

## 连作障碍发生机理研究进展<sup>①</sup>

侯慧<sup>1</sup>, 董坤<sup>2</sup>, 杨智仙<sup>3</sup>, 董艳<sup>1\*</sup>, 汤利<sup>1</sup>, 郑毅<sup>1,4</sup>

(1 云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201; 2 云南农业大学食品科技学院, 昆明 650201;

3 云南大学, 昆明 650091; 4 西南林业大学, 昆明 650224)

**摘要:** 随着集约化种植程度的不断提高, 作物连作导致产量和品质下降, 土传病害严重发生, 严重制约了现代农业的可持续发展, 连作障碍发生机理一直是国内外学者研究的热点之一。近年来, 国内外学者从多方面、多角度对连作障碍进行了研究, 但这些研究多集中于单一因素分析, 缺乏对不同因子内在相互关系和本质的了解, 未能深入揭示连作障碍发生的真正原因。深入认识连作障碍的成因及各要素间的互作关系是防控作物土传病原微生物生长、缓解连作障碍、实现农药使用量零增长的基础。本文从土壤理化性状及生物学性状恶化、植物生理抗性下降和连作自毒作用等方面系统综述了连作障碍发生机理, 分析了连作障碍因素间的相互关系并对该领域未来的研究方向进行了展望, 以期寻找安全、环保和有效的缓解措施提供理论依据。

**关键词:** 连作障碍; 土传病害; 自毒作用; 根际微生物

**中图分类号:** S154.36

经济和技术的飞速发展, 使高产品种单一连作种植在我国严重发生, 商品化生产加剧了作物连作现象的发生<sup>[1]</sup>。作物连作以高投入和高产出为特点, 且对农药的依赖程度较高, 随之而来的连作障碍问题日益突出, 其中以土传病害发生和作物生长受抑为主要表现, 连作障碍已成为农业可持续发展的重大问题之一<sup>[2]</sup>。从发病面积和相对比例上看, 目前我国是世界上作物土传病害发生率最高和最严重的国家, 我国农药使用量持续增加与土传病害的频繁发生密切相关, 实现农药使用量零增长, 甚至负增长目标, 首先必须防控作物土传病害的农药使用量<sup>[1]</sup>。因此探究作物连作障碍的成因及寻求克服或缓解措施已成为亟待解决的问题<sup>[3-4]</sup>。作物连作现象在时间和空间上有很大的跨度, 一方面, 早在公元前 300 年就出现了连作现象, 随之而来的连作障碍也不可避免; 另一方面, 连作在世界各地普遍存在, 在亚洲的日本、中国和印度等地均有较大面积的分布<sup>[5]</sup>。许多大田作物、经济作物、园艺植物(包括瓜果类蔬菜和观赏花卉)和中草药等都存在不同程度的连作障碍问题, 尤其以中草药和蔬菜作物发生连作障碍较为普遍且严重<sup>[6]</sup>。

连作障碍是长期以来困扰农业生产的复杂问题, 作物连作障碍形成机理与防治一直是国内外学者研究的热点。多年来国内外许多学者分别从土壤物理、化学、生物学和化感作用等方面对连作障碍的机理进行了研究并取得了一些很有意义的结论。本文根据近年来国内外学者在连作障碍方面的研究进展, 概述了作物连作障碍的危害及成因的最新研究进展, 并分析了连作障碍各形成因素间的相互关系, 对进一步深入认识连作障碍发生原因及形成机理具有重要作用, 旨在为促进作物生长并减轻土传病害发生、实现农药使用量零增长、促进我国农业可持续发展提供理论依据。

### 1 连作的危害

#### 1.1 连作种植对作物生长的影响

连作种植不同程度地影响了作物的植株形态、叶片的光合生理特性和活性氧代谢。作物株高降低、叶面积减小、叶绿素含量降低、光合速率下降等是作物对连作的负反馈。通常这种效应与作物连作年限相关, 连作年限的增加将加剧上述危害。如三七连作 2 年

基金项目: 国家自然科学基金项目(31360507, 31560586, 31060277, 31210103906)、国家“973”计划项目(2011CB100405)、农业部公益性行业科研专项课题项目(201103003)和云南省科技计划重点项目(2015FA022)资助。

\* 通讯作者(dongyanyx@163.com)

作者简介: 侯慧(1992—), 女, 湖北襄阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为作物连作障碍成因与调控。E-mail: 1327382648@qq.com

后种子的发芽率和发芽指数最低,且显著低于对照<sup>[7]</sup>。随连作年限延长,辣椒地上部干鲜重显著下降,株高、茎粗均呈下降趋势,且在连作8年差异达到显著水平<sup>[8]</sup>。作物连作不仅抑制地上部的发育,而且阻碍作物地下部的生长。根系作为作物水分及土壤营养元素的吸收器官也影响着氨基酸和激素等重要代谢物质的合成,作物根系能够对外界胁迫做出反应并反馈给地上部,直接影响作物的生长和营养状况及产量水平。长时间连作条件下,马铃薯植株根系活力和总吸收面积显著下降,使根系对养分及水分吸收能力减弱,减少了代谢物质的合成,进而影响块茎膨大和干物质填充,这共同影响了块茎产量的形成和地上部植株的正常生长发育<sup>[9]</sup>。连作土壤中的根皮苷、间苯三酚、根皮素、对羟基苯甲酸和肉桂酸均抑制了平邑甜茶幼苗的生长,且对根系的影响程度高于地上部分,表现为根系中保护酶活性降低,根冠比降低,增加了过氧化氢( $H_2O_2$ )、超氧阴离子自由基( $O_2^-$ )以及丙二醛(MDA)含量,线粒体膜通透性转换孔(MPTP)开放程度增大,线粒体膜电位降低,细胞色素Cyt c/a比值下降<sup>[10]</sup>。

## 1.2 连作种植对作物病害发生的影响

现代单一作物种植模式下,作物生长期病原微生物的生长和繁殖速率远高于传统种植模式。随主作物连作年限的增加,病原微生物数量终将超过发病临界值,导致土传病害发生。同一作物连续种植时,因无病原微生物数量的自然衰减过程,在更短的种植时间内,土传病原微生物的数量即可达到使作物致病的临界水平<sup>[11]</sup>。当归、丹参、黄瓜、茄子、蚕豆、花生、小麦、番茄、西瓜、烟草等多种作物和中药材连作种植均可导致土传病害严重发生,致使作物产量下降、品质变劣。西洋参和人参连作后土传病害锈腐病、疫霉病和根腐病显著高于正茬<sup>[11]</sup>。兰州百合长期连作后导致由尖孢镰刀菌引起的兰州百合枯萎病严重发生,是导致兰州百合土传病害高发的重要因素<sup>[12]</sup>。茄子黄萎病、枯萎病和青枯病等土传病害随连作年限增加逐年加重<sup>[13]</sup>。我们前期对蚕豆连作障碍的研究结果也证实,随连作年限增加,蚕豆枯萎病发病率越来越高。同种作物在不同生育时期往往也表现为不同的病害频发,花生连作条件下,根腐病在苗期多发,且发病率随连作年限成倍增加;花果期多叶斑病,病株率近100%;随连作年限的延长,结荚成熟期的青枯病、白绢病则也从无到有<sup>[14]</sup>。土传病害严重发生是连作种植最直接、最明显的障碍因子。很多研究表明对连作土壤进行土壤灭菌是减轻再植病害的有效手段,说明连作条件下土壤中病原物激增是引起再植病害的

重要因素之一<sup>[15]</sup>。

## 2 连作障碍的成因

近几十年来,很多学者从土壤学、作物营养学、微生物学和栽培学等多个学科入手,对蔬菜、果树、中药材等多种作物的连作障碍问题进行了大量研究并取得了显著进展。不同作物连作障碍发生的原因差别很大,但主要来自土壤<sup>[16]</sup>。多年来国内外研究者对连作障碍的形成机理进行了研究并取得显著进展,这些研究涉及土壤养分亏缺、土壤pH和物理性状变化、土壤微生物区系和多样性变化、土传病害和化感自毒物质积累等内容<sup>[17-21]</sup>。在连作障碍的众多因素中,土传病害一直是连作障碍的研究重点<sup>[17, 22]</sup>,多年来被认为是大多数作物产生连作障碍的主要原因之一。除土壤因素外,连作物自身的抗性也对土传病害的发生产生影响,因此很多研究者也从作物相关防御酶活性、根系分泌物差异等方面开展了相应的研究<sup>[23-24]</sup>。更为重要的是,连作障碍各形成因素间还具有相互影响,进一步加剧连作障碍的发生。本文分别从土壤环境、作物生理抗性和自毒作用等方面及这些因素相互作用对连作障碍形成的影响进行概述。

### 2.1 土壤方面

**2.1.1 土壤养分失衡,抑制作物养分吸收** 由于土壤中原有矿质营养元素的种类及含量是固定的,加之作物对其具有特定的吸收规律,随连作年限的增加,作物需求较多的元素在土壤中越来越少,而其他不被作物吸收的元素越来越多,造成土壤养分失衡。研究表明,随种植年限增加,土壤有机质、全氮和全磷显著下降,土壤速效磷和速效钾均显著增加,而土壤碱解氮含量很低<sup>[25]</sup>。棉花连作后土壤碱解氮含量严重超标,土壤有效钾含量下降,表明棉花连作使土壤中氮、磷、钾比例失调<sup>[26]</sup>。三七连作栽培使土壤中无机元素富集,再加之过度施用化学肥料,更易导致土壤表层某些元素的集聚或缺素,同时营养元素富集还会滋长病原真菌积累,加重土壤病害,抑制三七植株生长,最终加剧三七连作障碍的发生<sup>[27-28]</sup>。花生连作条件下,某些有效养分,特别是微量元素的缺乏,一方面降低了植物的抗病性,诱导根系分泌物增加,而这其中可能包括了抑制花生生长的化感物质;另一方面造成微生物区系变化,因为有效养分与土壤微生物区系密切相关<sup>[29]</sup>。表明连作障碍的发生可能与某些养分的含量降低有关。

**2.1.2 土壤生物学性状恶化** 尽管引起连作障碍的原因较多,但最根本的原因还是土壤微生物区系和多样性失调,有益微生物减少,病原微生物富集

而引发植物的各种土传病害<sup>[16]</sup>。土壤微生物生物量、多样性及微生物区系变化直接影响土壤的健康状况,进而影响作物的生长状况<sup>[30-31]</sup>。连作障碍与土壤微生物的种类、数量和多样性密切相关。连作扰乱了土壤微生物生态平衡,改变土壤微生物种群和功能。地黄连作后根际累积了大量酚酸类物质导致土壤微生物生态环境改变<sup>[32-33]</sup>。花生连作引起土壤中微生物选择性富集,细菌数量总体下降,真菌数量显著上升,病原菌数量急剧增大,土壤微生物从细菌主导型向真菌主导型转化,使病原菌更容易侵染植物而引发作物的各种土传病害<sup>[20]</sup>。花生长期连作显著增加了土壤病原菌的丰度,而这些增加以牺牲土壤中一些有益真菌为代价<sup>[34]</sup>。Ying 等<sup>[35]</sup>对人参连作障碍土壤微生物群落研究发现,随连作年限的增加,土壤有害菌积累递增,有益微生物数量递减。随连作年限的增加,土壤微生物群落多样性指数和丰富度指数均降低,原因是连作土壤连续种植单一作物,根系分泌物种类单一,为微生物提供的营养相对单一、根系活动对微生物的激活作用也相对较小,激活的微生物种类单一,导致微生物多样性较低<sup>[36]</sup>。烟草根际细菌群落多样性指数和丰富度指数随连作年限的增加呈现先增后减的趋势,连作 4 年后细菌群落的多样性水平显著降低<sup>[37]</sup>。黄瓜连作第 11 茬后微生物碳代谢能力显著下降,微生物多样性水平显著降低,偏好羧酸类碳源的微生物种群得到富集,对单一碳源的高利用碳源数显著低于 1 茬,说明连作 11 茬后的营养基质中微生物种群结构发生了单一化趋势而影响了黄瓜的正常生长<sup>[38]</sup>。

除直接测定土壤微生物区系及多样性变化外,土壤酶活性的测定亦能反映土壤生态系统中营养元素转化能力及土壤生物活性变化,可用于衡量土壤的健康状况。土壤酶活性增强意味着土壤生物活性提高,能增强植株的抗性。单一作物持续连作会使蔗糖酶、脲酶、磷酸酶等土壤酶活性随连作时间延长而下降<sup>[39]</sup>。随花生连作年限增加,过氧化氢酶活性下降,使根系的毒害作用加重而引起连作障碍<sup>[40]</sup>。三七连作后土壤中关键酶的活性下降,造成土壤解毒能力降低,这可能将间接加剧土壤中自毒物质的积累,抑制植物生长,诱导连作障碍发生<sup>[28]</sup>。

可见,连作障碍发生与根际生物学性状恶化密切相关,连作引起的土壤理化性状改变及作物根系分泌物和残茬在土壤中的长期存留均可导致土壤生物学性状的变化,直接影响作物生长及抗病能力而导致连作障碍发生<sup>[34]</sup>。

## 2.2 作物生理抗性下降

连作不但恶化作物生长的土壤环境,还直接降低寄主作物的自身抗性。连作条件下累积的自毒物质可通过影响寄主作物的生理生化过程而降低寄主作物对病原菌的抵抗能力。

过氧化物酶(POD)及过氧化氢酶(CAT)是作物防御体系中的重要酶类,当作物遭到逆境胁迫时,POD 和 CAT 可通过清除作物体内过量的活性氧和细胞中的过氧化氢,使作物产生耐受性,提高抗逆境能力。研究表明,作物的 POD 和 CAT 活性随连作年限的增加呈下降趋势,导致膜系统的结构和功能受到损伤,植物对病原菌的抵抗能力下降,病害易发<sup>[9]</sup>。

作物膜质过氧化化的程度和水平一般用膜质过氧化化作用的产物丙二醛(MDA)的含量来衡量,膜质过氧化化的程度及水平与作物膜质损伤密切相关。研究表明,作物连作产生的自毒物质不同浓度外源添加均促进了作物幼苗根系中 MDA 的合成,使 MDA 含量升高,从而降低根系活力,破坏细胞质膜的稳定性和完整性,作物对病原菌的抵抗能力下降<sup>[41]</sup>。随连作年限增加,作物 MDA 含量在整个生育期内总体上呈升高趋势<sup>[25]</sup>。连作马铃薯叶片 MDA 含量增加导致保护酶系统遭到破坏,使活性氧自由基大量攻击细胞质膜系统,导致细胞的正常功能受到极大削弱<sup>[9]</sup>。可见,连作破坏了作物抗氧化系统而不能有效清除自由基,造成自由基过量积累,导致一系列膜功能障碍,进一步加剧连作障碍发生。

## 2.3 连作自毒作用

连作障碍严重制约了现代农业的可持续发展,大量研究表明自毒物质产生的自毒作用是导致作物连作障碍的主要因子之一。

**2.3.1 自毒物质产生的途径** 作物可通过不同途径向环境中释放化感自毒物质,直接或间接地影响自身的生长,其中地上部挥发和淋溶、根系分泌及残茬腐解是自毒物质最主要的产生途径。挥发和淋溶:作物地上部主要通过挥发和淋溶产生自毒物质,在一定条件下,挥发和淋溶能够相互转化,共同发生。挥发多发生在干旱高温时期,自毒物质通过作物体表器官挥发释放到空气中,直接或间接作用于同种或同科作物。杂草胜红蓟的新鲜叶片含有挥发物和挥发油,能够抑制受试幼苗的生长<sup>[42]</sup>。淋溶易在多雨潮湿时期发生,作物体表含有的自毒物质通过雨、雾淋溶被释放到周围环境中抑制自身或其他作物生长。李绍文等<sup>[43]</sup>的研究表明桉树叶片产生的酚类物质被淋洗下来会抑制亚麻的生长。

根系分泌：连作条件下作物根系会分泌化感自毒物质到根际土壤中，对作物产生直接毒害作用，有些需要通过土壤微生物间接影响作物生长。研究发现黄瓜、大豆、烟草、地黄和西洋参等忌连作作物的连作障碍现象与根系分泌物中的化感物质密切相关<sup>[44]</sup>。肖靖秀<sup>[45]</sup>通过 HPLC 检测出蚕豆根系分泌物中含有羟基苯甲酸、香草酸和丁香酸等自毒物质。Wu 等<sup>[21]</sup>从兰州百合根系分泌物中检测邻苯二甲酸等多种化感物质。棉花根系分泌物含有没食子酸、绿原酸、香草酸和香豆酸等自毒物质<sup>[46]</sup>。

植物残体腐解：植物残体释放自毒物质主要有直接和间接两个途径，直接途径是植物残体腐烂后直接释放出自毒物质，而间接途径是通过土壤微生物的分解作用而释放出自毒物质。不同作物残体腐解释放的自毒物质种类和含量不同。李坤等<sup>[47]</sup>的研究表明葡萄根系腐解物中含有苯甲酸、苯丙酸和水杨酸 3 种酚酸类自毒物质。即使是同种作物，残体腐解不同阶段释放的自毒物质种类和含量也不同。赵先龙<sup>[48]</sup>的研究表明，在玉米秸秆腐解 60、120 和 180 天腐解液中均检测出对羟基苯甲酸、苯甲酸、丁香酸、邻苯二甲酸、香草酸和阿魏酸等自毒物质，但在 60 天腐解液中的种类最多，除检测到上述 6 种酚酸外，还检测到香豆酸、苯丙酸、丁二酸、十四碳酸、肉桂酸等自毒物质。

**2.3.2 自毒物质的种类** 研究发现，萜类和酚类是高等植物的主要化感物质。萜类化感物质在高等植物多以挥发油的形式存在，主要包括单萜、双萜、倍半萜、三萜及多萜等。萜类化感物质多通过挥发和根系分泌等途径进入土壤，具有很强的化感活性，往往较低浓度即能表现出很强的抑制作用<sup>[49]</sup>。酚酸类物质为芳香环上带有活性羧基的有机酸，是目前研究最多、活性较强的一类化感物质<sup>[50-51]</sup>。研究者均把酚酸类物质作为化感自毒作用研究的重点，成为公认的化感自毒物质<sup>[44,52]</sup>。酚酸类化感物质主要包括羟基苯甲酸和肉桂酸衍生物、黄酮类、醌类和单宁五大类<sup>[53]</sup>。研究者已从多种连作障碍作物的多种组织和根系分泌物中分离出十余种酚酸类化感物质，其中阿魏酸、对羟基苯甲酸、肉桂酸和香草醛等均被认为是最主要的酚酸类物质<sup>[50,54]</sup>。导致不同作物发生连作障碍的酚酸种类不同，且自毒物质的来源也不同，自毒效应也因自毒物质浓度不同而异。He 等<sup>[55]</sup>从西洋参须根中分离到反式肉桂酸、对香豆酸、阿魏酸、香草酸、香草醛、水杨酸、丁香酸、苯甲酸和对羟基苯甲酸这 9 种酚酸类自毒物质，它们对西洋参胚根生长具有抑制作用。本课题组在前期研究中从蚕豆根系分泌物中分

离出了阿魏酸、香草酸、苯甲酸、丁香酸、水杨酸和对羟基苯甲酸等自毒物质，并且以肉桂酸的含量最高。同种作物的不同部位自毒物质含量也不同。王勇等<sup>[56]</sup>的研究表明，核桃树体内自毒物质的分布随器官组织的不同而有差异，其中枝条韧皮部>叶片>芽体>枝条木质部，且不同核桃品种间自毒物质含量也存在差异性。

**2.3.3 自毒物质对种子萌发和作物生长的影响** 自毒物质通过抑制作物的种子萌发来影响其生长发育。Yan 等<sup>[57]</sup>研究表明，酚酸类自毒物质对作物种子萌发具有较强的抑制活性。蒙古黄芪植株水浸液对其自身植株生长、种子萌发均有抑制作用，自毒作用明显<sup>[58]</sup>。对羟基苯甲酸、香草酸和香豆酸对花生发芽有显著的影响，且这种影响效应与酚酸物质的种类及浓度有关<sup>[59]</sup>。除影响作物种子萌发外，自毒物质还对作物生长产生抑制效应。水培溶液中添加 *p*-香豆酸能显著抑制西洋参植株地上部分的生长，展叶率、株高、冠幅均明显下降，高浓度时约 85% 叶片不能完全展开，叶片生长受到严重抑制<sup>[60]</sup>。广藿香不同浓度的茎、叶和根提取物显著降低了广藿香的株高和根重<sup>[61]</sup>。自毒物质不仅抑制作物地上部的生长，而且还阻碍地下部的发育。土壤中酚酸类物质的积累使西洋参根系受到一种逆境胁迫，根皮苷、根皮素、对羟基苯甲酸以及肉桂酸处理显著降低了西洋参的根冠比，证明了这些酚酸类化合物对西洋参根系的影响程度大于地上部分<sup>[60]</sup>。酚酸类物质胁迫下，苹果幼苗总根长和平均根直径均有所下降，这些指标的下降导致根系对养分吸收能力降低，最终使苹果地下部干物质积累量的减少<sup>[10]</sup>。研究表明，自毒物质对作物生长的影响表现出浓度效应，即自毒物质积累浓度越高对作物的抑制效应越强<sup>[62]</sup>。

## 2.4 连作障碍各因素的相互关系

很多学者认为产生连作障碍的原因错综复杂，是作物-土壤两个系统内部诸多因素综合作用的外观表现<sup>[34]</sup>。连作障碍的形成并非只是单一因素作用的结果，而是存在着多因子间的辅助或协同效应。

**2.4.1 连作自毒物质与土传病害发生的关系** 大量研究表明，作物连作自毒作用与土传病害发生密切相关。近年来的研究结果表明，凡是容易引起自毒作用的作物一般也易引起土传病害产生而导致连作障碍<sup>[23,63]</sup>。自毒物质降低了黄瓜生长能力和抵抗力，与多年累积的病原菌共同作用，形成严重的土传病害，是连作障碍产生的重要原因<sup>[64]</sup>。茄子根系分泌物中自毒物质香草醛和肉桂酸助长了茄子黄萎病的发生<sup>[65]</sup>。自毒物质对羟基苯甲酸、香草酸和香

豆酸助长了花生枯萎病的发生<sup>[66]</sup>。苯甲酸和肉桂酸处理显著提高西瓜幼苗枯萎病的发病率,随苯甲酸和肉桂酸处理浓度提高,西瓜枯萎病病情指数和死苗率逐渐上升<sup>[66]</sup>。随酚酸类物质处理浓度升高,土壤尖孢镰刀菌和甜瓜疫霉菌数量呈持续上升趋势,导致黄瓜枯萎病发生<sup>[67]</sup>。

自毒物质通过对病原菌直接表现出刺激作用,促进病原菌增殖而助长土传病害的发生。作物根系分泌物和残茬腐解物可为连作土传病原菌提供碳源,从而促进病原菌繁殖或孢子萌发,减弱或消除了某些有益菌的拮抗作用,使有害菌增殖,从而造成病害的严重发生<sup>[16, 51]</sup>。连作西瓜植株腐解物积累大大刺激了尖孢镰刀菌的生长,尖孢镰刀菌的数量显著增加,且感病品种比抗病品种更容易促进其生长<sup>[63]</sup>。对连作百合的研究表明,连作百合自毒物质邻苯二甲酸显著刺激了病原菌产毒并提高了病程相关水解酶的活性,从而促进了百合枯萎病的发生<sup>[12]</sup>。

自毒物质加剧土传病害发生的能力与自毒物质的种类和浓度密切相关。在草莓腐烂组织和土壤中含有较高的香豆酸,低浓度(50 mg/L)处理显著促进了草莓冠腐病病原菌菌丝的生长并提高了冠腐病的病情指数,而高浓度(>200 mg/L)处理显著抑制了病原菌菌丝生长,对冠腐病危害无显著影响<sup>[68]</sup>。随甜瓜根系残茬腐解液处理浓度的提高,枯萎病菌的产孢量和菌丝长度显著增加,孢子萌发率显著提高<sup>[69]</sup>。黄瓜根系分泌物中的自毒物质对尖孢镰刀菌菌丝生长和孢子萌发具有不同程度的促进作用,其中肉桂酸、阿魏酸、苯甲酸对甜瓜枯萎病病情指数有显著的促进作用,处理浓度越高,甜瓜枯萎病发生越严重<sup>[70]</sup>,表明化感自毒物质具有促进土传病害发生的效果<sup>[71-72]</sup>。

**2.4.2 连作自毒物质与土壤微生物的关系** 随着对根际微生态环境中植物-土壤-微生物相互作用各过程的深入了解,研究者认为土传病害的发生和植株发育不良是作物连作障碍发生的直观表象,但其致病的根本原因是根系分泌物和腐解物中酚酸类化感物质引起的土壤微生物区系失衡,最终导致土壤中病原菌激增而引发严重的土传病害<sup>[19]</sup>。化感自毒物质是土壤微生物群落演变的重要推动者,长期连作条件下,土壤中积累了大量的植物分泌物和腐解物,其释放的酚酸不断累积,极大地控制着土壤中优势微生物种群<sup>[16]</sup>,因此自毒物质酚酸与土壤微生物数量和活性关系密切<sup>[51]</sup>。Zhou 和 Wu<sup>[73]</sup>通过外源添加黄瓜自毒物质香豆酸至土壤中,导致根际土中细菌显著减少,同时还造成病原菌大量繁殖增长,表明自毒物质显著影响了土壤微生物群落结构。Guo 等<sup>[74]</sup>对葡萄连

作障碍的研究表明,外源添加葡萄连作自毒物质对羟基苯甲酸后改变了土壤细菌和真菌的群落结构和功能多样性,同时对羟基苯甲酸也影响葡萄的根系分泌物及葡萄根系分泌物与根际微生物的互作,对羟基苯甲酸介导下微生物和根系分泌物的互作是影响对羟基苯甲酸化感自毒潜力表现的关键因素,且该互作也是影响葡萄连作障碍的主要原因。地黄须根自毒物质阿魏酸和对羟基苯甲酸一方面加剧了病原菌对地黄的致害过程,另一方面促进了真菌繁殖生长,进一步增强真菌对寄主的致害作用<sup>[71]</sup>。外源添加苯甲酸不仅使土壤微生物功能多样性降低,而且促进了土壤中病原菌增殖并抑制了拮抗菌的生长。自毒物质对病原菌具有正趋向作用而对拮抗菌却具有排斥作用,病原菌可以更好地利用作物连作累积的自毒物质,从而比拮抗菌更易定殖于作物根际,这可能是连作障碍造成土传病害流行暴发的机理之一<sup>[75]</sup>。表明化感自毒物质是连作障碍产生的初始诱因,化感自毒物质通过诱导改变根际微生物区系、群落结构和多样性,影响有益微生物与病原菌的互作关系而促进连作障碍发生。

**2.4.3 连作自毒物质与作物生理生化和结构抗性的关系** 黄瓜自毒物质肉桂酸使植株保护酶活性降低,根系活性氧自由基含量增加并加速了膜脂过氧化程度,从而刺激了病原菌使病菌更易侵入,导致发病率高,土传病害严重发生<sup>[23]</sup>。芦笋自毒物质损伤芦笋根尖和表皮细胞,降低过氧化物酶活性,提高电解质外渗,从而增加了镰刀菌的浸染机会<sup>[76]</sup>。草莓根系分泌物中酚酸物质使根系 TTC 还原活性降低、相对电导率增大、SOD 酶活性降低及 MDA 生成量增多、叶片光合作用受抑制程度增加,进而加重草莓根系养分和水分外渗,根系抗病性下降,枯萎病严重发生<sup>[77]</sup>。对羟基苯甲酸处理使草莓体内对枯萎病菌“抑制型”氨基酸如天冬氨酸含量降低,但提高了“促进型”氨基酸种类和含量<sup>[78]</sup>。对羟基苯甲酸胁迫下,尖孢镰刀菌菌丝在草莓根系中的侵染速率明显加快,对根系表皮、皮层、中柱薄壁细胞及导管壁结构的破坏程度也明显加重<sup>[77]</sup>。表明连作自毒物质通过影响寄主作物的生理生化过程和组织结构而影响寄主抗性,影响土传病害的发生和发展。

### 3 展望

#### 3.1 自毒作用与连作障碍

作物可通过不同途径向环境中释放化感自毒物质,加剧连作障碍的发生,但目前对根系分泌自毒物质的研究较多,缺乏对其他释放途径产生的自毒物质的研究。由于尚不清楚植株水浸液、残茬腐解等途径

释放的自毒物质与根系分泌的自毒物质种类含量是否一致,根系分泌的自毒物质能否涵盖作物释放的所有自毒物质尚不明确,同时这些自毒物质对作物的自毒效应也不清楚。因此,加大对其他释放途径产生的自毒物质的研究也必不可少。另外,土壤环境极其复杂,自毒物质在土壤中易受土壤微生物、土壤理化性状,质地等因素的影响,而测定自毒物质在土壤中的增减也是研究其自毒效应的关键。

不同作物连作所产生的自毒物质种类不同,即使是同种作物在不同生育期和不同环境条件下连作产生的自毒物质种类和数量也有差异<sup>[79]</sup>。目前的研究一方面多集中在对作物某一个生育期收集到的自毒物质进行分析,缺少对作物整个生长阶段中各个生育期收集到的自毒物质进行研究。另一方面多集中在对作物某一连作年限释放的自毒物质进行研究,而缺少对连作年限连续性条件下自毒物质的研究,对于自毒物质在不同连作年限下对作物的自毒作用是否相同尚不明确。因此,对作物在不同连作年限、不同生育期通过不同途径释放的自毒物质有必要进行收集并研究其对作物的自毒作用。

### 3.2 根际微生物与连作障碍

土壤营养元素的循环受根际土壤微生物数量、多样性、区系等变化的影响,进而影响作物的生长发育。对作物连作障碍的研究表明,连作作物根系分泌物改变了土壤微生物类群,通过控制有益微生物增殖,增加了根际有害微生物的定植,最终使土壤生物多样性降低,加剧病原菌繁殖。因此根系分泌物的种类与病原菌增殖的关系等问题将是今后研究的新热点。连作导致有益微生物减少,但究竟是哪些有益微生物的减少引起病原菌增殖,有关根系分泌物-病原菌-有益微生物的互作关系尚不清楚。近年发展起来的高通量测序技术,对深入研究连作对土壤微生物群落组成和功能变化是较好的技术手段,该技术能够分析某些特定的菌群,如细菌、氨氧化细菌、真菌及一些植物病原菌(镰刀菌类、茄科劳尔氏菌)的变化情况,测定的微生物种类和数量更加多样、丰富,结果也会更加可靠<sup>[80]</sup>。因此,采用该测定技术可明确连作土壤中发生变化的关键微生物种群,对进一步探明连作障碍成因及寻找有效的调控措施尤为重要。

### 3.3 多因子协同作用共同导致连作障碍

在寻求连作障碍防治措施中,我们发现单纯的土壤灭菌只能在短期内能控制某些病害的蔓延,并不能从根本上解决作物连作障碍问题,表明连作障碍的发生不仅仅是单一因素所导致的,而是多种因素综合作用的结果。但目前多数研究仍停留在单因子水平上,

缺乏对不同因子内在相互关系和本质的了解,未能深入揭示连作障碍发生的真正原因。如酚酸累积-微生物变化-土传病害发生的关系,长期连作条件下,土壤中累积的酚酸使土壤微生物群落结构改变、病原真菌富集、微生物群落环境恶化,而恶化的微生物群落结构使土壤中的酚酸物质降解缓慢,造成酚酸物质积累,积累的酚酸不仅继续改变微生物群落结构,而且会抑制作物生长,提高作物发病率,如此恶性循环,产生作物连作障碍<sup>[59]</sup>。但是,化感自毒物质组成差异对土壤微生物群落变化有何影响尚不清楚。且不同作物及不同土壤的连作障碍可能有不同原因与主次,今后的研究需综合考虑各个因素间的相互制约关系,寻找关键的突破点。

### 参考文献：

- [1] 蔡祖聪, 黄新琦. 土壤学不应忽视对作物土传病原微生物的研究[J]. 土壤学报, 2016, 53(2): 305-310
- [2] 蔡祖聪, 张金波, 黄新琦, 等. 强还原土壤灭菌防控作物土传病的应用研究[J]. 土壤学报, 2015, 52(3): 469-475
- [3] Louwsa F J, Rivard C L, Kubota C. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds[J]. Scientia Horticulturae, 2010, 127: 127-146
- [4] Ratnadass A, Fernandes P, Avelino J, et al. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: A review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2012, 32: 273-303
- [5] 叶素芬. 黄瓜根系自毒物质对其根系病害的助长作用及其缓解机制研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004
- [6] 张晓玲, 潘振刚, 周晓锋, 等. 自毒作用与连作障碍[J]. 土壤通报, 2007, 38(4): 781-784
- [7] 张子龙, 王文全, 杨建忠, 等. 三七连作土壤对其种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 土壤, 2010, 42(6): 1 009-1 014
- [8] 郭红伟. 连作对土壤性状和辣椒生育、生理代谢的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2011
- [9] 沈宝云, 刘星, 王蒂, 等. 甘肃省中部沿黄灌区连作对马铃薯植株生理生态特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(6): 689-699
- [10] 王艳芳, 潘凤兵, 展星, 等. 连作苹果土壤酚酸对平邑甜茶幼苗的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(19): 6 566-6 573
- [11] 于妍华. 西洋参连作障碍微生态机制及生防放线菌的抗病作用[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2011
- [12] Wu Z J, Yang L, Wang R Y, et al. In vitro study of the growth, development and pathogenicity responses of *Fusarium oxysporum* to phthalic acid, an autotoxin from Lanzhou lily[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2015, 31: 1 227-1 234
- [13] 郝晶, 周宝利, 刘娜, 等. 嫁接茄子抗黄萎病特性与根际土壤微生物生物量和土壤酶的关系[J]. 沈阳农业大学学报, 2009, 40(2): 148-151

- [14] 孙权, 陈茹, 宋乃平, 等. 宁南黄土丘陵区马铃薯连作土壤养分、酶活性和微生物区系的演变[J]. 水土保持学报, 2010, 24(6): 208–212
- [15] 张树生, 杨兴明, 茆泽圣, 等. 连作土灭菌对黄瓜 (*Cucumis sativus*) 生长和土壤微生物系的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 1 809–1 817
- [16] Hiddink G A, Termorshuizen A J, van Bruggen A H C. Mixed cropping and suppression of soilborne diseases// Lichtfouse E. Genetic engineering, biofertilisation, soil quality and organic farming, sustainable agriculture reviews[M]. Netherlands: Springer, 2010, 4: 119–146
- [17] 董艳, 汤利, 郑毅, 等. 施氮对间作蚕豆根际微生物多区系和枯萎病发生的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(7): 1 797–1 805
- [18] 董艳, 董坤, 汤利, 等. 小麦蚕豆间作对蚕豆根际微生物群落功能多样性的影响及其与蚕豆枯萎病发生的关系[J]. 生态学报, 2013, 33(23): 7 445–7 454
- [19] Zhou X G, Yu G B, Wu F Z. Responses of soil microbial communities in the rhizosphere of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to exogenously applied *p*-Hydroxybenzoic acid[J]. Journal of Chemical Ecology, 2012, 38: 975–983
- [20] Li X G, Ding C F, Zhang T L, et al. Fungal pathogen accumulation at the expense of plant-beneficial fungi as a consequence of consecutive peanut mono culturing[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 72: 11–18
- [21] Wu Z J, Xie Z K, Yang L, et al. Identification of autotoxins from root exudates of Lanzhou lily (*Lilium davidii* var. *unicolor*) [J]. Allelopathy Journal, 2015, 35: 35–48
- [22] Ren L X, Shi M S, Xing M Y, et al. Intercropping with aerobic rice suppressed fusarium wilt in watermelon[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40: 834–844
- [23] Ye S F, Zhou Y H, Sun Y, et al. Cinnamic acid causes oxidative stress in cucumber roots, and promotes incidence of *Fusarium wilt*[J]. Environmental and Experimental Botany, 2006, 56: 255–262
- [24] Xu W H, Dan L, Wu F Z, et al. Root exudates of wheat are involved in suppression of *Fusarium wilt* in watermelon in watermelon-wheat companion cropping[J]. European Journal of Plant Pathology, 2015, 141: 209–216
- [25] 黄玉茜. 花生连作障碍的效应及其作用机理研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2011
- [26] 刘建国, 张伟, 李彦斌, 等. 新疆绿洲棉花长期连作对土壤理化性状与土壤酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(2): 725–733
- [27] 刘莉, 赵安洁, 杨雁, 等. 三七不同间隔年限种植土壤的理化性状比较分析[J]. 西南农业学报, 2013, 26(5): 1 946–1 952
- [28] 孙雪婷, 龙光强, 张广辉, 等. 基于三七连作障碍的土壤理化性状及酶活性研究[J]. 生态环境学报, 2015, 24(3): 409–417
- [29] 王兴祥, 张桃林, 戴传超. 连作花生土壤障碍原因及消除技术研究进展[J]. 土壤, 2010, 42(4): 505–512
- [30] Berendsen R L, Pieterse C M J, Bakker P A H M. The rhizosphere microbiome and plant health[J]. Trends in Plant Science, 2012, 17: 478–486
- [31] Bron P A, van Baarlen P, Kleerebezem M. Emerging molecular insights into the interaction between probiotics and the host intestinal mucosa[J]. Nature Reviews Microbiology, 2012, 10: 66–78
- [32] Wang H B, Zhang Z X, Li H, et al. Characterization of metaproteomics in crop rhizospheric soil[J]. Journal of Proteome Research, 2011, 10(3): 932–940
- [33] Wu L K, Wang H B, Zhang Z X, et al. Comparative metaproteomic analysis on consecutively *Rehmannia glutinosa*-monocultured rhizosphere soil[J]. PLoS One, 2011, 6(5): e20611
- [34] 李孝刚, 张桃林, 王兴祥. 花生连作土壤障碍机制研究进展[J]. 土壤, 2015, 47(2): 266–271
- [35] Ying Y X, Ding W L, Zhou Y Q, et al. Influence of *Panax ginseng* continuous cropping on metabolic function of soil microbial communities[J]. Chinese Herbal Medicines, 2012, 4: 329–334
- [36] 吴凤芝, 王学征. 设施黄瓜连作和轮作中土壤微生物群落多样性的变化[J]. 中国农业科学, 2007, 40(10): 2 274–2 280
- [37] 陈冬梅, 柯文辉, 陈兰兰, 等. 连作对白肋烟根际土壤细菌群落多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1 751–1 758
- [38] 邹春娇, 齐明芳, 马建, 等. Biolog-ECO 解析黄瓜连作营养基质中微生物群落结构多样性特征[J]. 中国农业科学, 2016, 49(5): 942–951
- [39] 胡国彬, 董坤, 董艳, 等. 间作缓解蚕豆连作障碍的根际微生态效应[J]. 生态学报, 2016, 36(4): 1 010–1 020
- [40] 黄玉茜, 韩立思, 韩梅, 等. 花生连作对土壤酶活性的影响[J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(1): 96–100
- [41] 张恩平, 张文博, 张淑红, 等. 苯甲酸和肉桂酸对番茄幼苗根部保护酶及膜质过氧化的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(1): 186–190
- [42] 孙垂华, 徐效华, 陈建军, 等. 胜红蓟化感作用研究 . 主要化感物质在土壤中的转化[J]. 生态学报, 2002, 22(8): 1 189–1 193
- [43] 李绍文. 生态生物化学(二): 高等植物之间的生化关系[J]. 生态学杂志, 1989, 8(1): 66–70
- [44] 吴林坤, 林向民, 林文雄. 根系分泌物介导下植物-土壤-微生物互作关系研究进展与展望[J]. 植物生态学报, 2014, 38(3): 298–310
- [45] 肖靖秀. 小麦间作蚕豆的根系分泌物特征及其对蚕豆枯萎病菌的响应研究[D]. 昆明: 云南农业大学, 2013
- [46] 郑倩, 李俊华, 危常州, 等. 不同抗性棉花品种根系分泌物及酚酸类物质对黄萎病菌的影响[J]. 棉花学报, 2012, 24(4): 363–369
- [47] 李坤, 郭修武, 郭印山, 等. 葡萄根系腐解物的化感效应及酚酸类化感物质分离鉴定[J]. 果树学报, 2011, 28(5): 776–781
- [48] 赵先龙. 玉米秸秆腐解液化感效应及典型化感物质分离鉴定[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014
- [49] 张秋菊, 张爱华, 孙晶波, 等. 植物体中萜类物质化感作用的研究进展[J]. 生态环境学报, 2012, 21(1): 187–193
- [50] Huang L F, Song L X, Xia X J, et al. Plant-soil feedbacks and soil sickness: From mechanisms to application in



- agriculture[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2013, 39: 232–242
- [51] Wu F Z, Wang X Z, Xue C Y. Effect of cinnamic acid on soil microbial characteristics in the cucumber rhizosphere[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2009, 45: 356–362
- [52] Bouhaouel I, Gfeller A, Fauconnier M L, et al. Allelopathic and autotoxicity effects of barley (*Hordeum vulgare* L. ssp. *vulgare*) root exudates[J]. *BioControl*, 2015, 60: 425–436
- [53] 孔垂华, 胡飞. 植物化感相生相克作用及其应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 30–42
- [54] Hao Z P, Wang Q, Christie P, et al. Allelopathic potential of watermelon tissues and root exudates[J]. *Scientia Horticulturae*, 2007, 112: 315–320
- [55] He C N, Gao W W, Yang J X. Identification of autotoxic compounds from fibrous roots of *Panax quinquefolium* L.[J]. *Plant and Soil*, 2009, 318: 63–72
- [56] 王勇, 吴国良, 李登科. 核桃树体内酚类物质含量的变化[J]. *果树学报*, 2003, 20(4): 325–327
- [57] Yan J, Bi H H, Liu Y Z, et al. Phenolic Compounds from *Merremia umbellata* sub sp. *orientalis* and their allelopathic effects on *arabidopsis* seed germination[J]. *Molecules*, 2010, 15(11): 8 241–8 250
- [58] 张新慧, 朗多勇, 陈靖, 等. 蒙古黄芪植株水浸液的自毒作用研究[J]. *中药材*, 2014, 37(2): 187–191
- [59] 李培栋, 王兴祥, 李奕林, 等. 连作花生土壤中酚酸类物质的检测及其对花生的化感作用[J]. *生态学报*, 2010, 30(8): 2 128–2 134
- [60] 焦晓林, 毕晓宝, 高微微. *p*-香豆酸对西洋参的化感作用及生理机制[J]. *生态学报*, 2015, 35(9): 3 006–3 013
- [61] Xu Y, Wu Y G, Chen Y, et al. Autotoxicity in *Pogostemon cablin* and their allelochemicals[J]. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 2015, 25: 117–123
- [62] van de Voorde T F, Ruijten M, van der Putten W H, et al. Can the negative plant–soil feedback of *Jacobaea vulgaris* be explained by autotoxicity[J]. *Basic and Applied Ecology*, 2012, 13: 533–541
- [63] Wu H S, Raza W, Liu D Y, et al. Allelopathic impact of artificially applied coumarin on *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*[J]. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2008, 24: 1 297–1 304
- [64] Ye S F, Yu J Q, Peng Y H, et al. Incidence of *Fusarium* wilt in *Cucumis sativus* L. is promoted by cinnamic acid, an autotoxin in root exudates [J]. *Plant and Soil*, 2004, 263: 143–150
- [65] 王茹华, 周宝利, 张启发, 等. 茄子根系分泌物中香草醛和肉桂酸对黄萎菌的化感效应[J]. *生态学报*, 2006, 26(9): 3 152–3 155
- [66] 王倩, 李晓林. 苯甲酸和肉桂酸对西瓜幼苗生长及枯萎病发生的作用[J]. *中国农业大学学报*, 2003, 8(1): 83–86
- [67] 马云华, 王秀峰, 魏珉, 等. 黄瓜连作土壤酚酸类物质积累对土壤微生物和酶活性的影响[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(11): 2 149–2 153
- [68] Tian G L, Bi Y M, Sun Z J, et al. Phenolic acids in the plow layer soil of strawberry fields and their effects on the occurrence of strawberry anthracnose[J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2015, 143: 581–594
- [69] 程莹, 白寿发, 庄敬华, 等. 甜瓜残茬腐解物对镰孢枯萎病的助长作用[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(8): 217–221
- [70] 杨瑞秀, 高增贵, 姚远, 等. 甜瓜根系分泌物中酚酸物质对尖孢镰孢菌的化感效应[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(8): 2 355–2 360
- [71] 李振方. 自毒物质与病原真菌协同对连作地黄的致害作用研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2011
- [72] 齐永志. 根系化感物质与病原菌在草莓连作障碍中的协同作用研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2008
- [73] Zhou X G, Wu F Z. *P*- Coumaric acid influenced cucumber rhizosphere soil microbial communities and the growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* Owen[J]. *PLoS ONE*, 2012, 7: e48288
- [74] Guo X W, Wang B, Li K, et al. Effect of 4-hydroxybenzoic acid on grape (*Vitis vinifera* L.) soil microbial community structure and functional diversity[J]. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 2015, 29(4): 637–645
- [75] 刘艳霞, 李想, 蔡刘体, 等. 烟草根系分泌物酚酸类物质的鉴定及其对根际微生物的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22(2): 418–428
- [76] Hartung A C, Putnam A R, StePhens C T. Inhibitory activity of asparagus root tissue and extracts on *asparagus* seedlings[J]. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 1989, 114: 144–148
- [77] 齐永志, 苏媛, 王宁, 等. 对羟基苯甲酸胁迫下尖孢镰刀菌侵染草莓根系的组织结构观察[J]. *园艺学报*, 2015, 42 (10): 1 909–1 918
- [78] 马燕会, 齐永志, 赵绪生, 等. 自毒物质胁迫下不同草莓品种枯萎病抗性变化的研究[J]. *河北农业大学学报*, 2012, 35(2): 93–97
- [79] 滕应, 任文杰, 李振高, 等. 花生连作障碍发生机理研究进展[J]. *土壤*, 2015, 47(2): 259–265
- [80] 薛超, 黄启为, 凌宁, 等. 连作土壤微生物区系分析、调控及高通量研究方法[J]. *土壤学报*, 2011, 48(3): 612–618



## Advance in Mechanism of Continuous Cropping Obstacle

HOU Hui<sup>1</sup>, DONG Kun<sup>2</sup>, YANG Zhixian<sup>3</sup>, DONG Yan<sup>1\*</sup>, TANG Li<sup>1</sup>, ZHENG Yi<sup>1,4</sup>

(1 *College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China*; 2 *College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China*; 3 *Yunnan University, Kunming 650091, China*; 4 *Southwest Forestry University, Kunming 650224, China*)

**Abstract:** With the constant improvement of the intensive cultivation's degree, continuous cropping results in decrease of crop production and quality as well as soil-borne diseases which seriously restrict modern agricultural sustainable development. The mechanism of continuous cropping obstacle (CCO) has been one of hot spots at home and abroad. In recent years, a lot of work have been done from many aspects on CCO. However, most efforts are focused on the effect of a single factor while few attentions are paid to the internal interactions and essence of the various factors, which hinder the deep reveal of the real reasons for the occurrence of CCO. The further understandings of the causes of CCO and the interaction relationship between various factors are the basis to control the soil-borne diseases caused by soil-borne pathogens, to alleviate CCO and to realize the zero increase target of pesticide consumption by 2020 in China. This paper reviewed systematically the mechanisms of continuous cropping from the deterioration of soil physiochemical and biological properties, the decrease of plant physiological resistance, self-toxicity of continuous cropping, and the relationship between various factors. The further studies in this filed were also suggested to looking for the theory evidence of mitigation strategies in a safe, environmental and effective way.

**Key words:** Continuous cropping obstacle (CCO); Soil-borne diseases; Autotoxicity; Rhizosphere microorganisms