

安然, 陈一鑫, 母婷婷, 等. 施氮量对湖南雪茄烟叶感官质量的影响及关键化学成分分析[J]. 华中农业大学学报, 2025, 44(6): 156-166.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2025.06.016

施氮量对湖南雪茄烟叶感官质量的影响 及关键化学成分分析

安然¹, 陈一鑫², 母婷婷³, 曾慧宇¹, 范才银¹,
邓国林¹, 万花全¹, 时向东², 丁松爽², 肖志鹏³

1. 湖南省衡阳市烟草公司常宁市分公司, 常宁 421500; 2. 河南农业大学烟草学院/国家烟草栽培生理生化研究
基地/烟草行业烟草栽培重点实验室, 郑州 450046; 3. 湖南省衡阳市烟草公司, 衡阳 421001

摘要 为探究施氮量影响雪茄烟感官质量的物质基础, 解析湖南雪茄烟叶风味特征, 以雪茄烟品种CX81为试验材料, 设置4个施氮量处理: N0(0 kg/hm², CK)、N1(180 kg/hm²)、N2(210 kg/hm²)、N3(240 kg/hm²), 测定发酵后烟叶感官质量及主要化学成分; 通过正交偏最小二乘判别分析(OPLS-DA), 筛选关键差异指标并解析其与感官质量的关系。结果显示: 施氮量增加可以提高雪茄烟烟气强度、醇和度、花粉香和糯米香; 随着施氮量增加, 雪茄烟叶中总氮、烟碱和棕色化反应产物含量显著升高; 苯丙氨酸类降解产物、类胡萝卜素降解产物、新植二烯及中性致香物质总量则呈先升后降趋势; 而总糖、还原糖和类西柏烷类降解产物含量则逐渐降低; 不同施氮量处理下雪茄烟叶并无特有的化学成分出现, 且随着施氮量的增加, 化学成分含量上升的组分逐渐增加。对主要化学成分进行筛选, 共筛选出21种关键差异成分, 其中, 7种关键差异成分与感官质量呈显著正相关, 2种呈显著负相关。结果表明, 增施氮肥可增加中性致香物质总量(除新植二烯外), 进而提高雪茄烟的甜润感和木香香韵; 同时, 通过提高总氮、烟碱、苯甲醛、糠醛、3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮以及棕色化反应产物含量, 降低还原糖的质量分数, 进一步提升烟气强度和烟气醇和感, 丰富花粉香和糯米香香韵。

关键词 施氮量; 雪茄烟; 感官质量; 常规化学成分; 中性致香物质

中图分类号 S572; TS453 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2025)06-0156-11

雪茄烟具有劲头大、烟气醇厚、香气浓郁、香韵丰富、吃味苦中透甜等独特风格^[1]。感官质量是雪茄烟质量的核心表现, 不同地区种植的雪茄烟都具有特殊的香吃味, 不同的烟叶原料会影响整支雪茄的风味^[2-3]。因此, 探究影响湖南雪茄烟叶感官质量的关键要素, 深入挖掘与风味特征相关的物质, 对国产雪茄烟叶原料利用、提高中式雪茄风格特色具有重要意义。

氮素是构成烟草中众多大分子物质的重要元素, 在适量的施氮范围内, 烟叶的品质会随着施氮量的增加而提高^[4]。研究者们发现, 在一定范围内, 随着施氮量的增加, 烟叶的感官质量有所提高, 主要表现在提高了香气质和香气量、改善余味、降低杂气等方面^[5-7]。史宏志等^[8]进一步研究了烤烟中随着施氮

水平的提高, 烟碱和总氮含量与烟叶中性香气成分含量之间的关系, 阐明了施氮量的提高是改善烟叶感官质量的关键因素。雪茄烟属于高氮类型烟草, 相较于烤烟, 氮素对烟叶感官质量的影响更大^[9]。李林林等^[10]研究表明, 河南洛宁产区雪茄烟在氮用量为120 kg/hm²时中性致香成分含量较高, 香气质、香气量及余味等感官质量得分较高。张嘉雯等^[4]研究发现, 四川德阳雪茄烟施氮量为165 kg/hm²时, 雪茄烟叶表现出香气质好、香气量足、杂气较小以及燃烧性好的特点。邢云飞等^[11]对不同施氮水平下湖南怀化雪茄烟叶品质的研究结果显示, 210 kg/hm²的施氮水平下, 雪茄烟叶化学成分更加协调、中性致香物质含量最高。

化学成分和香气物质是决定雪茄烟感官质量和

收稿日期: 2024-12-16

基金项目: 湖南省烟草公司衡阳市公司科技计划项目(2022430400240023); 中国烟草总公司湖南省公司科技项目(HN2022KJ02)

安然, E-mail: anran@foxmail.com

通信作者: 肖志鹏, E-mail: 89384059@qq.com

风味特征的物质基础^[12-13]。目前,针对烤烟施氮量与感官质量关系的研究已经较为成熟,然而国内关于施氮量对雪茄烟感官质量影响的研究,多局限于对品质特征的简单比较,缺乏从烟叶品质、烟气特性及风格特征等多维度的系统性综合评价。此外,施氮量导致雪茄烟叶感官质量差异的物质基础尚不清楚,二者之间的关系尚不明确,鉴于此,本研究对不同氮用量处理下的湖南雪茄烟叶进行系统的感官质量评价,并基于正交偏最小二乘判别分析(OPLS-DA)法,分析不同施氮量下雪茄烟叶常规化学成分和中性致香物质的关键性差异指标,采用 Pearson 相关性分析法探寻其与感官质量的关系,以期通过定向技术改良,提高湖南雪茄烟风格特征,为掌握国产雪茄烟叶的风味特征变化规律,提高中式雪茄烟风格特色定位提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试品种为 CX81(湖南省烟草科学研究所提供),选用大田管理规范、鲜烟素质基本一致的中部叶进行晾制,使用恒温恒湿箱(LHS-150HC-1,上海一恒科学仪器有限公司),温度设置为 42℃,湿度设置为 80%,进行初次发酵 25 d 后,作为试验材料。

1.2 试验地点

试验于 2023 年在湖南省衡阳市常宁市庙前镇雪茄烟生产基地(26°10'N, 112°29'E, 海拔 167.8 m)进行。供试土壤质地类型为粉砂质黏土,采取烟稻轮作制度,土壤理化性质为:土壤 pH 5.04,有机质 59.81 g/kg、全氮 3.13 g/kg、全磷 0.69 g/kg、全钾 20.71 g/kg、碱解氮 265.65 mg/kg、有效磷 11.78 mg/kg、速效钾 139 mg/kg。

1.3 试验设计

试验采用随机区组设计,设置 4 个施氮量处理: N0 (0 kg/hm², CK)、N1 (180 kg/hm²)、N2 (210 kg/hm²)、N3 (240 kg/hm²),每个处理设置 3 次重复,共计 12 个小区,每个小区面积 80 m²。供试烟株于 4 月 5 日移栽,行株距为 1.2 m×0.4 m,基追比 5:5。试验肥料由当地烟草公司提供,氮肥使用烟草专用基肥(8.5-10-11)、烟草专用提苗肥(20-9-0)、菜籽饼肥(2.76-0.59-1.1)、烟草专用追肥(10-0-32)、硝酸钾(13.5-0-44),各处理磷钾肥施用量相同,磷肥用量为 310 kg/hm²,钾肥用量为 560 kg/hm²。磷肥和钾肥分别用钙镁磷肥(0-12-0)和硫酸钾(0-0-50)补齐。烟

株初花打顶,同时抹去下部 4~5 片底脚叶。其他栽培管理期间的农事操作保持一致,按照当地雪茄烟叶栽培管理技术执行。

1.4 感官品质测定

将发酵后不同处理的雪茄烟叶分别卷制成长度 110 mm,直径 14 mm 的评吸样品,在温度 18℃、相对湿度 70% 的 Binder 恒温恒湿柜(KBF240,宾德环境试验设备(上海)公司)中醇化养护 4 个月后供评吸使用。醇化养护后的样品由国家烟草栽培生理生化研究基地委托行业内专家进行感官评吸。参照文献[14],采用 9 分制标度,对样品的品质特征、烟气特征及风格特征进行评价。

1.5 常规化学成分测定

常规化学成分测定指标及测定方法:使用连续流动分析仪(型号 AA3—HR),按照 YC/T 161—2002《烟草及烟草制品 总氮的测定 连续流动法》、YC/T 160—2002《烟草及烟草制品 总植物碱的测定 连续流动法》、YC/T 249—2008《烟草及烟草制品蛋白质的测定 连续流动法》、YC/T 159—2019《烟草及烟草制品 水溶性糖的测定 连续流动法》、YC/T 217—2017《烟草及烟草制品 钾的测定 连续流动法》、YC/T 162—2011《烟草及烟草制品 氯的测定 连续流动法》中的方法分别测定烟叶总氮、烟碱、蛋白质、总糖、还原糖、钾、氯含量。

1.6 中性致香物质测定

香气前体物质通过水蒸气蒸馏-二氯甲烷溶剂萃取法进行提取,使用气质联用仪(美国 HP5890-5972)进行 GC-MS 分析,通过 NIST 谱库检索定性,内标法定量,依据史宏志等^[15]的方法进行分类。

GC 条件:色谱柱为 HP-5MS 石英毛细管柱(30 m×0.32 mm×0.25 μm);载气为高纯度氦气(He, 99.999%),流速 1.3 mL/min;进样口温度 250℃,分流进样模式(分流比 10:1);程序升温:初始温度 50℃(保持 5 min),以 3℃/min 升至 230℃,再以 12℃/min 升至 280℃(保持 10 min)。

MS 条件:离子源:EI 源;电离电压:70 eV;离子源温度:230℃;传输线温度:250℃;扫描方式:全扫描;扫描范围:33~550 amu。

1.7 数据处理及作图

使用 Excel 2021 进行数据处理,采用 SPSS 25.0 统计软件对数据进行最小显著差异法(LSD)和皮尔逊相关性(Pearson correlation)分析,通过 SIMCA

14.1 软件进行正交偏最小二乘判别分析(orthogonal partial least squares-discriminant analysis, OPLS-DA)。使用 Origin Pro 2021 软件绘制感官质量雷达图、差异成分火山图、VIP 图以及相关性热图;SIM-CA 14.1 软件绘制 OPLS-DA 模型得分图;TBtools-II 软件绘制关键差异指标热图。

2 结果与分析

2.1 不同施氮量下雪茄烟叶的感官质量

不同施氮量处理下雪茄烟叶的感官质量评价如图 1 所示。从品质特征上看(图 1A),随着施氮量的升高,雪茄烟的品质特征整体呈先升高后降低的趋

势,N2 处理下的雪茄烟叶在香气质、香气量、杂气和甜润感方面均优于其他处理,但燃烧性有所降低,余味较 N1 处理有所下降。从烟气特征来看(图 1B),N2 处理的烟气透发性和雪茄风格彰显度优于其他处理,但烟气浓度有所降低;N2 处理的醇和度和烟气强度同 N3 处理一致,均为最大。不同施氮量下雪茄烟风格特征差异较大(图 1C),不同处理的雪茄烟均有木香、豆香和花粉香香韵,但是随着施氮量的增加,雪茄烟的糯米香显现,花粉香有明显提升,在 N3 处理时最高。综合来看,不同施氮量下雪茄烟的感官质量差异较大,且随着施氮量的增加,烟气强度、醇和度、花粉香和糯米香逐渐提高。

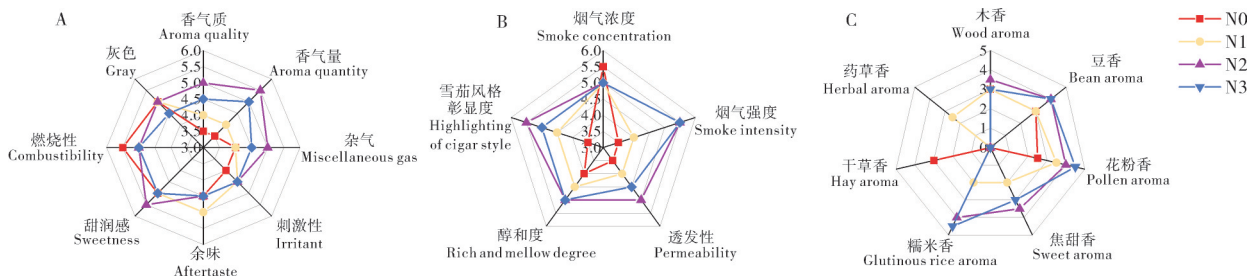


图 1 不同施氮量下雪茄烟在品质(A)、烟气(B)、风格特征(C)方面的感官质量评价

Fig. 1 Sensory quality evaluation results of cigars in terms of quality, smoke and style characteristics of cigar tobacco leaves under different nitrogen application rate

2.2 不同施氮量下雪茄烟叶的常规化学成分含量

由表 1 可知,从常规化学成分含量来看,随着施氮量的增加,雪茄烟叶的总糖、还原糖和氮碱比呈下降趋势,其中,总糖含量在 0.43%~0.54%,N2 和 N3 处理之间差异不显著;还原糖含量在 0.17%~0.25%,N1 和 N2 处理之间差异不显著。与糖含量相反,总氮、烟碱

和蛋白质含量逐渐增加,总氮、烟碱含量处理间差异显著,施氮处理较 N0 处理增幅分别为 6.43%~18.01% 和 18.14%~51.90%。施氮量对雪茄烟叶的钾氯比影响较小,与 N0 相比,施氮处理钾氯比有所降低,但处理间差异不显著。各处理下的雪茄烟叶氮碱比均大于 1。综合来看,N2 处理的化学成分更加协调。

表 1 不同施氮量下雪茄烟叶化学成分含量的变化

Table 1 Changes in chemical composition of cigar tobacco leaves under different nitrogen application rates									
处理 Treatment	总糖/% Total sugar	还原糖/% Reducing sugar	烟碱/% Nicotine	氯/% Chlorine	钾/% Potassium	总氮/% Total nitrogen	蛋白质/% Protein	钾氯比 Potassium chlorine ratio	氮碱比 Nitrogen nicotine ratio
N0	0.54±0.01a	0.25±0.01a	2.37±0.11d	0.84±0.02d	4.92±0.13b	3.11±0.07d	6.69±0.09c	5.83±0.22a	1.31±0.09a
N1	0.48±0.02b	0.22±0.01b	2.80±0.07c	0.96±0.02c	4.91±0.09b	3.31±0.06c	6.88±0.09bc	5.12±0.02b	1.18±0.03b
N2	0.45±0.01c	0.21±0.01b	3.34±0.06b	1.01±0.01b	5.13±0.05a	3.46±0.04b	7.00±0.12b	5.09±0.08b	1.04±0.02c
N3	0.43±0.01c	0.17±0.01c	3.60±0.09a	1.04±0.01a	5.23±0.08a	3.67±0.12a	7.61±0.16a	5.02±0.05b	1.02±0.01c

注:同列不同小写字母表示不同处理间存在显著差异(P<0.05),下同。Note: The lowercase letters in the same column indicate that there are significant differences between different treatments, the same as below.

2.3 不同施氮量下雪茄烟叶的中性致香物质含量

为研究不同施氮量处理下的雪茄烟叶的香气特征,对发酵后烟叶的中性致香成分及含量进行分析鉴定。由表 2 可知,共检测出 6 大类中性致香物质,分别为苯丙氨酸类降解产物、棕色化反应产物、类西柏烷类降解产物、类胡萝卜素降解产物、叶绿素降解

产物和其他致香物质,总计 33 种香气成分。进一步分析发现,随着施氮量的增加,苯丙氨酸类降解产物、类胡萝卜素降解产物、新植二烯和中性致香物质总量均呈现先升高后降低的趋势,N2 处理含量最高且各处理间差异显著。棕色化反应产物随施氮量的升高而显著增加,类西柏烷类降解产物显著降低。

表 2 不同施氮量下雪茄烟叶的中性致香物质含量变化

Table 2 Changes of neutral aroma components content in cigar tobacco leaves under different nitrogen application rates

类别 Category	致香物质 Aroma constituents	含量/(μg/g) Content			
		N0	N1	N2	N3
苯丙氨酸类降解产物 Phenylalanines degradation products	苯甲醇 Benzyl alcohol	5.25±0.08c	7.73±0.08b	9.64±0.22a	9.33±0.17a
	苯乙醇 Phenylethyl alcohol	7.04±0.07d	14.75±0.35c	20.96±0.27a	19.49±0.31b
	苯甲醛 Benzaldehyde	0.16±0.00d	0.33±0.01c	0.52±0.01b	0.62±0.01a
	苯乙醛 Phenyl acetaldehyde	6.01±0.07c	15.43±0.08a	15.77±0.23a	10.87±0.24b
	小计 Subtotal	18.47±0.04d	38.24±0.27c	46.88±0.21a	40.32±0.36b
棕色化反应产物 Browning reaction products	糠醛 Furfural	11.00±0.10d	15.69±0.37c	17.47±0.06b	20.21±0.25a
	糠醇 Furfuryl alcohol	1.19±0.01c	1.21±0.02c	1.76±0.01b	1.83±0.02a
	5-甲基糠醛 5-Methylfurfural	0.27±0.01d	0.59±0.01c	0.65±0.01b	0.69±0.01a
	2-乙酰基呋喃 2-Acetylfuran	1.29±0.02b	1.38±0.01a	1.44±0.02a	1.42±0.02a
	2-乙酰基吡咯 2-Acetylpyrrole	1.08±0.00c	1.38±0.03b	1.53±0.02a	1.48±0.01a
	3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮 3,4-Dimethyl-2,5-furandione	0.78±0.01d	1.37±0.02c	1.77±0.03b	2.13±0.01a
	小计 Subtotal	15.60±0.11d	21.63±0.43c	24.62±0.03b	27.75±0.22a
类西柏烷类降解产物 Cembranoids of the class degradation products	茄酮 Solanone	74.85±0.71a	22.06±0.16b	19.97±0.23c	15.90±0.20d
类胡萝卜素降解产物 Carotenoid degradation product	β-大马酮 β-Damascone	11.63±0.23d	19.23±0.24c	25.76±0.49a	21.79±0.44b
	β-二氢大马酮 β-Dihydrodamascenone	5.87±0.05d	10.86±0.12b	12.81±0.14a	8.68±0.06c
	3-羟基-β-二氢大马酮 3-Hydroxy-β-damascone	6.81±0.10d	8.83±0.18b	10.62±0.16a	8.19±0.15c
	巨豆三烯酮 1 Megastigmatrienone 1	8.43±0.11c	9.50±0.09b	11.48±0.08a	8.48±0.12c
	巨豆三烯酮 2 Megastigmatrienone 2	41.50±0.93d	51.33±0.33b	62.78±1.03a	48.87±0.41c
	巨豆三烯酮 3 Megastigmatrienone 3	1.89±0.04c	4.24±0.06b	4.58±0.07a	4.15±0.05b
	巨豆三烯酮 4 Megastigmatrienone 4	32.20±0.38d	41.96±0.78b	50.56±0.48a	38.13±0.42c
	巨豆三烯酮总量 Total amount of megastigmatrienone	81.80±1.87d	103.40±1.34b	132.17±1.01a	98.75±0.95c
	6-甲基-5-庚烯-2-醇 6-Methyl-5-hepten-2-ol	0.91±0.02d	1.79±0.02b	1.94±0.01a	1.31±0.01c
	6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-Methyl-heptenone	4.05±0.02b	5.06±0.08a	5.10±0.07a	5.06±0.07a
	异佛尔酮 Isophorone	0.22±0.01a	0.19±0.01b	—	—
	氧化异佛尔酮 Keto-isophorone	0.56±0.01d	0.88±0.01c	1.21±0.01a	1.01±0.01b
	法尼基丙酮 Farnesylacetone	22.70±0.33a	19.77±0.44b	17.95±0.21c	16.42±0.41d
	香叶基丙酮 Geranyl acetone	6.49±0.10c	7.48±0.10a	6.53±0.09c	7.06±0.02b
	二氢猕猴桃内酯 Dihydroactinodioidide	2.57±0.04b	2.39±0.02c	2.38±0.05c	3.15±0.03a
叶绿素降解产物 Chlorophyll degradation products	β-环柠檬醛 β-Cyclocitral	0.41±0.00c	0.41±0.00c	1.13±0.01a	0.95±0.01b
	螺岩兰草酮 Bulbophyllone	3.15±0.03d	3.82±0.09c	4.81±0.03a	4.11±0.06b
	芳樟醇 Linalool	0.58±0.00d	0.85±0.01c	0.98±0.00b	1.00±0.01a
	藏花醛 Safranal	—	—	0.21±0.00a	0.19±0.00b
	小计 Subtotal	149.94±1.56d	188.64±0.64b	220.86±1.83a	178.55±1.31c
	愈创木酚 Guaiacol	1.61±0.02a	0.91±0.01b	0.83±0.01c	0.72±0.01d
	2,6-壬二烯醛 2,6-Nonadienal	0.45±0.01d	1.45±0.01c	2.04±0.03a	1.57±0.02b
	小计 Subtotal	2.06±0.01d	2.36±0.02b	2.87±0.02a	2.29±0.02c
	新植二烯 Neophytadiene	764.66±5.52d	879.53±9.61b	1 017.01± 22.84a	832.08±12.47c
	总量(除新植二烯外) Total amount except neophytadiene	260.91±1.44c	272.92±0.30b	315.20±2.08a	264.81±0.64c
中性致香物质总量 Total neutral aroma substances	总量 Overall amount	1 025.57± 5.24d	1 152.45± 9.49b	1 332.21± 20.81a	1 096.88± 12.67c

注：—表示未检出。Note : — indicates that the item is not detected.

2.4 不同施氮量下雪茄烟叶主要化学成分含量特征分析

为更直观了解不同施氮量下雪茄烟叶主要化学成分含量变化,对差异显著的指标进行分析发现,相较于对照组烟叶,随着施氮量的增加,化学成分含量上升的组分逐渐增加(图2)。N1处理有8种组分含量降低,有35种组分含量相较于对照组增加,

N2处理同样有8种组分含量降低,有36种组分含量相较于对照组增加,N3处理下降的组分最少,上升的组分最多,分别有7种组分含量降低,有37种组分含量增加。对比对照组烟叶发现,不同施氮量下雪茄烟叶具有显著差异的主要化学成分较为复杂,化学成分含量上升的组分较多,化学成分含量下降的组分较少。

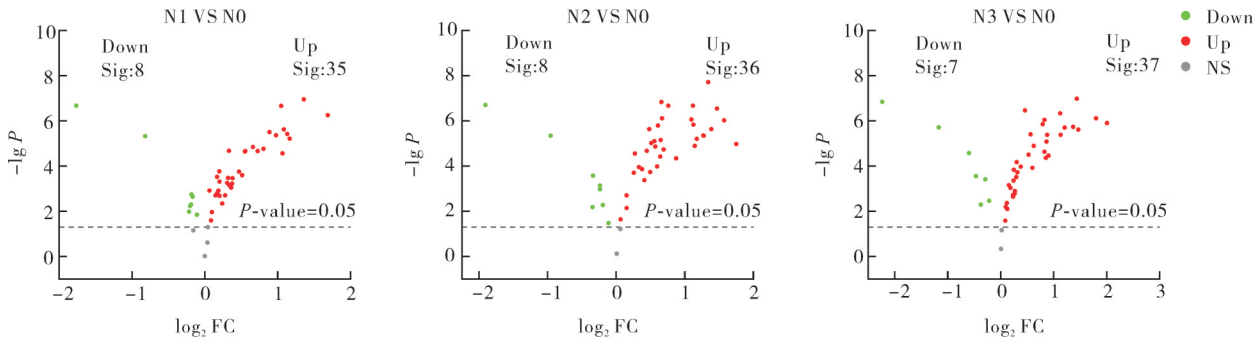
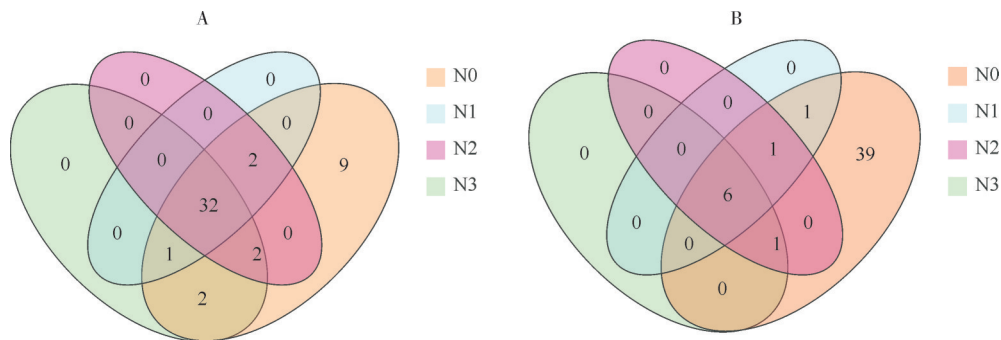


图2 不同施氮量下雪茄烟叶主要化学成分火山图

Fig. 2 Differential abundance of chemical components in cigar tobacco leaves modulated by nitrogen application rates

进一步对比分析不同施氮量处理下的差异化学成分发现,与N0处理相比,N1、N2和N3处理并无特有的化学成分出现(图3)。化学成分含量上升的组分如图3A所示,4个施氮量处理共有32种关键化学成分含量上升,N0、N1和N2处理共有关键化学成分2种,分别为巨豆三烯酮1和中性致香物质总量(除新植二烯外);N0、N1和N3处理共有关键化学成分1种,为香叶基丙酮;N0、N2和N3处理共有关键化学成

分2种,分别为蛋白质和糠醇;N0和N3处理共有关键化学成分2种,分别为钾和二氢猕猴桃内酯。化学成分含量下降的组分如图3B所示,4个施氮量处理共有6种关键化学成分含量下降,分别为总糖、还原糖、钾氯比、茄酮、法尼基丙酮和愈创木酚;N0和N1处理共有关键化学成分1种,异佛尔酮;N0、N1和N2处理共有关键化学成分1种,为二氢猕猴桃内酯;N0、N2和N3处理共有关键化学成分1种,为氮碱比。



A、B分别代表不同施氮量下雪茄烟叶差异化学成分含量上升组分和下降组分的Venn图。Venn analysis of up-regulated (A) and down-regulated (B) chemical components in cigar tobacco leaves responding to nitrogen application gradients under different nitrogen application rates.

图3 不同施氮量下雪茄烟叶差异化学成分 Venn 图

Fig. 3 Venn diagram analysis of different chemical components in cigar tobacco leaves

2.5 不同施氮量下雪茄烟叶的关键差异成分筛选及分析

1) 关键差异成分筛选。为进一步明确不同施氮量下雪茄烟叶的关键差异成分,以48个主要化学成分为因变量,不同施氮量处理作为自变量,利用

OPLS-DA 分析实现4个施氮量处理的雪茄烟叶样品的有效区分(图4A)。本研究中的自变量拟合指数(R_x^2)为0.974,因变量拟合指数(R_y^2)为0.995,模型预测指数(Q^2)为0.989, R^2 和 Q^2 超过0.9表示模型拟合结果很好。不同施氮量处理下衡阳雪茄烟叶化学

成分和香气物质的 OPLS-DA 模型如图 4B 所示, 经过置换检验 ($n=200$), Q^2 回归直线与 Y 轴的截距小于 0 (-0.611), 表明模型不存在过拟合, 模型验证有效, 认为该结果可用于影响雪茄烟叶感官质量的关键差异成分鉴别分析。

为了进一步分析不同组分影响雪茄烟叶感官质量的贡献度,根据变量投影重要度VIP值来衡量各成分对于模型分类的贡献程度,VIP值越大,表明贡

献程度越大。以VIP>1为标准,筛选出21种雪茄烟叶的差异物质成分(图5)。其中,常规化学成分4种、苯丙氨酸类降解产物1种、棕色化反应产物3种、类胡萝卜素降解产物9种、叶绿素降解产物1种、其他致香物质1种以及中性致香物质总量(除新植二烯外)和中性致香物质总量。

2)关键差异成分分析。对筛选出的21种雪茄烟叶关键差异成分进行层次聚类分析(图6)。其中,N0处

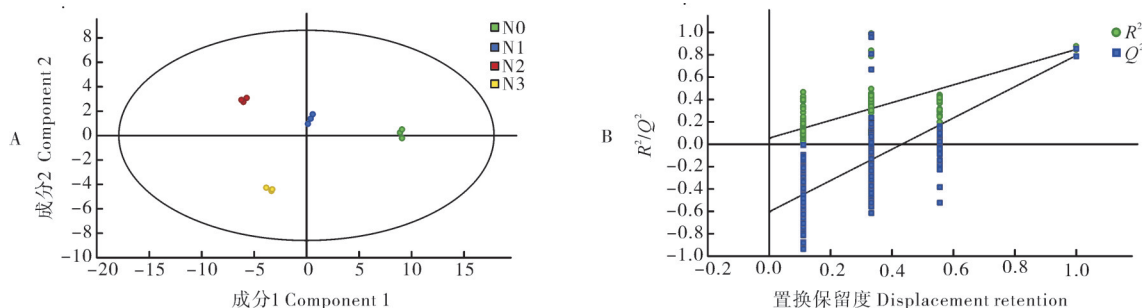


图 4 不同施氮量下雪茄烟叶化学成分和香气物质的 OPLS-DA 模型得分分布模型(A)及交叉验证结果(B)

Fig. 4 OPLS-DA model of chemical components and aroma substances in cigar tobacco leaves under different nitrogen application rates score distribution model (A) and cross validation results (B)

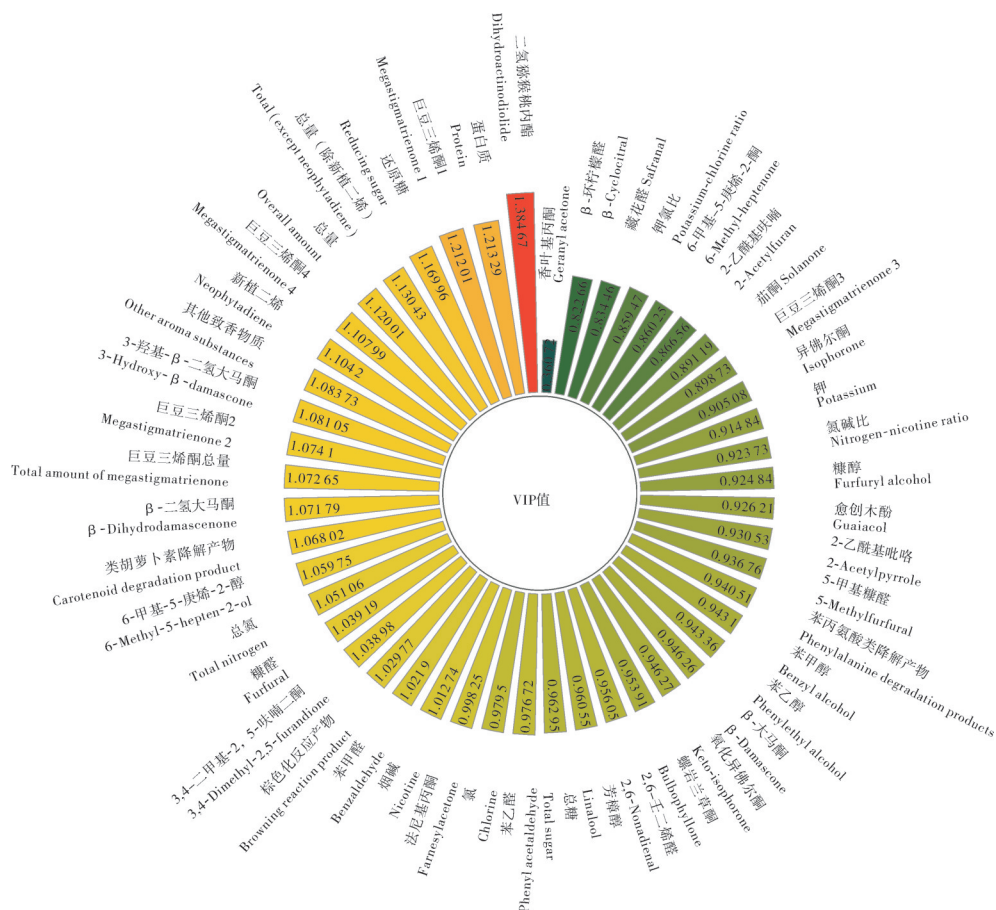


图 5 不同施氮量下雪茄烟叶化学成分和香气物质 VIP 值

Fig. 5 The VIP value of chemical components and aroma substances in cigar tobacco leaves under different nitrogen application rates

理条件下,除还原糖外,其他组分的相对含量均较低; N1处理条件下,6-甲基-5-庚烯-2-醇和 β -二氢大马酮等成分相对含量较高;N2处理条件下,香气主要的突出成分包括巨豆三烯酮类等类胡萝卜素降解产物、新

植二烯以及中性致香物质;N3处理条件下,则以蛋白质、烟碱、总氮、苯甲醛和棕色化反应产物含量较高。由此看出,不同施氮量处理下的关键差异成分相对含量差异较大。

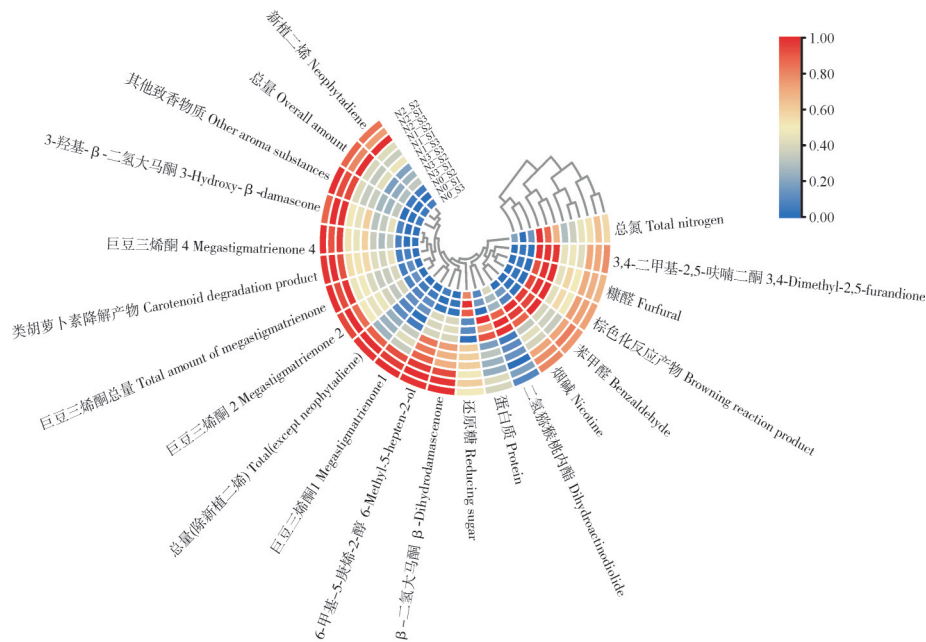


图 6 不同施氮量处理下雪茄烟叶关键差异成分层次聚类热图
Fig. 6 Hierarchical clustering heat map of key differential components of cigar tobacco leaves under different nitrogen application treatments

2.6 不同施氮量下雪茄烟叶感官质量与关键差异成分相关性分析

为进一步探究不同施氮量下雪茄烟叶感官质量与关键差异成分的关系,对关键差异成分含量与感官质量得分进行相关性分析,如图 7 所示。其中,二氢猕猴桃内酯、还原糖、中性致香物质总量(除新植二烯外)、总氮、糠醛、3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮、棕色化反应产物、苯甲醛及烟碱等 9 种关键化学成分与感官质量指标存在显著相关关系。从品质特征来看,雪茄烟叶的甜润感与中性致香物质总量(除新植二烯外)呈显著正相关,灰色与二氢猕猴桃内酯含量呈显著负相关。从烟气特征来看,不同施氮量下雪茄烟叶的烟气强度与苯甲醛和烟碱含量呈显著正相关,烟气醇和度与苯甲醛、烟碱、糠醛、3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮和棕色化反应产物含量呈显著正相关。风格特征方面,木香香韵与中性致香物质总量(除新植二烯外)呈显著正相关,花粉香香韵与总氮、烟碱和苯甲醛含量呈显著正相关,与糠醛、3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮和棕色化反应产物含量呈极显著正相关,与还原糖含量呈显著负相关。糯米香与花粉香香韵相关的指标较为接近,与苯甲醛和烟碱含量呈

极显著正相关,与总氮、糠醛、3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮和棕色化反应产物含量呈显著正相关。

3 讨论

氮素是调节烟草碳氮代谢的重要物质,对烟叶的生理代谢过程以及调制后烟叶的香气和口感等感官品质具有显著影响^[16]。本研究发现,随着施氮量的提高,雪茄烟叶的感官质量呈先升高后降低的趋势,具体表现在香气质好、量足、甜润感较好、杂气刺激性较小,与谭永浩等^[17]对湖南省张家界雪茄烟感官质量的研究结果一致,说明氮素可能是影响湖南雪茄烟叶感官质量的关键因素之一。化学成分和致香物质是决定烟草产品感官质量和风格特征的关键因素^[18]。史宏志等^[8]研究表明,随着施氮水平的提高,烟碱和总氮含量增加,同时类胡萝卜素类香气成分、新植二烯以及中性致香物质总量与烟碱和总氮呈显著的二次曲线相关,与本研究结果一致,说明在氮素营养充足的情况下,不仅有助于烟碱和总氮的积累,还能促进更多类胡萝卜素降解产物、新植二烯等香气物质的生成,但过多的氮肥用量不利于雪茄烟香气物质的形成。

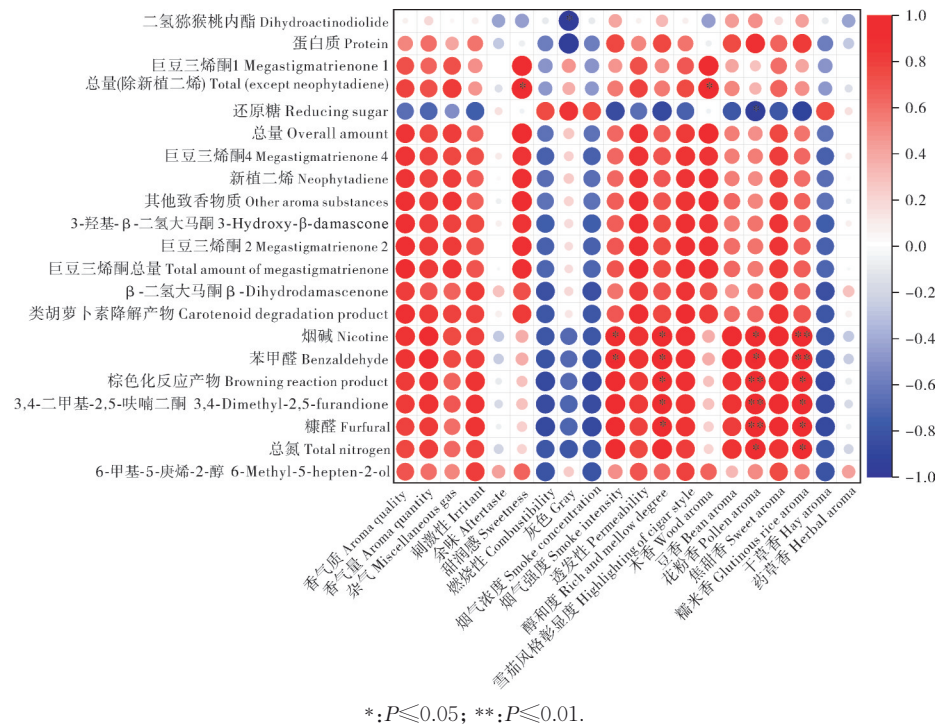


图 7 不同施氮量处理下雪茄烟叶感官质量与关键差异成分相关性热图

Fig. 7 Correlation heat map analysis of sensory quality and key differential components of cigar tobacco leaves under different nitrogen application rates

随着施氮量的增加,类西柏烷类降解产物显著降低,主要表现为茄酮含量降低。究其原因,类西柏烷类物质是烟草叶片腺毛所分泌的主要化学成分,在经历生长和调制阶段后大部分会降解转化成以茄酮为典型代表的多种香气成分^[19-20]。由于施氮量增加,氮素营养过剩导致叶片变大,使得腺毛的密度降低,每单位叶面积上的分泌物总量也会随之减少。此外,本研究表明,棕色化反应产物会随着施氮量的提高而显著增加,这与史宏志等^[8]在烤烟研究中的结论存在差异,与姚芳等^[21]对海南雪茄烟叶的研究结论一致。推测其原因是雪茄烟的蛋白质和氨基酸含量高于烤烟,雪茄烟在调制结束后会进行发酵和陈化,在此过程中糖类和氨基酸发生剧烈的非酶棕色化反应,使得棕色化反应产物增加。同时,烟叶的感官质量和香气质量与致香成分密切相关^[22-23],这也解释了为什么氮素充足的烟叶通常具有更丰富的香气。

通过感官导向结合组分分析是确定雪茄烟风味特征关键物质的有效手段。雪茄烟香气馥郁,其香韵特征是由多种化学成分协同构成的复杂混合香气。本研究基于OPLS-DA法,筛选出9种与雪茄烟叶感官质量显著相关的关键差异成分。其中,花粉香和糯米香与总氮含量呈显著正相关,烟气强度、醇

和度和花粉香与烟碱含量显著正相关,糯米香与烟碱含量呈极显著正相关。可能是由于含氮化合物作为烟草中含量最丰富的物质类别^[24],对感官质量具有显著影响。总氮含量适度提升会丰富杂环类香气物质^[4,25],但含量过高会导致游离氨基酸积累,引起烟叶刺激性增强和余味苦涩^[26]。烟碱含量是影响雪茄烟感官质量的重要因素之一,过高的烟碱含量会增加烟气的刺激性,过低的烟碱含量则可能导致烟气强度不够,影响整体感官体验。此外,烟碱的游离态和质子化态对雪茄烟的感官特性有显著影响,游离态烟碱含量较高时,烟气的刺激性会增强,而质子化态烟碱则可能改善香气表现^[27]。除此之外,本研究结果表明,烟气醇和度、花粉香和糯米香韵与苯甲醛、糠醛、3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮和棕色化反应产物含量显著正相关,但是,与还原糖含量显著负相关。这是由于还原糖通过非酶促棕色化反应生成的苯甲醛、糠醛等物质可以柔和烟气,降低刺激性和改善吃味,提高烟叶甜润感^[28]。值得注意的是,苯甲醛、糠醛和呋喃二酮等棕色化反应产物也是烟叶较为丰富的香味成分之一,不仅可以增强香气浓度,还能赋予烟叶花香、奶香和烘焙香等香韵^[28-29]。新植二烯作为中性致香物质中含量最高的物质,主要源于叶绿素降解,其本身香气微弱,但其热裂解产生醇

类、醛类、酮类、酯类化合物,可以减少烟气刺激性,对烟草香味具有积极贡献^[30-31]。本研究发现,雪茄烟的木香香韵与中性致香物质总量(除新植二烯外)呈显著正相关,并且烟叶的评吸结果受香气成分的影响较为明显,与香气成分总量变化趋势一致^[25],因此,推测中性致香物质总量(除新植二烯外)的提高,在一定程度上会影响雪茄烟叶感官质量评价。综上所述,本研究结果表明,在总氮、烟碱、还原糖以及苯甲醛、糠醛、3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮和棕色化反应产物的协同作用下,湖南雪茄烟的糯米香和花粉香得以彰显。

增施氮肥可以通过上述9种关键化学成分改善雪茄烟叶感官质量,进而彰显湖南雪茄烟的品质和风格特征。本研究的结果有助于了解影响湖南雪茄烟叶风味特征的关键物质基础,为湖南雪茄烟风格特征定位及定向调控提供理论依据。但是,对于不同的区域或气候条件下其他雪茄烟产区,氮肥对感官质量和风格的影响可能存在偏差,仍需进一步探索。

参考文献 References

- [1] 陈栋,李猛,王荣浩,等.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, et al. Progress of the domestic cigar filler tobacco[J]. Journal of Yangzhou University (agricultural and life science edition), 2019, 40(1): 83-90 (in Chinese with English abstract).
- [2] 郑天飞,张倩颖,李东亮,等.不同产地雪茄烟叶的风味特征和微生物群落分析[J].河南农业科学,2022,51(8):45-54. ZHENG T F, ZHANG Q Y, LI D L, et al. Analysis of flavor characteristics and microbial community of cigar tobacco leaves from different regions[J]. Journal of Henan agricultural sciences, 2022, 51(8): 45-54 (in Chinese with English abstract).
- [3] 李秀妮,闫铁军,吴风光,等.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, et al. Preliminary study on flavor characteristics of global typical cigar leaves[J]. Acta tabacaria sinica, 2019, 25(6): 126-132 (in Chinese with English abstract).
- [4] 张嘉雯,卢绍浩,赵铭钦,等.施氮量对四川雪茄烟叶碳氮代谢及品质的影响[J].作物杂志,2021(4):159-165. ZHANG J W, LU S H, ZHAO M Q, et al. Effects of nitrogen application rates on carbon and nitrogen metabolism and quality of cigar leaves in Sichuan[J]. Crops, 2021(4): 159-165 (in Chinese with English abstract).
- [5] 刘雅娴,杜传印,刘冰,等.不同施氮量下采收时间对烤烟经济性状及品质的影响[J].西南农业学报,2021,34(2):334-339. LIU Y X, DU C Y, LIU B, et al. Effects of harvesting time on economic characters and quality of flue-cured tobacco under different application amounts of nitrogen fertilizer[J]. Southwest China journal of agricultural sciences, 2021, 34(2): 334-339 (in Chinese with English abstract).
- [6] 郑宏斌,王聪,席奇亮,等.施氮量对云烟121上部烟叶代谢及品质的影响[J].中国农业科技导报,2024,26(10):215-225. ZHENG H B, WANG C, XI Q L, et al. Impact of nitrogen application rate on metabolism and quality of upper leaves of Yunyan 121[J]. Journal of agricultural science and technology, 2024, 26(10): 215-225 (in Chinese with English abstract).
- [7] 张玺,谢晋,黄浩,等.普洱烟区氮肥运筹及株距对烤烟品种云烟116产量和质量的影响[J].作物杂志,2022(5):188-194. ZHANG X, XIE J, HUANG H, et al. Effects of nitrogen fertilizer operation and plant spacing on yield and quality of Yunyan 116 in Pu'er tobacco area[J]. Crops, 2022(5): 188-194 (in Chinese with English abstract).
- [8] 史宏志,邸慧慧,赵晓丹,等.豫中烤烟烟碱和总氮含量与中性香气成分含量的关系[J].作物学报,2009,35(7):1299-1305. SHI H Z, DI H H, ZHAO X D, et al. Relationship of nicotine and total nitrogen contents with neutral aroma components in flue-cured tobacco in central area of Henan Province[J]. Acta agronomica sinica, 2009, 35(7): 1299-1305 (in Chinese with English abstract).
- [9] 张锐新,任天宝,殷全玉,等.施氮量对海南五指山雪茄烟生长发育及品质的影响[J].山西农业科学,2017,45(12):1969-1974. ZHANG R X, REN T B, YIN Q Y, et al. Effects of nitrogen application rate on growth and quality of cigar in Hainan Wuzhi Mountain[J]. Journal of Shanxi agricultural sciences, 2017, 45(12): 1969-1974 (in Chinese with English abstract).
- [10] 李林林.不同栽培和调制措施对洛宁雪茄烟生长发育及烟叶品质的影响[D].郑州:河南农业大学,2020. LI L L. Effects of different cultivation and modulation measures on the growth and quality luoning cigar[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2020 (in Chinese with English abstract).
- [11] 邢云飞,刘旭东,覃飏,等.施氮水平对怀化雪茄烟生长、氮肥吸收利用及烟叶品质的影响[J].山东农业科学,2023,55(4):97-101. XING Y F, LIU X D, QIN B, et al. Effects of nitrogen application level on growth, nitrogen absorption and utilization and tobacco quality of Huaihua cigar[J]. Shandong agricultural sciences, 2023, 55(4): 97-101 (in Chinese with English abstract).
- [12] ZHU B B, AN H Y, LI L, et al. Characterization of flavor profiles of cigar tobacco leaves grown in China via headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry coupled with multivariate analysis and sensory evaluation[J]. ACS omega, 2024, 9(14): 15996-16005.
- [13] 赵亮,王硕立,赵曦,等.国内外典型茄衣烟叶常规化学成分和中性致香物质关键性差异指标研究[J].轻工学报,2024,39(1):79-86. ZHAO L, WANG S L, ZHAO X, et al. Study on the key differences indexes of conventional chemical constit-

- uents and neutral aromatic substances in domestic and foreign typical wrapper tobacco leaves [J]. Journal of light industry, 2024, 39(1): 79-86 (in Chinese with English abstract).
- [14] 徐波,张博,王剑,等.国产雪茄烟感官质量评价方法的建立[J].烟草科技,2024,57(2):54-60. XU B, ZHANG B, WANG J, et al. Development of sensory quality evaluation method for domestic cigars in China [J]. Tobacco science & technology, 2024, 57(2): 54-60 (in Chinese with English abstract).
- [15] 史宏志,刘国顺,杨惠娟,等.烟草香味学[M].北京:中国农业出版社,2011. SHI H Z, LIU G S, YANG H J, et al. Tobacco flavor [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2011 (in Chinese).
- [16] 胡国松,郑伟,王震东,等.烤烟营养原理[M].北京:科学出版社,2000. HU G S, ZHENG W, WANG Z D, et al. Nutrition principle of flue-cured tobacco [M]. Beijing: Science Press, 2000 (in Chinese).
- [17] 谭永浩,向东,刘勇军,等.不同氮效应对武陵山区雪茄烟生长发育及品质特征的影响[J].江苏农业科学,2024,52(9):112-120. TAN Y H, TAN Y H, XIANG D, LIU Y J, et al. Influences of different nitrogen effects on growth and quality characteristics of cigar in Wuling mountainous area [J]. Jiangsu agricultural sciences, 2024, 52(9): 112-120 (in Chinese with English abstract).
- [18] 过伟民,张艳玲,刘伟,等.烤烟品种间理化特征的差异及其与感官质量的关系[J].烟草科技,2016,49(5):23-29. GUO W M, ZHANG Y L, LIU W, et al. Different physicochemical characteristics among several flue-cured tobacco varieties and their relationship with sensory quality [J]. Tobacco science & technology, 2016, 49(5): 23-29 (in Chinese with English abstract).
- [19] 付秋娟,杜咏梅,刘新民,等.超高效液相色谱法测定烟草西柏三烯二醇[J].中国烟草科学,2017,38(3):67-73. FU Q J, DU Y M, LIU X M, et al. Determination of cembratriene-diol in tobacco by ultra performance liquid chromatography [J]. Chinese tobacco science, 2017, 38(3): 67-73 (in Chinese with English abstract).
- [20] 赵铭钦,陈秋会,陈红华.中外烤烟烟叶中挥发性香气物质的对比分析[J].华中农业大学学报,2007,26(6):875-879. ZHAO M Q, CHEN Q H, CHEN H H. Analysis on the volatile neutral flavour components of flue-cured tobacco from domestic and abroad [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2007, 26(6): 875-879 (in Chinese with English abstract).
- [21] 姚芳,王慧方,徐世杰,等.施氮水平对海南茄衣中性致香物质含量的影响[J].中国农学通报,2017,33(16):83-90. YAO F, WANG H F, XU S J, et al. Effects of nitrogen levels on contents of neutral aroma substances of Hainan cigar wrapper tobacco [J]. Chinese agricultural science bulletin, 2017, 33(16): 83-90 (in Chinese with English abstract).
- [22] 廖惠云,甘学文,陈晶波,等.不同产地烤烟复烤烟叶 C3F 致香物质与其感官质量的关系[J].烟草科技,2006,39(7):46-50. LIAO H Y, GAN X W, CHEN J B, et al. Relationship between aroma constituents and smoking quality of redried flue-cured tobacco, C3F, grown in different areas [J]. Tobacco science & technology, 2006, 39(7): 46-50 (in Chinese with English abstract).
- [23] 张学伟,张玺,余金恒,等.植物生长物质对烤烟上部叶香味品质的影响[J].华中农业大学学报,2009,28(6):660-663. ZHANG X W, ZHANG X, YU J H, et al. Effects of plant growth substance on aroma compositions in upper flue-cured tobacco leaves [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2009, 28(6): 660-663 (in Chinese with English abstract).
- [24] 叶亚军,赵赛月,于宏男,等.GC-O-MS结合感官评价鉴定白肋烟不良气息关键成分[J].中国烟草科学,2024,45(1):63-69. YE Y J, ZHAO S Y, YU H N, et al. Identification of key contributors to unfavorable odor in burley tobacco by GC-O-MS combined with sensory evaluation [J]. Chinese tobacco science, 2024, 45(1): 63-69 (in Chinese with English abstract).
- [25] 贺佩,王以慧,耿召良,等.不同产区雪茄茄芯烟叶关键挥发性香气成分分析[J].中国烟草科学,2023,44(1):92-99. HE P, WANG Y H, GENG Z L, et al. Study on key volatile aroma components of cigar filler from different producing areas [J]. Chinese tobacco science, 2023, 44(1): 92-99 (in Chinese with English abstract).
- [26] 黄茹,吴玉萍,夏振远,等.氮素水平对红花大金元烟叶游离氨基酸和蛋白质含量的影响[J].中国烟草科学,2017,38(5):50-55. HUANG R, WU Y P, XIA Z Y, et al. Effect of nitrogen level on free amino acid and protein contents of hong-huadajinyuan tobacco leaves [J]. Chinese tobacco science, 2017, 38(5): 50-55 (in Chinese with English abstract).
- [27] 韩书磊,张浩,陈欢,等.不同形态烟碱的释放和生理效应差异研究进展[J].轻工学报,2023,38(4):69-76. HAN S L, ZHANG H, CHEN H, et al. Progress in the release and physiological effects of different forms of nicotine [J]. Journal of light industry, 2023, 38(4): 69-76 (in Chinese with English abstract).
- [28] 李林林,王荣浩,陈栋,等.基于模糊数学综合评价雪茄烟用美拉德反应产物的加香效果[J].烟草科技,2019,52(11):41-49. LI L L, WANG R H, CHEN D, et al. Comprehensive evaluation of flavoring effects of Maillard reaction products on cigars by fuzzy mathematics [J]. Tobacco science & technology, 2019, 52(11): 41-49.
- [29] 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).
- [30] 刘晶,张文军,白晓莉,等.国内外不同雪茄烟综合品质对比分析[J].西南农业学报,2022,35(1):81-89. LIU J, ZHANG W J, BAI X L, et al. Comparison and analysis on comprehensive quality of different cigar tobacco at home and abroad [J]. Southwest China journal of agricultural sciences, 2022, 35(1):

- 81-89 (in Chinese with English abstract).
- [31] 胡超,张玓婕,胡志忠,等.烟叶新植二烯的提取及热裂解分析[J].食品与机械,2022,38(10):178-186. HU C,ZHANG D J,HU Z Z,et al.Study on extraction and pyrolysis analysis of newphytodiene in tobacco leaves [J].Food & machinery, 2022,38(10):178-186 (in Chinese with English abstract).

Effects of nitrogen application rate on sensory quality of cigar tobacco leaves in Hunan Province and analysis of key chemical components

AN Ran¹,CHEN Yixin²,MU Tingting³,ZENG Huiyu¹,FAN Caiyin¹,DENG Guolin¹,
WAN Huaquan¹,SHI Xiangdong²,DING Songshuang²,XIAO Zhipeng³

1.Changning Branch of Hengyang Tobacco Company of Hunan Province, Hengyang 421500, China;

2.College of Tobacco Science, Henan Agricultural University/National Tobacco Cultivation and Physiology and Biochemistry Research Center/Key Laboratory for Tobacco Cultivation of Tobacco Industry, Zhengzhou 450046, China;

3.Hengyang Tobacco Company of Hunan Province, Hengyang 421001, China

Abstract The cigar variety CX81 was used to study the material basis of nitrogen application rate affecting the sensory quality of cigar tobacco and analyze the flavor characteristics of cigar tobacco leaves in Hunan Province. 4 treatments of nitrogen application rate including N0 (0 kg/hm², CK), N1 (180 kg/hm²), N2 (210 kg/hm²) and N3 (240 kg/hm²) were set up to determine the sensory quality and main chemical components of fermented tobacco leaves. The orthogonal partial least squares discriminant analysis (OPLS-DA) was used to screen key differential indexes and analyze their relationship with sensory quality. The results showed that the increase in nitrogen application rate enhanced the intensity of smoke, the rich and mellow degree, pollen aroma, and glutinous rice aroma of cigar tobacco. The content of total nitrogen, nicotine and browning reaction products in cigar tobacco leaves increased significantly with the increase of nitrogen application rate. The total amount of phenylalanine degradation products, carotenoid degradation products, the neophytadiene and neutral aroma substances increased first and then decreased, while the content of total sugar, reducing sugar, and cembranoid degradation products gradually decreased. There was no unique chemical component in cigar tobacco leaves under different nitrogen application rate, and the proportion of components with increased content of chemical components gradually increased with the increase of nitrogen application rate. 21 key differential components were screened, of which 7 were significantly positively correlated with sensory quality and 2 were significantly negatively correlated. It is indicated that increasing the application of nitrogen fertilizer can increase the total amount of neutral aroma substances (except for neophytadiene), thereby enhancing the sweetness and woody aroma of cigar tobacco. The intensity of smoke, the rich and mellow degree in smoke were further enhanced, and the pollen aroma and glutinous rice aroma were enriched by increasing the content of total nitrogen, nicotine, benzaldehyde, furfural, 3,4-dimethyl-2,5-furandione, and browning reaction products, and reducing the mass fraction of reducing sugars.

Keywords nitrogen application rate; cigar; sensory quality; routine chemical components; neutral aroma component

(责任编辑:葛晓霞)