

连作对云南烤烟根际微生态及烟叶产质量的影响

尤垂淮¹, 高峰^{1,2}, 王峰吉¹, 汤术开³, 古力¹, 张涛³, 徐志兵¹, 张重义¹

1 福建农林大学烟草研究所, 福建福州 350002;

2 河南农业大学农学院, 河南郑州 450002;

3 川渝中烟工业有限责任公司, 四川成都 610017

摘要: 采用田间定位试验探讨不同连作年限对根际微生态和烤烟生长的影响。结果表明, 随连作年限增加, 烤烟长势变弱, 烟叶烟碱和氯含量增加, 总糖、还原糖和钾含量降低, 内在化学成分相对不协调; 连作5年烟草与头茬相比, 产量、产值分别下降了35.0%、47.6%。对烤烟根际微生态的研究表明, 根际土壤抗性相关酶——土壤多酚氧化酶、过氧化氢酶、过氧化物酶、脱氢酶——活性均呈现: 连作2年 > 连作5年 > 头茬, 暗示连作土壤富集酚类物质、过氧化物以及其他有害物质, 刺激了这类酶活性提高; 进一步运用 BIOLOG 分析发现连作2年和连作5年促进了以酚酸为底物的微生物生长, 说明重茬导致土壤酚酸物质富集, 病原微生物增加。综上, 随着连作年限增加, 自毒物质富集, 病原微生物增加, 进而引起连作障碍, 导致烟草产量降低, 品质变劣。

关键词: 烤烟; 连作障碍; 根际微生物; 土壤酶; BIOLOG

引用本文: 尤垂淮, 高峰, 王峰吉, 等. 连作对云南烤烟根际微生态及烟叶产质量的影响 [J]. 中国烟草学报, 2015, 21 (1)

烟草是我国最重要的经济作物之一, 属于茄科 (*Solanaceae*) 忌连作作物。然而, 囿于宜种烟土地面积的有限性和种植条件等因素, 不可避免地长期存在着烟田连作现象, 连作导致烟草产量下降, 品质变差^[1-2]。如何解决烟草农业生产过程中存在的连作障碍问题, 有效保持国家基本烟田生产力, 巩固现代烟草农业建设的成果, 实现烟叶生产的可持续发展, 成为各级相关部门和烟草科技界悉心关注的重大课题^[3]。为此, 《中国卷烟科技发展纲要》把“加强烟草连作障碍因子分析及解决措施的研究”作为开展优质烟叶生产技术研究的一项重要任务^[4]。

享有清香型美誉的全国最大烟叶产区云南, 由于地域和经济条件限制, 长期存在着烟田连作或种植模式单一化的现象, 大部分烟区缺水很难合理安排水旱轮作, 尤其是近年来干旱频繁发生, 更加剧了烟草连作障碍。而关于烟草连作障碍的成因, 张长华^[5]、郑良永^[6]等观察连作下烤烟植烟土壤 pH 值变酸, 有机质含量降低, 土壤团粒结构减少, 土壤易板结, 对土壤酶活性、土壤呼吸和微生物生物量有较大影响。张翼等^[7]研究表明连作严重影响烤烟植株的生长, 土

壤脲酶、酸性磷酸酶、蔗糖酶活性随连作年限的增加酶活性降低, 过氧化氢酶活性则显著增强。王茂胜等^[8]研究表明随着烟地连作年限增强, 细菌数量下降, 真菌数量增加, 放线菌数量略有增加。陈冬梅^[1]认为自毒物质是基础, 病原菌是果, 连作障碍是最终表现; 柳均^[9]认为烟草残体腐解后产生的化感物质可能是引起烟草连作障碍的原因; 徐婷^[10]认为阿魏酸可能是烟根系分泌物中的主要连作障碍物。石秋环等^[11]认为连作烟田存活的土壤病原微生物刺激了根系分泌对烟草有毒害作用物质的积累, 这些物质又为病原菌所利用, 对病原物的大量繁殖和土传病虫害的发生提供了有利条件。但烟草连作障碍的发生与土壤微环境及微生物区系变化之间的确切关系及内在规律还不清楚, 还需要进一步研究, 对生态定位情况下, 有关烤烟连作障碍成因的研究鲜有报道。因此, 本课题组在云南祥云县通过田间建池进行定位试验, 来研究不同连作年限植烟土壤对烤烟生长及烤烟根际微生态的影响, 解析烟草连作障碍的成因, 为实现云南烟草生产的可持续发展提供理论依据和技术支撑。

基金项目: 川渝中烟工业有限责任公司项目 (2012)

作者简介: 尤垂淮 (1985—), 博士, 烟草生理生态与优质栽培技术研究方向, Email: you123chui@163.com

通讯作者: 张重义 (1963—), 博士, 教授, 博导, 主要从事作物生理生态与栽培理论技术研究, Email: zy Zhang@fafu.edu.cn

收稿日期: 2014-04-16

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

供试烤烟品种为红花大金元，试验在云南省大理州祥云县普淜烟草站进行，烟株移栽、施肥、栽培密度及打顶等和常规一致。田间管理按当地优质烟叶生产技术规范进行。

1.2 试验设计

试验设置 3 个处理：处理 1：头茬（空白土，未种过烟，也未种过其他作物）；处理 2：连作 2 年（连作 2 年植烟土壤）；处理 3：连作 5 年（连作 5 年植烟土壤）。每个处理设 3 次重复，每个处理 200 株（50 株 × 4 行），旁边设置保护行。田间建池，池子规格一致，种植示意图如图 1 所示。其余均严格按当地生产规范化进行。在烤烟成熟期（打顶后 7 天），用抖落法取烤烟根际土壤，进行土壤微生物和土壤酶活性分析，记载成熟期烟株农艺性状，包括株高、节距、茎围、有效叶片数、腰叶长和宽，统计烤后产量并分析相应的品质。

处理 Treatment	处理 Treatment	处理 Treatment
处理 1	处理 2	处理 3
处理 3	处理 1	处理 2
处理 2	处理 3	处理 1

注：同块试验地可保证除土壤以外的生态条件一致，试验处理之间具有可比性。Note: The same experiment field was used to ensure ecological conditions consistency in addition to soil, and to make it comparable between experimental treatments.

图 1 田间种植图

Fig. 1 Field planting diagram

1.3 测定项目与方法

1.3.1 烟株农艺性状观测

不同生育期记载，各处理分别选取有代表性的烟株 15 株，挂牌，在成熟期（打顶后 7 天）记录烟株的叶片数、株高、茎围、节距、最大叶长 × 宽。

1.3.2 烤后样化学成分测量

测量项目：总糖、还原糖、烟碱、氯、钾、糖碱比、钾氯比。各个处理正常成熟采收烘烤后取中部叶烟样粉末 20 g 测定。总糖和还原糖含量测定采用比色法；烟碱含量测定采用紫外分光光度法；钾含量测定采用火焰光度法；氯离子含量测定采用银量法—莫尔法。由河南省新郑卷烟厂质检中心测量。

1.3.3 烤烟主要经济性状分析

各处理单独采烤，进行烤后烟叶外观质量鉴定，根据国家标准对烤后烟进行分级，统计烤后各处理的产量、产值、均值等经济性状，并计算上、中等烟比例。

1.3.4 烤烟根际土壤微生物群落组成

烤烟根际土壤细菌、真菌、放线菌种群数量采用稀释平板法测定。细菌采用牛肉膏蛋白质固体培养基；真菌采用马丁培养基；放线菌采用高氏 1 号培养基^[12]。微生物数量以每克样品的菌数表示。每克样品的菌数 = 同一个稀释度几次重复的菌落平均数 × 10 × 稀释倍数。

1.3.5 土壤微生物功能多样性分析

采用 BIOLOG ECO 微平板法进行微生物功能多样性分析^[13]。

1.3.6 土壤酶活性的测定

本试验采用 TTC（氯化三苯基四氮唑）比色法测定脱氢酶的活性，过氧化物酶和多酚氧化酶采用紫色没食子酸比色法测定，过氧化氢酶用高锰酸钾滴定法测定^[14]。

1.4 数据处理

数据采用 Office 2013、DPS 7.05 和 SPSS 11.5 软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 不同连作年限对烤烟生育期的影响

由表 1 可知，团棵期头茬烟株总体长势最好，其整齐度达到了 85%，而且团棵期较其他处理提前，分别比连作 2 年和连作 5 年处理提前了 5 天和 12 天。连作 5 年处理的整齐度较差，其整齐度仅为 70%，随着连作年限的延长，烟草的生长迟缓。头茬烟草和连作 2 年烟草达到旺长期时间相近，而连作 5 年较其推迟 7-9 天。

表 1 不同连作年限对烤烟生育期的影响

Tab. 1 Effect of continuous cropping years on flue-cured tobacco during growth period

处理 Treatment	团棵期 Rosette stage	整齐度 Uniformity	旺长期 Vigorous
头茬	6 月 07 日	85%	6 月 22 日
连作 2 年	6 月 11 日	80%	6 月 24 日
连作 5 年	6 月 20 日	70%	7 月 01 日

2.2 不同连作年限对烤烟农艺性状的影响

由烟株成熟期数据（见表 2）可以看出，头茬烟株生长状况明显优于连作 2 年和连作 5 年。其中头茬处理的株高分别比连作 2 年和连作 5 年高 11.34% 和 24.96%，叶面积分别比连作 2 年和连作 5 年大

12.12%、16.02%，且达到了显著性差异；有效叶数、平均茎围和平均节距均显著大于连作 2 年和连作 5 年处理。连作 2 年烟株的农艺形状比连作 5 年的好。总体来看，随着连作年限的增加，烟草长势变弱。

表 2 不同连作年限对烤烟成熟期主要农艺性状的影响

Tab. 2 Analysis of flue-cured tobacco main agronomic characters in different continuous cropping years

处理 Treatment	株高 /cm Plant height	茎围 /cm Stem thick	节距 /cm Internodal length	有效叶片数 / 片 Productive leaves	叶面积 /cm ² Leave area
头茬	106.63aA	8.62aA	5.52aA	17.86aA	932.24aA
连作 2 年	95.77cB	7.77bB	4.12bB	16.87bB	831.43bB
连作 5 年	85.33cC	7.72bB	3.31cC	15.78cC	782.88bB

注：同列未注有相同字母表示不同处理差异有统计学意义，小写字母 $p<0.05$ ，大写字母代表 $p<0.01$ ，下同。

2.3 不同连作年限对烤烟化学成分的影响

王允白等^[15]的研究表明，评吸质量好的样品还原糖含量较高，烟碱适中，钾含量较高，两糖差值小，糖碱比、钾氯比、氮碱比均较高。烤烟中部叶烟碱含量一般要求在 1.5-3.5 之间，以 2.5 为适宜值，烟碱含量过高，生理强度大，吃味变劣，刺激性强；烟碱含量过低，吃味平淡，不能满足吸食需要。

由表 3 可知，中部烟的还原糖、总糖、钾含量以

及糖碱比、钾氯比和两糖差均随连作年限的增加而降低；而烟碱和氯含量随着连作年限增加呈先增加后降低趋势，其中重茬烤烟烟叶的烟碱均高于头茬烟草，头茬的烟碱接近最适宜比例 2.5%；烟草氯含量与烟碱趋势一样，重茬烟草氯含量高于头茬烟。综上所述，随着连作年限的增加，烟草内在化学成分相对不协调，品质变差。

表 3 不同连作年限对烤烟中部烟化学成分的影响

Tab. 3 Effect of different continuous cropping years on conventional chemical composition of flue-cured tobacco

处理 Treatment	烟碱 /% Nicotine	还原糖 /% Reducing sugar	总糖 /% Sugar	氯 /% Chloride	钾 /% Potassium	糖碱比 Sugar-nicotine ratio	钾氯比 Potassium-chloride ratio	两糖差 Difference of two sugar
头茬	2.65bB	25.47aA	34.05aA	0.52bB	3.47aA	9.60	6.67	8.58
连作 2 年	3.37aA	24.91bAB	33.37aA	0.62aA	2.68bB	7.40	4.32	8.46
连作 5 年	3.12aA	19.62cC	24.38bB	0.53bB	1.73cC	6.29	3.26	4.76

2.4 不同连作年限对烤烟经济性性状的影响

由表 4 可以看出，随着连作年限的增加，烤烟的产量、产值、均价和上中等烟比例均有所下降，且均达到极显著水平。其中连作 5 年下降最为明显，产

量、产值、均价和上中等烟比例分别比头茬处理下降了 35.0%、47.6%、9.3%、13.3%。由此可见，随着连作年限的增加，烟草的经济性状显著降低，烟草外观品质下降。

表 4 不同连作年限烤烟主要经济性状分析
Tab. 4 Comparison of economic traits in different continuous cropping years

处理 Treatment	产量/(kg·hm ⁻²) Yield	产值/(元·hm ⁻²) Output value	均价/元 Average price	上中等烟比例/% Mid-high grade leaves
头茬	2489.08aA	72581.57aA	29.16aA	91.32aA
连作 2 年	2095.20bB	57722.76bB	27.55bB	85.46bB
连作 5 年	1843.68cC	49170.95cC	26.67bB	80.63cC

2.5 不同连作年限对烤烟根际土壤可培养微生物数量的影响

采用平板计数法研究了根际土壤微生物数量（表 5），结果表明随着连作年限的增加，细菌、真菌和放线菌均表现出先增后减的趋势。其中连作 2 年的烤

烟根际土壤细菌、真菌、放线菌均比头茬和连作 5 年多，而头茬根际土壤三类微生物均多于连作 5 年。随着连作年限的增加，三类微生物均出现先增后减的趋势。

表 5 不同连作年限下烤烟根际土壤可培养微生物数量变化
Tab. 5 Changes of rhizosphere cultivable microbes in different continuous cropping years

处理 Treatment	细菌 (×10 ⁷ cells·g ⁻¹ soil) Bacteria	真菌 (×10 ⁵ cells·g ⁻¹ soil) Fungi	放线菌 (×10 ⁷ cells·g ⁻¹ soil) Actinomycetes
头茬	7.16 bB	1.23bB	0.46bB
连作 2 年	13.37aA	2.11aA	1.69aA
连作 5 年	4.81cC	0.38cC	0.39cC

2.6 不同连作年限烤烟根际土壤微生物功能多样性的 BIOLOG 分析

从图 2 可以看出，烟草根际土壤微生物对不同碳源的利用程度均随培养时间的增加而增大。将 31 种碳源分成六大类，分别为羧酸衍生物、多聚物、糖类、酚酸、氨基酸、胺类，考察各类碳源的 AWCD 值变化可知，连作 2 年的烤烟根际土壤最有利于以羧酸衍生物、多聚物、糖类、酚酸、氨基酸、胺类等六类碳源为底物的微生物的生长；头茬的烤烟根际土壤微生物对羧酸衍生物、多聚物、糖类、氨基酸、胺类五类

碳源利用率高于连作 5 年，而连作 5 年的根际土壤微生物仅酚酸类碳源利用率高于头茬，其余碳源利用率均最小。酚酸类碳源利用率大小为连作 2 年 > 连作 5 年 > 头茬，即重茬土壤有助于以酚酸为底物的微生物生长，说明重茬土壤出现酚酸富集现象。而酚酸是一类主要化感自毒物质^[16-17]，重茬土壤酚酸积累，有可能是导致烟草连作障碍的因子之一。进一步分析发现，与各个处理根际土壤传统微生物培养趋势类似，随着连作年限增加，根际微生物出现先增后减趋势。

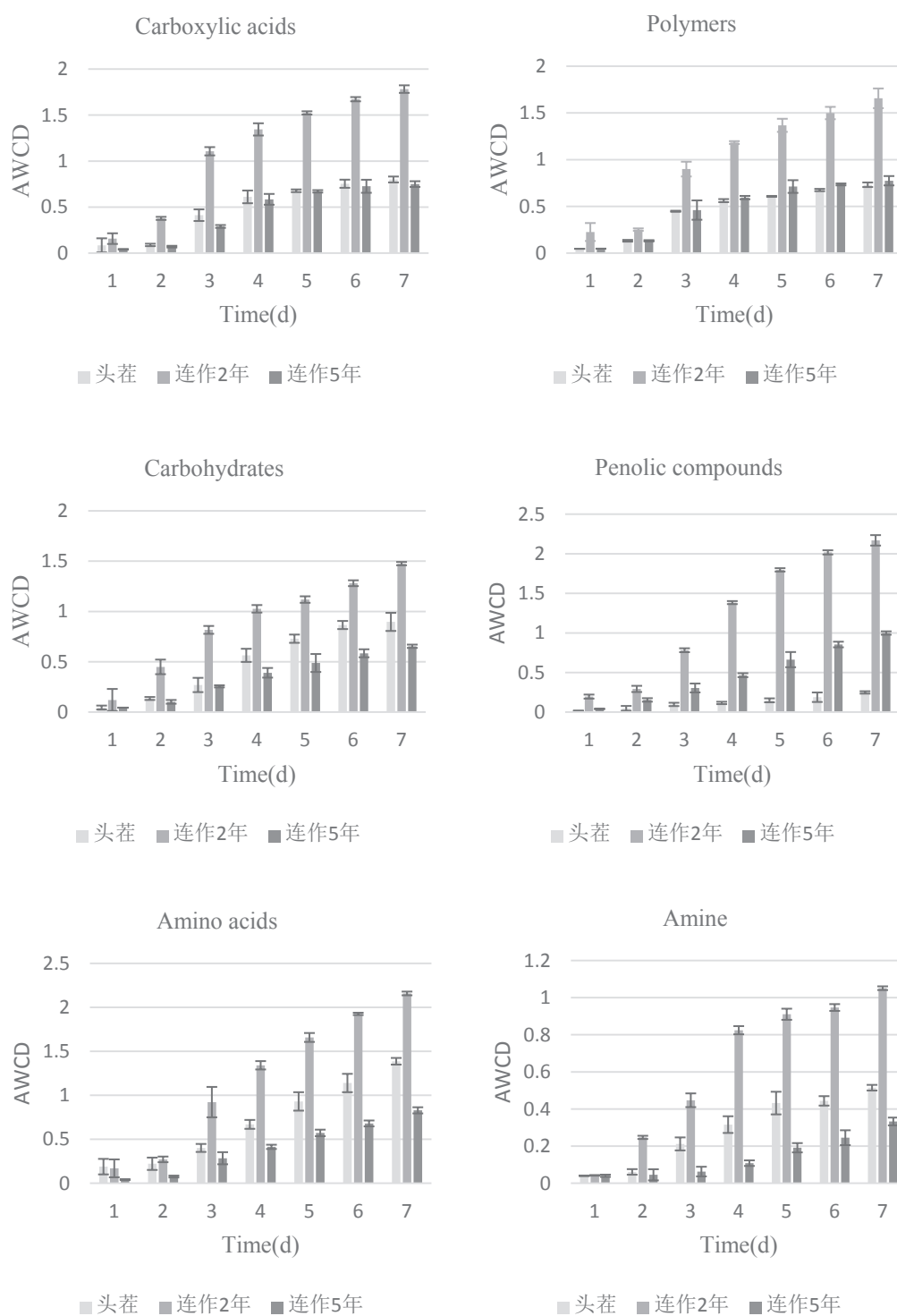


图2 不同连作年限下烟草根际土壤微生物利用碳源平均颜色变化率 (AWCD)

Fig. 2 Changes in averages of well color development (AWCD) for utilizing carbon sources in rhizosphere soils in different continuous cropping years

2.7 不同连作年限对烤烟根际土壤抗性相关酶活性的影响

从表 6 可以看出, 连作 2 年、连作 5 年处理的多酚氧化酶、过氧化氢酶、过氧化物酶、脱氢酶等与抗性相关酶活性均要高于头茬, 一定程度上, 说明重茬植烟土壤积累对自身有害物质刺激这些酶活性提高。进一步分析发现, 连作 2 年烤烟根际土壤中这四种酶

活性大于连作 5 年, 可能是连作 2 年连作时间较短, 根际病原微生物增加, 但有益菌可能仍占主导, 因而通过刺激这些酶活性分解自毒物质, 土壤试图进行自身修复; 而随着连作年限的增加, 自毒物质积累较多, 病原菌可能占主导, 这些酶活性略有提高, 但可能已经超过自身所能修复程度。最终导致连作 5 年烟草长势弱, 化学成分不协调, 产量产值下降。

表 6 不同连作年限下烤烟根际土壤酶活性
Tab. 6 Rhizospheric soils of enzyme activity in different continuous cropping years

处理 Treatment	多酚氧化酶 PPO/(mg·g ⁻¹ ·2h ⁻¹)	过氧化氢酶 CAT/(ml·g ⁻¹ ·(1/3h) ⁻¹)	过氧化物酶 POD/(g·g ⁻¹ ·2h ⁻¹)	脱氢酶 TF/(mg·g ⁻¹ ·24h ⁻¹)
头茬	0.1010c	0.3100b	0.9763b	0.0820b
连作 2 年	0.5623a	0.3800a	1.2310a	0.1267a
连作 5 年	0.1870b	0.3133b	1.0693ab	0.1020ab

3 讨论

烟草连作会导致连作障碍, 本研究发现, 随着连作年限的增加, 根际微生态紊乱, 土壤抗性相关酶活性提高, 即自毒物质可能积累, 病原微生物增加, 进而影响烤烟的生长, 烤烟长势变差, 产量降低, 品质变劣。

从农艺性状可以看出, 随着连作年限的增加, 烟草长势变弱, 连作 2 年和连作 5 年的植烟土壤上生长的烤烟株高较矮, 茎围、叶面积、有效叶片数均较少。从烤后烟叶的化学成分可以看出, 头茬烤烟化学成分较协调, 而重茬烤烟烟碱和氯含量升高, 总糖、还原糖、钾含量以及糖碱比、钾氯比和两糖差降低, 本研究结果与苏海燕等人^[18]研究结果一致。经济性状方面, 随着连作年限的增加, 烤烟产量下降, 产值和中上等烟比例降低, 品质变差, 这与王茂胜^[19]、晋艳^[2]等研究结果一致。

从根际微生态进行研究, 发现微生物三大类群——细菌、放线菌、真菌的数量随着连作年限的增加, 均呈现先增后减的趋势, 连作 2 年 > 头茬 > 连作 5 年。进一步运用 BIOLOG 对根际微生物功能多样性进行分析, 连作 2 年的根际土壤微生物对羧酸衍生物、多聚物、糖类、酚酸、氨基酸、胺类等六类碳源的利用率均大于头茬和连作 5 年; 头茬根际土壤微生物对羧酸衍生物、多聚物、糖类、氨基酸、胺类五类碳源的利用率大于连作 5 年; 而连作 5 年根际土壤微生物

对酚酸类碳源利用率大于头茬, 根际微生物对酚酸类碳源利用率表现为: 连作 2 年 > 连作 5 年 > 头茬, 即说明重茬土壤出现酚酸富集现象, 有助于以酚酸为底物的微生物生长。而酚酸是一类主要化感自毒物质, 重茬导致土壤酚酸积累, 有可能是导致烟草连作障碍的因子之一。不同连作年限根际土壤微生物对六类碳源的利用率, 除酚酸外, 整体趋势为连作 2 年 > 头茬 > 连作 5 年。与各个处理根际土壤传统微生物培养趋势类似, 随着连作年限增加, 根际微生物出现先增后减趋势。主要可能是, 连作 2 年根际土壤微生物相较于头茬病原微生物增加, 有益微生物略有减少, 从而整体数量上大于头茬, 而随着连作年限的增加, 连作 5 年根际土壤病原微生物增多, 有益微生物大量减少, 有益微生物减少的数量大于病原微生物增多数量, 使得病原微生物占主体, 功能多样性下降, 进而呈现随着连作年限增加, 根际土壤微生物的变化趋势为先增后减趋势。日本的调查结果表明, 因作物连作引起的土壤传染性病虫害导致障碍的地块占到 70% 左右^[20]。根系病害以连作田块为生存和繁殖的场所, 导致土壤中病原菌的数量不断增加。

进一步对烤烟根际土壤抗性相关酶活进行研究, 连作下多酚氧化酶、过氧化氢酶、过氧化物酶、脱氢酶等抗性相关酶活性均要高于头茬, 不同连作年限四种酶活性均表现为: 连作 2 年 > 连作 5 年 > 头茬。

土壤多酚氧化酶在土壤有机质形成上起了很重要

的作用。多酚氧化酶参与土壤有机组分中芳香族化合物的转化。多酚氧化酶能降解有害又难降解的土壤酚类有机物^[21]。土壤中的酚类物质, 在多酚氧化酶作用下氧化生成醌类, 醌与氨基酸等通过一系列生物化学过程缩合成最初的胡敏酸分子。根据本研究结果, 重茬植烟土壤多酚氧化酶活性较高, 说明重茬土壤中积累较多酚类物质, 刺激这类酶活性提高, 减少酚类物质对根际微生物以及烟草植株本身的危害。

土壤过氧化氢酶能够促进对生物体有毒害作用的过氧化物分解, 从而避免了过氧化物在土壤中的积累和对植物机体造成伤害^[22], 同时, 作为分解产物的氧能促进各种化合物的氧化分解, 为生物生长发育提供必要的营养物质。因此, 过氧化氢酶在一定程度上能较灵敏地反映土壤微生物学过程和作物代谢过程的强度, 是土壤微生态环境较好的指示因子。根据本研究结果, 连作下烤烟根际土壤中过氧化氢酶活性高于头茬, 说明重茬土壤产生较多对植物有毒害作用的过氧化物, 刺激了这类酶活性的提高。

人们普遍认为土壤酶主要来源于土壤微生物的代谢过程、植物根系分泌物和动植物残体腐解过程中释放的酶^[23-24]。结合根际土壤微生物和土壤酶活性进行分析。本研究发现, 连作2年的植烟土壤整体微生物无论从数量上还是功能多样性角度高于头茬和连作5年, 主要可能是连作2年植烟土壤病原微生物数量增加, 但此时可能有益微生物还是起主导作用, 结合根际土壤抗性相关酶活性, 连作2年植烟土壤抗性相关酶活性高于头茬和连作5年, 较多分解了由自身产生的酚类物质、过氧化物以及其他有自毒物质, 因而连作2年的烤烟产量和品质相较于头茬有所降低, 但下降的幅度没有连作5年明显。随着连作年限的增加, 病原微生物增加, 病原微生物占主导, 同时自毒物质大量积累, 虽然刺激了抗性相关酶活性, 但可能自毒物质的量已超过自身所能分解程度, 因而连作5年的烤烟产量严重下降, 品质变劣。韩雪、吴凤芝等人^[25]认为在作物连作条件下, 根系分泌物的产生是根际环境的核心问题。根系分泌物以及残体作为微生物的营养源, 随着连作年限的增加, 根系分泌物及残体中的某些有毒物质提供了病原微生物的营养, 促进了病原微生物的繁殖, 减弱或消除了某些有益菌的拮抗作用, 使有害菌增殖, 结果表现为发病率高, 土传病害严重。

4 结论

与头茬相比, 连作2年和连年5年烤烟长势变弱, 产量变低, 烟叶烟碱和氯的含量增加, 钾含量降低,

化学成分不协调, 品质变差, 产值下降。进一步对烤烟根际微生态研究发现, 与头茬相比, 连作2年烤烟根际土壤微生物数量及功能多样性以及土壤抗性相关土壤酶活性均呈现增加的趋势, 而连作5年后均明显降低, 即根际土壤微生物多样性及土壤抗性相关酶活性随着连作年限增加均呈现先增后减的趋势。间接说明重茬土壤中可能自毒物质富集, 根际病原微生物占主导, 根际土壤无法进行自身修复, 从而引起连作障碍。本研究为烤烟连作障碍的成因和减轻烤烟连作障碍提供理论依据, 然而根际富集自毒物质的种类和数量, 以及病原微生物是什么, 目前还不是非常清楚, 有待进一步的研究。

参考文献

- [1] 陈冬梅. 作物多样性栽培对烟草连作障碍的生态调控机制 [D]. 福建农林大学, 2010.
- [2] 晋艳, 杨宇虹, 段玉琪, 等. 烤烟连作对烟叶产量和质量的影响研究初报 [J]. 烟草科技, 2002 (1): 41-45.
- [3] 张重义, 谢小波, 王毅, 等. 烟草化感自毒作用与其连作障碍研究的启示 [J]. 中国烟草学报, 2011, 17(4): 88-92.
- [4] 国家烟草专卖局. 中国卷烟科技发展纲要 [Z]. 国烟科[2003]630号文件, 2003.
- [5] 郑良永, 胡剑非, 林昌华, 等. 作物连作障碍的产生及防治 [J]. 热带农业科学, 2005, 25(2): 58-62.
- [6] 张长华, 王智明, 陈叶君, 等. 连作对烤烟生长及土壤氮磷钾养分的影响 [J]. 贵州农业科学, 2007, 35(4): 62-65.
- [7] 张翼, 张长华, 王振民, 等. 连作对烤烟生长和烟地土壤酶活性的影响 [J]. 中国农学通报, 2007, 23(12): 211-215.
- [8] 王茂胜, 姜超英, 潘文杰, 等. 不同连作年限的植烟土壤理化性质与微生物群落动态研究 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(12): 5033-5034, 5052.
- [9] 柳均. 烟草残体腐解物化感作用的研究 [D]. 湖南农业大学, 2010.
- [10] 徐婷. 烟草主要连作障碍物的研究 [D]. 广西大学, 2013.
- [11] 石秋环, 焦枫, 耿伟, 等. 烤烟连作土壤环境中的障碍因子研究综述 [J]. 中国烟草学报, 2009, 15(6): 81-84.
- [12] 胡开辉. 微生物学实验 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 34-246.
- [13] Choi KH, Dobbs FC. Comparison of two kinds of biological microplates (GN and ECO) in their ability to distinguish among Aquatic microbial communities. *Journal of Microbiological Methods*, 1999, 36(3): 203-213.
- [14] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 中国农业出版, 1986: 323.
- [15] 王允白, 王宝华, 郭承芳, 等. 影响烤烟评吸质量的主要化学成分研究 [J]. 中国农业科学, 1998, 31(1): 89-91.
- [16] Yamane A, Nishimura H, Mizutani J. Allelopathy of yellow fieldcress (*Rorippa sylvestris*): identification and characterization of phytotoxic constituents [J]. *Journal of*

- chemical ecology, 1992, 18(5): 683-691.
- [17] Yu J Q, Matsui Y. Phytotoxic substances in root exudates of cucumber (*Cucumis sativus* L.)[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1994, 20(1): 21-31.
- [18] 苏海燕, 程传策, 宫长荣, 等. 连作对烤烟化学成分和中性致香物质的影响 [J]. *江西农业学报*, 2010, 22(5): 5-8.
- [19] 王茂胜, 陈懿, 薛小平, 等. 长期连作对烤烟产量和质量的影响 [J]. *耕作与栽培*, 2010(1): 8-9, 43.
- [20] Patterson D T. Effects of allelopathic chemicals on growth and physiological responses of soybean (*Glycine max*)[J]. *Weed Science*, 1981: 53-59.
- [21] 郝建朝, 吴沿友, 连宾, 等. 土壤多酚氧化酶性质研究及意义 [J]. *土壤通报*, 2006, 37(3): 470-474.
- [22] 靳孟贵, 赵俊英, 罗泽娇. 采用土壤水利用技术的冬小麦田土壤过氧化氢酶活性分析 [J]. *水文地质工程地质*, 2003, 30(2): 11-14.
- [23] Bandick AK, Dick RP. Field management effects on soil enzyme activities[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31(11): 1471-1479.
- [24] Zimmermann S, Frey B. Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil: effects of wood ash[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(11): 1727-1737.
- [25] 韩雪, 吴凤芝, 潘凯. 根系分泌物与土传病害关系之研究综述 [J]. *中国农学通报*, 2006, 22(2): 316-318.

Effect of continuous cropping on rhizosphere micro-ecology as well as on yield and quality of flue-cured tobacco in Yunnan

YOU Chuihuai¹, GAO Feng^{1,2}, WANG Fengji¹, TANG Shukai³, GU Li¹, ZHANG Tao³, XU Zhibing¹, ZHANG Zhongyi¹

1 Institute of Tobacco Science and Technology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2 Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

3 China Tobacco Chuanyu Industrial Corporation, ChengDu 610031, China

Abstract: Location test was conducted to study effects of continuous cropping soil on growth of tobacco and rhizosphere micro-ecology. Results showed that growth of flue-cured tobacco was significantly inhibited, and leaf of nicotine and chlorine content increased while total sugar, reducing sugar and potassium content decreased, which led to incoordination of internal chemical components as the continuous cropping years increased. Compared with the CK, yield and output value of replanted flue-cured tobacco after 5-year continuous cropping decreased by 35.0% and 47.6%, respectively. Research of rhizosphere micro-ecology showed that resistance-related enzymes activity in rhizosphere soil, including soil polyphenol oxidase, catalase, peroxidase, dehydrogenase, followed the order: 2 years continuous cropping > 5 years continuous cropping > CK. To some extent, this indicated that phenols, peroxides, and other harmful substances were enrichment in continuous cropping soil, which stimulated the activity of such enzymes. BIOLOG analysis showed that 2 years continuous cropping and 5 years continuous cropping treatment were beneficial for growth of the microflora feeding on phenolic acids as carbon source, which also indicated that soil phenolic substances enriched and pathogenic microorganisms increased under continuous cropping soil. In summary, as the continuous cropping years increased, toxic substances were enriched, pathogenic microorganisms were increased, thereby causing continuous monoculture problems, reduction of tobacco yields and quality deterioration.

Keywords: flue-cured tobacco; continuous monoculture problems; rhizospheric microbe; soil enzyme; BIOLOG

Citation: YOU Chuihuai, GAO Feng, WANG Fengji, et al. Effect of continuous cropping on rhizosphere micro-ecology as well as on yield and quality of flue-cured tobacco in Yunnan [J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2015, 21(1)