

# 烟草与中草药种植模式研究进展

夏秀清<sup>1</sup>, 温亮<sup>2</sup>, 程云吉<sup>2</sup>, 韩中波<sup>3</sup>, 刘中庆<sup>3</sup>, 李军民<sup>4</sup>, 曹长代<sup>4</sup>, 杜玉海<sup>3</sup>, 刘洋<sup>3</sup>,  
范增博<sup>3</sup>, 张东东<sup>5</sup>, 王忠艳<sup>6</sup>, 侯欣<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup>山东省临沂市蒙阴县蒙阴街道办事处, 山东 临沂

<sup>2</sup>山东临沂烟草有限公司, 山东 临沂

<sup>3</sup>山东潍坊烟草有限公司, 山东 潍坊

<sup>4</sup>山东日照烟草有限公司, 山东 日照

<sup>5</sup>山东中烟工业有限责任公司, 山东 济南

<sup>6</sup>山东农业大学植物保护学院, 山东 泰安

收稿日期: 2024年3月4日; 录用日期: 2024年4月3日; 发布日期: 2024年4月11日

## 摘要

近年来随着集约农业的发展, 作物多样化被认为是减少农业对环境的影响而又不损害其生产力的一种方式。在这种情况下, 作物轮作和间作, 即在一块地里有计划地种植两种或两种以上的作物, 是一种很有前途的做法。烟草是我国重要的经济作物, 中草药在疾病预防和治疗中起着至关重要的作用, 两者在栽培过程中均存在连作障碍。本文分析了烟草与中草药的两种种植模式在世界范围内研究和实践的进展, 以优化轮间作高效生产技术, 提高资源利用效率。

## 关键词

烟草, 中草药, 种植模式, 轮作, 间作

# Research Progress on Planting Patterns of Tobacco and Chinese Herbal Medicine

Xiuqing Xia<sup>1</sup>, Liang Wen<sup>2</sup>, Yunji Cheng<sup>2</sup>, Zhongbo Han<sup>3</sup>, Zhongqing Liu<sup>3</sup>, Junmin Li<sup>4</sup>,  
Changdai Cao<sup>4</sup>, Yuhai Du<sup>3</sup>, Yang Liu<sup>3</sup>, Zengbo Fan<sup>3</sup>, Dongdong Zhang<sup>5</sup>, Zhongyan Wang<sup>6</sup>,  
Xin Hou<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup>Mengyin Street Office, Mengyin County, Linyi Shandong

<sup>2</sup>Shandong Linyi Tobacco Limited Company, Linyi Shandong

<sup>3</sup>Shandong Weifang Tobacco Limited Company, Weifang Shandong

<sup>4</sup>Shandong Rizhao Tobacco Limited Company, Rizhao Shandong

<sup>5</sup>Shandong China Tobacco Industry Company of Limited Liability, Jinan Shandong

\*通讯作者。

文章引用: 夏秀清, 温亮, 程云吉, 韩中波, 刘中庆, 李军民, 曹长代, 杜玉海, 刘洋, 范增博, 张东东, 王忠艳, 侯欣. 烟草与中草药种植模式研究进展[J]. 农业科学, 2024, 14(4): 399-406. DOI: 10.12677/hjas.2024.144051

## Abstract

In recent years, with the development of intensive agriculture, crop diversification is considered as a way to reduce the impact of agriculture on the environment without harming its productivity. In this case, crop rotation and intercropping, that is, the planned planting of two or more crops in one field, is a promising practice. Tobacco is an important economic crop in China. Traditional Chinese medicine plays an important role in disease prevention and treatment, both of which have continuous cropping obstacles in the process of cultivation. This paper analyzes the progress of the research and practice of the two planting modes of tobacco and Chinese herbal medicine in the world, in order to optimize the efficient production technology of intercropping and improve the efficiency of resource utilization.

## Keywords

Tobacco, Chinese Herbal Medicine, Planting Pattern, Crop Rotation, Intercropping

Copyright © 2024 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. 研究背景

近年来, 由于全世界对粮食的需求不断增加, 集约农业显著增长[1]。作为集约农业创新的亚洲绿色革命使谷物产量增加了两倍, 但由于它增加了肥料、农药、灌溉和农业机械的应用, 导致化肥的过度使用和资源的浪费, 从而加剧土壤退化和环境污染, 如温室气体排放和土地和水体的富营养化[2] [3]。此外, 世界粮食供应的组成越来越均匀, 物种丰富度越来越低[4]。作物物种多样性的丧失可能会使全球粮食生产的可持续性和稳定性降低[5] [6], 并增加对作物保护的需求, 以防止害虫、疾病和杂草。作物多样化被认为是减少农业对环境的影响而又不损害其生产力的一种方式。为了以可持续的方式满足全球对作物的需求, 需要提高农业生产和降低环境足迹[7] [8]。未来的农业预计将通过提高生产力、减少环境影响、加强气候变化适应和缓解来同时解决几个相互交织的挑战[9] [10]。作物轮作(时间多样化)和间作(空间多样化)策略已被证明可以提高农业可持续性[11] [12], 在作物生产力和其他生态系统服务之间进行权衡[13] [14] [15]。因此, 如何最大限度地发挥轮间作系统的优势, 在提高农业可持续性的同时实现稳产, 是研究者应继续关注的问题。本文综述了国内外轮间作高效作物生产理论与技术的发展, 以期优化轮间作高效生产技术提供依据。

## 2. 国内外研究现状

### 2.1. 连作障碍

#### 2.1.1. 连作概念及其危害

连作障碍是指同一作物或近缘作物连作后, 即使在正常栽培管理情况下, 也会产生产量降低、品质

变劣、生育状况变差的现象。

连作障碍在农业生产中普遍存在,如花生[16]、水稻[17]、三七[18]、枸杞[19]等,使土壤理化性质恶化,植株生长发育受阻,严重影响了农业生产。禹桃兵等(2023)研究了不同连作年限的花生,随着连作年限的延长,土壤肥力下降,土壤酶活性降低,病原微生物数量增加,土传病害加重,致使作物产量降低[16]。还有研究表明[20][21][22],连作导致土壤容重增大,通气孔隙比例相对降低,含盐量逐渐增加,有次生盐渍化倾向,氮、磷、钾养分比例失调,严重者甚至会出现根际亏缺,同时土壤酶活性降低,土壤微生物多样性失衡,土壤结构被严重破坏。重要经济作物烟草长期连续的单作对耕作土壤的理化和生物学特性产生了负面影响,不仅使土壤养分亏缺,土壤理化性状恶化,而且随着连作年限的增加,土壤细菌群落多样性逐渐降低,土壤微生物区系组成发生改变[23]。连作导致微生物趋向单一,病原菌数量增多,作物抗性降低[24]。随连作年限的增加,土壤中的细菌逐渐减少,真菌逐渐增加,具有明显的真菌化趋势[16]。

### 2.1.2. 连作障碍产生机理

连作障碍是植物-土壤-微生物及其环境等诸多因素综合作用的外在表现。目前普遍认为,土壤养分亏缺或失衡、土传病虫害积聚、土壤生态环境的破坏和植物自毒作用是连作障碍产生的主要原因。总的可以归纳为:(1)连作造成土壤养分失调。植物在生长过程中对土壤养分具有特定的选择性吸收规律,特别是对某些中量、微量元素有着特殊需求,长期连作往往会造成土壤养分的不均衡,致使作物体内各种养分比例失调,进而出现生理和功能性障碍,从而影响植株生长,造成作物减产[25]。(2)连作造成植物自毒作用。在连作条件下,土壤生态环境特别是病原微生物代谢产物、植物茎叶挥发和淋洗物、植物残体腐解物以及根系分泌物的化感作用等促进有机酸和萜烯类物质的积累,从而抑制作物的生长发育[26]。(3)连作造成根际微生态系统失衡。根际微生态系统失衡是连作产生的普遍现象,并被认为是连作障碍发生的主要原因。许多研究都认为,随着连作年限的增加,土壤从细菌型向真菌型转化[16],细菌型土壤是土壤质量良好的一个生物指标,而真菌型土壤则是地力衰竭的标志。(4)连作造成土传病虫害积聚。连作为根系病原菌提供了寄生和繁殖场所,造成病原菌积累,再加上过度施用农药导致病原菌抗药性增加,使农业生态环境恶化[25]。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[27],已严重制约了农业的发展。

### 2.1.3. 连作障碍的防治办法

在农业生产中,轮间作是缓解连作障碍的有效措施。

轮作是指在一定年限内在同一地块上有顺序地轮换种植不同作物或轮换采用不同复种方式的种植方式,是农田地用养结合、提高产量和改善农田生态环境的一项农业技术措施[28]。轮作在一定程度上改善了土壤结构,降低土壤容重,增加土壤孔隙度,并在一定程度上增加土壤团聚体含量并增加土壤入渗能力和保水能力[29][30],且对土壤速效磷的积累和改善有一定的促进作用[31]。在低产区和低投入水平下引入豆科会使得轮作系统具有更强的增产潜力,增强了后茬小麦产量的抵抗力和恢复力,并且在改善土壤生态系统多功能性方面具有一定的作用[32]。轮作可以改变土壤微生物群落的组成和功能基因,春甘薯-冬小麦-夏玉米轮作制度降低了与植物病原相互作用相关的基因[33]。对花生连作栽培研究中发现,连作栽培促使土壤中出现了诱发花生根腐病的病原菌,并且根腐病的发病率显著高于轮作[34],随着连作年限的延长,大部分土壤养分和酶活性以及花生产量显著降低[16]。通过研究不同作物轮作对苹果连作土壤及再植植株的影响,得出不同轮作作物对连作土壤环境影响差异显著[35],故轮作时应选取适宜作物,只有合理的轮作模式对平衡耕层土壤微环境和提高作物产量才有着重要的意义。

间作是一种涉及两种或两种以上作物品种或基因型的农业实践,在现代集约农业的边缘,间作在许

多自给或低投入/资源有限的农业系统中很重要。通过提供比单一作物种植更高的单位土地产量,为可持续性农业集约化提供了新的方案。间作可以提高光、热、水、肥等资源的利用效率,有效提高单位面积土地的初级生产力,从而为全球粮食安全[36]和提高生产效率和农民的经济效益[37] [38]做出重大贡献。间作能改变作物系统内环境和土壤环境,玉米和花生间作通过根系特性诱导微生物坏死团的增加来增加土壤大团聚体C,从而促进有机碳的积累[39]。与单作相比,玉米-大豆和小麦-大豆系统中的种间促进作用明显促进了土壤氮素供应和水分补充利用,有利于提高生物量、产量和土壤活性碳输入[40]。合理的间作体系可优化土壤微生物群落结构,使土壤健康发展。马琨等(2016)研究表明马铃薯连作使土壤类型由细菌型向真菌型转化,与玉米、蚕豆间作分别显著影响了微生物群落功能多样性、结构多样性[41]。作物多样性的增加可以增加家庭收入,改善营养和粮食安全,并减轻贫困[42]。Li 等人(2021)的研究表明[11],将玉米与不同豆类作物间作可以使农民的净利润平均增加 47%。

## 2.2. 烟草连作障碍

### 2.2.1. 我国烟草种植状况

烟草(*Nicotiana tabacum*)属于真核域(Eukarya)、植物界(Plantae)、被子植物门(Magnoliophyta)、双子叶植物纲(Magnoliopsida)、茄目(Solanales)、茄科(Solanaceae)、烟草属(*Nicotiana*)。烟草是我国重要的经济作物之一,具有很高的经济价值,也是烟区农民收入、地方财政和国家税收的重要来源。我国是烟草种植大国,常年种植烟草面积有 100 多万公顷,烟叶年产量达 200 多万吨。烟叶在我国多个省(市、区)均有种植,其中云南、贵州、湖南、河南、四川、福建、湖北、重庆、陕西和山东十省烟叶播种面积占全国九成以上的比例。

烟草具有很高的经济价值,对地方经济和国家税收都具有突出的作用。近年来,由于适宜植烟的土地面积的有限性,以及受经济利益的驱动,各大烟区的烟草连作已是一种普遍现象。烟草本身是一种忌连作作物,在栽培过程中连作障碍严重[23],连作导致土壤养分失调,烟田有害物质积累,烟草植株矮小,生长速度迟缓,土传病虫害加剧,最终造成其产量和品质的显著降低。据统计每年由于烟草连作带来的直接及间接经济损失高达 40 亿元,这已经严重威胁到我国烟草农业的可持续发展。

### 2.2.2. 烟草连作障碍及克服办法研究

烟草是我国重要的经济作物,属茄科忌连作的作物。然而,目前单作连作是我国烟草的主要种植制度,即在相同的土地上连续若干年种植相同的作物。当前,国内外众多学者基于烟草连作障碍的产生及调控方面进行了大量研究。研究表明[23],烟草长期连续的单作对耕作土壤的理化和生物学特性产生了负面影响,不仅使土壤养分亏缺,土壤理化性状恶化,而且随着连作年限的增加,土壤细菌群落多样性逐渐降低,土壤微生物区系组成发生改变,且随着植烟年限的延长,表层土壤酸化明显[43] (姜翼来等,2007)。连作造成的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,郭亚利等(2007)研究表明烟草根系分泌物中存在多种自毒作用物质,抑制烟草生长和养分吸收,随着自毒物质的不断积累,根际微生态环境失调,最终致使烟叶降质减产[44]。而轮间作种植模式为解决上述问题提供了较好的思路,在轮间作种植模式层面上我国进行了各类深入研究。

目前已有轮作防治烟草土传病害和改善土壤微生物群落的相关报道。万寿菊-烟草轮作可提高烟株根际土壤细菌群落的多样性和丰富度指数,促使生防菌、功能菌、降解菌和根际促生菌等菌属比例上升,有利于改善土壤微生态环境、缓解连作障碍[45]。孟祥佳等(2022)研究证明,烟草轮作可有效降低田间烟草黑胫病病情指数和根际黑胫病菌数量,提高烟草根际真菌和细菌的群落丰富度和多样性,增加烟草根际多种有益菌的丰度,对改善土壤微生态环境、缓解连作障碍具有积极作用[46]。杨洋等(2020)通过烟田土壤病毒检测明确连续植烟能够增加土壤中病毒的积累量,而烟草-玉米轮作种植模式能够明显减弱病



毒病发生[47]。伍晓丽等(2022)发现烟草与玄参轮作对土壤真菌和细菌的多样性影响不显著,但改变了细菌和真菌的种群结构[48]。结合前人研究发现,不同的作物与烟草轮作主要通过改善土壤微生态环境和分泌抑菌化合物两种机制减少烟草土传病害的发生和危害,但并非所有轮作方式都能获得理想效果,并且与当地气候及土壤环境有密切关系。

目前,关于其他作物与烤烟进行间作种植模式的相关研究在国内外皆有呈现,主要集中在烤烟间作和对烤烟品质和质量等方面以及对土壤生态环境的影响。Wu 等人(2018)研究发现较单作相比,烤烟和甘薯等作物间作在一定程度上有效促进茎秆加粗和叶片增厚,总体而言并未产生明显的不良影响[49]。烤烟与红薯或花生间作可降低根系的特殊分泌物的抑制效果,有利于烤烟生长发育[50]。烤烟间作大豆可显著降低真菌及反硝化细菌的数量,从而提高土壤氮素利用率,加强土传病害控制[51]。烤烟间作对病毒类病有较好的抑制效果,表现为发病率和病情指数的降低,可以在一定程度上控制真菌类病害[52][53],但在针对细菌类病害时效果并不明显[54]。但是仍有研究发现,烤烟和马铃薯间作增加了植株病害如青枯病等主要病害的发病率[55]。因此充分考虑选择合适的种植区域和间作作物才可以达到改善烟叶品质的目的。

### 2.3. 中草药连作障碍

#### 2.3.1. 常见中草药栽培状况

我国是中草药大国,药用植物在疾病预防和治疗中起着至关重要的作用。根据世界卫生组织(WHO)的数据,世界上超过 80%的人口经常使用传统药物来满足初级卫生保健需求。随着对草药、天然保健品和药用植物次级代谢产物需求的增加,药用植物的使用在全世界迅速增长[56]。这些产品的大量需求和消费导致了药用植物资源的短缺,在某些情况下甚至耗尽,导致栖息地破坏和遗传多样性丧失。在中国,人工栽培药材产量约占药材供应总量的 40%,在人工栽培药材中,60%存在较为突出的连作障碍问题[57]。随着药用植物规范化栽培的不断推进及种植面积的不断扩大,连作障碍已成为药用植物栽培过程中的技术瓶颈[58]。中草药连作种植后,植株生长发育不良,药材产量和品质大幅下降,严重影响中草药的种植和发展。

#### 2.3.2. 中草药连作障碍及克服办法研究

目前已有轮作防治中草药土传病害和改善中草药生长状况的相关报道。研究表明,长期连作会提高黄芪根腐病发病率,轮作耕作方式对黄芪幼苗成活率和黄芪生长效果均好于连作耕作方式[59]。广藿香与薄荷轮作的广藿香农艺性状、叶片抗氧化酶活性、百秋李醇含量及土壤微生态指标总体优于广藿香连作的相同指标[60]。广藿香-水稻-广藿香水旱轮作种植模式显著优于广藿香连作的栽培模式,该模式提高了广藿香的产量和有效成分含量,增加了广藿香叶片氮代谢酶活性和根际土壤酶活性,改善了根际土壤的理化性质,同时降低了广藿香根际土壤酚酸含量[61]。万寿菊根系分泌物对土壤线虫有较为广谱的抑制作用,万寿菊与烟草轮作可以通过降低土壤中优势的植物线虫数量来有效改善土壤线虫种群结构,从而减轻烟草线虫病害,提高烟草产量。

大量研究表明中草药间作模式可以有效改善土壤理化性质,提高药材产量和品质。大蒜与当归间作能提高当归产量和优等当归出成率,并能适当减少当归麻口病[62]。李彦妍等(2020)研究证明与万寿菊间作可以限制烟草青枯病的发病率。广藿香间作紫苏可以有效提高土壤蔗糖酶、脲酶和酸性磷酸酶活性,改善广藿香的农艺性状[63]。幼龄茶园行间内间作适宜的中草药品种,不仅可有效地互补茶叶和中草药对光照的需求,提高土地利用效率,而且对改良土壤、提高土壤肥力、改善茶园小气候等起到良好作用[64]。

## 3. 结论

综合以上对国内外研究文献的归纳与分析,目前国内外学者对轮间作种植制度的研究主要集中在轮间作对于土壤理化性质、土壤酶活性、微生物群落结构、作物产量和品质、作物经济效益等领域的影响,

而提高资源利用效率、土壤固碳、根际效应和微生物群落将是今后的研究热点[65]。烟草是世界上最重要的经济作物之一，中草药在疾病预防和治疗中起着至关重要的作用。为了满足全球对这两种关键作物的极高需求，同时最大限度地减少资源消耗和环境破坏，烟草与中草药的轮作和间作模式成为潜在的关键解决方案。总之，本研究有助于从作物多样性及其相关生产要素的角度加深对农业生态系统轮间作种植制度的认识。

## 参考文献

- [1] Muller, A., Schader, C., El-Hage Scialabba, N., Brüggemann, J., Isensee, A., Erb, K.H., *et al.* (2017) Strategies for Feeding the World More Sustainably with Organic Agriculture. *Nature Communications*, **8**, Article No. 1290. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01410-w>
- [2] Bennett, A.J., Bending, G.D., Chandler, D., Hilton, S. and Mills, P. (2012) Meeting the Demand for Crop Production: The Challenge of Yield Decline in Crops Grown in Short Rotations. *Biological Reviews*, **87**, 52-71. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00184.x>
- [3] Brisson, N., Gate, P., Gouache, D., Charmet, G., Oury, F.X. and Huard, F. (2010) Why Are Wheat Yields Stagnating in Europe? A Comprehensive Data Analysis for France. *Field Crops Research*, **119**, 201-212. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.07.012>
- [4] Khoury, C.K., Bjorkman, A.D., Dempewolf, H., Ramirez-Villegas, J., Guarino, L., Jarvis, A., *et al.* (2014) Increasing Homogeneity in Global Food Supplies and the Implications for Food Security. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **111**, 4001-4006. <https://doi.org/10.1073/pnas.1313490111>
- [5] Dempewolf, H., Bordonni, P., Rieseberg, L.H. and Engels, J.M. (2010) Food Security: Crop Species Diversity. *Science*, **328**, 169-170. <https://doi.org/10.1126/science.328.5975.169-e>
- [6] Acevedo, M., Pixley, K., Zinyengere, N., Meng, S., Tufan, H., Cichy, K., *et al.* (2020) A Scoping Review of Adoption of Climate-Resilient Crops by Small-Scale Producers in Low- and Middle-Income Countries. *Nature Plants*, **6**, 1231-1241. <https://doi.org/10.1038/s41477-020-00783-z>
- [7] Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., *et al.* (2010) Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, **327**, 812-818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
- [8] Tilman, D., Balzer, C., Hill, J. and Befort, B.L. (2011) Global Food Demand and the Sustainable Intensification of Agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **108**, 20260-20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
- [9] Wei, X., Long, Y., Yi, C., Pu, A., Hou, Q., Liu, C., *et al.* (2023) Bibliometric Analysis of Functional Crops and Nutritional Quality: Identification of Gene Resources to Improve Crop Nutritional Quality through Gene Editing Technology. *Nutrients*, **15**, Article 373. <https://doi.org/10.3390/nu15020373>
- [10] Raseduzzaman, M.D. and Jensen, E.S. (2017) Does Intercropping Enhance Yield Stability in Arable Crop Production? A Meta-Analysis. *European Journal of Agronomy*, **91**, 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.009>
- [11] Li, X.F., Wang, Z.G., Bao, X.G., Sun, J.H., Yang, S.C., Wang, P., *et al.* (2021) Long-Term Increased Grain Yield and Soil Fertility from Intercropping. *Nature Sustainability*, **4**, 943-950. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00767-7>
- [12] Li, Y., Tian, D., Feng, G., Yang, W. and Feng, L. (2021) Climate Change and Cover Crop Effects on Water Use Efficiency of a Corn-Soybean Rotation System. *Agricultural Water Management*, **255**, Article 107042. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107042>
- [13] Rockström, J., Willis, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L., *et al.* (2017) Sustainable Intensification of Agriculture for Human Prosperity and Global Sustainability. *Ambio*, **46**, 4-17. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0793-6>
- [14] Martin-Guay, M.O., Paquette, A., Dupras, J. and Rivest, D. (2018) The New Green Revolution: Sustainable Intensification of Agriculture by Intercropping. *Science of the Total Environment*, **615**, 767-772. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.024>
- [15] Mingotte, F.L.C., Jardim, C.A., do Amaral, C.B., Coelho, A.P., Morello, O.F., Leal, F.T., *et al.* (2021) Maize Yield under Urochloa Ruziziensis Intercropping and Previous Crop Nitrogen Fertilization. *Agronomy Journal*, **113**, 1681-1690. <https://doi.org/10.1002/agj2.20567>
- [16] Yu, T., Hou, X., Fang, X., Razavi, B., Zang, H., Zeng, Z. and Yang, Y. (2024) Short-Term Continuous Monocropping Reduces Peanut Yield Mainly via Altering Soil Enzyme Activity and Fungal Community. *Environmental Research*, **245**, Article 117977. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117977>
- [17] 张芳, 林绍艳, 徐颖洁. 水稻连作对江苏地区稻田土细菌微生物多样性的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学

- 版), 2014, 45(2): 161-165.
- [18] 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.
- [19] 纳小凡, 郑国旗, 邢正操, 等. 连作对再植枸杞根际细菌群落多样性和群落结构的影响研究[J]. 土壤学报, 2017, 54(5): 1280-1292.
- [20] 马海燕, 徐瑾, 郑成淑, 等. 非洲菊连作对土壤理化性状与生物性状的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(18): 3733-3740.
- [21] 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.
- [22] 吕卫光, 余廷园, 诸海涛, 等. 黄瓜连作对土壤理化性状及生物活性的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 119-121.
- [23] Yan, L., Zhang, W., Duan, W., Zhang, Y., Zheng, W. and Lai, X. (2021) Temporal Bacterial Community Diversity in the *Nicotiana Tabacum* Rhizosphere over Years of Continuous Monocropping. *Frontiers in Microbiology*, **12**, Article 641643. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.641643>
- [24] 陈宏宇, 李晓鸣, 王敬国. 抗病性不同大豆品种根面及根际微生物区系的变化 II. 连作大豆(重茬) 根面及根际微生物区系的变化[J]. 植物营养与肥料学报, 2006(1): 104-108.
- [25] 王长义, 郝振萍, 陈丹艳, 等. 设施土壤连作障碍产生原因及防治方法综述[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(8): 1-6.
- [26] 张重义, 林文雄. 药用植物的化感自毒作用与连作障碍[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2009, 17(1):189-196.
- [27] 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.
- [28] 陈宝书. 牧草饲料作物栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 162-164.
- [29] 马月存, 秦红灵, 高旺盛, 等. 农牧交错带不同耕作方式土壤水分动态变化特征[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2523-2530.
- [30] 宋丽萍, 罗珠珠, 李玲玲, 等. 陇中黄土高原半干旱区苜蓿-作物轮作对土壤物理性质的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(7): 12-20.
- [31] Wang, H., Chen, J., Ruan, Y., *et al.* (2024) Metagenomes Reveal the Effect of Crop Rotation Systems on Phosphorus Cycling Functional Genes and Soil Phosphorus Avail-Ability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **364**, Article 108886. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.108886>
- [32] Liu, C., Feng, X., Xu, Y., Kumar, A., Yan, Z., Zhou, J., *et al.* (2023) Legume-Based Rotation Enhances Subsequent Wheat Yield and Maintains Soil Carbon Storage. *Agronomy for Sustainable Development*, **43**, Article No. 64. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00918-4>
- [33] Liu, Q., Li, T., Chen, L., Zhang, S., Zhao, Y., Chen, Y., *et al.* (2023) Taxonomic and Functional Diversity of the Soil Microbiome Recruited from Alternative Crops in a Rotation System. *European Journal of Soil Science*, **74**, e13410. <https://doi.org/10.1111/ejss.13410>
- [34] Zhou, Y., Yang, Z., Liu, J., Li, X., Wang, X., Dai, C., *et al.* (2023) Crop Rotation and Native Microbiome Inoculation Restore Soil Capacity to Suppress a Root Disease. *Nature Communications*, **14**, Article No. 8126. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43926-4>
- [35] 吕毅, 宋富海, 李园园, 等. 轮作不同作物对苹果园连作土壤环境及平邑甜茶幼苗生理指标的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(14): 2830-2839.
- [36] Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., *et al.* (2011) Solutions for a Cultivated Planet. *Nature*, **478**, 337-342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
- [37] Agegnehu, G., Ghizaw, A. and Sinebo, W. (2008) Yield Potential and Land-Use Efficiency of Wheat and Faba Bean Mixed Intercropping. *Agronomy for Sustainable Development*, **28**, 257-263. <https://doi.org/10.1051/agro:2008012>
- [38] Yin, W., Guo, Y., Hu, F., Fan, Z., Feng, F., Zhao, C., *et al.* (2018) Wheat-Maize Intercropping with Reduced Tillage and Straw Retention: A Step Towards Enhancing Economic and Environmental Benefits in Arid Areas. *Frontiers in Plant Science*, **9**, Article 1328. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01328>
- [39] Zhao, X., Hao, C., Zhang, R., Jiao, N., Tian, J., Lambers, H., *et al.* (2023) Intercropping Increases Soil Macroaggregate Carbon through Root Traits Induced Microbial Necromass Accumulation. *Soil Biology and Biochemistry*, **185**, Article 109146. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2023.109146>
- [40] Wang, W., Li, M.Y., Zhou, R., Zhu, S.G., Tao, H.Y., Khan, A., *et al.* (2023) Effects of Interspecific Interactions on Soil Carbon Emission and Efficiency in the Semiarid Intercropping Systems. *Soil and Tillage Research*, **234**, Article 105857. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105857>
- [41] 马琨, 杨桂丽, 马玲, 等. 间作栽培对连作马铃薯根际土壤微生物群落的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(10):

- 2987-2995. <https://doi.org/10.5846/stxb201412072425>
- [42] Vernooij, R. (2022) Does Crop Diversification Lead to Climate-Related Resilience? Improving the Theory through Insights on Practice. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, **46**, 877-901. <https://doi.org/10.1080/21683565.2022.2076184>
- [43] 娄翼来, 关连珠, 王玲莉, 等. 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.
- [44] 郭亚利, 李明海, 吴洪田, 等. 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.
- [45] 黎妍妍, 冯吉, 王林, 等. 万寿菊-烟草轮作调理植烟土壤细菌群落结构的作用[J]. 中国烟草科学, 2021, 42(1): 14-19.
- [46] 孟祥佳, 刘洋, 黎妍妍, 等. 烟草——荞麦轮作对烟草黑胫病防治及土壤微生态的调控作用[J]. 南方农业学报, 2022, 53(6): 1525-1535.
- [47] 杨洋, 杨懿德, 贺小蓉, 等. 烟草——玉米轮作对烟草病毒病的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(12): 88-93.
- [48] 伍晓丽, 潘媛, 赵晓, 等. 玄参与烟草轮作对根际土壤养分、酶活性及微生物群落结构的影响[J]. 西南农业学报, 2022, 35(1): 58-64.
- [49] Wu, J., Jiao, Z., Zhou, J., Zhang, W., Xu, S. and Guo, F. (2018) Effects of Intercropping on Rhizosphere Soil Bacterial Communities in Amorphophallus Konjac. *Open Journal of Soil Science*, **8**, 225-239. <https://doi.org/10.4236/ojss.2018.89018>
- [50] 时安东, 李建伟, 袁玲. 轮间作系统对烤烟产量、品质和土壤养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2): 411-418.
- [51] 涂勇, 杨文钰, 刘卫国, 雍太文, 江连强, 王小春. 大豆与烤烟不同套作年限对根际土壤微生物数量的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(5): 733-742.
- [52] 刘丽芳, 唐世凯, 熊俊芬, 等. 烤烟间作草木樨对烟草病害的影响[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(5): 662-664.
- [53] Badri, D.V. and Vivanco, J.M. (2009) Regulation and Function of Root Exudates. *Plant, Cell & Environment*, **32**, 666-681. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.01926.x>
- [54] Boudreau, M.A. (2013) Diseases in Intercropping Systems. *Annual Review of Phytopathology*, **51**, 499-519. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102246>
- [55] 杨承, 龙友华, 宋街明, 等. 移栽期和烟草马铃薯套作对烟草主要病害的影响[J]. 广东农业科学, 2013, 40(1): 21-23.
- [56] Nalawade, S.M., Sagare, A.P., Lee, C.Y., Kao, C.L. and Tsay, H.S. (2003) Studies on Tissue Culture of Chinese Medicinal Plant Resources in Taiwan and Their Sustainable Utilization. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, **44**, 79-98.
- [57] 赵杨景. 植物化感作用在药用植物栽培中的重要性和应用前景[J]. 中草药, 2000, 31(8): 81-84.
- [58] 郭兰萍, 黄璐琦, 蒋有绪, 等. 药用植物栽培种植中的土壤环境恶化及防治策略[J]. 中国中药杂志, 2006, 31(9): 714-717.
- [59] 赵培强. 黄芪(*Astragalus Membranaceus*)连作障碍的研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 西北师范大学, 2009.
- [60] 黄文洁, 李明. 广藿香-薄荷轮作及广藿香连作对其品质及其根际土壤微生态影响的比较研究[J/OL]. 西南农业学报, 1-23. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1213.S.20240125.1640.004.html>, 2024-04-03.
- [61] 余晓环, 李明, 洪彪. 广藿香连作及轮作对其品质及土壤微生态的影响[J]. 时珍国医国药, 2022, 33(7): 1719-1722.
- [62] 王田涛, 王琦, 王惠珍, 等. 连作条件下间作模式对当归生长特性和产量的影响[J]. 草业学报, 2013, 22(2): 54-61.
- [63] 周界, 潘丽萍, 李明. 广藿香间作紫苏对其连作障碍的缓解效应[J]. 北方园艺, 2020(13): 111-117.
- [64] 王林军, 于英, 王全, 等. 幼龄茶园间作中草药黄芪、半夏关键栽培技术[J]. 农业科技通讯, 2022(6): 267-269.
- [65] Zhao, Y., Guo, S., Zhu, X., Zhang, L., Long, Y., Wan, X. and Wei, X. (2024) How Maize-Legume Intercropping and Rotation Contribute to Food Security and Environmental Sustainability. *Journal of Cleaner Production*, **434**, Article 140150. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140150>