

苏 赞,曹 源,孙建生,等. 哈茨木霉菌生物制剂改善采收前上部烟叶品质的效果[J]. 江苏农业科学,2025,53(19):236-246.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.19.030

哈茨木霉菌生物制剂改善采收前上部烟叶品质的效果

苏 赞¹,曹 源²,孙建生¹,胡志忠¹,龙章德¹,曲利利²,许春平²

(1. 广西中烟工业有限责任公司技术中心,广西南宁 530001;2. 郑州轻工业大学烟草科学与工程学院,河南郑州 450002)

摘要:为改善烤烟上部烟叶的内在品质,以笔者所在实验室筛选得到的具有降解纤维素功能的哈茨木霉菌株为材料,在烟叶采收前 7 d 喷施至云烟 87 上部 4~6 片烟叶表面,以喷施等量无菌水的上部烟叶为对照(CK),将表面喷施稀释 100 倍菌悬液的烟叶记为 T1,将表面喷施稀释 200 倍菌悬液的烟叶记为 T2,将表面喷施稀释 300 倍菌悬液的烟叶记为 T3。待烟叶采摘初烤后,通过连续流动仪测定常规化学成分,利用 GC-MS 测定挥发性香味成分并进行主成分分析。结果表明:(1)与对照组相比,T1、T2、T3 处理烟叶的总糖、还原糖、总氮、烟碱含量均有所降低,其中 T1 处理降低得最为明显;(2)T1 处理烟叶的挥发性成分总含量最高,达到 560.26 $\mu\text{g/g}$,其中醇类、醛类、酮类、酯类、烯炔类、杂环类和酚类物质总含量均有明显提升;(3)通过进行主成分分析可知,对照样品与各个处理样品距离较远,表明不同浓度哈茨木霉菌悬液处理后的烟叶挥发性成分的主成分差异性较大;(4)T1 处理的烟叶香气量提升最为明显,刺激性降低,余味改善。综上,通过利用微生物制剂对初烤前上部烟叶进行处理,可有效促进烟叶中大分子化合物降解为小分子的香味物质,增加上部烟叶中的香气成分,使烟叶可用性提升,为微生物改善上部烟叶感官品质提供理论依据。

关键词:微生物菌剂;木霉菌;上部烟叶;GC-MS

中图分类号:S182;S572.04 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)19-0236-11

烟草是我国重要的经济作物,在我国经济发展中发挥着极其重大的作用^[1]。烟株上的烟叶分为上、中、下部叶,上部叶片占整株烟叶产量的 35% 左右^[2],其中上部叶普遍存在内在化学成分协调性不好、糖碱比低、烟叶整体感官质量差、香气量不足、有明显的刺激性和杂气等问题^[3-4]。因此,提高上部叶的工业可用性是当前研究的热点^[5]。研究表明,在烟叶的大分子有机物分解和转化过程中,微生物起着关键作用,通过在烟叶表面喷施微生物菌剂等方法能提升烟叶品质,进而提高烟叶工业用途^[6-7]。研究表明,微生物制剂能够有效促进烤烟生长,提升烟叶品质^[8]。邹晓等比较了多种真菌对烟叶品质的改善效果,结果发现,真菌 Z-7 (*Pleurotus ostrea*) 对烟叶品质的改善具有显著作用,

能够有效增加烟叶的香气量和香气的丰富性^[9]。Zheng 等将 2 种外源微生物接种到雪茄烟叶(CTL)表面进行处理,结果发现,处理后 CTL 的质量显著提高,茄酮、6-甲基-5-庚烯-2-酮、苯乙酸、环己酮、辛醛、苯乙酮和 3,5,5-三甲基-2-环己烯-1-酮等的含量显著增加^[10]。

诸多学者研究发现,木霉菌可用于防治多种植物病害,并取得较好的防效^[11-12]。已有研究表明,木霉菌能产生多种具有生物活性的酶系,如纤维素酶、几丁质酶、木聚糖酶等,具有降解大分子物质尤其是纤维素的作用^[13],但目前利用木霉菌改善采收前上部烟叶品质的研究报道相对较少。基于此,本研究选用成熟采收前 7 d 的云烟 87 上部叶片为研究对象,利用前期已筛选获得的哈茨木霉菌对其进行不同浓度处理,对比分析处理前后烟叶常规化学成分和挥发性香味成分的变化,旨在为利用微生物改善上部烟叶内在品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验在云南省文山壮族苗族自治州丘北县

收稿日期:2024-09-01

基金项目:中国烟草总公司重大科技项目[编号:110202201005(JY-05)];河南省重大科技专项(编号:231100310200)。

作者简介:苏 赞(1980—),男,广西梧州人,硕士,高级农艺师,主要从事卷烟原料研究。E-mail:17883720@qq.com。

通信作者:许春平,博士,教授,主要从事烟草工程和烟草微生物学研究,E-mail:xuchunping05@163.com;龙章德,博士,高级农艺师,主要从事烟草工程研究,E-mail:lonzd@163.com。

烟田进行,该地区位于低纬季风区,总体属于中亚热带高原季风气候,年均气温在 13.2 ~ 19.7 °C 之间,年均降水量为 1 000 ~ 1 270 mm。

供试品种为云烟 87,烟叶部位为上部叶。外源生物菌剂为哈茨木霉菌(*Trichoderma harzianum*),由笔者所在实验室分离筛选并保藏。

1.2 试验试剂和仪器

试剂:二氯甲烷(分析纯,天津市富宇精细化工有限公司)、无水硫酸钠(分析纯,天津市光复科技发展有限公司)、标样乙酸苯乙酯(分析纯,北京百灵威科技有限公司)。

仪器:SANPLUS 8505 型连续流动仪(荷兰 SKALAR 公司)、6890GC/5973MS 型 GC/MS 气质联用仪(美国 Agilent 公司)、DHG-9143B5-III 型电热恒温鼓风干燥箱(上海新苗医疗器械制造有限公司)、YB-150 型高速多功能粉碎机(天津市泰斯特仪器有限公司)、PL203 型电子分析天平(上海予腾生物科技有限公司)、HH-2 型电热恒温水浴锅(北京市科伟永兴仪器有限公司)、DLSB-5L/10 型低温冷却液循环泵(巩义市予华仪器有限责任公司)、SHZ-D(III)型循环水式多用真空泵(河南省予华仪器有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 菌液制备 用接种环从固体培养基中接种 2 环菌株到 100 mL PDA 液体培养基中,在 28 °C 摇床中振荡培养 5 d,培养结束后,将得到的种子液置于离心机中在 6 000 r/min 的条件下离心 7 min,弃掉上清液,用无菌去离子水对湿菌体进行重悬,用分光光度计确定稀释倍数,将菌液稀释至 $D_{600\text{nm}} = 1.45$,以确保菌体浓度稳定在 10^8 CFU/mL,作为菌悬液备用。

1.3.2 外源菌体的喷施 2023 年 9 月于云烟 87 采收前 7 d 在文山壮族苗族自治州丘北县烟叶种植基地选取长势相同的同一块烟田,将“1.3.1”节制得的菌悬液用无菌水稀释 100、200、300 倍,喷施于上部 4 ~ 6 片烟叶上,用量为 20 mL/株,空白对照喷施等量的无菌水,共设置 4 组试验:以表面喷施等量清水的上部烟叶为空白对照(CK),将表面喷施稀释 100 倍菌悬液的烟叶记为 T1,将表面喷施稀释 200 倍菌悬液的烟叶记为 T2,将表面喷施稀释 300 倍菌悬液的烟叶记为 T3。待烟叶成熟采收后,在同一烤房内进行烟叶初烤。

1.3.3 样品采集 待烟叶初烤后,分别从各个处理

组挑取 3 kg 初烤烟叶样品,调整含水量为 $16\% \pm 0.5\%$,用白纸包裹后装入麻袋中密闭保存,去除样品叶脉后,取 500 g 样品装入自封袋中备用。

1.3.4 烟叶常规化学成分的测定 参照 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 217—2007《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》测定烟草中的烟碱、钾、氯含量;参照 YC/T 159—2019《烟草及烟草制品 水溶性糖的测定 连续流动法》测定烟草中的总糖、还原糖含量^[14-17]。

1.3.5 烟叶挥发性香味成分的测定

1.3.5.1 烟叶挥发性成分的提取 香味物质采用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)测定,分析流程:称取 25 g 处理后的样品进行粉碎,过 40 目筛后,蒸馏萃取 2.5 h,萃取剂为 CH_2Cl_2 。蒸馏结束后,待萃取液冷却至室温,加入 50 μL 0.871 mg/mL 的乙酸苯乙酯内标物,然后加入无水硫酸钠静置一晚,于 50 °C 水浴锅中进行浓缩,浓缩至 1 mL 后过有机滤膜,然后置于色谱瓶中进行 GC-MS 检测。

1.3.5.2 GC-MS 分析条件 色谱条件:色谱柱为 HP-5MS (60 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm);载气为高纯氦气;进样量为 1 μL ;进样口温度为 230 °C;流速为 1.0 mL/min;分流比为 10 : 1;溶剂延迟时间为 10 min;升温程序为起始温度 50 °C,以 4 °C/min 的速度升温至 280 °C,保持 10 min。

质谱条件:接口温度为 270 °C;离子源温度为 230 °C;四极杆温度为 150 °C;离子化方式为 E1;电子能量为 70 eV;质量扫描范围为 35 ~ 550 m/z 。

1.3.6 主成分分析方法 对处理后烟叶中的挥发性成分利用 IBM SPSS Statistics 26 软件进行主成分分析,计算主成分特征值和累计贡献率等。根据不同稀释倍数菌悬液处理烟叶的有关成分含量的标准化值与特征根、特征向量,计算各主成分值,并利用 Origin 2021 软件进行散点图的制作。

1.3.7 感官评价 对各个处理组的烟叶进行切丝处理,在温度为 22 °C、相对湿度为 60% 的条件下平衡 48 h 后,卷制成卷烟进行感官评价,感官评价小组由 8 名具感官评价资质的专业感官评定员组成,根据 YC/T 138—1998《烟草及烟草制品 感官评价方法》从光泽、香气、协调性、刺激性、杂气、余味等 6 个方面分别对各个处理组的烟叶样品进行评分^[18]。

2 结果与分析

2.1 烟叶常规化学成分分析结果

使用不同浓度哈茨木霉菌菌悬液处理云烟 87 上部叶片后,叶片内总糖、烟碱、总氯、总钾、还原糖、总氮含量以及糖碱比的变化情况如图 1 所示,可以看出,T1、T2、T3 处理烟叶中的总糖、烟碱、总氯、总钾和还原糖含量均与对照呈现出显著差异。以云烟 87 上部叶片的总糖、烟碱、总氯、总钾、还原糖、总氮含量以及糖碱比的值为响应变量,以 T1、T2、T3 处理作为影响因素进行方差分析,结果如表 1 所示,可以看出,不同处理烟叶中的总糖、还原糖、总氯、总钾、还原糖、总氮含量以及糖碱比均存在显著差异。

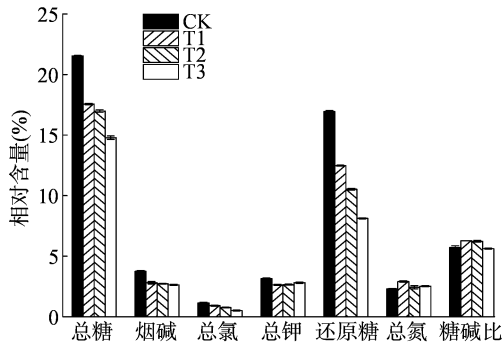


图 1 不同处理云烟 87 上部烟叶的常规化学成分含量

与对照相比,T1 处理烟叶中的总糖、烟碱和还原糖含量降幅最大,其中总糖含量降低 6.76%,烟碱含量降低 1.12%,还原糖含量降低 8.82%。通常

认为,烤烟的糖碱比在 6~10 之间较为理想,该指标常用于评估烟草的劲头和舒适度^[19],其中 T3 处理组的烟叶糖碱比为 6.27,高于 CK、T1 和 T2 处理组。综上,使用不同浓度哈茨木霉菌菌悬液处理云烟 87 上部叶片后,T1 处理烟叶样品的各项化学指标变化最为明显。

表 1 不同处理云烟 87 上部烟叶常规化学成分多因素方差分析结果

测试指标	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
总糖含量	71.383	3	23.794	2 498.108	0.000
烟碱含量	2.498	3	0.883	316.187	0.000
总氯含量	0.631	3	0.210	137.179	0.000
总钾含量	0.521	3	0.174	63.515	0.000
还原糖含量	125.544	3	41.848	9 732.11	0.000
总氮含量	0.585	3	0.195	45.614	0.000
糖碱比	0.028	3	3.194	482.068	0.000

2.2 烟叶挥发性香气成分分析结果

为进一步分析不同处理对烟叶品质的影响,对 CK、T1、T2、T3 处理的烟叶挥发性成分进行 GC-MS 分析,并利用 Nist2020 谱库进行检索,对烟叶中的香味成分进行定性定量分析。由表 2 可知,从对照和不同浓度哈茨木霉菌悬液处理(T1、T2、T3)的烟叶共鉴定出 139 种成分,根据官能团的不同将其分成 10 类,其中醇类 11 种、醛类 12 种、酮类 21 种、酸类 2 种、酯类 17 种、烷烃类 17 种、烯炔类 23 种、杂环类 7 种、酰胺和亚胺类 2 种、酚类 16 种、其他类 10 种以及新植二烯。随着哈茨木霉菌悬液处理浓度的增大,各类物质的含量变化趋势如图 2 所示。

表 2 不同处理烟叶 GC-MS 分析结果

类型	香味物质名称	CAS 号	含量(μg/g)			
			CK	T3	T2	T1
醇类	4-甲基-1-己醇	000818-49-5	—	0.90	0.16	—
	二氢香芹醇	000619-01-2	—	0.73	0.70	0.98
	糠醇	000098-00-0	7.40	9.58	9.14	14.19
	(S)-(+) -4-甲基-1-己醇	001767-46-0	1.09	—	—	1.22
	苯甲醇	000100-51-6	25.77	26.33	20.37	28.65
	芳樟醇	000078-70-6	2.43	1.81	2.75	2.48
	苯乙醇	000060-12-8	13.32	14.70	13.92	21.93
	(+) -雪松醇	000077-53-2	1.55	—	0.13	1.13
	异瑟模环烯醇	025269-17-4	6.70	6.67	7.01	7.73
	1,1,4,7-四甲基十氢-1 <i>h</i> -环丙烯[e]蓝烯-4,7-二醇	1212211-43-2	3.57	—	6.13	6.89
	1,5,9-三甲基-12-(1-甲基乙基)-4,8,13-环十四碳三烯-1,3-二醇	007220-78-2	14.18	94.24	85.26	69.85
合计	11 种		76.01	154.96	145.58	155.05
醛类	糠醛	000098-01-1	—	1.08	1.52	1.18
	反式-2-己烯醛	006728-26-3	0.30	0.26	0.18	0.25

表 2(续)

类型	香味物质名称	CAS 号	含量(μg/g)			
			CK	T3	T2	T1
醛类	苯甲醛	000100-52-7	2.45	2.42	2.54	3.12
	5-甲基呋喃醛	000620-02-0	0.77	0.91	1.48	1.28
	反,反-2,4-庚二烯醛	004313-03-5	0.31	0.13	—	0.36
	苯乙醛	000122-78-1	10.27	10.29	11.15	20.95
	反,反-2,6-壬二烯醛	017587-33-6	0.83	0.76	0.66	0.65
	2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛	000116-26-7	1.26	0.92	—	1.23
	正癸醛	000112-31-2	0.36	0.14	0.18	0.22
	BETA-环柠檬醛	000432-25-7	0.50	0.32	—	0.40
	十五醛	002765-11-9	3.36	2.60	1.59	2.24
	(1 <i>R</i> ,4 <i>aR</i> ,5 <i>S</i>)-5-[(<i>E</i>)-5-羟基-3-甲基-3-烯基]-1,4 <i>a</i> -二甲基-6-亚甲基-3,4,5,7,8,8 <i>a</i> -六氢-2 <i>h</i> -萘-1-碳醛	1214984-94-7	7.34	3.82	5.88	4.99
合计	12 种		27.76	23.66	25.18	36.86
酮类	β-大马酮	023726-91-2	—	1.96	2.79	2.85
	4-(2,6,6-三甲基-1,3-环己二烯-1-基)-3-丁烯-2-酮	001203-08-3	—	0.8	—	1.06
	(4 <i>aR</i> ,5 <i>S</i>)-1-羟基-4 <i>a</i> ,5-二甲基-3-(丙-2-亚基)-4,4 <i>a</i> ,5,6-四氢萘-2(3 <i>H</i>)-酮	669064-29-3	—	1.63	0.16	2.14
	螺岩兰草酮	054878-25-0	—	3.10	2.11	3.44
	7,9-二叔丁基-1-氧杂吡啶[4.5]癸-6,9-二烯-2,8-二酮	082304-66-3	—	0.16	—	0.21
	4-环戊烯-1,3-二酮	000930-60-9	0.81	1.34	1.07	0.88
	甲基庚烯酮	000110-93-0	0.79	0.24	0.57	0.66
	乙基环戊烯醇酮	021835-01-8	0.42	0.78	1.42	1.10
	2,6,6-三甲基-2-环己烯-1,4-二酮	001125-21-9	0.42	0.29	0.68	0.33
	大马酮	023726-93-4	10.08	10.14	10.74	14.38
	香叶基丙酮	003796-70-1	3.49	2.18	1.98	2.56
	紫罗兰酮	008013-90-9	2.71	1.83	2.41	2.18
	烟叶酮	038818-55-2	44.07	50.04	42.70	56.97
	3-羟基-β-大马士革酮	102488-09-5	0.72	1.71	1.48	1.12
	4,5,6-三甲基-3,4-二氢-1(2 <i>H</i>)-萘酮	030316-31-5	6.12	5.47	6.25	5.88
	7-乙氧基-3-乙基-4-甲基-2 <i>H</i> -铬-2-酮	296265-95-7	2.87	2.63	3.86	2.59
	(+)-香柏酮	004674-50-4	1.14	1.50	1.48	1.03
	植酮	000502-69-2	4.73	4.76	0.81	6.01
	(6 <i>Z</i> ,9 <i>Z</i> ,28 <i>Z</i> ,31 <i>Z</i>)-6,9,28,31-七庚基-19-酮	029204-24-8	0.98	1.28	0.89	0.80
	(3 <i>aR</i>)-3 <i>a</i> -甲基-2,3,3 <i>a</i> ,4,5,6-六氢-8 <i>h</i> -萘并[8 <i>a</i> ,1- <i>b</i>]呋喃-8-酮	1000482-61-6	1.72	—	1.88	1.04
4 <i>α</i> -甲基-7-丙-2-基-1,3,4,5,6,7,8,8 <i>α</i> -八氢萘-2-酮	054594-42-2	0.33	—	—	0.42	
合计	21 种		81.40	91.85	83.26	107.66
酸类	1-烯丙基环丙烷羧酸	080360-57-2	—	—	0.86	—
	棕榈酸	000057-10-3	8.17	7.48	7.85	7.44
合计	2 种		8.17	7.48	8.71	7.44
酯类	苯基乙酸酯	000122-79-2	—	—	0.68	0.86
	<i>N</i> -甲氧羰基-丁基酯	1000313-76-2	—	—	—	0.90
	酞酸二甲酯	000131-11-3	—	—	0.14	—
	2-[4-(1-丁烯-3-基)苯基]-丙酸甲酯	1000161-46-7	—	—	0.23	—
	2-[2-(6,6-二甲基双环[3.1.1]庚-2-烯-2-基)乙基]-6,6-二甲酯-二环[3.1.1]庚-2-烯	057988-82-6	—	—	0.36	—
	小白菊内酯	020554-84-1	—	0.28	0.18	—

表 2(续)

类型	香味物质名称	CAS 号	含量(μg/g)			
			CK	T3	T2	T1
酯类	邻苯二甲酸二(2-丙基戊基)酯	1000377-93-5	—	—	2.38	—
	五氟丙酸十四烷基酯	006222-06-6	—	0.24	—	—
	十八烷基-6,9-dien-12-壬酸甲酯	1000336-42-0	—	0.52	—	—
	二氢猕猴桃内酯	017092-92-1	3.58	2.03	3.82	3.61
	甲酸香茅酯	000105-85-1	1.36	1.08	1.69	1.11
	棕榈酸甲酯	000112-39-0	0.73	0.98	0.16	0.92
	对苯二甲酸二丁酯	001962-75-0	1.20	1.03	—	1.34
	脱氢枞酸甲酯	001235-74-1	0.22	0.20	—	0.23
	己二酸二(2-乙基己)酯	000103-23-1	1.06	0.34	0.25	0.18
	邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	000117-81-7	10.31	10.54	—	10.72
	对苯二甲酸二辛酯	006422-86-2	0.66	—	0.20	—
合计	17 种		19.11	17.22	10.09	19.86
烯烃类	长叶烯	000475-20-7	—	0.62	0.45	0.67
	5,5-二甲基-1-乙基-1,3-环戊二烯	1000162-25-7	—	—	0.28	0.71
	(E)-1-(2,3,6-三甲基苯基)β-1,3-二烯(TPB,1)	1000357-25-7	—	0.67	—	6.10
	三环萜	000508-32-7	45.48	65.31	66.54	62.01
	反式-(-)-5-甲基-3-(1-甲基乙烯基)-环己烯	056816-08-1	—	3.70	3.60	2.65
	1R-(1R,4Z,9S)-4,11,11-三甲基-8-亚甲基-二环[7.2.0]4-十一烯	000118-65-0	—	1.97	—	2.92
	(1S,3S)-(+)-m-Mentha-4,8-二烯	005208-51-5	—	28.30	2.34	35.15
	4-羟基苯乙烯	002628-17-3	1.79	1.23	—	3.19
	2-甲基双环[4.3.0]壬-1(6)-烯	060223-07-6	0.08	—	0.39	—
	(3E)-4,8-二甲基壬-1,3,7-三烯	019945-61-0	0.32	—	0.22	—
	联苯烯	000259-79-0	0.23	—	0.22	—
	2,3,4,5-四甲基-三环[3.2.1.0 ^{2,7}]辛-3-烯	062338-44-7	5.16	—	—	—
	α-芹子烯	000473-13-2	4.40	—	0.19	2.22
	(5Z)-5-亚乙基-1-甲基-环庚烯	015402-94-5	1.17	—	—	—
	(Z)-3-癸烯	041446-53-1	0.62	—	—	—
	缬草-4,7(11)-二烯	351222-66-7	2.20	—	—	7.22
	香树烯	025246-27-9	0.67	1.12	1.02	1.18
	(3E)-3-十四碳烯	041446-68-8	1.90	1.44	—	—
	(1R,9R,E)-4,11,11-三甲基-8-亚甲基双环[7.2.0]十一-4-烯	068832-35-9	0.40	0.78	—	—
	(E)-3-十四碳烯-5-炔	074744-44-8	1.28	—	—	1.04
	(6E,10E)-7,11,15-三甲基-3-亚甲基-1,6,10,14-十六碳四烯 e	070901-63-2	8.28	6.05	4.92	7.47
	(+)-香橙烯	000489-39-4	7.99	3.51	—	11.87
	(1R)-(+)-反式-异柠檬烯	005113-87-1	19.79	—	—	—
合计	23 种		101.76	114.7	30.2	144.41
杂环类	麦司明	000532-12-7	4.84	5.75	6.25	4.7
	2-正戊基咪喃	003777-69-3	0.69	0.46	0.08	0.59
	2-乙酰基吡咯	001072-83-9	1.51	1.15	—	2.00
	α-尼古丁	023950-04-1	1.15	2.28	1.08	2.11
	二烯烟碱	000487-19-4	3.31	4.38	5.42	6.89
	4-丙酰基吡啶	001701-69-5	0.42	—	—	—

表 2(续)

类型	香味物质名称	CAS 号	含量(μg/g)			
			CK	T3	T2	T1
杂环类	3-(4,8,12-三甲基十三烷基)咪喃	1000245-55-1	0.62	0.35	—	0.40
合计	7 种		12.54	14.35	12.84	16.69
酰胺和亚胺类	芥酸酰胺	000112-84-5	—	5.25	5.48	4.86
	油酸酰胺	000301-02-0	0.47	0.39	1.08	0.62
合计	2 种		0.47	5.64	6.55	5.49
烷烃类	(1 <i>R</i> ,2 <i>R</i> ,5 <i>R</i> , <i>E</i>)-7-亚乙基-1,2,8,8-四甲基双环[3.2.1]辛烷	193695-14-6	—	2.21	0.22	3.04
	癸基环戊烷	001795-21-7	—	0.71	—	0.16
	环十四烷	000295-17-0	—	0.6	—	0.93
	正十六烷	003891-98-3	—	0.24	—	—
	二十七烷	000593-49-7	—	2.48	—	—
	正十二烷	000112-40-3	1.28	0.85	0.12	0.96
	十三烷	000629-50-5	0.61	0.61	—	0.53
	十四烷	000629-59-4	1.31	1.26	—	1.83
	11,11-二甲基-双环[6.3.0]十一烷-1(8),9-二烯	1000163-44-3	0.33	—	—	—
	4-亚甲基-1-甲基-2-(2-甲基-1-丙烯-1-基)-1-乙烯基-环庚烷	1010159-38-5	3.50	3.58	3.89	3.06
	环 15 烷	000295-48-7	2.18	0.69	—	0.21
	二十三烷	000638-67-5	0.22	—	—	—
	正二十四烷	000646-31-1	0.30	—	—	—
	二十五烷	000629-99-2	1.17	0.69	—	0.74
	正十八烷	000593-45-3	1.14	—	—	3.12
	正二十一烷	000629-94-7	3.17	—	—	—
	正二十烷	000112-95-8	0.36	0.46	0.14	0.53
合计	17 种		15.59	14.37	4.37	15.10
酚类	2,3-二甲苯酚	000526-75-0	—	—	0.17	—
	4-乙基-2-甲氧基苯酚-	002785-89-9	—	—	0.3	1.42
	2,2'-亚甲基双-(4-甲基-6-叔丁基苯酚)	000119-47-1	—	—	1.75	—
	3,4-二甲苯酚	000095-65-8	—	1.45	—	1.45
	2-甲氧基-3-(2-丙烯基)苯酚	001941-12-4	—	0.20	—	0.79
	(<i>Z</i>)-2-甲氧基-4-(丙-1-烯基)苯酚	005912-86-7	—	1.95	—	—
	苯酚	000108-95-2	1.43	1.24	1.43	0.85
	邻甲酚	000095-48-7	0.87	0.93	0.54	0.55
	愈创木酚	000090-05-1	4.46	5.74	6.24	6.87
	间甲酚	000108-39-4	3.19	2.55	—	2.93
	3-乙基苯酚	000620-17-7	2.37	—	—	—
	2-甲氧基-4-甲基苯酚	000093-51-6	3.51	2.53	2.40	3.33
	2,4-二甲苯酚	000105-67-9	0.46	0.98	—	—
	2,3-二甲氧基苯酚	005150-42-5	0.65	—	—	—
	2-甲氧基-4-乙基苯酚	007786-61-0	6.23	6.33	10.54	8.86
	(<i>E</i>)-2-甲氧基-4-(1-丙烯基)苯酚	005932-68-3	1.35	—	0.28	2.58
合计	16 种		24.51	23.91	23.64	29.62
其他类	5-乙基-3,5-二甲基苯	000934-74-7	—	—	—	8.94
	1-甲氧基-4-(1-甲基-2-丙烯基)-苯	018272-83-8	—	—	—	4.57
	1,4,6,7-四甲基-1,2,3,4-四氢萘	1000113-61-3	—	—	—	6.03

表 2(续)

类型	香味物质名称	CAS 号	含量($\mu\text{g/g}$)			
			CK	T3	T2	T1
其他类	9-亚甲基茚	004425-82-5	—	0.53	—	0.71
	邻苯二甲醚	000091-16-7	0.69	0.28	—	0.32
	2-羟基-对二甲苯	000095-87-4	0.84	0.42	—	1.30
	1,2,3,4-四氢-1,1,6-三甲基萘	000475-03-6	0.47	1.13	—	1.78
	吡啶	000120-72-9	2.22	2.33	—	3.98
	1,2,3,4-四氢-1,6,8-三甲基-萘	030316-36-0	0.21	0.49	—	0.51
	1-甲氧基-3-(3-甲基-3-丁烯-1-基)苯	040463-03-4	1.05	0.65	—	1.32
合计	10 种		5.47	5.84	0.00	14.72
共计	138 种(除新植二烯)		372.8	473.98	400.43	560.26
	新植二烯	000504-96-1	303.82	287.46	347.60	353.92

注：“—”为未检出

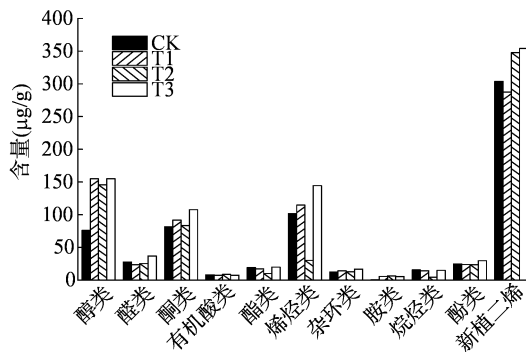


图2 不同浓度木霉菌处理烟叶各类香味成分含量比较

从对照中共鉴定出 99 种挥发性成分, T1 处理中共鉴定出 107 种挥发性成分, T2 处理中共鉴定出 100 种挥发性成分, T3 处理中共鉴定出 100 种挥发性成分, 含量分别为 372.80、560.26、400.43、473.98 $\mu\text{g/g}$, 由此可以看出, T1 处理的烟叶挥发性成分含量最高, 种类最为丰富。

由表 2 可知, 各处理烟叶的香味物质总量均高于对照, T1、T2、T3 处理烟叶的醇类、酮类以及酰胺和亚胺类含量均高于对照, 其中 T1 处理烟叶的醇类、醛类、酮类、酯类、烯炔类、杂环类、类物质总含量均高于 CK 和 T2、T3 处理, 分别达到 155.05、36.86、107.66、19.86、144.41、16.69、29.62 $\mu\text{g/g}$; 醇类物质如苯乙醇、糠醇、苯甲醇等的含量均高于 CK、T1、T3 处理组, 分别达到 21.93、14.19、28.65 $\mu\text{g/g}$, 其中苯乙醇和苯甲醇具有花香香韵^[20-21], 糠醇具有焦甜香特征香韵^[22]; 在含量增加的酮类物质中, 由类胡萝卜素降解生成的紫罗兰酮和大马酮含量提升明显^[23], 对卷烟烟气贡献了花香香韵^[24], β -大马酮主要赋予烟叶花香、果香和甜香香韵, 烟叶酮主要形成烤烟精油的特征^[25]。T1 处

理烟叶的醛类物质如苯甲醛、苯乙醛等物质含量提升明显, 分别达到 3.12、20.95 $\mu\text{g/g}$, 其中苯甲醛具有强烈的苦杏仁香气, 可以增添烟气浓度; 苯乙醛表现出玉簪花和玫瑰花的香气^[26]。烟叶中的酯类物质对香气成分的贡献程度很大, 通常具有特征果香香韵^[27]。T1 处理烟叶的酚类物质如愈创木酚含量提升明显, 达到 6.87 $\mu\text{g/g}$, 愈创木酚具有花香和辛香香韵^[21]。T1、T2 处理烟叶的新植二烯含量高于对照, 其中 T1 处理下样品中的新植二烯含量最高, 达到 353.92 $\mu\text{g/g}$ 。新植二烯是具有 20 个碳原子的聚类异戊二烯类香味物质, 不仅是烟叶中重要的香气成分, 同时作为烟气气溶胶中香气物质的载体, 能够将烟叶中的挥发性香气物质和致香成分带入烟气中^[28]。

2.3 主成分分析结果

对从 CK、T1、T2、T3 处理烟叶中鉴定出的 139 种挥发性成分进行主成分分析, 得到主成分载荷矩阵(表 3)、主成分特征值和贡献率(表 4)。

物质在某个主成分中有较高的载荷值(载荷的绝对值 >0.8), 则表示这些主成分主要反映该物质的信息。由表 3 可知, 在主成分 1 中, (S)-(+) - 4-甲基-1-己醇、苯甲醇、反式-2-己烯醛、反-2,4-庚二烯醛、2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛、 β -环柠檬醛、十五醛、香叶基丙酮、植酮等 41 种物质的载荷值绝对值均大于 0.8, 说明主成分 1 主要反映这 41 种物质的主要信息; 在主成分 2 中, 二氢香芹醇、糠醇、苯乙醇等 38 种物质的载荷值绝对值均大于 0.8, 说明主成分 2 主要反映这 38 种物质的主要信息; 在主成分 3 中, 4-甲基-1-己醇、芳樟醇等 16 种物质载荷值绝对值均大于 0.8, 说明主成分 3 主要反映这 16 种物质的主要信息。

表 3 主成分载荷矩阵

序号	指标	载荷		
		主成分 1	主成分 2	主成分 3
1	4-甲基-1-己醇	-0.195	0.329	-0.924
2	二氢香芹醇	-0.373	0.917	0.146
3	糠醇	-0.276	0.958	0.076
4	(S)-(+) -4-甲基-1-己醇	0.807	-0.019	0.590
5	苯甲醇	0.859	0.511	-0.038
6	芳樟醇	-0.333	-0.338	0.880
7	苯乙醇	0.154	0.963	0.220
8	1,1,4,7-四甲基十氢-1 <i>h</i> -环丙烯[e]蓝烯-4,7-二醇	-0.177	0.063	0.982
9	反式-2-己烯醛	0.942	-0.191	-0.275
10	反,反-2,4-庚二烯醛	0.931	0.146	0.336
11	2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛	0.988	0.149	-0.048
12	β -环柠檬醛	0.997	-0.020	-0.081
13	十五醛	0.85	-0.413	-0.327
14	(1 <i>R</i> ,4 <i>aR</i> ,5 <i>S</i>)-5-[(<i>E</i>)-5-羟基-3-甲基-3-烯基]-1,4 <i>a</i> -二甲基-6-亚甲基-3,4,5,7,8,8 <i>a</i> -六氢-2 <i>h</i> -萘-1-碳醛	0.198	-0.856	0.478
15	4-(2,6,6-三甲基-1,3-环己二烯-1-基)-3-丁烯-2-酮	0.330	0.940	-0.083
16	(4 <i>aR</i> ,5 <i>S</i>)-1-羟基-4 <i>a</i> ,5-二甲基-3-(丙-2-亚基)-4,4 <i>a</i> ,5,6-四氢萘-2(3 <i>H</i>)-酮	0.273	0.959	-0.071
17	螺岩兰草酮	-0.255	0.965	-0.055
18	7,9-二叔丁基-1-氧杂吡啶[4.5]癸-6,9-二烯-2,8-二酮	0.329	0.940	-0.089
19	乙基环戊烯醇酮	-0.805	0.411	0.428
20	香叶基丙酮	0.817	-0.553	0.165
21	β -紫罗兰酮	0.145	-0.823	0.550
22	烟叶酮	0.441	0.884	0.155
23	7-乙氧基-3-乙基-4-甲基-2 <i>h</i> -铬-2-酮	-0.850	-0.447	0.277
24	植酮	0.904	0.420	-0.076
25	(6 <i>Z</i> ,9 <i>Z</i> ,28 <i>Z</i> ,31 <i>Z</i>)-6,9,28,31-七庚基-19-酮	0.029	0.011	-1.000
26	1-烯丙基环丙烷羧酸	-0.926	-0.253	0.282
27	棕榈酸	0.073	-0.986	0.148
28	苯基乙酸酯	-0.357	0.477	0.803
29	酞酸二甲酯	-0.926	-0.253	0.282
30	2-[4-(1-丁烯-3-基)苯基]-丙酸甲酯	-0.926	-0.253	0.282
31	2-{2-(6,6-二甲基双环[3.1.1]庚-2-烯-2-基)乙基}-6,6-二甲酯-二环[3.1.1]庚-2-烯	-0.926	-0.253	0.282
32	邻苯二甲酸二(2-丙基戊基)酯	-0.926	-0.253	0.282
33	五氟丙酸十四烷基酯	-0.022	0.360	-0.933
34	十八烷基-6,9-dien-12-壬酸甲酯	-0.022	0.360	-0.933
35	二氢猕猴桃内酯	-0.107	-0.361	0.926
36	对苯二甲酸二丁酯	0.957	0.279	-0.077
37	脱氢枞酸甲酯	0.952	0.254	-0.17
38	己二酸二(2-乙基己)酯	0.554	-0.823	-0.124
39	邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	0.920	0.282	-0.272
40	对苯二甲酸二辛酯	0.328	-0.936	0.125
41	长叶烯	-0.313	0.948	-0.061
42	[1 <i>R</i> -(1 <i>R</i> *,4 <i>Z</i> ,9 <i>S</i> *)]-4,11,11-三甲基-8-亚甲基-二环[7.2.0]4-十一烯	0.342	0.940	-0.011

表 3(续)

序号	指标	载荷		
		主成分 1	主成分 2	主成分 3
43	(1 <i>S</i> ,3 <i>S</i>)-(+) - <i>m</i> -Mentha-4,8-二烯	0.273	0.955	-0.112
44	4-羟基苯乙烯	0.820	0.465	0.334
45	2-甲基双环[4.3.0]壬-1(6)-烯	-0.846	-0.439	0.303
46	(3 <i>E</i>)-4,8-二甲基壬-1,3,7-三烯	-0.046	-0.973	0.224
47	联苯烯	-0.261	-0.928	0.267
48	2,3,4,5-四甲基-三环[3.2.1.0 _{2,7}]辛-3-烯	0.590	-0.807	0.032
49	(5 <i>Z</i>)-5-亚乙基-1-甲基-环庚烯	0.590	-0.807	0.032
50	(<i>Z</i>)-3-癸烯	0.590	-0.807	0.032
51	香树烯	-0.332	0.943	-0.012
52	(1 <i>R</i> ,9 <i>R</i> , <i>E</i>)-4,11,11-三甲基-8-亚甲基双环[7.2.0]十一-4-烯	0.292	-0.056	-0.955
53	(<i>E</i>)-3-十四碳烯-5-炔	0.833	-0.225	0.506
54	(6 <i>E</i> ,10 <i>E</i>)-7,11,15-三甲基-3-亚甲基-1,6,10,14-十六碳四烯 e	0.962	-0.174	0.212
55	(+) - 香橙烯	0.857	0.301	0.418
56	(1 <i>R</i>)-(+) - 反式-异柠檬烯	0.59	-0.807	0.032
57	麦司明	-0.928	-0.085	-0.363
58	2-正戊基咪喃	0.999	0.003	-0.036
59	2-乙酰基吡咯	0.929	0.349	0.125
60	α -尼古丁	0.305	0.872	-0.382
61	4-丙酰基吡啶	0.590	-0.807	0.032
62	3-(4,8,12-三甲基十三烷基)咪喃	0.976	-0.184	-0.115
63	油酸酰胺	-0.825	-0.126	0.550
64	(1 <i>R</i> ,2 <i>R</i> ,5 <i>R</i> , <i>E</i>)-7-亚乙基-1,2,8,8-四甲基双环[3.2.1]辛烷	0.279	0.959	-0.040
65	癸基环戊烷	0.062	0.545	-0.836
66	环十四烷	0.346	0.938	0.017
67	正十六烷	-0.022	0.36	-0.933
68	二十七烷	-0.022	0.36	-0.933
69	正十二烷	0.988	-0.087	-0.126
70	十三烷	0.911	0.167	-0.377
71	十四烷	0.900	0.435	-0.001
72	11,11-二甲基-双环[6.3.0]十一烷-1(8),9-二烯	0.590	-0.807	0.032
73	二十三烷	0.590	-0.807	0.032
74	正二十四烷	0.590	-0.807	0.032
75	二十五烷	0.971	-0.184	-0.153
76	正二十一烷	0.590	-0.807	0.032
77	2,3-二甲苯酚	-0.926	-0.253	0.282
78	2,2'-亚甲基双-(4-甲基-6-叔丁基苯酚)	-0.926	-0.253	0.282
79	3,4-二甲苯酚	0.291	0.917	-0.272
80	2-甲氧基-3-(2-丙烯基)苯酚	0.372	0.836	0.404
81	(<i>Z</i>)-2-甲氧基-4-(丙-1-烯基)苯酚	-0.022	0.360	-0.933
82	苯酚	-0.372	-0.867	-0.332
83	邻甲酚	0.459	-0.288	-0.84
84	愈创木酚	-0.398	0.830	0.391
85	间甲酚	0.978	0.134	-0.158
86	3-乙基苯酚	0.590	-0.807	0.032
87	2-甲氧基-4-甲基苯酚	0.881	-0.177	0.438
88	2,4-二甲苯酚	0.267	-0.020	-0.963

表 3(续)

序号	指标	载荷		
		主成分 1	主成分 2	主成分 3
89	2,3-二甲氧基苯酚	0.590	-0.807	0.032
90	邻苯二甲醚	0.909	-0.410	-0.072
91	2-羟基-对二甲苯	0.853	0.343	0.394
92	1,2,3,4-四氢-1,1,6-三甲基萘	0.572	0.819	0.040
93	吡啶	0.821	0.560	0.110
94	新植二烯	0.939	0.270	0.213
95	1-甲氧基-3-(3-甲基-3-丁烯-1-基)苯	-0.535	0.075	0.841

注:表中只列出载荷绝对值大于 0.8 的部分物质。

表 4 3 种主成分的特征值和贡献度

主成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	特征值	贡献率 (%)	累计贡献率 (%)	特征值	贡献率 (%)	累计贡献率 (%)
1	55.762	40.408	40.408	55.762	40.408	40.408
2	51.075	37.011	77.418	51.075	37.011	77.418
3	31.163	22.582	100.000	31.163	22.582	100.000

由表 4 可知,主成分 1、主成分 2 和主成分 3 的累计贡献率达到 100%,说明 139 种挥发性成分可以用主成分 1、主成分 2 和主成分 3 进行分析。

根据 GC-MS 挥发性成分含量、载荷值以及特征值数据计算出 4 个样品的第 1、2、3 主成分的值,以主成分 1 为 x 轴、主成分 2 为 y 轴、主成分 3 为 z 轴绘制分散图。由图 3 可知,4 个样品根据距离远近分为 4 个区域,其中对照(CK)与 T1、T2、T3 处理样品的距离较远,表明其主成分差异较大。以主成分 1 为 x 轴、主成分 2 为 y 轴、主成分 3 为 z 轴绘制挥发性成分散点图,反映挥发性成分在主成分 1、主成分 2、主成分 3 中的分布情况(图 4)。

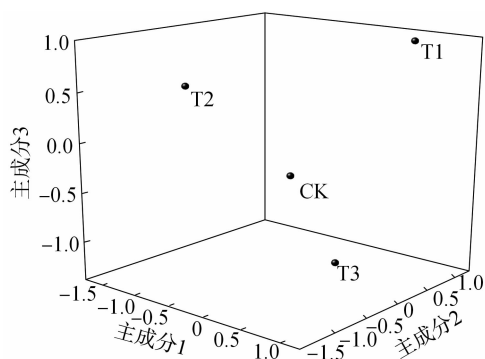


图 3 不同处理方式烟叶挥发性成分的主成分散点图

由图 3、图 4 可知,对照烟叶的香气成分主要分布主成分 1 的负半轴、主成分 2 的正半轴以及主成分 3 的负半轴,包括 β -环柠檬醛、(Z)-3-癸

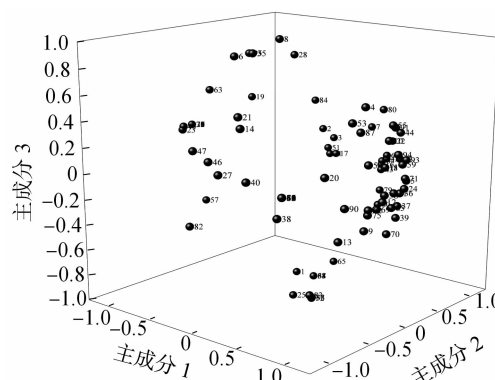


图 4 不同处理方式烟叶挥发性成分的主成分散点图

烯、(1R)-(+) -反式-异柠檬烯等;T3 处理烟叶的香气成分主要分布主成分 1 的正半轴、主成分 2 的正半轴和主成分 3 的负半轴,包括 7,9-二叔丁基-1-氧杂吡啶[4.5]癸-6,9-二烯-2,8-二酮、[1R-(1R*,4Z,9S*)]-4,11,11-三甲基-8-亚甲基-二环[7.2.0]4-十一烯等;T2 处理烟叶的香气成分主要分布主成分 1 的负半轴、主成分 2 的负半轴和主成分 3 的正半轴,包括邻苯二甲酸二(2-丙基戊基)酯、酞酸二甲酯等;T1 处理烟叶的香气成分主要分布主成分 1 的正半轴、主成分 2 的正半轴和主成分 3 的正半轴,包括螺岩兰草酮和植酮等挥发性成分。

2.4 感官评价结果

对不同处理的烟叶切丝卷制后进行感官评吸,评吸结果如表 5 所示。接种哈茨木霉菌后,烟叶感官质量均有提升,这可能是由于哈茨木霉菌有效降解烟叶中的大分子化合物,同时生成小分子的香味成分,减少烟叶在燃吸过程中产生的刺激性气味,增添烟叶中的香气成分,使烟气更为协调。T1 处理的烟叶样品香气改善最为明显,杂气和刺激性也有所降低,协调性和余味略有改善,整体感官质量提升较为明显。

表5 不同处理烟叶感官评价结果

处理	光泽	香气	协调性	杂气	刺激性	余味	总计
CK	4	26.0	4.0	9.0	9.5	12.0	64.5
T3	4	27.5	4.5	9.0	10.5	12.5	68.0
T2	4	26.5	4.5	9.5	10.0	12.5	67.0
T1	4	28.0	4.5	10.0	11.0	12.5	70.0

3 结论

本研究选取1株从烟叶表面筛选获得的可用于烟叶增香提质的菌株(哈茨木霉菌),进行不同浓度稀释,制成菌悬液,于烟叶成熟采收前7d喷施至云烟87上部叶片表面,测定烟叶处理前后常规化学成分、挥发性香味成分含量,并将烟叶切丝后进行感官评价。结果表明:(1)与对照组相比,T1、T2、T3处理的烟叶总糖、还原糖、总氮、烟碱含量均降低,其中T1处理的烟叶降低最为明显。(2)T1、T2、T3处理的烟叶挥发性成分含量均有所提升,其中T1处理的烟叶挥发性成分总含量最高,达到560.26 μg/g,其中醇类、醛类、酮类、酯类、烯炔类、杂环类和酚类物质的总含量均高于CK、T2、T3处理。(3)对T1、T2、T3处理的烟叶挥发性成分进行主成分分析,对照样品与各个哈茨木霉菌悬液处理样品距离较远,表明不同浓度菌体处理后,烟叶挥发性成分的主成分差异性较大。(4)经T1、T2、T3处理的烟叶感官质量均有所提升,其中T1处理的烟叶香气改善最为明显,杂气和刺激性也有所降低,协调性和余味略有改善,整体感官质量提升较为明显。综上所述,本研究选取1株具有降解纤维素功能的哈茨木霉菌,对采收前7d云烟87上部烟叶进行处理,可提升烟叶中香气成分含量,增加烟叶的可用性。

参考文献:

- [1] 薛磊,赵汉文,李小斌,等. 微生物发酵对烟草品质及有害成分释放的影响[J]. 陕西农业科学,2020,66(2):20-25.
- [2] 任志广,陈征,黄海棠,等. 生态条件、栽培调制措施、烤烟工艺对烤烟上部叶可用性的影响[J]. 中国农学通报,2017,33(6):73-78.
- [3] 刘峰峰,孟霖,何结望,等. 不同采烤方式上部烟叶外观质量及抗氧化特性分析[J]. 烟草科技,2024,57(2):37-44.
- [4] 李奎,高新涵,李咪,等. 提高烤烟上部烟叶工业可用性研究进展[J]. 农业与技术,2024,44(10):15-17.
- [5] 蔡宏杰,刘茂林,谢德平,等. 提高上部烟叶工业可用性技术研究[J]. 烟草科技,2010(6):10-17.
- [6] Civilini M, Domenis C, Sebastianutto N, et al. Nicotine decontamination of tobacco agro-industrial waste and its degradation by micro-organisms[J]. Waste Management & Research,1997,15(4):349-358.
- [7] 宋朝鹏,丁云生,李少鹏,等. 微生物制剂对上部烟叶蛋白质及中性香气含量的影响[J]. 安徽农业科学,2009,37(3):1147-1148,1159.
- [8] 李倩,牛莉莉,刘园,等. 微生物制剂在现代烟草生产中的应用研究进展[J]. 贵州农业科学,2018,46(7):68-72.
- [9] 邹晓,瞿娇娇,刘清兴,等. 几株食用菌对初烤烟叶品质的影响[J]. 中国食用菌,2011,30(3):48-50.
- [10] Zheng T F, Zhang Q Y, Wu Q Y, et al. Effects of inoculation with *Acinetobacter* on fermentation of cigar tobacco leaves[J]. Frontiers in Microbiology,2022,13:911791.
- [11] 钱发聪,李梦娇,张廷金,等. 哈茨木霉菌 LTR-2 对烟草赤星病的田间防治效果[J]. 昆明学院学报,2021,43(3):20-23.
- [12] 周雪蕾. 哈茨木霉菌 T-22 对小麦白粉病的防治效果[J]. 农业工程技术,2022,42(8):14,16.
- [13] 李含芬,马春晖,王永章,等. 哈茨木霉菌对小麦秸秆降解作用的研究[J]. 中国农学通报,2016,32(3):120-123.
- [14] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 总植物碱的测定 连续流动法:YC/T 160—2002[S]. 北京:中国标准出版社,2004.
- [15] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 氮的测定 连续流动法:YC/T 162—2011[S]. 北京:中国标准出版社,2011.
- [16] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 钾的测定 连续流动法:YC/T 217—2007[S]. 北京:中国标准出版社,2007.
- [17] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 水溶性糖的测定 连续流动法:YC/T 159—2019[S]. 北京:中国标准出版社,2019.
- [18] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 感官评价方法:YC/T 138—1998[S]. 北京:中国标准出版社,1998.
- [19] 范晓苏,梁芳婷,贾海江,等. 叶面喷施钼肥对贺州植烟区烤烟产质量的影响[J]. 南方农业,2024,18(3):131-134.
- [20] 史清照,李河霖,王超,等. 卷烟烟气内源性花香成分分析及花香特征调控[J]. 烟草科技,2023,56(5):56-67.
- [21] 茅中一,洪祖灿,刘加增,等. 基于香气活性值的福建尤溪烟叶提取物香气特征成分分析[J]. 烟草科技,2020,53(10):56-65.
- [22] 胡安福,范武,夏倩,等. 卷烟主流烟气焦甜、奶香和豆香特征成分组群的分布特征和感官贡献[J]. 烟草科技,2020,53(12):27-36.
- [23] Mookherjee B D, Wilson R A. Tobacco constituents - their importance in flavor and fragrance chemistry [J]. Perfumer and Flavorist,1990,15:27-49.
- [24] 刘俊辉,杨春强,范武,等. 卷烟烟气中7种香韵特征赋予组群的筛查[J]. 烟草科技,2019,52(4):44-50.
- [25] 于少藤,毛淑蕊,胡安妥,等. 改善烟叶品质微生物的筛选及其作用效果研究[J]. 南京农业大学学报,2021,44(4):766-777.
- [26] 郝亚冬,刘敏欣,李景明. 青梅果实芳香族特征香气的形成分析[J]. 农业机械学报,2024,55(1):379-385.
- [27] 刘俊辉,杨春强,范武,等. 卷烟烟气中7种香韵特征赋予组群的筛查[J]. 烟草科技,2019,52(4):44-50.
- [28] 杜康,张尉,顾丽莉,等. 初烤烟叶中烟碱和新植二烯的提取工艺研究[J]. 核农学报,2021,35(6):1394-1401.