

不同温湿条件对番茄秸秆原位还田酚酸类化感物质运移的影响^{*}

桑 婷^{**}, 杨冬艳, 赵云霞, 王 丹
(宁夏农林科学院园艺研究所, 宁夏 银川 750002)

摘要:清除蔬菜残体是园艺生产的常见措施,但易造成生物资源的大量浪费。为提高番茄残体还田的效率与生态安全性,本研究系统评估了不同温度(常温与高温)和湿度(低湿与高湿)条件对番茄秸秆原位还田过程中酚酸组分动态变化、迁移行为的影响。结果表明,与常温处理相比,高温处理显著提高了肉桂酸、阿魏酸、香豆酸和没食子酸的含量;高湿条件则促进了处理前期(15天)阿魏酸、咖啡酸和香豆酸的积累,降低了后期(60天)肉桂酸和香豆酸的含量。化感物质在土壤中表现出由秸秆向上、下方迁移的空间特征。而高湿条件可加速化感物质的迁移与转化,本研究为番茄残留物的资源化利用与可持续土壤管理提供了理论依据。

关键词:番茄秸秆;原位还田;酚酸;化感物质;运移

中图分类号:S141.4

番茄是中国重要的大宗蔬菜之一,国内番茄产量常年保持5000万吨以上。2016年,番茄产量达5413万吨、种植面积达105万 hm^2 ^[1],随之每年可产生约3.4亿吨番茄秸秆^[2]。番茄植株养分含量高,氮、磷、钾素含量约占植株干重1.81%、0.48%和2.8%^[3],是秸秆肥料化利用的优质物料。近年来,研究人员将夏季休闲期的太阳能高温焖棚技术与蔬菜秸秆还田相结合,显示出良好的土壤改良效果,并显著提高了土壤质量指数(SQI)^[4-5]。但前人的研究多针对不同蔬菜秸秆还田对土壤养分和微生物环境的影响,对蔬菜秸秆还田腐解特别是在高温焖棚环境下产生的化感物质组成、随着焖棚时间化感物质在土壤中如何运移尚未探明。因此,本研究以番茄秸秆还田为研究对象,通过模拟日光温室中常见的高温焖棚/常温还田、干焖/湿焖环境下,探究番茄秸秆原位还田后酚酸类化感物质的组成变化、运移规律,为番茄秸秆的安全、高效还田提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本试验于宁夏农林科学院园艺研究所试验室内开展,通过常温、高温、低湿、高湿4种不同组合模拟设施焖棚及常规土壤

温湿条件,按新鲜番茄秸秆干重与土干重质量比1.25%折算,采用尼龙网袋法进行实验室模拟试验,试验设5个处理,CK(不还田):未还田的番茄种植后根系土,TR1(常温低湿):土壤含水量35%、25℃还田;TR2(常温高湿):土壤含水量70%、25℃还田;TR3(高温低湿):土壤含水量35%、55℃还田;TR4(高温高湿):土壤含水量70%、55℃还田。以番茄秸秆为中心,上下各覆2层2cm厚等量土壤,由上至下分别为1、2、3、4层,于试验0、15、30、60天对每层土壤进行取样。取样后将每层土样混匀过筛,用于酚酸含量检测。

1.2 酚酸含量检测

采用LC-MS方法进行酚酸组分靶向检测。利用研磨仪将土壤样品研磨至粉末状。称取100mg样品加入1000 μL 提取液(甲醇:乙腈:水=2:2:1, V/V),振荡混匀。冰水浴超声处理10min,液氮速冻1min。反复三次。-20℃放置1h。13000rpm 4℃离心15min。取上清液,氮吹仪吹干。加入100 μL 乙腈:水=1:1(V/V)重溶。振荡30s,冰水浴超声处理10min。13000rpm 4℃离心15min。取上清,准备上机检测。

色谱条件:色谱柱:ACQUITY UPLC[®] BEH C18 色谱柱(2.1 $\times$ 100mm, 1.7 μm , 美国 Waters 公司),进样量5 μL ,柱温40℃,流动相 A-100% H_2O 25mM $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ + 25mM NH_4OH , B-100% ACN。梯度洗脱条件为 0~1.0min, 85% B; 1.0~12.0min, 65% B; 12.0~12.1min, 40% B; 12.1~15.0min, 40% B; 15.0~15.1min, 85% B; 15.1~20.0min, 85% B; 流速0.3mL/min。质谱条件:电喷雾电离(ESI)源。离子源温度600℃,离子源电压-4500V或5500,气帘气20psi,雾化气和辅助气均为60psi。采用多重反应监测(MRM)进行扫描。对各工作标准溶液分别进行LC-MS检测,以工作标准溶液的浓度为横坐标,峰面积为纵坐标,考察线性范围及绘制标准曲线。对样品进行积分,得到所有样品的峰面积,根据建立的分析方法,对所有样品进行定量分析。

1.3 数据分析

利用Microsoft Excel 2012软件整理数据,利用SPSS 24软件进行统计分析,利用Origin 2019软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同温湿条件对番茄秸秆原位还田酚酸总量的影响

为整体评价不同还田条件下番茄秸秆释放的酚酸含量，将各处理 4 层土壤中每种酚酸含量进行平均，发现在检测到的 8 种酚酸类物中，香草醛含量最高，达 98.89 ~ 320.9 $\mu\text{g/g}$ ，其后依次为丁香酸、阿魏酸、肉桂酸、香豆酸，没食子酸、原儿茶酸和咖啡酸的含量较低（图 1）。在为期 60 天的处理中，各处理番茄秸秆还田后除原儿茶酸其他酚酸含量均呈先上升后下降的趋势，其中肉桂酸、丁香酸、没食子酸、咖啡酸、香草醛在不同处理、时间和土层间的变异系数最大，分别为 0.58、0.52、0.5、0.48、0.48。除 TR4 处理 15 天酚酸总量最高，其他处理均表现为处理 30 天酚酸总量最高（图 1）。与常温处理相比，高温处理后增加了肉桂酸、阿魏酸、香豆酸、没食子酸的含量；而高湿处理增加了处理前期（15 天）阿魏酸、咖啡酸、香豆酸的含量，降低了处理后期（60 天）肉桂酸、香豆酸的含量。

2.2 不同温湿条件下番茄秸秆原位还田不同酚酸运移趋势

进一步分析不同酚酸在土层中的含量动态，发现木质素来源的肉桂酸、对香豆酸、阿魏酸（均衍生自香豆醇）以及非木质素来源的没食子酸，其变化趋势相似（图 2）。在常温低湿（TR1）条件下，还田 30 天时，四种酚酸在秸秆上下 4 cm 范围内的四个土层中均达到释放峰值，至 60 天时仍维持较高含量。其中，阿魏酸与没食子酸在底层土壤中含量较高。常温高湿（TR2）处

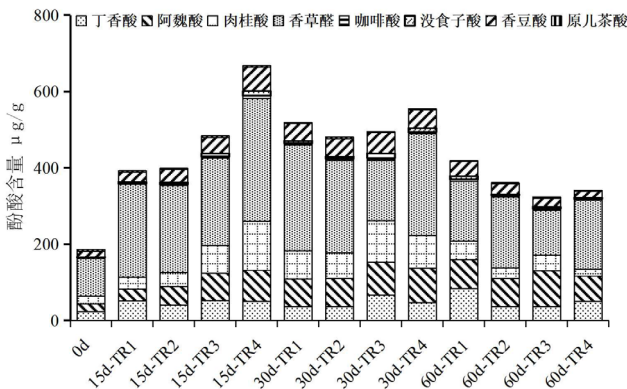


图 1 不同温湿条件对番茄秸秆原位还田酚酸总量的影响

理显著加快了酚酸的释放与运移进程。还田 15 天时，对香豆酸和阿魏酸在四个土层中的含量即显著上升，且在 30 天与 60 天时，最上层土壤中的含量高于第二层，提示酚酸可能随水分向上迁移。

高温处理则显著提升了土壤中四种酚酸的总体含量，并促进了其在垂直方向上的运移。高温低湿（TR3）条件下，酚酸在 15 天时已扩散至全部四个土层，其中肉桂酸、对香豆酸和没食子酸在 30 天达到峰值，而阿魏酸峰值出现在 60 天。高温高湿（TR4）进一步加速了这一过程：肉桂酸、对香豆酸和没食子酸在 15 天即达峰值，阿魏酸在 30 天达峰；至 60 天时，除阿魏酸外，其余三种酚酸在各土层中的含量均回落至接近对照水平。这表明高温与高湿条件均可促进酚酸的生成、运移与分解，从而可能缩短其在土壤中具有化感抑制效应的持续期。

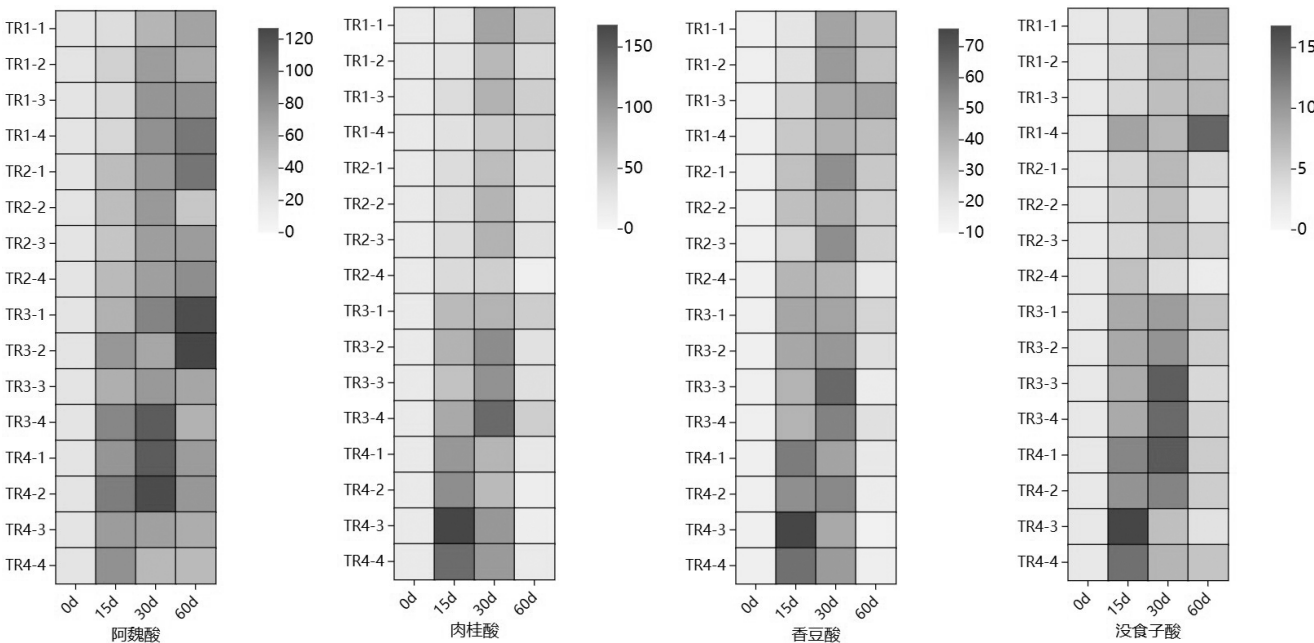


图 2 不同温湿条件下番茄秸秆还田不同土层酚酸含量变化

3 讨论与结论

酚酸类化合物是具有植物化感抑制作用的典型物质^[6], 本研究发现与常温还田相比, 高温焖棚条件下番茄秸秆还田显著增加了土壤中肉桂酸、阿魏酸等主要酚酸含量。苏新宇^[7]的研究也发现番茄秸秆高温焖棚还田增加了土壤中香草酸和肉桂酸的含量, 这很可能源于高温极大地促进了土壤微生物及酶(如漆酶、过氧化物酶)的活性, 从而加速了秸秆木质素与其他有机组分的腐解进程, 导致酚酸单体的大量、快速释放^[8]。酚酸可随浓度梯度或降水移动^[9], 本试验中高温与高湿协同时(TR4处理)酚酸峰值提前且后期含量迅速回落, 这说明高土壤含水量可能促进了酚酸早期快速生成与扩散并加速了其后续的降解或转化。因此, 通过调控番茄秸秆还田温湿度和持续时间, 可在获取土壤消毒、养分释放等益处的同时, 规避化感物质大量释放的潜在风险。

参考文献

- [1] 刘天英. “种得好”视频直播节目: 番茄生产系列讲座(一) 番茄品种的选择及寿光主要栽培品种[J]. 中国蔬菜, 2018,(7): 103-105.
- [2] 耿凤展, 李荣华, 高波, 等. 番茄秸秆高温堆肥作为番茄育苗基质的循环利用研究[J]. 中国土壤与肥料, 2016, (1): 102-106.
- [3] 王虎兵, 曹红霞, 郝舒雪, 等. 水肥耦合下温室番茄养分动

态变化及与生物量和产量的关系[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(5): 149-156.

- [4] Sun X, Chen S, Li H, et al. Vegetable residues retention: An effective and environment friendly way to handle tomato wastes from greenhouse production[J]. European Journal of Soil Biology, 2024, 120: 103600.
- [5] 孙小妹, 车江伟, 王利, 等. 设施番茄废弃物连续还田对温室土壤质量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2024, 42(4): 221-228+272.
- [6] 钱凯荣, 马增岭, 李仁辉, 等. 植物化感作用研究进展——以抑制铜绿微囊藻生长为例[J]. 生物技术通报, 2021, 37(4): 177-193.
- [7] 苏新宇. 秸秆还田处理对改良番茄连作土壤效果的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2025.
- [8] 吕真真, 冀建华, 蓝贤瑾, 等. 芦笋废弃物堆肥化应用现状及展望[J]. 江西农业学报, 2025, 37(11): 1-6.
- [9] 宋卫红, 吴春辉, 王青青, 等. 黄土高原地区连作与非连作苹果园土壤中酚酸类物质的比较[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2012, 30(4): 434-438.

*** 项目支持:** 国家自然科学基金(32160740); 国家大宗蔬菜产业技术体系(CARS-23-G23)。

**** 通信作者:** 桑婷, 宁夏银川人, 副研究员, 主要从事设施园艺与无土栽培技术研究工作。

[引用信息] 桑婷, 杨冬艳, 赵云霞, 等. 不同温湿条件对番茄秸秆原位还田酚酸类化感物质运移的影响[J]. 农业工程技术, 2026, 46(18): 39-41.

