> value (other domestic produc- tion areas- foreign produc- tion areas)
3-乙酰吡啶	0.79	39.67	1.415	14.42	1.04	5.45	6.63	0.072			
吡啶	4.81	13.51	0.339	7.27	9.57	8.24	8.26	0.494			
3-甲基巴豆醛	0.15	1.43	0.611	0.79	0.97	0.37	0.56	0**	0.287	0.003**	0**
青叶醛	0.31	3.61	0.743	1.71	0.87	0.99	1.12	0.206			
戊醇	0.04	0.44	0.725	0.17	0.35	0.10	0.16	0**	0.001**	0.058	0**
3-羟基-2-丁酮	0.05	0.56	0.719	0.25	0.19	0.14	0.17	0.269			
2-甲基-2-庚烯-6-酮	0.34	8.31	0.865	3.34	1.49	1.44	1.86	0.060			
氧化沉香醇-1	0.07	0.63	0.695	0.30	0.22	0.11	0.17	0.003**	0.261	0.001**	0.049*
氧化沉香醇-2	0.04	0.51	0.887	0.22	0.13	0.07	0.11	0.003**	0.065	0.001**	0.18
2,4-庚二烯醛	0.04	0.47	0.759	0.09	0.22	0.09	0.11	0.014*	0.016*	0.935	0.005**
3-甲基-2-环戊烯- 1-酮	0.02	0.18	0.753	0.08	0.04	0.04	0.05	0.096			
γ -丁内酯	0.00	0.16	0.633	0.06	0.07	0.06	0.06	0.871			
α -松油醇	0.02	0.14	0.573	0.06	0.10	0.05	0.06	0.003**	0.012*	0.412	0.001**
香叶醇	0.18	1.22	0.672	0.51	0.75	0.29	0.42	0.006**	0.127	0.088	0.002**
苯酚	0.09	0.57	0.435	0.22	0.17	0.31	0.27	0.051			
γ -壬内酯	0.02	0.18	0.532	0.06	0.08	0.06	0.06	0.374			
棕榈酸甲酯	0.10	0.65	0.619	0.22	0.19	0.21	0.21	0.960			
亚油酸甲酯	0.06	0.21	0.350	0.11	0.09	0.11	0.11	0.726			
亚麻酸甲酯	0.05	1.16	1.022	0.17	0.66	0.15	0.24	0**	0**	0.886	0**
邻苯二甲酸二丁酯	0.46	3.48	0.613	2.57	1.38	1.06	1.44	0.001**	0.015*	0**	0.395
藏红花醛	0.01	0.05	0.385	0.02	0.04	0.02	0.02	0.008**	0.005**	0.639	0.004**
茶香酮	0.15	1.44	0.620	0.67	0.45	0.39	0.47	0.178			
4-乙炔基-2-甲氧基 苯酚	0.15	1.50	0.790	0.36	0.67	0.42	0.45	0.385			
总量	11.38	66.12	0.509	33.66	19.77	20.16	23.03	0.065			

注: *表示显著相关 ($P<0.05$) ; **表示极显著相关 ($P<0.01$) 。

Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$); ** indicates highly significant correlation ($P<0.01$).

分析结果显示, 中国海南产区、国内其他产区和国外产区雪茄烟叶其它致香产物总含量均值分别为 33.66、19.77、20.16 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 中国海南产区显著高于国内其他产区。在检测的其他致香成分含量中, 国内产区雪茄烟叶的 3-甲基巴豆醛、氧化沉香醇-1 含量均值均显著或极显著高于国外产区。国内其他产区雪茄烟叶戊醇、2,4-庚二烯醛、 α -松油醇、亚麻酸甲酯和藏红花醛含量均值均显著或极显著高于国外产区和海南产区。此外, 中国海南雪茄烟叶的氧化沉香醇-2 含量均值极显著高

于国外产区; 邻苯二甲酸二丁酯含量均值极显著高于国外产区, 显著高于国内其他产区。

2.6 基于烟叶内在化学成分的聚类分析

对不同雪茄烟叶样品的化学成分、香气成分作为聚类指标, 采用系统聚类法进行聚类分析, 结果如图 1。由图 1 可知, 不同产区的雪茄烟叶样品被分为四大类, 巴西、多米尼加和中国海南产区为第 1 类, 印尼产区为 2 类, 中国湖北和云南产区为第 3 类, 中国四川产区为第 4 类。其中, 国内四川地区雪茄烟叶成分与其他地区差异最大,

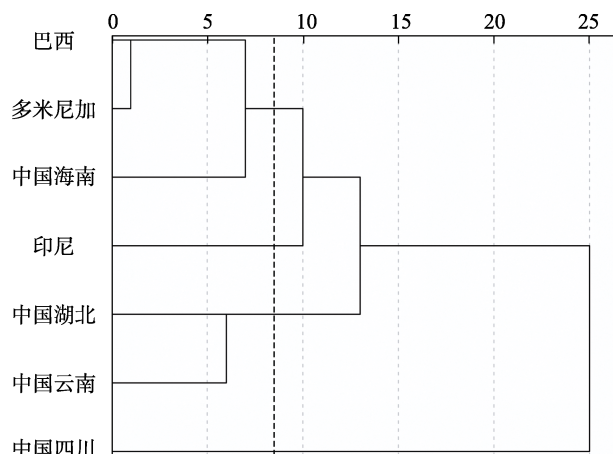


图1 不同产区雪茄烟叶化学成分聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis based on the chemical composition of cigar tobacco leaves from different production areas

中国海南烟叶总体内在成分更加接近巴西、多米尼加等国外美洲产区。

对不同雪茄烟叶样品内在化学成分的统计分析结果发现,对聚类分组有显著贡献的有34个指标,分别为总糖、还原糖、总生物碱、烟碱, Val、Phe、His、Arg、Try、Asp、Ala、Pro、Ser、氨基酸含量总和,油酸、亚麻酸,5-甲基糠醛、亚油酸、2-甲基四氢呋喃-3-酮、茄酮、糠醇、肉豆蔻酸、亚麻酸甲酯、糠醛、2-乙酰基呋喃、巨豆三烯酮-1、巨豆三烯酮-2、 β -大马酮、巨豆三烯酮-4、戊醇、 β -二氢大马酮、 γ -壬内酯、噻唑、硬脂酸等。

3 讨论

烟叶品质通常包括外观质量、物理特性和内在质量,其中内在质量主要指烟叶内各种化学成分含量和比例的协调性^[1-2]。同时,与烤烟烟叶烘烤的调制方式不同,雪茄烟叶要经过漫长的晾制、发酵和醇化过程,因而其分类和属性特征与烤烟明显不同^[37]。本研究结果中,国内外不同产区的雪茄烟叶样品中的常规化学成分含量均值基本都在各成分的适宜范围之内,说明各烟区的烟叶化学成分总体比较协调。但不同雪茄烟叶的部分化学成分、香气成分含量表现出不同的差异性,体现了不同区域雪茄烟叶内在物质基础的不同。研究国外优质产区雪茄烟叶化学成分与国内产区的差距,可为后期采取针对性改进措施提供参考。

氮化合物和糖类物质是烟叶中最重要的常规化学成分,其含量对烟叶的综合品质具有十分重要的意义。一般来说,糖类物质和氮化合物在烟叶燃烧时的热解产物对吸味的反应是相反的,糖

类物质的热解产物呈酸性反应,氮化合物(尤其是生物碱类)的热解产物呈碱性反应,二者协调的比例关系才能产生良好的吸味^[15,17]。本研究结果表明,不同雪茄烟叶样品的糖类物质含量均小于1%,体现了雪茄烟叶低糖的显著特点。雪茄烟叶因经过漫长的晾制、发酵过程,致使调制后期脯氨酸等氨基酸含量降低到不明显的水平,在氨基酸种类分布上与烤烟烟叶有较大的差异^[38]。从各检测成分含量的均值看,中国海南产区和国外产区雪茄烟叶样品的总糖、还原糖、新烟草碱、谷氨酸、亚麻酸和亚油酸的含量均值明显低于国内其他3个产区,但果胶含量均值则呈现相反规律。烟叶的品质与其内含的化学成分含量及比例具有直接相关性,但不能仅通过化学成分含量的多少来确定烟叶品质的优劣。尽管如此,国内产区烟叶糖类、微量生物碱、谷氨酸等成分含量与国外优质产区样品有较大的偏差,仍然值得思考和注意。此外,雪茄烟叶的燃烧性对雪茄的感官质量有至关重要的关系,而烟叶的燃烧性除与烟叶含水率、组织结构等有密切关系外^[39],也是烟叶中多种化学成分在高温下综合作用的结果,其中K元素可促进烟草燃烧,而过量的Cl元素则对烟草燃烧性产生不利影响^[40]。本研究中,虽然中国海南产区雪茄烟叶的K、Cl元素与国内外产区无显著性差异,但由于砖红壤和赤红壤是海南省主要土壤类型,土壤肥力流失严重、呈酸性至弱酸性,配施土壤调理剂、提钾辅料等改善土壤酸性障碍、提高土壤碳、钾含量是生产中重点考虑的方向^[41-43]。

烟草香气是评价烟叶内在质量的重要指标之一,其香气的量、质、型是由多种香气成分的组成、含量、比例及其相互作用所决定,这些物质含量高低使雪茄烟具有不同于其他类型烟草的特殊香气品质^[2,9,44]。本研究中,国内其他3个地区雪茄烟叶样品的巨豆三烯酮、芳樟醇、大马酮等类胡萝卜素降解产物,吡嗪、糠醛等非酶棕色化反应产物,茄酮等致香成分含量均值均显著高于中国海南产区和国外产区,而中国海南产区和国外产区烟叶样品的上述成分含量均值无显著性差异。国内所有产区雪茄烟叶样品的新植二烯、异戊醇、吡啶、苯乙醇等香气成分均值均高于国外产区,且基本达显著或极显著差异水平,说明国内产区雪茄烟叶样品在一些重要香气成分含量上具有较好的呈香物质基础。晾制和发酵对雪茄烟

叶香气物质的形成具有决定性作用,尤其是雪茄烟叶的发酵,普遍认为是化学作用、微生物作用和酶作用的有机结合^[45-46],微生物对改善雪茄烟叶品质具有十分重要的作用^[47],后期应重点开展对雪茄烟叶调制微生物生态、“组学”技术等的基础和应用研究,掌握调制及发酵过程关键控制条件,确定特色调制及发酵支撑技术,实现人工控制下雪茄烟叶定向调制及发酵,提高我国雪茄烟叶的综合质量。

烟叶的品质和风格与内在化学成分关系密切,而烟草基因型、产地环境、农艺措施和调制加工过程是影响烟草内在化学成分的主要因素,其中产地生态条件对烟叶内在成分的影响较大^[48-49]。本研究基于内在成分的聚类分析结果表明,国内海南产区 and 南北美洲产区被分为第一大类,印尼产区被分为第二大类,国内湖北、云南产区和四川产区分别被分为第三和第四大类。聚类结果说明国内与国外产区雪茄烟叶样品的内在成分差异性较大,这可能是国内外雪茄烟叶香型风格差异较大的重要原因之一。国内海南产区雪茄烟叶样品的总体内在化学成分含量更加接近于美洲地区,进一步印证了生态条件相似的产区,所产烟叶内在质量相似的结论。相比国外优质雪茄烟叶,国内雪茄烟叶样品化学成分总体尚协调,但部分烟叶样品的部分化学物质存在偏高或偏低现象,在产地环境不易改变的条件下,应注意通过改善土壤环境、定向提高生产技术来实现产区特色雪茄烟叶的定位开发。

参考文献

- [1] 张倩颖,罗诚,李东亮,蔡文. 雪茄烟叶调制及发酵技术研究进展[J]. 中国烟草学报, 2020, 26(4): 1-6.
ZHANG Q Y, LUO C, LI D L, CAI W. Research progress in curing and fermentation technology for cigar tobacco leaf production[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2020, 26(4): 1-6. (in Chinese)
- [2] TSO T C. Production, physiology and biochemistry of tobacco plant[M]. Behsville, Maryland: IDEALS Inc, 1990.
- [3] 金熬熙. 雪茄烟生产技术[M]. 北京: 轻工业出版社, 1982.
JIN A X. Cigar Production Technology[M]. Beijing: Light Industry Press, 1982. (in Chinese)
- [4] 蔡斌,耿召良,高华军,林北森,邢蕾,胡希,刘好宝. 国产雪茄原料生产技术研究现状[J]. 中国烟草学报, 2019, 25(6): 110-119.
CAI B, GENG Z L, GAO H J, LIN B S, XING L, HU X, LIU H B. Research progress of production technologies of cigar tobaccos in China[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2019, 25(6): 110-119. (in Chinese)
- [5] 任天宝,阎海涛,王新发,赵铭钦,刘国顺. 印尼雪茄烟叶生产技术考察及对中国雪茄发展的启示[J]. 热带农业科学, 2017, 37(3): 89-93.
REN T B, YAN H T, WANG X F, ZHAO M Q, LIU G S. Visit to Indonesia for cigar production technologies and its inspiration to the development of cigar in China[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2017, 37(3): 89-93. (in Chinese)
- [6] 李秀妮,闫铁军,吴风光,刘利平,宋世旭,朱家明,时向东. 全球主要产地雪茄烟叶的风味特征初探[J]. 中国烟草学报, 2019, 25(6): 126-132.
LI X N, YAN T J, WU F G, LIU L P, SONG S X, ZHU J M, SHI X D. Preliminary study on flavor characteristics of global typical cigar leaves[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2019, 25(6): 126-132. (in Chinese)
- [7] 李爱军,秦艳青,代惠娟,范静苑,曾代龙,王华敬,潘运金. 国产雪茄烟叶科学发展刍议[J]. 中国烟草学报, 2012, 18(1): 112-114.
LI A J, QIN Y Q, DAI H J, FAN J Y, ZENG D L, WANG H J, PAN Y J. On scientific development of China's cigar leaf[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2012, 18(1): 112-114. (in Chinese)
- [8] 李爱军,范静苑,秦艳青,宋世旭,曾代龙,符雷,祝春岗,周瑞生. 海南与印尼茄衣烟叶质量差异分析[J]. 中国烟草学报, 2013, 19(4): 60-63.
LI A J, FAN J Y, QIN Y Q, SONG S X, ZENG D L, FU L, ZHU C G, ZHOU R S. Analysis of quality difference between Hainan and Indonesia produced cigar wrapper leaves[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2013, 19(4): 60-63. (in Chinese)
- [9] 韩富根. 烟草化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
HAN F G. Tobacco chemistry[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010. (in Chinese)
- [10] 陈栋,李猛,王荣浩,李林林,李秀妮,时向东. 国产雪茄茄芯烟叶研究进展[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2019, 40(1): 83-90.
CHEN D, LI M, WANG R H, LI L L, LI X N, SHI X D. Progress of the domestic cigar filler tobacco[J]. Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition), 2019, 40(1): 83-90. (in Chinese)
- [11] 乔学义,王兵,熊斌,马宇平,高泽华,赵瑞峰,刘晓晖,董顺德,徐恒,刘强,罗登山. 全国烤烟烟叶特征香韵地理分布及变化[J]. 烟草科技, 2017, 50(5): 66-72.
QIAO X Y, WANG B, XIONG B, MA Y P, GAO Z H, ZHAO R F, LIU X H, DONG S D, XU H, LIU Q, LUO D S.

- Geographical distribution and variation of characteristic aroma notes of flue-cured tobacco leaves in China[J]. Tobacco Science & Technology, 2017, 50(5): 66-72. (in Chinese)
- [12] 马要兵, 张峻松, 宋春满, 方敦煌, 邓建华. GC/MS-SIM测定烟草中的生物碱[J]. 分析实验室, 2010, 29(Suppl.1): 350-353.
MA Y B, ZHANG J S, SONG C M, FANG D H, DENG J H. Determination of alkaloids in tobacco by GC/MS-SIM[J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2010, 29(Suppl.1): 350-353. (in Chinese)
- [13] DU L P, LI J X, LI W, LI Y F, LI T, XIAO D G. Characterization of volatile compounds of pu-erh tea using solid-phase microextraction and simultaneous distillation-extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Research International, 2014, 57: 61-70.
- [14] 吴玉萍, 杨光宇, 王东丹. 高效液相色谱法测定烟草中的果胶含量[J]. 光谱实验室, 2004, 21(1): 183-185.
WU Y P, YANG G Y, WANG D D. Determination of pectin in tobacco with high performance liquid chromatography[J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2004, 21(1): 183-185. (in Chinese)
- [15] 苏鑫, 姬厚伟, 刘剑, 蔡元青, 赖东辉. 烟草中糖类物质分析的研究进展[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(3): 44-49.
SU X, JI H W, LIU J, CAI Y Q, LAI D H. Research progress of analysis of sugar in tobacco[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2017, 45(3): 44-49. (in Chinese)
- [16] 金云峰, 李军营, 张建波, 龚明. 烟草烟碱代谢的生化 and 分子机制及其调控[J]. 基因组学与应用生物学, 2015, 34(4): 882-891.
JIN Y F, LI J Y, ZHANG J B, GONG M. Biochemical and molecular mechanism of nicotine metabolism in tobacco plants[J]. Genomics and Applied Biology, 2015, 34(4): 882-891. (in Chinese)
- [17] 史宏志, 黄元炯, 刘国顺, 于建军, 赵明钦, BUSH L P. 我国烟草和卷烟生物碱含量和组成比例分析[J]. 中国烟草学报, 2001(2): 8-12.
SHI H Z, HUANG Y J, LIU G S, YU J J, ZHAO M Q, BUSH L P. Alkaloid content and proportion in Chinese tobacco and cigarettes[J]. Acta Tatararia Sinica, 2001(2): 8-12. (in Chinese)
- [18] 谢志坚, 涂书新, 张崧, 李海蓝, 韩丹, MUHAMMAD IMTIAZ, 徐昌旭, 刘光荣, 罗华汉. 影响烤烟烟碱合成与代谢的因素及其机理分析[J]. 核农学报, 2014, 28(4): 714-719.
XIE Z J, TU S X, ZHANG Q, LI H L, HAN D, IMTIAZ M, XU C X, LIU G R, LUO H H. Factors of nicotine synthesis and metabolism in *Nicotiana tabacum* L.[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2014, 28(4): 714-719. (in Chinese)
- [19] HARADA T. Studies of breeding of burley tobacco with respect to the nicotine to normicotine conversion[J]. Bulletin of the Morioka Tobacco Experiment Station, 1985, 19: 1-80.
- [20] 赵晓丹, 鲁喜梅, 史宏志, 曾代龙, 杨兴有, 王瑞云. 不同烟草类型烟叶中性致香成分和生物碱含量差异[J]. 中国烟草科学, 2012, 33(2): 7-11.
ZHAO X D, LU X M, SHI H Z, ZENG D L, YANG X Y, WANG R Y. Comparison of composition and contents of neutral aroma components and alkaloids in different types of tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2012, 33(2): 7-11. (in Chinese)
- [21] 王树声, 王宝华, 李雪震, 李新峰. 烤烟烟叶中游离氨基酸与内在质量关系的研究[J]. 中国烟草科学, 2002(4): 4-7.
WANG S S, WANG B H, LI X Z, LI X F. Relationship between content of free amino acids and inherent quality of flue-cured tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2002(4): 4-7. (in Chinese)
- [22] 刘敬业, 李天福, 冉邦定, 陈萍. 烤烟氨基酸含量变化规律研究[J]. 中国烟草学报, 1996, 3(1): 36-42.
LIU J Y, LI T F, RAN B D, CHEN P. Studies of the changing regular of amino acids contents in flue-cured tobacco[J]. Acta Tatararia Sinica, 1996, 3(1): 36-42. (in Chinese)
- [23] 邓国宾, 曾晓鹰, 薛红芬, 周丽娟, 王超, 胡巍耀. 烤烟游离氨基酸与感官质量的相关性研究[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(5): 14-19.
DENG G B, ZENG X Y, XUE H F, ZHOU L J, WANG C, HU W Y. Correlation between free amino acids and sensory quality of flue-cured tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2011, 32(5): 14-19. (in Chinese)
- [24] 殷延齐, 刘惠民, 夏巧玲, 谢复伟, 王昇. 卷烟烟丝中游离态氨基酸的主成分分析和聚类分析[J]. 烟草科技, 2007(10): 36-40.
YIN Y Q, LIU H M, XIA Q L, XIE F W, WANG S. Principal component analysis and cluster analysis of free amino acids in cut tobacco[J]. Tobacco Science & Technology, 2007(10): 36-40. (in Chinese)
- [25] 彭艳, 周冀衡, 尹光庭, 李卫, 柳立. 不同产区烤烟中挥发性和半挥发性有机酸的比较分析[J]. 中国农学通报, 2013, 29(34): 212-215.
PENG Y, ZHOU J H, YIN G T, LI W, LIU L. Comparison on the content of volatile and semi-volatile acid in flue-cured tobacco from different production regions[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(34): 212-215. (in Chinese)
- [26] 刘世亮, 杜君, 化党领, 介晓磊, 王维超, 王雪芬, 韩富根. 不同有机酸对烤烟品质和产值的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(5): 851-858.

- LIU S L, DU J, HUA D L, JIE X L, WANG W C, WANG X F, HAN F G. Effects of different organic acids on quality and yield in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.)[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(5): 851-858. (in Chinese)
- [27] 赵铭钦, 刘金霞, 黄永成, 黄元炯, 苏长涛. 烟草质体色素与烟叶品质的关系综述[J]. *中国农学通报*, 2007, 23(7): 135-138.
- ZHAO M Q, LU J X, HUANG Y C, HUANG Y J, SU C T. Review of the relation between the plastid pigment and the quality of tobacco leaves[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(7): 135-138. (in Chinese)
- [28] 过伟民, 尹启生, 宋纪真. 烟草质体色素及其降解产物影响因素研究进展[J]. *华北农学报*, 2008, 23(Suppl.1): 358-362.
- GUO W M, YIN Q S, SONG J Z. Research progress on influencing factors of plastid pigment and its degrading products from tobacco[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2008, 23(Suppl.1): 358-362. (in Chinese)
- [29] 叶科媛, 刘路路, 卢瑞琳, 向欢, 刘仡, 胡希, 曾祥华, 王俊. 不同成熟度和晾制方式对雪茄烟叶品质的影响[J]. *浙江农业科学*, 2022, 63(7): 1584-1587.
- YE K Y, LIU L L, LU R L, XIANG H, LIU Y, HU X, ZENG X H, WANG J. Effects of different maturity and air-curing methods on the quality of cigar leaves[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2022, 63(7): 1584-1587. (in Chinese)
- [30] 卢瑞琳, 刘路路, 胡希, 叶科媛, 钟秋, 邹宇航, 时向东. 不同采收时间对雪茄烟叶产质量的影响[J]. *河南农业科学*, 2021, 50(10): 51-59.
- LU R L, LIU L L, HU X, YE K Y, ZHONG Q, ZOU Y H, SHI X D. Effects of different harvest time on yield and quality of cigar leaves[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2021, 50(10): 51-59. (in Chinese)
- [31] 张锐新, 任天宝, 赵松超, 蒋东来, 祝春岗, 闻刚, 赵铭钦. 晾制密度对雪茄烟中性致香成分的影响[J]. *天津农业科学*, 2018, 24(6): 45-48.
- ZHANG R X, REN T B, ZHAO S C, JIANG D L, ZHU C G, WEN G, ZHAO M Q. Effects of drying density on neutral aroma compounds in cigar tobacco leaves[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2018, 24(6): 45-48. (in Chinese)
- [32] 郭文龙, 丁松爽, 刘路路, 钟秋, 刘仡, 胡希, 叶科媛, 王俊, 卢瑞琳, 时向东. 翻堆对初次发酵过程中雪茄茄芯烟叶质量变化的影响[J]. *南方农业学报*, 2021, 52(2): 365-373.
- GUO W L, DING S S, LIU L L, ZHONG Q, LIU Y, HU X, YE K Y, WANG J, LIU R L, SHI X D. Effects of pile turning on the quality change of cigar core tobacco leaf during primary fermentation[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2021, 52(2): 365-373. (in Chinese)
- [33] 杨德廉, 王树生, 王宝华, 李雪震. 烟草中氨基酸变化规律及其与烟叶品质的关系[J]. *中国烟草科学*, 1998(3): 11-13.
- YANG D L, WANG S S, WANG B H, LI X Z. Research progress on the changes of amino acids in tobacco and their relationship with tobacco quality[J]. *Chinese Tobacco Science*, 1998(3): 11-13. (in Chinese)
- [34] 韩锦峰, 张志勇, 刘华山, 王晓军, 刘晗, 毛官杰. 烟草腺毛及其分泌物西柏三烯醇类物质的研究进展[J]. *中国烟草学报*, 2013, 19(5): 118-124.
- HAN J F, ZHANG Z Y, LIU H S, WANG X J, LIU H, MAO G J. Research advance in tobacco glandular trichomes and their secretion substance cembranoids[J]. *Acta Tatarica Sinica*, 2013, 19(5): 118-124. (in Chinese)
- [35] 王冬. 烟草西柏三烯二醇积累的遗传及生态响应研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2016.
- WANG D. Research of genetic basis and ecological response of cembratrien-diol synthesis in tobacco[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [36] 吴创, 施友志, 潘勇, 王剑, 胡捷, 贾梦珠, 谭再钰, 刘洋, 刘利平. 麦饭石肥料施用量对来凤雪茄烟叶品质的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2022(5): 116-123.
- WU C, SHI Y Z, PAN Y, WANG J, HU J, JIA M Z, TAN Z Y, LIU Y, LIU L P. Effect of fertilizer application rate of maifanite on quality of Laifeng cigar tobacco leaf[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2022(5): 116-123. (in Chinese)
- [37] 闫新甫, 王以慧, 雷金山, 周锦龙, 潘勇, 胡希, 罗安娜, 孔劲松, 陈德鑫, 刘敏. 国产雪茄分类探讨及其实际应用分析[J]. *中国烟草学报*, 2021, 27(5): 100-109.
- YAN X F, WANG Y H, LEI J S, ZHOU J L, PAN Y, HU X, LUO A N, KONG J S, CHEN D X, LIU M. Classification of domestic cigars and its practical application[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2021, 27(5): 100-109. (in Chinese)
- [38] 赵田. 不同栽培和调制措施对白肋烟和烤烟氨基酸含量的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2012.
- ZHAO T. Effects of different cultivation measures and curing methods on contents of free amino acids in flue-cured tobacco and burley tobacco[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- [39] 杨滢, 何庆, 张亚平, 周顺, 王孝峰, 杨俊, 张晓宇, 田振峰, 葛少林, 杨莫愁, 徐迎波. 不同结构烟草纤维素的燃烧热解特性[J]. *烟草科技*, 2017, 50(5): 38-44.
- YANG Y, HE Q, ZHANG Y P, ZHOU S, WANG X F, YANG J, ZHANG X Y, TIAN Z F, GE S L, YANG M C, XU Y B. Combustion and pyrolysis characteristics of tobacco celluloses with different structures[J]. *Tobacco Sci-*

- ence & Technology, 2017, 50(5): 38-44. (in Chinese)
- [40] 符云鹏, 温玉转, 王德华, 黄若平, 田香华, 俞杏珍. 不同肥料配施对香料烟燃烧性及品质的影响[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(3): 66-71.
FU Y P, WEN Y Z, WANG D H, HUANG R P, TIAN X H, YU X Z. Effects of combined application of different fertilizers on combustibility and quality of oriental tobacco leaves[J]. Chinese Tobacco Science, 2011, 32(3): 66-71. (in Chinese)
- [41] 郑祥洲, 郭宝玲, 王英男, 张玉树, 丁洪. 施用新型土壤调理剂改善烟草产量品质及土壤理化性质[J]. 热带作物学报, 2019, 40(7): 1278-1283.
ZHENG X Z, GUO B L, WANG Y N, ZHANG Y S, DING H. New type soil conditioner improves soil properties and tobacco yield and quality[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(7): 1278-1283. (in Chinese)
- [42] 柳开楼, 胡惠文, 叶会财, 胡秋萍, 胡志华, 黄庆海, 李大明, 余喜初. 红壤区施用稻草源生物炭对烟叶钾含量的影响[J]. 热带作物学报, 2018, 39(12): 2350-2354.
LIU K L, HU H W, YE H C, HU Q P, HU Z H, HUANG Q H, LI D M, YU X C. Application of rice straw-derived biochar increasing potassium content of tobacco leaves in red soil[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2018, 39(12): 2350-2354. (in Chinese)
- [43] 杜佳, 周瑞生, 姚芳, 祝春岗, 莫娇, 时向东. 海南雪茄茄衣氯离子来源及降氯途径分析[J]. 中国烟草学报, 2016, 22(6): 85-90.
DU J, ZHOU R S, YAO F, ZHU C G, MO J, SHI X D. Sources analysis and control approaches of chloride ions in cigar wrapper in Hainan[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2016, 22(6): 85-90. (in Chinese)
- [44] 荣仕宾, 李晶晶, 赵园园, 秦艳青, 王俊, 杨兴有, 张瑞娜, 谭舒, 李传胜, 袁玉龙, 史宏志. 雪茄芯叶人工发酵温湿度控制对化学成分和香味品质的影响[J]. 中国烟草学报, 2021, 27(2): 109-116.
RONG S B, LI J J, ZHAO Y Y, QIN Y Q, WANG J, YANG X Y, ZHANG R N, TAN S, LI C S, YUAN Y L, SHI H Z. Effect of artificial fermentation temperature and humidity on chemical composition and aroma quality of cigar filler tobacco[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2021, 27(2): 109-116. (in Chinese)
- [45] 王瑞新. 烟草化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
WANG R X. Tobacco Chemistry[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003. (in Chinese)
- [46] 于建军, 宫长荣. 烟草原料初加工[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
YU J J, GONG C R. Primary processing of tobacco materials[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2009. (in Chinese)
- [47] REID J J, GRIBBONS M F, HALEY D E. The fermentation of cigar leaf tobacco as influenced by the addition of yeast[J]. Journal of Agricultural Research, 1944, 69: 373-381.
- [48] 丁燕芳, 李亚培, 张小全, 薛刚, 梅芳, 李彦平, 杨铁钊. 基因型、环境及其互作对烤烟主要致香成分的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(3): 97-102.
DING Y F, LI Y P, ZHANG X Q, XUE G, MEI F, LI Y P, YANG T Z. Effects of genotype, environment and their interaction on the content of aroma components in Flue-cured tobacco[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2012, 21(3): 97-102. (in Chinese)
- [49] 王刘胜, 马戎. 浓香型产区烟叶主要化学成分与风格品质特色及其关系研究[J]. 中国烟草科学, 2013, 34(5): 28-32.
WANG L S, MA R. Major chemical components and quality and style and their relationships in full flavor tobacco growing regions[J]. Chinese Tobacco Science, 2013, 34(5): 28-32. (in Chinese)