

烟草连作障碍研究进展^①

张仕祥¹, 过伟民¹, 李辉信², 王建伟¹, 李海江³,
王爱国¹, 梁太波¹, 郭建华¹, 尹启生^{1*}

(1 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 郑州 450001; 2 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095;

3 河南省烟草公司平顶山市公司, 河南平顶山 467002)

摘要: 烟草因连作种植导致产量和品质的下降已成为当前烟叶生产中面临的全国性难题。本文以连作对烟草的危害为切入点, 从烟田土壤营养失调、根系中化感自毒物质积累、土壤生物学环境恶化等角度阐述了烟草连作障碍的产生机理, 介绍了当前消除烟草连作障碍的主要调控措施, 并对烟草连作障碍领域的研究及技术发展方向进行了展望。

关键词: 烟草; 连作障碍; 土壤养分失调; 化感自毒; 控制措施

中图分类号: S572; S184

连作是指在同一地块上连续多年种植同一植物或近缘植物的种植方式, 连作在世界各地均普遍存在。连作障碍(continuous cropping obstacles)就是同一植物或近缘植物连作以后, 即使在正常管理的情况下, 也会出现生育状况变差、病虫害严重、产量降低、品质变劣的现象。日本称这类问题为忌地现象, 欧美国家则称之为再植病害(replant disease)或再植问题(replant problem)^[1-2]。

烟草是我国重要的经济作物, 我国每年种植烟草 100 多万 hm^2 , 烟叶产量达 200 多万 t ^[3], 其属于茄科忌连作的作物^[4-5]。由于耕地有限和经济利益的驱动, 使我国烟草连作较为普遍^[6], 据统计, 我国烤烟连作面积占烤烟总种植面积的 30% ~ 60%^[7-8], 连作成了烟草的主要种植制度, 且多伴有连作障碍^[7,9], 连作障碍已成为制约包括烟草在内多种农作物产量和品质提高的重要因素, 是当前烟叶生产中面临的全国性难题。因此, 研究连作障碍产生的机理, 探寻克服连作障碍的措施对我国烟叶生产的可持续发展具有十分重要的意义。

1 烟草连作障碍的症状

1.1 影响烟草田间长势及农艺性状

连作对烟草的影响首先表现在对田间长势和农

艺性状的影响方面。研究表明, 连作的烟株在旺长期和现蕾期的株高、田间叶面积系数均差于轮作烟草, 圆顶期的株高、茎围、节距、叶面积系数等较轮作都有不同程度的下降, 连作烟草根系生长发育也差于轮作烟草^[4,10]。张长华等^[11]研究也表明, 随着连作年限的增加, 烟茎、烟根和烟叶重量都呈明显降低趋势。

1.2 降低烟草产量和品质

连作对烟草的产量和品质的影响要滞后于对田间长势的影响。赵凯等^[12]研究发现, 连作 1 年对烟叶上中等烟比例和内在品质不会产生很大的影响, 但连作 3 年以上, 会显著降低上中等烟比例和内在品质, 施木克值、钾氯比、糖碱比呈变小的趋势, 各成分含量趋于不协调, 这与晋艳等^[4,10]的研究结论基本一致。而且晋艳等^[4,10]还发现, 连作 1 年烟叶中总氮含量有所降低, 但连作 2 年之后, 烟碱含量呈现了上升的趋势^[10]。YU 等^[13]研究发现, 烤烟长期连作, 烟株生物量和产质量都呈现下降的趋势, 烟叶含钾量和含糖量也下降, 而烟碱量上升, 香气质变差。随着连作年限的增加, 烟草的主要经济性状指标均呈下降趋势, 烟叶中的总糖、还原糖和钾含量逐年下降, 烟碱含量逐年增加, 对烟叶评吸质量的负效应加剧^[10]。

1.3 加重病虫害的发生

连作会导致病虫害加重。连作提供了根系病害赖

基金项目: 中国烟草总公司郑州烟草研究院科技项目(112011CZ0580)资助。

* 通讯作者(yinqs@ztri.com.cn)

作者简介: 张仕祥(1976—), 男, 江苏盱眙人, 硕士, 工程师, 主要从事烟草种植生态环境与烟叶质量评价研究。E-mail: xuyizhangshix@163.com

以生存的寄主和繁殖场所,致使某些土传病害的病原体不断繁殖^[5],病虫害率和烟草种植年份具有一定的正相关性^[6]。烟草的很多病原体可以在土壤和烟草残茬中存活 2~3 年甚至更长的时间,且连作时间越长,烤烟病害越重。烟草黑胫病原菌可以在土壤中存活 3 年以上^[14]。研究表明,连作烟田黑胫病的发病率为 28%~99%,3 年 2 作发病率为 10%~41%,4 年 2 作发病率为 8%,5 年 2 作仅为 5%,连作的时间间隔越长,烟草黑胫病发病率越低^[8]。其他病害如烟草花叶病、根结线虫病^[15]、赤星病^[16]、根黑腐病、低头病、青枯病^[17]等都与连作呈不同程度的正相关关系^[18]。连作也是地下害虫大量繁殖的原因之一,如地老虎、金针虫、线虫等。这些害虫不仅咬食烟根、烟茎,还在地下建造“隧道”,改变了根系的生长环境,甚至使根系断裂,导致烟苗凋萎甚至死亡^[8]。

2 烟草连作障碍作用机理

作物连作障碍的产生机理极为复杂,是作物-土壤系统内部诸多因素综合作用的外在表现^[19]。随着对烤烟连作障碍研究的日渐深入,越来越多的学者研究认为,烤烟根际微生态失调是引起烤烟连作障碍的主要因素^[5],根际微生态即植物-土壤-微生物等不同单元间相互作用、相互依赖的特殊系统^[20]。有关连作障碍影响因子归纳起来主要有土壤理化性质改变和生态环境恶化^[21]、植物化感自毒作用^[22]、土壤微生物区系的变化^[23-25]等原因。

2.1 土壤养分比例失调

由于作物对土壤养分具有特定的选择性吸收规律,特别是对其中某些中、微量元素有着特殊需求,长期连作往往造成施肥具有相对固定性,易造成土壤养分的不均衡,从而致使作物体内各种养分比例失调而出现生理和功能性障碍^[26]。

连作还能够使土壤中多种有效养分的比例发生变化^[27],烤烟连作使土壤中全氮、全磷、全钾含量随连作年限延长表现出不同程度的升高趋势,有机质、速效磷、速效钾含量随连作年限延长逐年降低,速效养分 N/P、N/K 和 K/P 比值明显增加^[28-29],另外也降低速效硼、速效锌、CEC、交换性镁等^[30],引起土壤养分失调,从而影响烟株生长,造成烟叶明显减产^[31]。烤烟连作导致肥料利用率会不断下降,其中氮肥利用率平均每年下降 4.8%,磷肥利用率下降 0.7%,钾肥利用率下降 3.2%^[32]。烤烟连作可降低土壤的 pH,姜翼来等^[33]的研究表明,随着植烟年限的延长,表层土壤酸化明显。连作的相邻茬次之间的烟田土壤 pH 平均下降 0.05,有机质含量逐年下降^[28],

同时土壤 pH 与烟株是否发生根茎部病害存在显著相关;酸性土壤中烟株易发根茎部病害,中性和碱性土壤(pH>6.5)有利于抑制根茎部病害的发生^[34]。由于连作造成土壤酸碱度下降与根系分泌物和根际微生物有着直接关系,所以会对土壤酶活性产生不良效应,这将影响到烟田土壤有机质的矿化和养分形态的转化^[5,35],从而影响烟草的正常生长发育,对优质烟叶生产不利^[36]。

2.2 土壤生物学环境恶化

连作使土壤的生物学环境恶化,导致土壤酶活性和土壤微生物状况发生变化,进而影响植物的生长发育。

2.2.1 土壤酶活性变化 土壤酶来自微生物、植物和动物的活体或残体,通过催化土壤中的生化反应发挥重要作用,保持了土壤生物化学的相对稳定状态,土壤酶活性与土壤健康及土壤养分转化等有很大的关系,是近年来土壤质量评估指标中必不可少的内容^[37]。连作能改变烟田土壤酶活性。烤烟连作 5 年后,土壤酸性磷酸酶、脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶活性均降低,烤烟连作降低土壤酶活性被认为可能是引起烤烟连作障碍的主要原因之一^[38]。也有报道认为过氧化氢酶活性显著增强^[39]。烤烟连作对土壤酶活性的影响因土壤质地和粒级不同而存在差异,连作对第四纪黄壤的土壤酶活性抑制作用大于钙质黄壤,且这种效应首先体现在粒级小的土壤上^[40]。土壤酶活性受根际微生物和根系分泌物活动影响明显^[7]。连作烟田土壤微生物平衡的改变和根系有毒物质的积累,会对土壤酶活性产生不良效应,将影响土壤有机质的矿化和养分形态的转化,影响土壤养分对植物的供给状况。但有研究认为,烟草连作不会对旱地^[41]和稻田^[42-43]土壤酶活性产生显著的影响。

2.2.2 土壤微生物区系变化 随着烤烟连作年份增加,连作烟田微生物在数量方面发生了变化。细菌型土壤是土壤质量良好的一个重要指标,真菌型土壤是地力衰竭的标志^[43-45]。相关研究结果表明,短期连作(连作年限≤3 年)土壤仍保持较高的微生物多样性,但连作 4 年、5 年的土壤微生物多样性则急剧降低^[42],随着烟地连作年限增强,细菌等有益菌群的数量减少,真菌等有害菌群的数量增加^[30,46],氨化细菌、好气性自生固氮菌和好气性纤维素分解菌等细菌减少^[38]。张翔等^[47]的研究也表明,随连作年限的增加,土壤细菌和放线菌数量呈减少趋势,而以腐霉为代表的真菌等有害菌群数量增加,细菌型土壤转变为真菌型土壤,对烤烟生产造成了不利的影响。但是,连作年份对土壤微生物的影响比较复杂,有研究表明

连作 5 年之内的稻田土壤中微生物数量没有明显差异,而 10 年以上者则明显减少^[43]。

2.3 化感自毒物质积累

植物根系是植物与外界环境进行物质与能量交换的重要器官,根系不仅对植物起机械支撑作用,吸收水分和养分,而且还起到合成、积累和分泌一系列复杂化合物的作用^[48]。根系分泌物是在植物生长过程中,根系释放到生长介质(主要是土壤)根际环境中的质子和有机物的总称^[49],根系分泌物是根-土界面的润滑剂,微生物的能量物质,是植物适应养分胁迫的关键物质,是保持根际微域生态系统活力的关键因素^[50],也是根际微生态系统中物质迁移和调控的重要组成部分^[51-52]。根系分泌物是土壤化感物质的重要来源^[53-55]。近年来,在植物化感作用研究中发现,包括烟草在内的多种植物的根系分泌物中存在自毒物质^[56-63],由自毒物质引起的自毒作用被认为是产生连作障碍的主要因素之一^[64]。烟草根系分泌物中存在多种抑制烟草生长和养分吸收的自毒作用物质,自毒物质的积累使根际微生态失调,病原物增加,病虫害加重,最终致使烟叶产量和质量下降^[45]。

郭亚利等^[65-66]采用溶液培养的方法,在培养液中分别加入烤烟根系分泌物,结果表明烤烟根系分泌物显著抑制幼苗的生长,降低根系活力,并随加入量的增加抑制作用增强;加入酸溶性、碱溶性、中性组分的根系分泌物,均降低幼苗根系活力,以中性组分的抑制作用较强;3 种不同组分的根系分泌物均显著降低根系对 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 K^+ 的吸收,其中中性组分对 NO_3^- 吸收的影响最大,而酸溶性组分对 K^+ 的吸收抑制作用较强,推测在烤烟根系分泌物中,可能存在多种抑制烤烟生长和养分吸收的化学物质。王科等^[67]研究认为烟草根系分泌物对种子萌发生长具有明显的抑制作用,并且对烟草产生的抑制作用明显大于对化感物质高敏感性的莴苣种子。

于会泳等^[68]采用水培试验研究烟草根系分泌物中的化感物质,利用 GC-MS 检测出了 K326 和 NC89 两个烤烟品种移栽后 40 天根系分泌物中的酸溶性、碱溶性和中溶性组分种类,发现两个烤烟品种共有的根系分泌物中可能是化感物质的种类包括有机酸类、酰胺类、酯类以及甘油和烟碱。邓家军^[69]研究发现烟草幼苗根系分泌物中含有邻苯二甲酸二丁酯(DBP)、邻苯二甲酸二异丁酯(DIBP)、邻苯二甲酸二辛酯(DOP)及邻苯二甲酸二异辛酯(DIOP)等物质,并可对烟草种子和幼苗产生自毒作用,证实是烟草根系分泌物中的主要自毒物质,在浓度大于 0.5 mmol/L 时, DBP、DIBP 及 DIOP 对烟草种子萌发和幼苗生

长产生不同程度的抑制作用,同时表现出自毒作用的协同效应。

3 烟草连作障碍解决途径探讨

连作烟田土壤的养分比例失调、土壤生境恶化和化感自毒物质积累等是造成烟草连作障碍的主要因素,且各因子之间具有复杂的相互作用关系。所以,要显著地缓解甚至解除烤烟连作障碍,须结合各障碍因子进行综合研究。

3.1 对连作烟田消毒

对连作烟田进行消毒(灭菌),可以消除或减缓连作障碍^[59]。目前使用的消毒方法有化学方法和物理方法。物理方法值得提倡,但成本较高。在翻耕后施用石灰,移栽前喷施 3 000 倍液体恶霉灵,能有效地控制烟草病害的发生^[70]。研究表明,生石灰和水的重量体积比以 1:50 制成生石灰水,对连作 5 年的烟苗灌根,对烟苗青枯病有较好的防控作用^[71-72]。对烟田土壤进行高压灭菌能改善烤烟的农艺性状和根系生长,提高叶片中氮磷钾含量、生物量和根系活力,说明高压灭菌能有效改善烟薯烟连作土壤障碍问题^[73]。如果能借助于蒸汽机对烟田种植行进行蒸汽灭菌,既不会像化学灭菌剂那样污染土壤,也不会像高压灭菌锅灭菌土壤那样效率太低,又能很好地改善连作障碍,相比高压灭菌锅灭菌可操作性强,但种植成本也会增加。

3.2 调整种植模式

目前,轮作是解决连作障碍较为行之有效的方法^[74]。研究表明,科学合理的轮作具有改善土壤理化性状、生物种群结构、土壤酶活性和减少土壤病虫害及危害等作用,可对连作所造成的土壤性质的恶化起到改良作用^[75]。轮作较连作模式能提高烟田土壤细菌群落的多样性^[76],可改善土壤中的养分比例^[4]。按照烤烟—小麦—玉米—烤烟进行隔年轮作,有条件的地方实行水旱轮作,可以减轻各种病害,特别是花叶病的危害^[77],烤烟轮作也可有效控制根结线虫、烟草青枯病、黑胫病等土传病害^[4]。病虫害加重是烟草连作障碍的主要表现,控制减轻烤烟的病虫害对于烤烟的产量和质量具有重大影响。

此外,采用套作的种植模式也能在一定程度上缓解烟草连作障碍。研究表明套作可以提高土壤养分有效性、增加土壤微生物的多样性,而且对于控制烟草病虫害也具有良好效果。不同烟草品种的轮作也能在一定程度上缓解连作障碍,选用抗病品种种植对连作后的病害发生率有一定程度的减轻^[6]。

3.3 选用合理的施肥模式

传统的化学肥料在农业生产中具有较多的弊端,目前正逐步被有机肥和生物肥料所替代。有机肥和生物肥料在农业生产中的作用也越来越明显。有机肥和生物肥料富含大量的有机养分和生物活性物质,施用有机肥和生物肥料可以增加土壤的养分并对土壤的理化性质和生物环境等进行改善,进而影响土壤根系微生物的活性、酶活性等,达到改善土壤种植环境的目的。生物肥料中含有能够改良土壤的微生物菌群,施用生物有机肥可以提高土壤的养分,显著促进烤烟的生长发育,且对于土壤性质具有一定的改良作用^[78],对于修复烟田土壤生境、缓解烤烟连作障碍切实可行。此外,对连作烟田增施含有多种微量元素的微肥,对降低连作烟草青枯病的发病率有较好效果^[71]。目前,生产上无机-有机复合肥料已在改善烟叶的质量、提高产量、生产优质烟叶等方面发挥作用。

3.4 采用微生物菌剂修复

造成烤烟连作障碍的主要原因在于连作烟田的土壤发生了恶性变化,形成了阻碍烤烟生长的不良环境,所以运用现代生物技术,采取有针对性的微生物菌剂对连作烟田的土壤进行修复,可利用微生物与微生物之间、微生物与烟草之间的相互作用关系,增加土壤中有益微生物菌群种类和数量,抑制有害微生物的生长,改善土壤中酶活性,使土壤的养分、酶活性、微生物生态系统等指标适合烤烟的生长,从而减轻病虫害发生、提高烟叶产量和质量^[79]。

目前的研究表明,一些丛枝菌根真菌、荧光假单胞杆菌、链霉菌等对于根黑腐病的病原菌具有较好的抑制作用,在一定程度上可以缓解烤烟的连作障碍问题。通过分离土壤中的植物促生菌和抑制病原菌的菌种,进行富集培养然后再施入烟田,以达到分解有害物质、抑制病原菌生长的目的,从而缓解连作障碍,这也是一个用微生物菌剂修复连作土壤障碍的可行方法。曹明慧等^[80]从烟草根际土壤中筛选出一种多粘类芽孢杆菌(*Paenibacillus polymyxa*),抗菌谱试验表明对黑胫病病原菌有较强的拮抗作用,利用其菌株发酵制备的微生物有机肥能抑制烟草黑胫病的发生,苗期防效可达 80%。王丽丽等^[81]研究表明,在连作病害土壤中用石灰和碳铵预处理后,再施用 SQY-7 号(*Bacillus amyloliquefaciens*)微生物有机肥能有效防控烟草青枯病和减缓连作生物障碍。陈巧玲等^[82]研究了生物有机肥对盆栽烟草根际青枯病原菌和拮抗菌动态变化的影响,认为施用生物有机肥能抑制土壤

青枯菌的增长和促进烟草生长,显著降低烟草青枯病的发病率。对连作烟田施加微生物复合肥摩西球囊霉等微生物菌剂具有较好的改善烤烟连作土壤酶活性的效果^[83]。

然而,微生物间相互作用的复杂性乃至土壤生态系统的复杂性决定了采用生物菌剂的方法对连作土壤进行修复是一个复杂的系统工作,而目前对其知之甚少,而且利用生物菌剂的方法解决烤烟连作障碍也面临一些问题。但是,随着现代生物技术的发展,采用生物菌剂对连作烟田进行修复有很好的应用前景。

4 展望

烤烟连作障碍各因子之间存在复杂的互作关系,这使得研究连作障碍的机理非常困难。目前,烤烟连作障碍的研究主要局限于连作条件下土壤生态系统、病虫害和烤烟生长发育等方面,尚停留在零散地解释连作障碍外在表象,缺乏系统的机理探究。鉴于此,应以烟草根系-土壤界面物质流为中心,探讨连作烟田土壤微生态系统逐步恶化的原因,研究根系分泌物中化感物质种类和毒害机理,并进一步探索各个障碍因子之间的相互关系。

作物根系分泌物-土壤-微生物在它们构成的土壤微生态系统中相互作用,共同影响着作物的生长发育,协调好它们之间的关系是解决作物连作障碍的关键^[84]。弄清烟草土壤微生态系统中各个因素对烟株根系分泌物种类和数量的作用,以及烤烟根系分泌物对土壤微生物种群、土壤酶活性、土壤营养状态等多种土壤生态因子的影响,并通过人为调控根际土壤生态系统的某些因素,调节烤烟根系分泌物,从而维护根系微生态系统健康稳定的良性状态,可能是解决烤烟连作障碍的一种新思路。

参考文献:

- [1] 张子龙,王文全. 植物连作障碍的形成机制及其调控技术研究进展[J]. 生物学杂志, 2010, 27(5): 69-72
- [2] 杨宇虹,陈冬梅,晋艳,王海斌,段玉琪,郭徐魁,何海斌,林文雄. 不同肥料种类对连作烟草根际土壤微生物功能多样性的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(1): 105-111
- [3] 王彦亭,谢剑平,李志宏. 中国烟草种植区划[M]. 北京: 中国科学出版社, 2010
- [4] 晋艳,杨宇虹,段玉琪,孔光辉. 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(Z1): 267-271
- [5] 石秋环,焦枫,耿伟,李群平,时向东. 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

- [6] 陈继峰, 赵松辉, 蔡凯旋, 刘洪源, 石礼森. 河南烟草连作状况调查及连作障碍解决对策研究[J]. 中国园艺文摘, 2014(5): 218-222
- [7] 姜超英, 潘文杰. 作物连作的土壤障碍因子综述[J]. 中国农村小康科技, 2007(3): 26-28
- [8] 时鹏, 张继光, 王正旭, 申国明, 高欣欣. 烟草连作障碍的症状-机理及防治措施[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(1): 120-122, 124
- [9] 张重义, 谢小波, 王毅, 陈冬梅, 刁向银, 陈新建, 林文雄. 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
- [10] 晋艳, 杨宇虹, 段玉琪, 龙玉华, 叶成碧. 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
- [11] 张长华, 王智明, 陈叶君, 潘文杰, 黄建国. 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
- [12] 赵凯, 姜翼来, 王玲莉, 何琳, 关连珠. 烤烟连作对烟叶产量和质量的影响[J]. 现代农业科技, 2008(8): 118-119
- [13] Yu JQ, Matsui Y. Effects of root exudates of cucumber (*Cucumis sativus*) and allelochemicals on ion uptake by cucumber seedlings[J]. Journal of Chemical Ecology, 1997, 23(3): 817-827
- [14] 马国胜, 高智谋, 陈娟. 烟草黑胫病研究进展[J]. 烟草科技, 2001(9): 44-48
- [15] 孔凡玉, 王静. 烟草根结线虫病研究进展[J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(3): 232-235
- [16] 张亚, 何可佳, 罗坤, 周叶锋, 汪巧. 烟草赤星病研究进展及对策[J]. 陕西农业科学, 2007,(2): 82-84, 90
- [17] Liu YX, Shi JX, Feng YG, Yang XM, Li X, Shen QR. Tobacco bacterial wilt can be biologically controlled by the application of antagonistic strains in combination with organic fertilizer[J]. Biology and Fertility of Soils, 2013, 49(4): 447-464
- [18] 李天福, 王彪, 王树会. 云南烤烟轮作的现状分析与保障措施[J]. 中国烟草科学, 2006, 27(2): 48-51
- [19] 郑良永, 胡剑非, 林昌华, 唐群锋, 郭巧云. 作物连作障碍的产生及防治[J]. 热带农业科学, 2005, 25(2): 58-62
- [20] 申建波, 张福锁, 毛达如. 根际微生态系统中的碳循环[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(2): 232-240
- [21] Shanmugam V, Verma R, Rajkumar S, Singh ND. Bacterial diversity and soil enzyme activity in diseased and disease free apple rhizosphere soils[J]. Annals of Microbiology, 2011, 61(4): 765-772
- [22] Hassan MS, Alsaadawi IS, El-Behadli AH. Citrus Replant Problem in Iraq II. Possible role of allelopathy[J]. Plant and Soil, 1989, 116(2): 157-160
- [23] Hassan MS, El-Behadli AH, Alsaadawi IS. Citrus replant problem in Iraq III. Interactive effect of soil fungi and allelopathy[J]. Plant and Soil, 1989, 116(2): 161-166
- [24] Hassan MS, El-Behadli AH, Alsaadawi IS. Citrus replant problem in Iraq I. Possible role of soil fungi and nematodes[J]. Plant and Soil, 1989, 116(2): 151-155
- [25] Čatská V, Vančura V, Hudská G, Přikryl Z. Rhizosphere micro-organisms in relation to the apple replant problem[J]. Plant and Soil, 1982, 69(2): 187-197
- [26] Solymosi K, Bertrand M. Soil metals, chloroplasts, and secure crop production: a review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2012, 32(1): 245-272
- [27] 王辉, 董元华, 李德成, 安琼. 不同种植年限大棚蔬菜地土壤养分状况研究[J]. 土壤, 2005, 37(4): 460-462
- [28] 苏海燕, 程传策, 马啸, 罗晓庆, 李常军, 阳波. 烤烟连作对重庆土壤养分状况的影响[J]. 河南农业科学, 2010(12): 59-62
- [29] 何琳, 姜翼来, 王玲莉, 赵凯, 关连珠. 烤烟连作对土壤养分状况的影响[J]. 现代农业科技, 2008(8): 115-116
- [30] 王茂胜, 姜超英, 潘文杰, 薛小平, 陈懿, 梁永江. 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): 5 033-5 035
- [31] 刘方, 卜通达, 何腾兵. 连作烤烟土壤养分变化分析[J]. 贵州农学院学报, 1997, 16(2): 1-4
- [32] 李天福, 冉邦定, 陈萍. 云南烤烟经济合理施肥建议[J]. 云南农业科技, 1999(2): 29-30
- [33] 姜翼来, 关连珠, 王玲莉, 胡克伟, 何琳. 不同植烟年限土壤pH和酶活性的变化[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 531-534
- [34] 魏国胜, 周恒, 朱杰, 彭家宇, 王欣, 黎妍妍, 任晓红, 杨寒文, 许自成. 土壤 pH 值对烟草根茎部病害的影响[J]. 江苏农业科学, 2011, (1): 140-143
- [35] 周冀衡, 李永平, 杨虹琦, 王勇, 邵岩, 郭紫明, 朱列书, 马文广. 不同基因型烟草根系分泌物对难溶性磷钾的活化效应[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2005, 31(3): 276-280
- [36] 庄云, 武小净, 李德成, 徐宜民, 王程栋, 石屹, 马兴华, 杨虹琦. 湘南和湘西烟田土壤系统分类及其与烤烟香型之间的关系[J]. 土壤, 2014, 46(1): 151-157
- [37] 焦永吉, 程功, 马永健, 王伟超, 李建华, 乔保明, 蒋士君. 烟草连作对土壤微生物多样性及酶活性的影响[J]. 土壤与作物, 2014,(2): 56-62
- [38] 李鑫, 张秀丽, 孙冰玉, 岳冰冰, 张会慧, 许楠, 朱文旭, 孙广玉. 烤烟连作对耕层土壤酶活性及微生物区系的影响[J]. 土壤, 2012, 44(3): 456-460
- [39] 张翼, 张长华, 王振民, 黄建国. 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
- [40] 丁海兵. 连作对烟草生长和不同粒径土壤酶活性的影响[D]. 重庆: 西南大学硕士学位论文, 2006
- [41] 盘莫谊, 张杨珠, 肖嫩群, 谭周进. 烟草连作对旱地土壤微生物及酶活性的影响[J]. 世界科技研究与发展 2008, 30(3): 295-297
- [42] 何川, 刘国顺, 蒋士君. 连作对植烟土壤微生物群落多样性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(4): 658-663
- [43] 胡汝晓, 赵松义, 谭周进, 肖汉乾, 巢进, 屠乃美, 周清明. 烟草连作对稻田土壤微生物及酶的影响[J]. 核农学报, 2007, 21(5): 494-497
- [44] 尹睿, 张华勇, 黄锦法, 林先贵, 王俊华, 曹志洪. 保护地菜田与稻麦轮作田土壤微生物学特征的比较[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1): 57-62
- [45] 张继光, 申国明, 张久权, 张忠锋, 石屹, 李世博, 刘海伟, 时鹏. 烟草连作障碍研究进展[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(3): 95-99

- [46] 岳冰冰. 烤烟连作改变了根际土壤微生物的多样性[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2012
- [47] 张翔, 范艺宽, 毛家伟, 孙春河, 桂言伟, 陈启龙. 不同种植制度和施肥措施对烟田土壤养分及微生物的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(4): 208-212
- [48] Walker TS, Bais HP, Grotewold E, Vivanco JM. Root exudation and rhizosphere biology[J]. Plant Physiology, 2003, 132(1): 44-51
- [49] Bais HP, Tiffany LW, Perry LG, Gilroy S, Vivanco JM. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms[J]. Annual Review of Plant Biology, 2006, 57: 233-266
- [50] Jones DL, Hinsinger P. The Rhizosphere: Complex by Design[J]. Plant and Soil, 2008, 312(1/2): 1-6
- [51] Bais HP, Park SW, Weir TL, Callaway RM, Vivanco JM. How plants communicate using the underground information superhighway[J]. Trends in Plant Science, 2004, 9(1): 26-32
- [52] Xu WH, Liu H, Ma QF, Xiong ZT. Root exudates, rhizosphere Zn fractions, and Zn accumulation of ryegrass at different soil Zn levels[J]. Pedosphere, 2007, 17(3): 389-396
- [53] 刘奇志, 李贺勤, 李星月, 刘艳斌, 白春启, 白鹏华. 草莓连作障碍——化感自毒作用研究进展[J]. 中国果树, 2013(3): 76-79
- [54] Yi JH, Jia ZH, Lin Q, Lv HZ, Shen H. Allelopathic effects of decaying tobacco leaves on tobacco seedlings[J]. Allelopathy Journal, 2012, 29(1): 51-62
- [55] Bertin C, Yang XH, Weston LA. The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere[J]. Plant and Soil, 2003, 256(1): 67-83
- [56] 高志华, 张学英, 葛会波, 郑丽锦. 草莓根系分泌物障碍效应的模拟研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(1): 189-193
- [57] 郭冠琪, 王丰青, 范华敏, 李明杰, 郑红艳, 李娟, 陈新建, 张重义. 地黄化感自毒作用与连作障碍机制的研究进展[J]. 中国现代中药, 2012, 14(6): 35-39
- [58] 柴强, 冯福学. 玉米根系分泌物的分离鉴定及典型分泌物的化感效应[J]. 甘肃农业大学学报, 2007, 42(5): 43-48
- [59] 胡元森, 李翠香, 杜国营, 刘亚峰, 贾新成. 黄瓜根分泌物中化感物质的鉴定及其化感效应[J]. 生态环境, 2007, 16(3): 954-957
- [60] 侯永侠, 周宝利, 吴晓玲, 付亚文. 辣椒根系分泌物化感作用的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(4): 504-507
- [61] He CN, Gao WW, Yang JX, Bi W, Zhang XS, Zhao YJ. Identification of autotoxic compounds from fibrous roots of *Panax quinquefolium* L.[J]. Plant and Soil, 2009, 318(1/2): 63-72
- [62] 潘存德, 王强, 阮晓, 李兆慧. 天山云杉针叶水提取物自毒效应及自毒物质的分离鉴定[J]. 植物生态学报, 2009, 33(1): 186-196
- [63] 邱立友, 戚元成, 王明道, 贾新成. 植物次生代谢物的自毒作用及其与连作障碍的关系[J]. 土壤, 2010, 42(1): 1-7
- [64] 杨广超, 吕卫光, 沈其荣, 张春兰. 西瓜的自毒作用研究: 西瓜根、茎、叶的水和酒精浸提液对其种子发芽的影响[J]. 上海农业学报, 2004, 20(3): 82-85
- [65] 郭亚利, 李明海, 吴洪田, 袁玲, 黄建国. 烤烟根系分泌物对烤烟幼苗生长和养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 458-463
- [66] 郭亚利. 烤烟根系分泌物和提取物对幼苗生长及土壤酶活性的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2006
- [67] 王科, 周冀衡, 柳均, 邓小刚, 杨虹琦, 李春林, 柳立, 牛丽娜. 烟草根系分泌物化感潜力研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2011, 26(2): 44-51
- [68] 于会泳, 申国明, 高欣欣. 烟草根系分泌物的 GC-MS 检测[J]. 中国烟草学报, 2013, 19(4): 64-72
- [69] 邓家军. 烟草根系分泌物酚酸酯的自毒效应及作用机制研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014
- [70] 成志军, 赵光辉, 肖军, 张正平, 王永辉, 唐国强. 不同药剂处理对晒黄烟连作田主要病害的防效[J]. 湖南农业科学, 2004(3): 40-41
- [71] 郑世燕, 丁伟, 陈弟军, 杜根平, 徐小洪, 谢华东. 根际土壤调控对连作烟田青枯病的控制作用[J]. 中国烟草学报, 2013, 19(1): 47-52
- [72] He K, Yang SY, Li H, Wang H, Li ZL. Effects of calcium carbonate on the survival of *Ralstonia solanacearum* in soil and control of tobacco bacterial wilt[J]. European Journal of Plant Pathology, 2014, 140(4): 665-675
- [73] 赵松辉, 蔡凯旋, 刘洪源, 石礼森, 陈继峰. 烤烟连作障碍调控措施研究进展[J]. 现代农业科技, 2014(8): 199-201
- [74] Kincaid RR. Crop rotation and fallowing in relation to tobacco disease control[J]. The Botanical Review, 1960, 26(2): 261-276
- [75] 于高波, 吴凤芝, 周新刚. 小麦、毛苕子与黄瓜轮作对土壤微生态环境及产量的影响[J]. 土壤学报, 2011, 48(1): 175-184
- [76] 贾志红, 易建华, 苏以荣, 曾军英. 烟区轮作与连作土壤细菌群落多样性比较[J]. 生态环境学报, 2010, 19(7): 1578-1585
- [77] 李天金. 烤烟主要灾害性病害及其防治措施[J]. 植保技术与推广, 2000, 20(2): 22-23
- [78] 邵孝侯, 刘旭, 周永波, 于静. 生物有机肥改良连作土壤及烤烟生长发育的效应[J]. 中国土壤与肥料, 2011(2): 65-67
- [79] 李艳红, 徐智, 汤利. 生物有机肥调控烟草青枯病和黑胫病研究进展[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2014, 29(3): 436-442
- [80] 曹明慧, 冉炜, 杨兴明, 沈其荣, 沈标. 烟草黑胫病拮抗菌的筛选及其生物效应[J]. 土壤学报, 2011, 48(1): 151-159
- [81] 王丽丽, 石俊雄, 袁赛飞, 吴凯, 蔡刘体, 刘艳霞, 杨兴明, 冯勇刚, 沈标, 沈其荣. 微生物有机肥结合土壤改良剂防治烟草青枯病[J]. 土壤学报, 2013, 50(1): 150-156
- [82] 陈巧玲, 胡江, 汪汉成, 王茂胜, 刘艳霞, 石俊雄, 杨兴明, 沈其荣. 生物有机肥对盆栽烟草根际青枯病原菌和短芽孢杆菌数量的影响[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(1): 75-79

- [83] 刘红杰, 习向银, 刘朝科, 熊淑萍, 罗维, 谢小波, 张重义. 微生物菌剂对植烟连作土壤酶活性的影响[J]. 烟草科技, 2011, (5): 66–70
- [84] 陈冬梅, 黄锦文, 柯文辉, 王海斌, 何海斌, 张重义, 林文雄. 连作烟草根际土壤化感潜力评价及化感物质鉴定[J]. 中国烟草学报, 2012, 18(1): 46–52

Research Progresses on Continuous Cropping Obstacles of Tobacco

ZHANG Shi-xiang¹, GUO Wei-min¹, LI Hui-xin², WANG Jian-wei¹, LI Hai-jiang³,
WANG Ai-guo¹, LIANG Tai-bo¹, GUO Jian-hua¹, YIN Qi-sheng^{1*}

(1 *Zhengzhou Tobacco Research Institute of CNTC, Zhengzhou 450001, China*; 2 *College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*; 3 *Pingdingshan Branch of Henan Province Tobacco Company, Pingdingshan, Henan 467002, China*)

Abstract: Continuous cropping could debase the tobacco quantities and qualities, which had become the bottleneck of tobacco development in China. The mechanisms of continuous cropping obstacles were reviewed with regards to soil nutrient unbalance, accumulation of allelopathical and autotoxicity substances in roots exudates, and deterioration of soil biological environment including the soil enzymatic activity and the soil microbialflora. The countermeasures to control the obstacles of tobacco continuous cropping were also presented. Possible future researches on continuous cropping obstacles of tobacco were also proposed in this paper .

Key words: Tobacco; Continuous cropping obstacles; Soil nutrient unbalance; Allelopathy and autotoxicity; Controlling measurement