

经济作物连作障碍的研究进展

杨泽宇¹, 杨心怡¹, 李云涛¹, 雷自耕¹, 李亚东^{2*}, 杨兰芳^{1*}

¹湖北大学资源环境学院, 湖北 武汉

²湖北大学生命科学学院, 湖北 武汉

Email: ¹lyd55555@sina.com, ¹lfyang@hubu.edu.cn

收稿日期: 2021年3月1日; 录用日期: 2021年3月30日; 发布日期: 2021年4月6日

摘要

当同种作物或其亲缘作物在同一块土地上连续种植时, 导致作物出现生长状况变差、产质量下降等现象称为连作障碍。连作障碍不仅影响作物的产量和品质, 也会对土壤生态环境造成危害, 成为国内外学者的研究热点之一。本文综述了经济作物连作障碍的原因及其防治措施, 为提升经济作物的效益和潜力, 促进农业经济的可持续发展提供共参考。经济作物容易发生连作障碍, 主要与经济作物生长对土壤组成、理化性质、生物学性质改变和化感自毒物质的累积有关。连作障碍会导致经济作物生长不良, 抗性降低, 从而使产量和质量下降, 生产成本增加, 经济效益降低。一般可以从改良土壤、更换作物类型、改变耕作模式、合理施肥、施用土壤微生物调节剂、培养抗性品种等方面来防治经济作物的连作障碍。防治连作障碍要密切结合生产实践, 因地制宜, 注重经济效益、生态效益和社会效益相结合。

关键词

连作障碍, 经济作物, 发生原因, 土壤改良, 防治技术

Research Progress on Continuous Cropping Obstacles of Economic Crops

Zeyu Yang¹, Xinyi Yang¹, Yuntao Li¹, Zigeng Lei¹, Yadong Li^{2*}, Lanfang Yang^{1*}

¹Faculty of Resource and Environment Science, Hubei University, Wuhan Hubei

²School of Life Science, Hubei University, Wuhan Hubei

Email: ¹lyd55555@sina.com, ¹lfyang@hubu.edu.cn

Received: Mar. 1st, 2021; accepted: Mar. 30th, 2021; published: Apr. 6th, 2021

*通讯作者。

文章引用: 杨泽宇, 杨心怡, 李云涛, 雷自耕, 李亚东, 杨兰芳. 经济作物连作障碍的研究进展[J]. 环境保护前沿, 2021, 11(2): 156-163. DOI: 10.12677/aep.2021.112016

Abstract

When the same crops or their relatives are continuously planted on the same soil, the phenomenon that the crops grow worse or the yield and quality of plants decrease is called continuous cropping obstacles. Continuous cropping obstacle not only affects the yield and quality of crops, but also destroys the soil ecological environment, which has become one of the research hotspots of scholars from both China and overseas. This article summarizes the reasons for continuous cropping obstacles of cash crops and their control methods which provides a common reference for improving the benefits and potential of economic crops and promoting the sustainable development of agricultural economy. Continuous cropping obstacles happen easily on economic crops, which are mainly related to the changes in soil composition, physical and chemical properties, biological properties and the accumulation of allelochemicals. Continuous cropping obstacles can reduce the growth and resistance of economic crops, which result in lower yield and quality, increased production costs, and lower economic benefits. In general, continuous cropping obstacles can be prevented from improving soil, changing crop types or farming patterns, fertilizing reasonably, applying soil microbial regulators, and cultivating resistant varieties. The prevention and control of continuous cropping obstacles must be closely integrated with production practices, adapted to local conditions, and focus on the combination of economic, ecological and social benefits.

Keywords

Continuous Cropping Obstacles, Economic Crops, Cause, Soil Improvement, Control Technology

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在土地资源有限、农业经济发展和产业结构调整等因素的影响下，我国集约化种植不断提高，作物连作十分常见[1]，连作障碍这一世界难题在中国普遍发生，严重影响中国农业的可持续发展，给国民经济带来了不可估量的损失[2]。经济作物产业的发展与人类的吃喝住行息息相关，既体现了经济价值，也从不同维度体现了生态价值、审美价值、药用价值等[3] [4]。近年来，中国经济作物种植面积不断增加[5]。其中，特色经济作物在“量”与“质”上的追求对农业生产具有重要意义。但在经济利益的驱动下，经济作物的种植方式常为连作或复种，易发生连作障碍，影响经济作物的生长甚至引起植株的死亡。

本文综述了土壤连作障碍的发生机理及其对经济作物在生长、产量、品质和效益四个方面的影响，并总结了经济作物连作的防治措施，为有效控制土壤连作障碍对经济作物的影响，促进经济作物的可持续发展提供参考。

2. 土壤连作障碍发生的原因

2.1. 土壤组成成分的变化

经济作物因其本身生长需要特殊物质，一方面会奢侈吸收某些养分，而导致土壤养分不平衡，连续种植中会造成某些养分的缺乏或过量，不利于植物的生长发育；另一方面，植物的养分奢侈吸收特性在

一定程度上会提高作物的营养价值，为人类的需要所利用[6]，连作时间越长带走的养分就越多，土壤养分不平衡就越严重。因此连作中经济作物既可能发生某些元素的缺乏症状，又可能发生某些的元素中毒症状。另外，植物的残体和分泌物输入土壤将直接使土壤的组成成分发生变化，将对下一茬栽种的经济作物产生影响，形成“植物-土壤”的相互反馈机制。

2.2. 土壤理化性质的变化

各类经济作物因其生理和组成的特殊性，导致其对土壤水分、养分、空气的吸收利用不同于普通作物，从而对土壤环境产生影响，土壤环境条件的变化都可能影响其生长状况、产质量和农业生产的收益率[7]。百合连作导致土壤盐分聚积、板结加剧、持续酸化，土壤中的各类养分失衡，部分酶活性减弱，土壤质量和肥力下降，植株难以从土壤中汲取利用养分，生长受到限制甚至绝收[8]。研究表明，连作年限的增加会使种植地的土壤理化性质趋向不利于植株生长的方向改变。马铃薯随连作次数的增加使土壤pH值不断降低，土壤有机质和无机盐含量呈上升趋势，过氧化氢酶活性显著增加，土壤微生态环境恶化[9]。张璐[10]通过盆栽模拟甜瓜连作发现，土壤中酚酸类物质的含量随种植年限的增加而呈明显增长，对作物生长不利。

2.3. 土壤生物学性质的改变

土壤微生物作为分解者参与土壤能量转换、养分循环等环节，影响土壤生态系统的稳定程度，进而直接或间接对作物的生长起到促进或抑制作用。多项研究指出，重茬病害的发生与土壤微生物数量、类型及群落结构的异动密不可分[11]，而土壤微生物的改变又将作用于土壤环境，使土壤酶活性发生变化。

张周等[12]的研究表明，玉竹经连作后的根际土壤微生物区系构成受到影响显著，表现为土壤细菌、放线菌和部分功能微生物的数量下降，真菌的数量增加，不利于维持土壤微生态的质量。Lei Tian等[13]的研究表明，栽培大豆与野生大豆在连作四季后细菌群落结构不断变化，真菌群落结构呈稳定趋势，但二者根际真菌种类不同，故不同品种的作物在连作相同的次数后土壤连作障碍程度不同。茶树连作10年和20年土壤中的植物病原菌数量显著高于0年和1年的土壤[14]，因此同一作物在随着连作年限的增加土壤环境改变程度不一。连作障碍使土壤微生物环境改变的同时，酶环境也发生变化。多数研究表明，百合随着连作年限的增加，过氧化氢酶和蔗糖酶活性降低，碱性磷酸酶和脲酶活性增加[15]。

由此可见，各生物因素受土壤连作障碍影响发生变化，且大部分作物的土壤类型由细菌型逐渐向真菌型转变[16]，酶环境变化，从而影响连作地块的土壤肥力，使作物生长的土壤生态环境劣化，进而使其生长质量、最终产量受损。但土壤真菌群落结构对连作的响应因作物类型而异[17]。当下土壤连作障碍与土壤生物因素的研究多是从土壤微生物的角度着手，但土壤动物也是土壤生态系统中不可忽视的物种之一[18]，关于土壤动物的异动是否是连作障碍发生的机理之一的探究颇为少见。利用已知的经济作物连作后土壤生物因素发生的变化来解决重茬问题，是当下值得思考和研究的方向。

2.4. 化感自毒物质的累积

化感作用是指植物通过根系分泌物、残体腐解、挥发淋溶等方式同土壤中各类生物因素产生的代谢产物向土壤环境释放化学物质，对作物本身或周围生物的生存繁衍起到促进或抑制的一种化学相互作用[19][20]。自毒作用是化感的一种特殊表现形式，它会抑制作物本身或同科作物的正常生长发育，是连作障碍发生的主要原因之一。

经济作物的化感自毒主要表现在两个方面，一是作物的化感物质在土壤中大量积累，抑制有益生物的生存或促进土壤有害生物的生长繁殖，导致土壤微生境恶化，进而导致连作障碍的发生或加剧连作障

碍的程度。通过对当归连作与轮作的实验对比发现,前者根际土壤中的尖孢镰刀菌数量相较于后者增加显著,是当归发生连作障碍的主要因素之一[21]。当归根部的微生态系统是“植物-种植地微生物-环境”三者相互作用的复杂系统,由于连作与轮作后产生的化感物质含量有差异,可能导致各类细菌或真菌的存活状况受影响,即使是微小的变动也会造成当归品质上的改变。二是化感物质会直接抑制作物生长甚至破坏细胞结构、影响基因表达、干扰分裂过程等,产生自毒作用[22]。龚成文等[23]的研究表明,连作后的当归会释放化感物质破坏自身的根系细胞膜、线粒体结构和叶绿体,使病虫害易于侵入,光合作用和蒸腾作用减弱,进而使有机物积累减少,当归的品质下降。

自毒物质对作物产生毒害作用时可能涉及一系列代谢、转录、调控等机制机理,是复杂的综合作用的结果[24]。当前对各类经济作物化感自毒物质进行研究时,提取的多为混合物,但具体作用成分尚不明。发现新的科学方法查明释放的有效化学物质和寻找降解毒害物质的绿色途径有待深入研究。

在经济作物生长中,总有部分枯枝落叶和根系残体等残留在土壤中,而这些残体本身的物质以及在转化过程中会产生对经济作物自身生长有害的化感自毒物。多数生物一般对自身残体有一种先天性抵触,就如同人类抵触自身尸体和排泄物一样。因此尽量清理掉经济作物的残体,也许是降低连作障碍一种可行措施。

3. 土壤连作障碍对经济作物的影响

3.1. 土壤连作障碍对经济作物生长的影响

陆生植物作为地上与地下的关键连接,与土壤存在相互反馈的过程、机制和格局,两者之间的关系是陆地生态系统响应全球变化的重要组成部分,影响着整个生态系统的结构和功能[25]。经济作物对土壤环境的适应度和适宜度更是直接影响其生长发育的进程,与最终产质量息息相关,因此土壤连作障碍对经济作物生长进程的负效应不容忽视。李自博[26]对重茬六年的人参根系分泌自毒物质进行研究,明确指出五种酚酸物质对人参种子萌发及幼苗生长有较强的抑制作用。设施大棚中连作黄瓜的根系活力随连作年限增加而显著降低[27],经实验分析得知这可能是由于化感物质苯丙烯酸、对羟基苯甲酸引起作物自毒,使连作黄瓜根系活性和抗逆性降低,养分外渗速率加快,生长受抑[28]。王瑞珍等[29]对设施西瓜连作障碍的研究发现,“重茬土壤+西瓜实生苗”植株发病严重,“重茬土壤+西瓜嫁接苗”较“头茬土壤+西瓜实生苗”的茎蔓长且边缘瓜瓢还原糖含量低,差异显著,既制约了西瓜生产的增收增效,也严重阻碍了西瓜产业的可持续发展[30]。

3.2. 土壤连作障碍对经济作物产质量的影响

由于经济作物生长、代谢的特殊性,连作时易发生减产降质,其程度与连作年限呈正相关。新疆棉花普遍采取连作方式进行种植,而连作会导致棉花产量、品质下降,不利于实现预期的经济效益[31]。烤烟连作后,其致香物质含量迅速降低,有害物质尼古丁含量不断升高,产量明显下降,严重时甚至会降低至85%以上,经济损失巨大[32]。花生的连作障碍在产质量的表现为荚果产量降低,连作年限越久,花生田致病菌、害虫积累越多,产质量显著降低[33]。甄文超等[34]对草莓连作的研究发现,草莓连作两年比正茬种植的单株减产幅度可达39.4%,最终减产高达50.1%。

土壤连作障碍对各类经济作物产质量的影响是一个累积过程。从纵轴看,也就是一株植株的生长的角度观之,各不利因素从苗期开始不断积累,在蕾期、开花期及结果期期间,再植病害出现、生长状况愈下、发育期延迟等最终产质量下降显著。从横轴看,也就是从连作年限的延长观之,这样的累积随连作年限的增加而增加,连作障碍愈发严重,作物产量、品质呈显著下降趋势。

3.3. 土壤连作障碍对经济作物效益的影响

经济作物的栽植影响当地的经济效益和国家农业经济的整体发展，“高产、高效、优质、生态、安全”是现代农业发展的方向目标。但根据多数研究结果表明，连作障碍的发生使得种植作物的产质量受损、易发生病虫害，甚至还会影响当地土壤质量，进而直接或间接造成经济作物的效益降低。直接影响体现在经济作物的生长减缓、产量下降和品质变劣使种植户的经济效益受损。Gao Tengting [35]等对苹果树的研究表明，苹果再植病对果树的危害会延缓农户收成时间，降低出售价格，从而造成经济损失。间接影响体现在两个方面，一是经济作物易遭受病虫害，种植户为保护作物，需提高生产成本，采用各类方式确保植物的正常生长；二是土壤质量受损，农户为使植物能够获得生长所必需的养分，需增施肥料或为作物提供人工养分，弥补土壤因连作障碍产生的缺陷，从而导致作物的经济效益下降。

4. 经济作物连作障碍的防治

在经济利益的驱动下，经济作物普遍采用连作方式种植。因物、因地制宜，选取科学有效的治理措施克服连作障碍是经济作物产业可持续生产的当务之急。当下防治措施可归为五大类，一是通过物化方式及添加生物因子、化学物质等措施改良土壤；二是优化种植制度和种植方式；三是因土制宜；四是直接作用于作物，对其进行选育、嫁接等；五是合理施肥和施用土壤生物调节剂。

4.1. 改良土壤

各类研究发现客土换土、施用生物质炭、添加有机肥、喷洒植物源农药、采用物化灭菌消毒、生物防治、控温控湿等手段进行土壤改良。上述可起到改善土壤微生境、改良土壤理化性质、提高土壤肥力和有效性，起到治理连作障碍的作用[34] [36]。需要注意的是，物化消毒、添加物化因素和生物因子虽能有效改良土壤、解决连作障碍，但投入成本高，并且可能会出现药物残留问题或因控制不当将损害土壤有益微生物起到负作用[37]。因此应对各类经济作物的连作土壤进行科学分析，查明缺少的生物因子、营养成分以及损伤的土壤物理结构，在成效最大、成本最低、副作用最小的综合考量上进行土壤改良。

4.2. 优化种植制度和方式

采取轮作、间作是降低或消除连作障碍的有效方法之一[38]。合理轮作、间作有利于降低化感自毒作用、减轻病虫害的发生率和严重程度，同时提高光能、水、温、肥利用率及土壤质量，从而有利于作物的正常生长和品质优化。但不同轮作或间作作物的缓解效应不同，并且各地气候因素、耕作习惯及各类作物所需轮作年限不同[39]，该方法具有一定局限性，推广难度较大[37]。

4.3. 因土种植

由于各类植物生长所需的矿质元素、养分养料、水分湿度不一，因此对种植土的要求也不相同。甜菜和甘蔗作为我国的两大糖料作物，具有广泛的种植范围和极高的经济价值。其中，甜菜多种植在北方，缺硼易得黑心病，而甘蔗对温度和光照的要求使其适合在南方栽种。土壤连作障碍使种植土的组成成分、理化性质改变，土壤质量随之受到影响。根据连作障碍后土壤的实际变化选择其他适宜的作物进行栽植，有利于降低耕作成本，同时能够合理利用耕地，并使耕地得到恢复。

4.4. 改良品种

不同品种抵抗连作障碍的能力不同，栽植抗性经济作物可在一定程度上减少连作障碍的影响。当土壤酸化严重时则选育耐酸性强的栽培品种，如西洋菜等；若土壤盐渍化较强时便可筛选耐盐性较强品种

的进行栽培[40]。另外,即使是同一品种的不同植株对连作障碍的抗性不一,且这类抗性具有遗传性。根据已掌握的经济作物信息,针对性地对品种进行选种、配种、定向培育等,保留有利性状并不断加强,获得有效抵抗或耐受连作障碍的品系。但该方法技术性要求高、花费成本大。嫁接栽培通过改变根系环境使植株受自毒迫害的程度减小,增强了对土壤中有效矿质成分、水分、有机物的摄取能力,实现产质量的提升[41][42]。

4.5. 合理施肥和施用土壤生物调节剂

根据经济作物的需肥特性合理补偿和平衡土壤养分,注重有机肥与化肥的配合,大量、中量和微量元素肥料的配合。生物炭作为新兴的土壤改良措施,常见于缓解连作障碍的研究中。兰州百合的株高随生物炭施用量的增大而提高,在一定程度上缓解了连作障碍[43],连作植烟土壤在施用不同生物炭下土壤品质得到改善,调节 pH 至适宜水平,土壤全氮、碱解氮、速效钾磷含量随着生物炭用量的增加而表现出先增加后降低的趋势[44]。另外,还需注重土壤检测与植物分析相结合,因地制宜确定施肥方案。合理选用菌根肥、微生物肥等生物肥料,改善连作障碍土壤的微生物数量、类型和群落结构,提升其克服连作障碍的能力。

4.6. 其他

当下,除以上防治措施外,还可采用无土栽培,借助 3DT 系列土壤连作障碍处理机、空间电场-CO₂ 同补技术系统等科技手段进行经济作物的连作障碍治理[4]。在处理土壤连作障碍时可合理的综合多种方法同时进行,除了考虑连作障碍能否有效解决、是否符合经济利益等外,也应考虑土壤的可持续化利用,在不破坏种植地生态环境的基础上进行治理。

5. 小结

土壤理化性质劣化、土壤生物因素受影响、发生化感自毒现象等相互作用的结果是经济作物连作障碍发生的机制机理,所造成的后果体现在作物的生长进程受抑、重茬病害严重和产质量降低上,并随连作年限的延长而严重程度增加。当下,应因地、因作物制宜,选取改良土壤、优化种植制度和种植方式、选育抗连作经济作物、嫁接以及改良作物等手段进行治理,恢复土壤生境,提高土壤质量,以此推动经济作物产业发展,使农业经济效益提升,并与生态效益和社会效益和谐统一。

基金项目

湖北省技术创新专项重大项目(2018ABA097);湖北省大学生创新创业训练计划项目(S201910512086)。

参考文献

- [1] 耿贵,杨瑞瑞,於丽华,吕春华,李任任,王宇光. 作物连作障碍研究进展[J]. 中国农学通报, 2019, 35(10): 36-42.
- [2] 侯慧,董坤,杨智仙,董艳,汤利,郑毅. 连作障碍发生机理研究进展[J]. 土壤, 2016, 48(6): 1068-1076.
- [3] 马华青. 农业经济作物在城市园林景观中的应用[J]. 南方农业, 2014, 8(18): 76-77.
- [4] 张菊,李艳萍,赵远,刘因华,夏海梅,王胤骁. 药用植物连作障碍及其缓解措施研究进展[J]. 云南中医中药杂志, 2019, 40(11): 86-88.
- [5] 农业农村部种植业管理司. 新中国成立 70 年来我国经济作物产业和粮食生产情况[J]. 农业工程技术, 2019, 39(33): 48-50.
- [6] 李法云,尚德隆,傅宝荣. 植物对养分的奢侈吸收及其应用前景[J]. 食品研究与开发, 1999(2): 54-57.
- [7] 张立恒,杨凤英,马海峰,赵娜. 果树连作障碍研究进展[J]. 落叶果树, 2019, 51(3): 28-31.
- [8] 陈军华,吴剑锋,方洁,程文亮,吕群丹. 百合连作障碍形成机制及防治技术研究进展[J]. 长江蔬菜, 2019(20):

- 41-47.
- [9] 周华兰, 彭亚丽, 李婷, 谢鹰飞, 唐丽梅, 王榕, 熊兴耀, 王万兴, 胡新喜. 马铃薯连作对土壤理化性质和生物学特性的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2019, 45(6): 611-616.
- [10] 张璐. 连作甜瓜土壤中酚酸类物质的变化规律和木霉菌降解作用研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017.
- [11] 王飞, 李世贵, 徐凤花, 顾金刚. 连作障碍发生机制研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2013(5): 6-13.
- [12] 张周, 盛浩, 袁红, 段良霞, 张亮. 玉竹连作对土壤微生物区系的影响[J]. 蔬菜, 2019(10): 15-20.
- [13] Tian, L., Shi, S.H., Ma, L.N., Tran, L.-S.P. and Tian, C.J. (2020) Community Structures of the Rhizomicrobiomes of Cultivated and Wild Soybeans in Their Continuous Cropping. *Microbiological Research*, **232**, 126390. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.126390>
- [14] Li, Y.C., Li, Z.W., Arafat, Y. and Lin, W.X. (2020) Studies on Fungal Communities and Functional Guilds Shift in Tea Continuous Cropping Soils by High-Throughput Sequencing. *Annals of Microbiology*, **70**, 2762-2770. <https://doi.org/10.1186/s13213-020-01555-y>
- [15] 周佳民, 王小娥, 宋荣, 曹亮, 朱校奇, 谢进, 戴艳娇. 百合连作障碍的生物学机理及生物防治技术综述[J]. 湖南农业科学, 2020(11): 104-107.
- [16] 朱绍坤, 赵文东, 孙凌俊, 高圣华, 马丽, 赵海亮. 连作障碍及缓解措施研究进展[J]. 北方果树, 2018(4): 1-3, 11.
- [17] Liu, H., Pan, F.J., Han, X.Z., Song, F.B., Zhang, Z.M., Yan, J. and Xu, Y.L. (2020) A Comprehensive Analysis of the Response of the Fungal Community Structure to Long-Term Continuous Cropping in Three Typical Upland Crops. *Journal of Integrative Agriculture*, **19**, 866-880. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62630-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62630-4)
- [18] 尹文英. 土壤动物学研究的回顾与展望[J]. 生物学通报, 2001, 36(8): 1-3.
- [19] 吕丰娟, 肖运萍, 魏林根, 汪瑞清, 袁展汽, 林洪鑫, 刘仁根. 根系分泌物的生态效应与作物连作障碍关系研究进展[J]. 江西农业学报, 2016, 28(10): 8-14.
- [20] Schandry, N. and Becker, C. (2020) Allelopathic Plants: Models for Studying Plant-Interkingdom Interactions. *Trends in Plant Science*, **25**, 176-185. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.11.004>
- [21] 叶文斌, 樊亮. 当归轮作和连作根际土壤中致病菌变化研究[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(18): 4364-4367, 4392.
- [22] 黎韵琪. 药用植物化感作用研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2017(6): 141-145.
- [23] 龚成文, 谢志军, 米永伟, 武伟国, 藺海明, 孙裕, 张东佳. 当归栽培研究进展[J]. 中国中医药科技, 2018, 25(5): 772-775.
- [24] 李丽, 蒋景龙. 西洋参化感自毒作用与连作障碍研究进展[J]. 分子植物育种, 2018, 16(13): 4436-4443.
- [25] 王邵军. “植物-土壤”相互反馈的关键生态学问题: 格局、过程与机制[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020: 1-11.
- [26] 李自博. 人参根系自毒物质在连作障碍中的化感作用及其缓解途径研究[D]: [博士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018.
- [27] 李明, 税军峰, 马永清. 化感作用在设施黄瓜连作中的应用研究[J]. 中国生态农业学报, 2006(4): 25-28.
- [28] 吕卫光, 张春兰, 袁飞, 彭宇. 化感物质抑制连作黄瓜生长的作用机理[J]. 中国农业科学, 2002(1): 106-109.
- [29] 王瑞珍, 李国军, 许丽, 陈宝玉, 王嫣嫣, 沈亚洲, 汪祥宏. 设施西瓜连作障碍防控技术研究——不同栽培措施对西瓜产量及品质的影响[J]. 上海蔬菜, 2019(4): 72-74, 77.
- [30] 王克海. 西瓜连作障碍及克服措施分析[J]. 中国果菜, 2019, 39(3): 64-66.
- [31] 张智勇. 新疆长期连作棉花根系对连作障碍消减措施的生理生态响应[D]: [硕士学位论文]. 石河子: 石河子大学, 2019.
- [32] 陈凡. 烤烟栽培中植物连作障碍与调控技术探究[J]. 农村经济与科技, 2019, 30(8): 25-26.
- [33] 唐朝辉, 郭峰, 张佳蕾, 杨莎, 孟静静, 耿耘, 王建国, 李新国, 万书波. 花生连作障碍发生机理及其缓解对策研究进展[J]. 花生学报, 2019, 48(1): 66-70.
- [34] 甄文超, 代丽, 胡同乐, 曹克强, 孔俊英. 连作对草莓生长发育和根部病害发生的影响[J]. 河北农业大学学报, 2004(5): 68-71.
- [35] Gao, T.T., Liu, Y.S., Liu, X.M., Zhao, K., Shan, L., Wu, Q., Liu, Y., Zhang, Z.J., Ma, F.W. and Li, C. (2020) Exogenous Dopamine and Overexpression of the Dopamine Synthase gene MdTYDC Alleviated Apple Replant Disease. *Tree Physiology*, **10**, tpaal154. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpaa154>

- [36] 서문원, 이성우, 이승호, 장인복 and 허혜지 (2019) Effect of Green Manure Incorporation and Solarization on Root Rot Disease of 3-Year-Old Ginseng in Soil of Continuous Cropping Ginseng. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*, **27**, 284-291. <https://doi.org/10.7783/KJMCS.2019.27.4.284>
- [37] Mazzola, M., Graham, D., Wang, L.K., Leisso, R. and Hewavitharana, S.S. (2020) Application Sequence Modulates Microbiome Composition, Plant Growth and Apple Replant Disease Control Efficiency upon Integration of Anaerobic Soil Disinfestation and Mustard Seed Meal Amendment. *Crop Protection*, **132**, 105125. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105125>
- [38] 李贺勤, 李星月, 刘奇志, 张林林, 白鹏华, 白春启, 王玉玲. 连作障碍调控技术研究进展[J]. 北方园艺, 2013(23): 193-197.
- [39] Xiao, X.M., Cheng, Z.H., Lv, J., Xie, J.M., Ma, N. and Yu, J.H. (2019) A Green Garlic (*Allium sativum* L.) Based Intercropping System Reduces the Strain of Continuous Monocropping in Cucumber (*Cucumis sativus* L.) by Adjusting the Micro-Ecological Environment of Soil. *PeerJ*, **7**, e7267. <https://doi.org/10.7717/peerj.7267>
- [40] 梁建鸿. 浅谈设施蔬菜连作障碍原因及防治措施[J]. 农业技术与装备, 2020(1): 152-153.
- [41] 胡海军, 吴亚男, 鄂洋, 高智席. 设施园艺作物连作障碍研究进展[C]//中国园艺学会. 全国设施园艺产业发展与安全高效栽培技术交流会论文汇编. 武汉: 中国园艺学会, 2015: 39-44.
- [42] Reim, S., Siewert, C., Winkelmann, T., Wöhner, T., Hanke, M.-V. and Flachowsky, H. (2019) Evaluation of *Malus* Genetic Resources for Tolerance to Apple Replant Disease (ARD). *Scientia Horticulturae*, **256**, 108517. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.044>
- [43] 达艳凤, 崔佳佳, 刘青林, 王琦, 张恩和. 生物炭施用量对兰州百合连作障碍的缓解效应[J]. 中药材, 2020(12): 2874-2878.
- [44] 邱岭军, 张翔, 李亮, 李琦, 索炎炎, 程培军, 司贤宗, 常栋. 生物炭施用量对土壤特性和烟叶产质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(18): 153-156.