

彤 磊,王小晓,李红玉,等. 烤烟与珠芽魔芋轮作对植烟土壤及烟叶品质的影响[J]. 江苏农业科学,2025,53(8):108-114.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.08.014

## 烤烟与珠芽魔芋轮作对植烟土壤及烟叶品质的影响

彤 磊<sup>1,5</sup>,王小晓<sup>4</sup>,李红玉<sup>3</sup>,陆 卫<sup>3</sup>,刘 帅<sup>2</sup>,张铁怀<sup>2</sup>,刘发伟<sup>3</sup>,刘增杰<sup>3</sup>,余 磊<sup>1</sup>,黄飞燕<sup>1</sup>,林 江<sup>2</sup>

(1. 昆明学院/云南省都市特色农业工程技术研究中心,云南昆明 650214; 2. 云南省烟草公司红河州公司,云南红河 652300;

3. 红河弘毅农业发展有限公司,云南红河 652300; 4. 云南省临沧市烟草公司凤庆县分公司,云南临沧 677000;

5. 四川省烟草公司凉山州公司,四川凉山 615000)

**摘要:**为解决红河州烟草生产中长期连作使土壤酸化严重和肥力下降等连作障碍问题,改良植烟土壤条件并提高烟叶品质的稳定性。在当地 2 个核心烟区通过对比常规烤烟连作和烤烟与珠芽魔芋轮作模式后土壤 pH 值、基础养分和酚酸类物质的变化,对第 2 年种植烤烟的烟株农艺性状以及烟叶化学成分和感官质量等指标进行评价,并采用二氯甲烷蒸馏萃取的方法,利用气质联用色谱仪测定烤后烟叶中致香物质的含量。结果显示,弥勒和开远 2 个试验点 T2 处理(烤烟与魔芋轮作)土壤 pH 值较 T1 处理(烤烟与烤烟连作)分别提高 0.66 和 0.50,有机质含量分别增加了 26.9% 和 17.2%,碱解氮含量分别增加 7.5% 和 3.9%,差异均达到显著水平( $P < 0.05$ ),土壤酚酸类物质中香草酸、丁香酸和 4-香豆酸的含量 T2 处理均低于 T1。第 2 年种植烤烟后,弥勒和开远试验点 T2 处理烟株的田间长势更强,烤后烟叶的化学成分和感官质量表现更好,主要致香物质的总含量分别显著提高了 9.0% 和 15.1%。综上,烤烟与珠芽魔芋轮作模式能有效缓解烤烟连作种植后土壤 pH 值的降低和酚酸类物质的积累,提高土壤基础养分,使烟株的田间长势更强,烟叶的品质明显提升。建议针对不同地区的特点选择适合当地种植的农作物与烤烟进行轮作,以促进可持续和高质量的烤烟种植生产。

**关键词:**烤烟;连作障碍;轮作;土壤酚酸;化学成分;致香物质

**中图分类号:**S344.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)08-0108-06

云南红河州地处  $22^{\circ} \sim 25^{\circ}\text{N}$ ,属于低纬度高原季风气候区,具有独特的高原型立体气候特征,干、雨季节区分较为显著。烟草(*Nicotiana tabacum* L.)是茄科烟草属的一年生草本植物,在我国多个地区广为栽培。红河植烟区是云南优质的烟叶产区之一,也是云南中烟工业最大的原料采购地<sup>[1]</sup>。烤烟是一种忌连作的作物,长期连作会使土壤理化性质恶化、养分失调、病虫害频发,从而使烟叶产质量下降,而且随着栽培年限的延长,烤烟的连作障碍会呈逐年加剧的累加效应<sup>[2]</sup>。目前,红河植烟区在生产过程中面临着由于连作障碍导致的土壤酸化、肥

力下降和经济效益降低等问题,以往常规的栽培模式已经不能满足高品质烟叶生产的要求,因此,烤烟轮作种植等栽培模式的探索,对优化红河烟区生产布局以及提高烟草产质量具有现实意义。研究证实,轮作在农业生产过程中是一种被证明十分有效的种植制度,具有减轻连作障碍、提高复种指数、改善土壤环境及增加作物产量等多方面的生产效果<sup>[3]</sup>,其对植烟土壤结构的改良、肥力的提高和烤烟生长环境的改善同样有着重要作用。相关研究表明,实行稻烟轮作,水旱交替,能显著提高土壤肥力,减轻病虫害的危害<sup>[4-6]</sup>。合理的轮作方式,还可降低土壤重金属含量和除草剂含量,提高种植的经济效益<sup>[7-8]</sup>。珠芽魔芋(*Amorphophallus muelleri*)是天南星科、魔芋属植物,是我国西南地区广泛种植的一种特色经济作物<sup>[9]</sup>。目前,针对烟地轮作的研究主要集中在玉米、水稻、油菜以及大蒜等作物轮作对烤烟产质量和土壤产生的影响方面<sup>[10-11]</sup>,关于烤烟与魔芋轮作种植的相关研究却鲜有报道。而珠芽魔芋除传统魔芋的优势外,还能通过叶柄上的气生珠芽进行繁殖,这使其在经济效益等方面更具

收稿日期:2024-04-15

基金项目:中国烟草总公司云南省公司科技计划(编号:2021530000242017);云南省科技计划(编号:202001BA070001-049);云南省基础研究专项(编号:202401AT070034)。

作者简介:彤 磊(1997—),男,河南南阳人,硕士,研究方向为烟草栽培技术。E-mail:1403584603@qq.com。

通信作者:黄飞燕,博士,副研究员,研究方向为烟草生产技术和病害防控,E-mail:125593879@qq.com;林 江,硕士,农艺师,研究方向为烟草栽培,E-mail:1203642284@qq.com。

推广价值<sup>[12]</sup>,而且珠芽魔芋是喜热作物,种植难度低,生长周期与烤烟种植相适宜,这使其更适合在红河地区作为烟草生产的轮作作物进行种植。基于连作模式对烤烟生产的不利影响,本试验在红河 2 个核心烟区以烤烟与珠芽魔芋轮作、烤烟连作 2 种不同栽培模式进行同田对比试验,通过研究不同栽培模式对植烟土壤微环境以及烟叶品质的影响,探明烤烟与珠芽魔芋轮作模式对烤烟连作障碍问题的积极作用,为优化红河植烟区烤烟生产、提高烟叶品质和原料利用率提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

1.1.1 供试材料 参与轮作的魔芋品种为云南省都市特色农业工程技术研究中心提供的珠芽魔芋品种珠芽金一号,供试烟草品种为云烟 87。

1.1.2 试验地概况 试验于 2022—2023 年分别在红河州 2 个核心烟区(弥勒市、开远市)分 2 年进行。弥勒市虹溪镇试验点(103°2'E, 24°1'N)海拔 1 479 m,开远市小龙潭镇试验点(103°1'E, 23°8'N)海拔 1 515 m,2 个试验点除海拔差异外,地形均为平地,土壤类型均为红壤土,前茬作物均为烤烟。

1.1.3 试验设置 选择同一地块并设置 2 个处理小区,以当地常规烤烟连作种植模式为对照处理(T1),同烤烟与珠芽魔芋轮作种植模式处理(T2)进行同田对比,试验第 1 年分别种植珠芽魔芋和烤烟,第 2 年在作物收获的小区上均种植烤烟。每个处理小区面积为 333.3 m<sup>2</sup>,各设置 3 次重复,不同处理间设置 2 行烟株保护行,随机区组排列,各处理田间管理保持一致。

表 1 不同种植模式试验设计

试验点	处理	种植模式
弥勒	T1	烤烟—烤烟连作
	T2	烤烟—魔芋轮作
开远	T1	烤烟—烤烟连作
	T2	烤烟—魔芋轮作

### 1.2 土壤样品取样及检测

分别于第 1 年作物种植前和作物收获后采用“S”形取样法在不同处理小区采集耕层(0~20 cm)土壤,2 个小区处理各 3 个取样重复,前后 2 次取样,每个试验区各 12 个共 24 个土壤样品。土样风干后,分别研磨,过筛后送至上海美吉生物医药科技有限公司进行土壤养分和酚酸类物质含量的

检测。

### 1.3 烤烟农艺性状测定

每个试验处理小区随机选取 30 株烟,在成熟期烟叶采收前,依据烟草行业标准 YC/T 142—2010《烟草农艺性状调查测量方法》定点挂牌记录株高、茎围、节距、有效叶片数、最大叶长和最大叶宽。

### 1.4 烟叶质量的测定

1.4.1 化学成分测定 依据 YC/T 159—2002《烟草及烟草制品 水溶性糖的测定 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 161—2002《烟草及烟草制品 总氮的测定 连续流动法》、YC/T 162—2002《烟草及烟草制品 氯的测定 连续流动法》和 YC/T 173—2003《烟草及烟草制品 钾的测定 火焰光度法》等标准检测不同处理中部烟叶(C3F)的还原糖、总糖、植物碱、总氮、氯离子和钾离子含量并计算得出钾氯比、氮碱比和糖碱比等指标。

1.4.2 感官质量评价 感官质量按照 YC/T 138—1998《烟草及烟草制品 感官评价方法》,由 7 人评吸专家组成的评吸小组,采用 9 分制对不同处理中部烟叶(C3F)进行打分,评价香气质、香气量、刺激性、余味和杂气等指标。

### 1.5 烟叶致香物质测定

1.5.1 样品处理方法 选取 2 个地区不同处理的相同等级的中部叶(C3F),去除主脉后烘干、粉碎并平衡后,采用水蒸气蒸馏-二氯甲烷溶剂萃取法提取致香物质,加入内标溶液(乙酸苯乙酯)萃取 3 h 后,将提取液和二氯甲烷混合物经无水硫酸钠干燥后,浓缩至 1 mL,最后过 0.45 μm 滤膜后用于气相色谱-质谱(GC-MS)分析。

1.5.2 仪器设备及条件 上机设备为美国安捷伦 Agilent 7890B-5977A 气质联用仪。色谱(GC)条件:升温程序为初始温度 50 ℃,保持 1 min;以 8 ℃/min 升至 160 ℃,保持 2 min;再以 8 ℃/min 升至 260 ℃,保持 15 min。载气(He)的流速为 1.2 mL/min;进样口温度为 250 ℃,进样量为 1 μL,分流比为 10:1。质谱(MS)条件:EI 源电压为 70 eV;离子源温度为 230 ℃;MS 四极杆温度为 150 ℃;质量扫描范围  $m/z$  为 30~550 u;溶剂延迟时间为 3 min。

### 1.6 数据统计分析

数据采用 Excel 2010 进行处理,利用 SPSS 29.0 样本  $t$  检验的方法进行显著性检验( $\alpha=0.05$ )。致香物质相对含量利用 GC-MS 分析系统,采用 NIST

14 谱库进行检索定性,根据某一化合物同内标物质的峰面积比与浓度比成正比来计算该化合物的量,不考虑仪器信号响应差异的情况下,即假定相对校正因子为 1 时,用内标法定量<sup>[13]</sup>。

$$M_i(\mu\text{g/g}) = \frac{A_i \times C_s \times V_s}{A_s \times M_o}。$$

式中: $M_i$  表示组分  $i$  的含量; $A_i$  表示组分的峰面积; $C_s$  表示内标物的浓度; $V_s$  表示内标液的体积; $A_s$  表示内标物的峰面积; $M_o$  表示烟草样品的质量;g。

2 结果与分析

2.1 土壤条件指标

2.1.1 常规土壤养分 由表 2 可知,弥勒试验区在第 1 年作物种植前土壤 pH 值为 6.37,呈微酸性。不同作物收获后 2 个处理 pH 值均呈下降趋势,其

中 T2 处理 pH 值显著高于 T1 处理,提高了 0.66,且 T2 处理在魔芋收获后土壤中有有机质、碱解氮和氯离子的含量均较种植前上升,并显著高于 T1 处理 ( $P<0.05$ ),有机质、碱解氮含量较 T1 处理分别提高 26.9%、7.5%。土壤有效磷含量 2 个处理无显著变化,而速效钾含量 T2 处理较种植前下降,且显著低于 T1 处理。由表 3 可知,开远试验区在作物种植前土壤 pH 值为 6.01,不同作物收获后 T2 处理的 pH 值较种植前的下降幅度同样低于 T1 处理,较 T1 处理提高 0.50,差异显著,且有机质、碱解氮和氯离子的含量也显著高于 T1 处理,有机质、碱解氮含量较 T1 处理分别提高了 17.2%、3.9%,而有效磷和速效钾含量显著低于 T1 处理。总的来看,2 个试验区 T2 处理较 T1 处理土壤 pH 值和氯离子含量更适宜,且 T2 处理提高了有机质和碱解氮的含量。

表 2 弥勒试验点不同种植模式土壤养分情况

处理	取样时间	pH 值	有机质含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	氯离子含量 (mg/kg)
	作物种植前	6.37	27.40	122.83	31.21	253.12	10.09
T1	烤烟收获后	5.02b	25.30b	145.32b	32.11a	264.32a	11.02b
T2	魔芋收获后	5.68a	32.10a	156.23a	30.12a	185.32b	16.23a

注:表中同列数据后不同小写字母表示处理间存在显著差异( $P<0.05$ )。表 3 至表 6 同。

表 3 开远试验点不同种植模式土壤养分情况

处理	取样时间	pH 值	有机质含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	氯离子含量 (mg/kg)
	作物种植前	6.01	25.14	116.35	27.87	226.98	9.11
T1	烤烟收获后	5.35b	24.52b	117.56b	28.45a	232.15a	8.25b
T2	魔芋收获后	5.85a	28.74a	122.13a	24.35b	185.32b	18.44a

2.1.2 土壤酚酸类物质含量 由表 4 可知,弥勒试验区 T1 处理在烤烟收获后土壤酚酸类物质中对羟基苯甲酸和 4-香豆酸含量低于作物种植前,其他酚酸类物质的含量明显上升,而 T2 处理在魔芋收获后仅对羟基苯甲酸和肉桂酸含量稍高于 T1 处理,且香草酸、丁香酸和阿魏酸含量低于 T1 处理并达到显著水平。由表 5 可知,开远试验区 T1 处理在

烤烟收获后除阿魏酸含量外其他酚酸类物质含量明显高于作物种植前,而 T2 处理在魔芋收获后仅有 4-香豆酸和阿魏酸含量稍高于种植前,且除 4-香豆酸和阿魏酸外,其他物质含量均显著低于 T1 处理。总的来看,2 个试验区 T2 处理均能有效改善连作引起的土壤中酚酸类物质含量增高。

表 4 弥勒试验点不同种植模式土壤酚酸类物质含量

处理	取样时间	对羟基苯甲酸含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	香草酸含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	丁香酸含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	4-香豆酸含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	阿魏酸含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	肉桂酸含量 ( $\mu\text{g/g}$ )
	作物种植前	1.26	1.23	3.12	2.78	11.56	0.56
T1	烤烟收获后	1.15a	3.89a	6.45a	2.56a	20.13a	1.15a
T2	魔芋收获后	1.23a	1.35b	4.52b	2.35a	14.56b	1.20a

表 5 开远试验点不同种植模式土壤酚酸类物质含量

处理	取样时间	对羟基苯甲酸含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	香草酸含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	丁香酸含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	4-香豆酸含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	阿魏酸含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	肉桂酸含量 ( $\mu\text{g/g}$ )
	作物种植前	0.87	0.98	2.23	3.66	2.45	15.46
T1	烤烟收获后	2.45a	4.52a	7.56a	4.55a	2.15b	18.25a
T2	魔芋收获后	0.85b	0.74b	2.13b	4.35a	2.52a	14.40b

2.2 烤烟成熟期农艺性状

由表 6 可知,弥勒试验区 T2 处理烟株的各项农艺性状指标均优于 T1 处理,且烤烟株高、茎围、最大叶长和最大叶宽均与 T1 处理差异达显著水平。

开远试验区 T2 处理除最大叶宽略小于 T1 处理,有效叶片数和节距没有明显差异外,其他指标均显著高于 T1 处理。总的来看,2 个地区 T2 处理种植烟草的田间生长势比 T1 处理更强。

表 6 不同种植模式烤烟成熟期农艺性状

地区	处理	株高 (cm)	有效叶数 (片)	茎围 (cm)	节距 (cm)	最大叶长 (cm)	最大叶宽 (cm)
弥勒	T1	98.6b	19a	8.5b	3.5a	65.4b	32.5b
	T2	120.3a	20a	9.2a	3.8a	75.6a	34.1a
开远	T1	95.3b	19a	7.2b	3.2a	71.2b	31.2a
	T2	115.3a	19a	8.5a	3.5a	78.4a	30.2a

2.3 烟叶质量指标

2.3.1 烟叶化学成分 当地优质烟叶化学成分适宜含量范围为:总糖含量 18% ~ 30%,还原糖含量 14% ~ 26%,总氮含量 1.8% ~ 2.7%,烟碱含量 1.8% ~ 3.0%,钾离子含量  $\geq 2.0\%$ ,氯离子含量 0.3% ~ 0.8%,糖碱比 6 ~ 13,氮碱比 0.7 ~ 1.3,钾氯比  $\geq 8$ 。由表 7 可以看出,弥勒试验区 T1 处理中部叶中的总糖、还原糖、烟碱、氯离子含量偏低,氮

碱比偏高,T2 处理中部叶仅有钾离子、烟碱含量和钾氯比偏低,其他指标均在适宜范围内。开远试验区 T1 处理中部叶的烟碱含量稍偏高,钾离子、氯离子含量和糖碱比稍偏低,T2 处理仅有烟碱含量稍偏高,氯离子含量、糖碱比和氮碱比稍偏低,其他指标符合标准。总的来看,2 个地区 T2 处理烟叶的化学成分更为协调。

表 7 不同种植模式烟叶化学成分

地区	处理	总糖含量 (%)	还原糖含量 (%)	总氮含量 (%)	烟碱含量 (%)	钾离子含量 (%)	氯离子含量 (%)	糖碱比	氮碱比	钾氯比
弥勒	T1	12.89	9.95	2.70	1.03	2.15	0.18	9.66	2.62	11.94
	T2	25.13	16.83	2.10	1.61	1.38	0.44	10.45	1.30	3.14
开远	T1	22.43	16.96	2.44	3.47	1.71	0.12	4.89	0.70	14.25
	T2	21.51	14.12	1.96	3.60	2.59	0.29	3.92	0.54	8.93

2.3.2 烟叶感官质量评价 由图 1 可知,弥勒试验区中部叶的整体感官质量 T2 处理优于 T1 处理。其中香气质、香气量、余味和杂气指标得分都高于 T1 处理,刺激性指标 2 个处理得分一致;开远试验区中部叶感官质量指标中 T2 处理除余味得分较 T1 稍低,香气量指标得分相同,其他指标得分都高于 T1 处理。综合来看,2 个地区 T2 处理比 T1 处理烟叶的感官质量表现更好。

2.4 烟叶主要致香物质含量

由图 2 可知,弥勒试验区 5 类致香成分的总量

表现为 T2 处理较高,总含量达 360.67  $\mu\text{g/g}$ ,显著高于 T1 处理(330.95  $\mu\text{g/g}$ ),提高了 9.0%。其中 T2 处理除西柏烷类降解产物占比小于 T1 处理,其他 4 类致香物质的占比均高于 T1 处理,T1 处理 5 类致香物质含量占比表现为叶绿素降解产物 > 类胡萝卜素降解产物 > 西柏烷类降解产物 > 苯丙氨酸类降解产物 > 美拉德反应产物,而 T2 处理表现为叶绿素降解产物 > 类胡萝卜素降解产物 > 苯丙氨酸类降解产物 > 西柏烷类降解产物 > 美拉德反应产物。开远试验区 5 类致香成分的总量同样也表

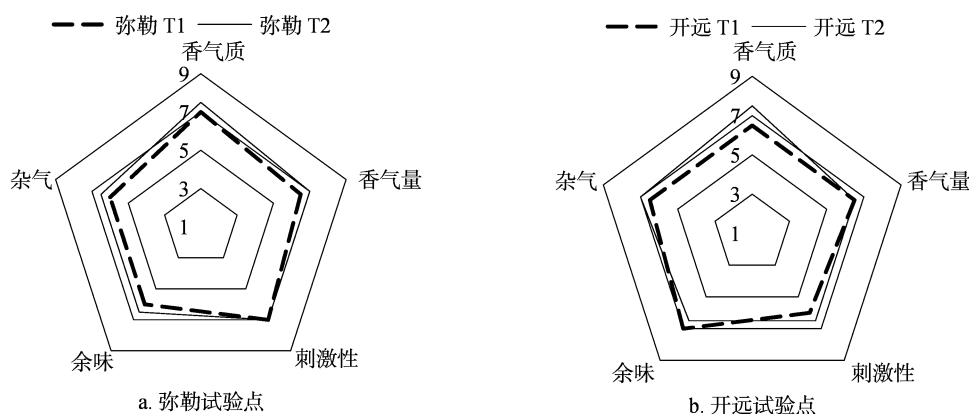
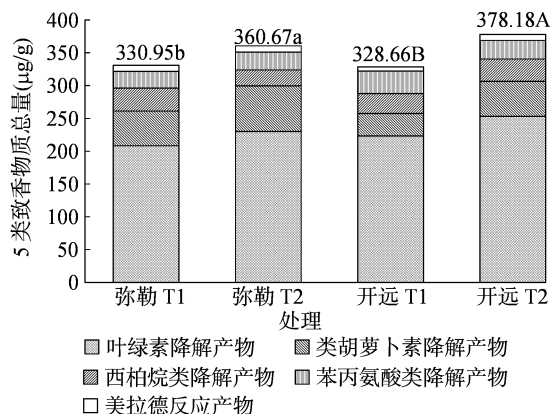


图1 不同种植模式中部叶感官质量得分

现为 T2 处理较高,总含量达 378.18  $\mu\text{g/g}$ ,显著高于 T1 处理(328.66  $\mu\text{g/g}$ ),提高了 15.1%。其中 T2 处理除苯丙氨酸类降解产物占比低于 T1 处理,其他 4 类致香物质占比均高于 T1 处理,T1 处理 5 类致香物质含量占比表现为叶绿素降解产物 > 苯丙氨酸类降解产物 > 类胡萝卜素降解产物 > 西柏烷类降解产物 > 美拉德反应产物,而 T2 处理表现为叶绿素降解产物 > 类胡萝卜素降解产物 > 西柏烷类降解产物 > 苯丙氨酸类降解产物 > 美拉德反应产物。总的来看,叶绿素降解产物作为烤烟致香成分中最重要的一类致香物质,含量最高,占比最大,而美拉德反应产物类占比最小。2 个试验区 T2 处理烟叶的致香物质总量均显著高于 T1 处理。



柱上不同大写字母、小写字母均表示不同处理间存在显著差异( $P < 0.05$ )

图2 不同种植模式烟叶 5 类致香物质总量

### 3 讨论

土壤被认为是一种高度复杂和动态的生态系统,前人的研究显示,过度耕种所引发的连作障碍会造成烟田不同程度的土壤养分耗竭,酸化或盐碱化严重,使烟草的生长发育受到影响<sup>[14-15]</sup>。长期进

行单一作物种植,会降低土壤中氮、磷和钾等养分含量,导致作物养分吸收不均衡<sup>[16]</sup>。而轮作是一种简单有效的缓解烤烟连作障碍的农业手段,合理的轮作可提高土壤肥力,改善土壤理化性状,抑制病原生长<sup>[17-18]</sup>。本研究发现,在红河州不同烟区烤烟与珠芽魔芋轮作较烤烟连作土壤 pH 值的降低明显减缓,且提高了有机质和碱解氮等土壤养分的含量。而有效磷和速效钾含量降低,这可能是由于不同的作物对于养分类型的需求程度所导致。烟草是忌氯作物,但氯又是烟草生长发育必不可少的营养元素之一,我国优质烟草生长一般要求土壤含氯量为 25 ~ 30  $\text{mg/kg}$ <sup>[19]</sup>,红河烟区土壤氯离子的含量偏低,烤烟与珠芽魔芋轮作后能提高其含量,使氯离子更接近适宜范围。酚酸类物质是连作模式下作物根际分泌产生的化感物质,能改变土壤中微生物群落结构从而影响作物的生长<sup>[20]</sup>。烟草生长过程中根部会释放大量根系分泌物,这些化感自毒物质在土壤中不断积累,直接或间接加剧了土传病害的发生<sup>[21-22]</sup>。黄容等研究发现,植烟区土壤酚酸类物质明显高于非植烟区,且烤烟连作显著增加了土壤酚酸类物质的积累<sup>[23]</sup>,该结论与本次试验中轮作模式下香草酸、丁香酸和 4-香草酸含量降低的结果基本一致。综上,烤烟与珠芽魔芋轮作模式对于植烟土壤的改良作用明显。

轮作模式后种植烟株的田间长势、烟叶的质量也较烤烟连作模式明显提高。化学成分是评价烟叶质量关键性的指标,也是彰显烟叶香型风格和体现感官质量的内在基础<sup>[24-25]</sup>。烤烟含氯量过高和过低都会影响烟叶产量、质量,相关研究表明,烟叶最佳的含氯量为 0.3% ~ 0.8%<sup>[26]</sup>。红河植烟区烟叶普遍存在氯离子含量偏低的情况,而烟叶中氯离子含量跟土壤中氯离子含量密切相关。本次试验 2

个烟区烤烟与珠芽魔芋轮作模式都使烟叶含氮量接近或回归到适宜范围内,弥勒地区连作模式后种植的烟叶总糖和还原糖含量过低,不符合云南特有的烟叶清甜香风格。而烤烟与珠芽魔芋轮作模式有效提高烟叶中两糖含量,使烟叶整体化学成分变得更协调,感官质量也表现更优。致香物质也是影响烤烟感官质量和香气特色最重要的因素之一,烟叶中香气物质的含量和比例直接影响烟气的香型和香气质量<sup>[27-28]</sup>。陈小龙等在云南德宏地区的研究表明,不同移栽期冬烟上部叶的致香物质含量有很大差异<sup>[29]</sup>。曹亚男等研究发现,亲缘关系密切的不同品种烟叶中致香物质的含量特点高度相似<sup>[30]</sup>。现有的研究多集中在产区、品种和移栽期等方向,而针对轮作对于致香物质的作用鲜有报道。叶绿素降解产物中最主要的致香物质是新植二烯,对烟草的致香成分含量的高低起关键作用<sup>[31]</sup>。本次试验 2 种模式下结果都证实叶绿素降解产物类的含量在烟叶致香物质中占有绝对优势地位。西烷类降解产物中茄酮等致香物质,对增加烟草本香、卷烟提调醇和烟气质量等方面有重要作用<sup>[32]</sup>。其他包括类胡萝卜素降解产物、美拉德反应产物和苯丙氨酸类降解产物等各类致香物质之间相互作用,共同对烟草的风格特征和香型产生影响<sup>[33-35]</sup>。本次试验结果表明,烤烟与珠芽魔芋轮作显著增加了烟叶中多类致香物质含量和致香物质的总量。

#### 4 结论

通过在红河 2 个核心烟区开展烤烟连作和烤烟与珠芽魔芋轮作 2 种模式对比研究,结果表明,烤烟与珠芽魔芋轮作模式不但有效改善了烤烟连作种植导致的土壤酸化、养分降低和酚酸类物质积累的问题,还能够提高来年种植烟草后烟株的田间长势,烟叶化学成分的协调性,使感官质量表现更佳,致香物质的积累显著提升,从而全面提高烟叶的综合品质。红河植烟区烤烟连作障碍问题严重,选择珠芽魔芋与烤烟轮作在当地烟草种植生产方面的效果显著,可进一步验证推广。因此,建议针对不同地区生态环境和土壤环境的特点,选择适宜的农作物与烤烟进行轮作,对当地植烟土壤的保育以及提高烟叶产量、质量和烟农的经济效益都具有重要作用。

#### 参考文献:

[1] 张静,严君,杨景华,等. 云烟品牌云南原料基地土壤、烟叶

- 氮素含量特征研究[J]. 中国农学通报,2019,35(31):50-55.
- [2] 贾志红,易建华,符建国,等. 烤烟连作与轮作土壤养分差异研究[J]. 西南农业学报,2011,24(5):1784-1788.
- [3] 赵存鹏,郭宝生,刘素恩,等. 粮棉轮作对土壤中养分及真菌多样性的影响[J]. 华北农学报,2017,32(6):139-146.
- [4] 林福群,张云鹤. 凤阳县烤烟生产现状与烟稻连作栽培技术[J]. 安徽农业技术师范学院学报,1996,10(3):35-36,34.
- [5] 孔凡武,刘许生,张茂文,等. 烟—稻轮作烤烟主要病虫害的综合防治技术[J]. 江西农业学报,2007,19(8):56-58.
- [6] 何念杰,唐祥宁,游春平. 烟稻轮作与烟草病害关系的研究[J]. 江西农业大学学报,1995,17(3):294-299.
- [7] 张久权,张瀛,黄一兰,等. 土地整理对烟稻轮作田土壤理化性状、重金属含量和微生物量的影响[J]. 福建农业学报,2017,32(6):665-669.
- [8] 张继光,姚忠达,张忠锋,等. 皖南地区不同烤烟种植模式的土壤环境及经济效益分析[J]. 土壤,2016,48(3):553-558.
- [9] 刘佩瑛. 魔芋学[M]. 北京:中国农业出版社,2004:4-6.
- [10] 何丹,陆引罡,周建云,等. 不同轮作方式下烟土供肥规律的研究[J]. 广东农业科学,2013,40(22):82-85.
- [11] 唐彪. 烟蒜轮(套)作对土壤磷组分的影响[D]. 雅安:四川农业大学,2015:36-40.
- [12] 王启宇,杨敏,魏环宇,等. 引起云南省珠芽魔芋叶斑病的链格孢菌种类鉴定[J]. 植物保护,2022,48(4):240-244.
- [13] 施建莲. 云南晾晒烟化学成分及致香成分分析[D]. 昆明:昆明医科大学,2018:33-34.
- [14] Deng J J, Zhang Y L, Hu J W, et al. Autotoxicity of phthalate esters in tobacco root exudates: effects on seed germination and seedling growth[J]. Pedosphere, 2017, 27(6):1073-1082.
- [15] Aparicio V, Costa J L. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas[J]. Soil and Tillage Research, 2007, 96(1/2):155-165.
- [16] 晋艳,杨宇虹,段玉琪,等. 烤烟轮作、连作对烟叶产量质量的影响[J]. 西南农业学报,2004,17(增刊1):267-271.
- [17] Tian F, Ding Y Q, Zhu H, et al. Genetic diversity of siderophore-producing bacteria of tobacco rhizosphere[J]. Brazilian Journal of Microbiology, 2009, 40(2):276-284.
- [18] 冯翠,衣政伟,钱巍,等. 不同种植模式下番茄根际土壤养分和真菌多样性分析[J]. 江苏农业学报,2022,38(2):462-468.
- [19] 曹志洪. 优质烤烟生产的土壤与施肥[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1991:236-251.
- [20] 田给林,毕艳孟,孙振钧,等. 酚酸类物质在作物连作障碍中的化感效应及其调控研究进展[J]. 中国科技论文,2016,11(6):699-705.
- [21] 刘帅,黄坤,陈乐,等. 烟草根系分泌物及其化感作用研究进展[J]. 亚热带农业研究,2018,14(1):61-65.
- [22] 杨敏,曹敬东,郑元仙,等. 生物有机肥对热区烤烟根际土壤酚酸类物质和细菌群落结构的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(24):244-251.
- [23] 黄容,王永豪,王昌全,等. 凉攀区植烟土壤酚酸类物质的含量分布和变异特征[J]. 土壤,2021,53(4):794-801.

李家凤,汤开磊,刘思雨,等. 外源脱落酸处理对盐胁迫下工业大麻苗期生长和生理的影响[J]. 江苏农业科学,2025,53(7):114-121.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.07.015

# 外源脱落酸处理对盐胁迫下工业大麻苗期生长和生理的影响

李家凤,汤开磊,刘思雨,邬德馨,蒋文素,欧阳文静,刘飞虎,杜光辉,杨 阳  
(云南大学农学院,云南昆明 650500)

**摘要:**以工业大麻品种巴马火麻和云麻 7 号为试验材料,采用沙培法种植,设置正常生长(CK)、盐胁迫(200 mmol/L NaCl)和盐胁迫+喷施脱落酸(200 mmol/L NaCl+250 mg/L ABA)3 种处理,通过形态生长和生理生化指标的分析,揭示外源脱落酸处理对盐胁迫下工业大麻苗期生长和生理的影响。研究表明,与对照相比,盐胁迫下巴马火麻和云麻 7 号的株高分别降低了 39.51%、44.62%,茎粗分别降低了 21.37%、41.96%,而总生物量分别降低了 83.87%、69.42%;与盐胁迫相比,脱落酸处理后巴马火麻和云麻 7 号的株高分别增加了 22.95%、37.95%,茎粗分别增加了 10.41%、37.75%,总生物量也分别增加了 78.99%、59.52%。与盐胁迫相比,喷施外源脱落酸后 2 个大麻品种的 SPAD 值均有一定程度的增加,而超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性,可溶性糖和可溶性蛋白含量也相应提高,丙二醛含量下降,以上生理指标的变化进而导致工业大麻株高、茎粗和生物量的增加。综上所述,盐胁迫下喷施外源脱落酸能增强大麻植株的生理活性,能在一定程度上消减盐胁迫对大麻生长和生理上带来的损伤。

**关键词:**工业大麻;盐胁迫;脱落酸;生理;生长

**中图分类号:**S563.301 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)07-0114-08

大麻(*Cannabis sativa* L.)为大麻科(Cannabaceae)大麻属(*Cannabis*)一年生草本植物,工业大麻是指其四氢大麻酚(THC)含量低于 0.3%、不具备制毒

价值的大麻品种类型,其生物活性成分(主要是大麻素)、纤维和麻籽被广泛应用于医疗保健、纺织、造纸、建筑和功能食品等领域<sup>[1]</sup>。盐胁迫是植物最常见的非生物胁迫之一,不仅抑制植物的生长发育,还降低植物生产能力<sup>[2-3]</sup>。据联合国粮食及农业组织报道,世界上有超过 9.5 亿 hm<sup>2</sup> 的土地受到盐胁迫的影响,且由于农田用水管理不当,导致土壤的次生盐渍化面积不断扩大<sup>[4]</sup>。大多数植物对土壤盐胁迫敏感,盐胁迫会导致植物内部发生离子胁迫、渗透胁迫以及氧化胁迫,致使植物代谢受阻,细胞内离子失衡,光合色素合成及蛋白质含量、抗

收稿日期:2024-03-29

基金项目:云南省教育厅科学研究基金(编号:2023J0005);云南省科技计划(编号:202401AT070484);国家麻类产业技术体系建设专项(编号:CARS-16-E15)。

作者简介:李家凤(2000—),女,云南临沧人,硕士研究生,主要从事工业大麻抗逆生理研究。E-mail:ljf6694@163.com。

通信作者:杜光辉,博士,讲师,主要从事工业大麻高产栽培研究, E-mail:dgh2012@ynu.edu.cn;杨 阳,博士,实验师,主要从事工业大麻栽培生理研究, E-mail:yjy@ynu.edu.cn。

[24] Weeks W W. Chemistry of tobacco constituents influencing flavor and aroma[J]. Recent Advance of Tobacco Science,1985,11(2):175-200.

[25] 耿宗泽,李东亮,戴 亚,等. 基于化学成分指标的烤烟产区广义灰色关联分析[J]. 中国烟草学报,2010,16(3):12-16.

[26] 陈江华,刘建利,龙怀玉. 中国烟叶矿质营养及主要化学成分含量特征研究[J]. 中国烟草学报,2004,10(5):20-27.

[27] 曹建敏,刘帅帅,邱 军,等. 烤烟重要致香物质与评吸质量的相关性研究[J]. 中国烟草科学,2012,33(6):75-79.

[28] 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,2011:3-4.

[29] 陈小龙,段卫东,张 展,等. 移栽期对冬季烤烟上部烟叶致香成分和质量评价的影响[J]. 中国农学通报,2021,37(22):28-34.

[30] 曹亚男,曹建敏,林润英,等. 中烟 207 及其亲本 0953 高香气性状的物质基础研究[J]. 中国烟草科学,2023,44(4):71-78.

[31] 胡皓月,许自成,苏永士,等. 影响烟草新植二烯含量因素的研究进展[J]. 江西农业学报,2010,22(1):17-20.

[32] 李佳颖,马君红,李志鹏,等. 烤烟茄酮含量与化学成分和感官质量的关系[J]. 河南农业科学,2016,45(12):34-39.

[33] 蒋举兴,孔维松,吴 俊,等. 香精中巨豆三烯酮 E/Z 异构体的相对量比和在 4 种常用气相色谱柱上的出峰顺序[J]. 云南大学学报(自然科学版),2018,40(5):984-994.

[34] 徐秀娟,茅中一,杨春强,等. 基于烟草水提物的 Maillard 反应产物影响因素[J]. 烟草科技,2022,55(3):39-49.

[35] 朱咸鑫. 不同香型产区烟叶常规化学成分和致香物质差异[D]. 长沙:湖南农业大学,2017:33-35.