



王小国. 根茎类药用植物连作障碍研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2024(3):110-115, 128.

# 根茎类药用植物连作障碍研究进展

王小国<sup>1,2</sup>

(1. 三门峡职业技术学院 食品园林学院, 河南 三门峡 472000; 2. 河南科技大学 应用工程学院, 河南 三门峡 472000)

**摘要:**在根茎类药用植物集约化种植中,长期连作引起的植株生长不良、产量下降和品质降低等连作障碍问题,已成为制约我国中药材产业发展的重要因素。为缓解根茎类药用植物的连作障碍,促进根茎类药用作物的产业发展,本文综述了根茎类药用植物连作障碍的成因,并概括总结了消除连作障碍的措施。根茎类药用植物连作障碍成因十分复杂,包括植物的化感作用、土壤理化性质恶化、土壤酶活性改变和土壤中致病菌增加等,这些因素单独作用或共同作用。目前常用的消减技术措施包括:筛选耐重茬抗病新品种、合理轮作间作、土壤强还原处理、土壤蒸汽消毒和施加生物炭等物理措施、使用氯化苦、威百亩、棉隆和噻唑膦等化学农药,以及利用微生物菌剂如芽孢杆菌、哈茨木霉和淡紫拟青霉等调节土壤微生物群落并抑制有害微生物等。其中,利用微生物菌剂消减连作障碍是近年来的研究热点之一,但由于连作障碍涉及根系、土壤和微生物等诸多因素,采取综合防控措施才能有效消减连作障碍。最后从选育抗病性强、耐连作的优质新品种、进一步探索适宜的轮作间作模式和提高病原菌拮抗微生物稳定性等方面,对我国根茎类药用植物连作障碍的研究方向进行了展望。

**关键词:**药用植物;连作;重茬;消减措施

随着中医药行业的发展,下游产业对中药材的需求量不断提升,中药材种植面积呈现持续增长。据统计,2020 年我国中药材种植面积达 555.964 万  $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>。由于中药材生产周期较长且具有明显的地域性,在规模化和集约化种植过程中,道地产区的连作障碍问题也日益凸显。长期连作导致的植株长势弱、病害严重、产量下降和品质降低等问题制约了我国中药材产业的快速发展。

根茎类药用植物指入药部分(根、块根、块茎和鳞茎等)生长于地下的植物。《中国药典》(一部)记载的根茎类中药占其收载药材和饮片的 27.44%,与其他药用植物相比较,连作障碍问题更为严重。早在明代卢之颐《本草乘雅半偈》中就记载,地黄“种植甚易,入土即生。但种植之后,其土便苦,次年止可种牛膝。再二年,可种山药。足十年,土味转甜,始可复种地黄。否则味苦形瘦,不堪入药也。”<sup>[2]</sup>现代研究则表明,不仅地黄不能连作,丹参、太子参、西洋参、白术、三七、黄连、黄芪、黄芩、百合、贝母、山药、当归和半夏等根茎类药用植物也忌连作。丹参连作后,根系维管束腐烂,有时会形成结节状虫瘿,地上植株矮小,叶片发黄,严重者甚至死亡<sup>[3]</sup>;西洋参连作后,易发生根腐病和锈腐病,根部出现腐烂,叶片褪绿,植株萎蔫死亡<sup>[4]</sup>;

半夏随着连作年限的增加,易发生土传病害,产量和品质均下降,必须间隔几年甚至十几年才可复种<sup>[5]</sup>。本文在分析根茎类药用植物连作障碍成因基础上,总结了近年来消减连作障碍的技术措施,以期中药材种植者和相关研究人员提供参考。

## 1 连作障碍发生原因

### 1.1 化感作用

研究表明,植物的根茎或残体通过挥发、淋溶、分泌和腐解作用向土壤释放的化感物质是引起连作障碍的重要因子<sup>[6]</sup>。药用植物的活性成分通常是植物的次生代谢产物,因此药用植物更易产生化感物质。这些物质不易分解,对下茬中药材产生毒害作用,从而抑制其发芽和生长发育。这些化感物质包括香草酸、香豆酸和阿魏酸等大分子物质(表 1)。如何志贵<sup>[7]</sup>对连作 3 年半夏根际土壤和非连作土壤中的酚酸物质进行提取,通过 LC-MS 鉴定出 17 种酚酸类物质,其中没食子酸、原儿茶酸、香草酸、丁香酸、香兰素、丁香醛、阿魏酸、绿原酸等 8 种物质可能对半夏生长发育产生较强的化感作用,除阿魏酸外,其他 7 种酚酸对半夏发芽率和萌发指数均有抑制作用。随着研究者不断地研究,还会有新的化感物质逐渐被发现。

收稿日期:2023-08-22

基金项目:河南省重点研发与推广专项项目(232102110061);三门峡市软科学计划项目(2022003031)。

作者简介:王小国(1977—),男,硕士,副教授,从事遗传育种及栽培技术研究。E-mail: wangxiaoguo@smxpt.edu.cn.

表 1 根茎类药用植物根际化感物质	
药用植物	根际土壤化感物质
半夏	没食子酸、原儿茶酸、香草酸、丁香酸、香兰素、丁香醛、阿魏酸、绿原酸 <sup>[7]</sup>
丹参	包括 2-乙基己醇、苯甲酸、油酸甲酯等 24 种物质 <sup>[8]</sup>
地黄	香豆酸、对羟基苯甲酸、香草酸、丁香酸、阿魏酸 <sup>[9]</sup>
人参	水杨酸、没食子酸、苯甲酸、3-苯基丙酸和肉桂酸 <sup>[10]</sup>
黄连	香草酸、阿魏酸与 4-香豆酸 <sup>[11]</sup>
山药	香草酸、对羟基苯甲酸及阿魏酸 <sup>[12]</sup>
西洋参	总苷、生物碱、酮及黄酮、有机酸、蒽、醇和香豆素等 <sup>[13]</sup>
黄芪	4-羟基香豆素、对羟基苯甲酸、对甲氧基苯甲酸及肉桂酸 <sup>[14]</sup>
太子参	9 种酚酸(包括没食子酸、香豆酸、3,4-二羟基苯甲酸、对羟基苯甲酸、香草酸、丁香酸、香兰素、阿魏酸、苯甲酸)和 8 种有机酸类物质(草酸、甲酸、苹果酸、乳酸、乙酸、柠檬酸、酒石酸和琥珀酸) <sup>[15]</sup>
玉竹	对-羟基苯甲酸、香草酸、丁香酸、香豆酸、阿魏酸 <sup>[16]</sup>

1.2 土壤理化性质恶化

诸多研究发现,长期连作后土壤理化性质恶化,表现为土壤板结,团粒结构破坏,孔隙度下降,通气透水性下降,如三七连作 3 年土壤和未种植三七土壤相比较,土壤出现板结<sup>[17]</sup>。同时,由于根茎类药用植物栽培年限较长,植物对养分的选择性吸收以及长期重施化肥而忽视有机肥,造成土壤中一些营养元素缺乏,而另一些营养元素富集,土壤养分失衡。如山药连作后,土壤中氮、锰

和锌元素大幅降低<sup>[18]</sup>;党参连作后,土壤中硝态氮、速效磷和速效钾含量较轮作均降低<sup>[19]</sup>;浙贝母连作后,土壤中有效氮、有效磷、有效钾含量显著降低<sup>[20]</sup>;半夏连作后,根际土壤中有機质、全氮和全磷含量降低,而速效钾含量升高<sup>[21]</sup>;三七连作后,土壤有机质、氮和磷含量较对照显著下降,而土壤铁、硼和铝含量增加<sup>[17]</sup>。此外,长期连作还可以导致土壤酸化。研究表明:人参连作 6 年后,参地 pH 由新林土的 5.5~5.8 降为 5.1~5.3<sup>[22]</sup>,白术、三七和党参根际土壤 pH 也随种植年限的增加而降低。

1.3 土壤中酶活性改变

土壤中的生物化学过程需要酶的催化作用才能完成,土壤酶活性能够反映微生物数量和群落结构,同时也能反映土壤肥力。前人研究发现,根茎类药用植物连作后土壤中脲酶和蔗糖酶活性通常降低,表明连作后土壤对氮、碳等元素的利用率降低,而纤维素酶和多酚氧化酶活性通常增强(表 2)。但研究者对不同药用植物土壤过氧化氢酶活性的研究结果却并不一致,例如半夏、牛膝、地黄、三七、栝楼和西洋参连作后,土壤过氧化氢酶活性降低,说明连作后中药材抗逆性减弱,可能会诱发病害的发生,而山药连作却提高了土壤过氧化氢酶的活性,这可能与药用植物种类不同有关,同时由于土壤环境的复杂性,酶活性会受到多种因素的影响。

表 2 根茎类药用植物连作土壤酶活性变化	
药用植物	土壤酶活性变化
半夏	连作较轮作土壤的过氧化氢酶、脲酶、磷酸酶活性降低 6.21%、18.80%和 21.49%,多酚氧化酶活性升高 62.96% <sup>[21,23]</sup>
牛膝	连作 20 年以上土壤中脲酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性降低,脲酶活性从 1.57 mg·g <sup>-1</sup> 降低至 1.23 mg·g <sup>-1</sup> ,多酚氧化酶活性增强 <sup>[24]</sup>
地黄	连作土壤脲酶活性比正茬降低 63.06%,过氧化氢酶活性降低 51.92% <sup>[25]</sup>
三七	连作 3 年,土壤过氧化氢酶活性由 2.23 mg·g <sup>-1</sup> 降至 1.02 mg·g <sup>-1</sup> ,多酚氧化酶活性升高 <sup>[17,26]</sup>
栝楼	连作 2 年土壤中蔗糖酶、脲酶、磷酸酶活性均降低,过氧化氢酶活性较对照下降 26.97% <sup>[27]</sup>
山药	连作后土壤中脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶活性降低,过氧化氢酶活性增强 <sup>[28]</sup>
黄连	脲酶活性降低,正茬 416.56 μg·d <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> ,连作 3 年 148.47 μg·d <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> ,连作 5 年 127.31 μg·d <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> <sup>[29]</sup>
黄芪	连作 6 年后脲酶和蔗糖酶活性降低,纤维素酶活性 0.281 U·g <sup>-1</sup> ,比正茬提高 59.4% <sup>[30]</sup>
西洋参	连作较对照土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性降低,正茬土壤脲酶活性 25.89 mg·g <sup>-1</sup> ,连作土壤脲酶活性 20.69 mg·g <sup>-1</sup> <sup>[31]</sup>
玉竹	正茬脲酶活性 392.069 μg·d <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> ,连作 298.174 μg·d <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> ;正茬蔗糖酶活性 34.800 μg·d <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> ,连作 20.801 μg·d <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> <sup>[16]</sup>

1.4 土壤微生物失调,致病菌增加

土壤微生物失调是连作障碍发生的主要原

因。随着药用植物连作年限的增加,土壤中微生物群落结构和数量发生变化,细菌数量减少,病原

真菌数量增加。研究表明,随着丹参连作年限增加,土壤中芽孢杆菌属(*Bacillus*)等有益细菌逐渐减少,而真菌镰刀菌属(*Fusarium*)、毛壳菌属(*Chaetomium*)和青霉菌属(*Penicillium*)等病原菌数量及相对丰度增加<sup>[32]</sup>,镰刀菌属可引起丹参根腐病的发生。有学者对重茬地黄植株中分离的病原菌进行鉴定后,确定尖孢镰刀菌(*F. oxysporum*)是地黄连作障碍主要病原菌<sup>[33]</sup>;同时,尖孢镰刀菌、腐皮镰刀菌(*F. solani*)和轮枝镰刀菌(*F. verticilloides*)也是黄芪和人参<sup>[34]</sup>根腐病的致病菌,镰刀菌的厚垣孢子在土壤中存活很长时间后仍能表现出致病性。此外,根茎类药用植物连作后,易导致线虫病的发生,如山药短体线虫病和根腐线虫病<sup>[35]</sup>、丹参根结线虫病<sup>[36]</sup>和西洋参线虫病等,降低了根茎类中药材的商品价值。

2 消减连作障碍的措施

近年来,连作障碍在我国中药材各大产区均有发生,目前生产上常用的消减措施包括:农业措施、物理方法、化学方法和生物方法等。

2.1 农业措施

2.1.1 筛选抗病新品种和嫁接育苗 选育抗病新品种,是消减连作障碍的重要途径之一。目前我国根茎类药用植物选育出的耐重茬抗病新品种有:三七抗病新品种“苗乡抗七1号”<sup>[37]</sup>、高抗根腐病黄精新品种“皖黄精3号”<sup>[38]</sup>、半夏中抗腐烂病新品种“赫麻芋2号”<sup>[39]</sup>、丹参高抗根腐病新品种“丹杂2号”<sup>[40]</sup>、高抗根腐病黄芪新品种“9118”和新品系“94-02”<sup>[41-42]</sup>、抗重茬山药新品种“丰抗3219”<sup>[43]</sup>、抗当归麻口病新品种“岷归4号”<sup>[44]</sup>、抗根腐病和根结线虫病柴胡新品种“济柴1号”<sup>[45]</sup>等。

此外,嫁接育苗也是减轻连作障碍的有效措施,通过砧木嫁接换根,可以提高种苗抗性,目前已在西瓜、甜瓜和黄瓜等园艺作物中推广应用,而根茎类中药材多以地下根茎入药,难以通过嫁接方式消减连作障碍。

2.1.2 合理轮作间作 轮作间作是实际生产中改善土壤理化性质、消减连作障碍经济有效的措施。“种地不倒茬,十年九抓瞎”“换茬不换土,一亩顶两亩”“轮作倒茬不用问,强如年年铺底粪”等农业谚语表明,通过轮作间作可均衡利用土壤养分。已有根茎类药用植物轮作间作模式(表3)研究结果表明,亲缘关系较远物种的轮作间作可以提高土壤pH,降低酚酸类物质含量,提高土壤酶活性,改良土壤微生物群落结构,减轻病虫害,提高中药材产量。

对半夏与小麦轮作的研究表明,轮作后半夏根际土壤酚酸类物质含量降低,病原真菌被抑制而有益真菌丰度提高<sup>[7]</sup>。山药与小麦轮作较山药连作,可明显提高土壤脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性<sup>[28]</sup>。黄芪与苜蓿/燕麦轮作能够提高土壤中脲酶和酸性磷酸酶活性,根腐病重度发病率为24.90%,显著低于连作黄芪重度发病率<sup>[30,46]</sup>。黄芩与小麦轮作能有效提高土壤中蔗糖酶活性<sup>[47]</sup>。丹参与烤烟轮作较连作能显著提高土壤蔗糖酶活性,能明显增加土壤中细菌和放线菌数量,真菌数量减少<sup>[48]</sup>。浙贝母与水稻轮作,可有效控制灰霉病和菌核病的发病率<sup>[49]</sup>。党参与小麦/玉米轮作倒茬,党参根腐病发病率降低为12.40%和16.60%以下<sup>[50]</sup>。白术与玉米轮作后,白术鲜重较连作增加3.7倍,产量明显提高<sup>[51]</sup>。

表3 根茎类药用植物轮作间作模式

药用植物	轮作模式	药用植物	轮作模式	药用植物	轮作模式
半夏	半夏-小麦轮作 <sup>[7]</sup>	贝母	贝母-水稻轮作 <sup>[49]</sup>	川芎	川芎-水稻轮作 <sup>[55]</sup>
山药	山药-小麦轮作 <sup>[28]</sup>	党参	党参-小麦/玉米轮作 <sup>[50]</sup>	地黄	地黄-大蒜轮作 <sup>[56]</sup>
黄芪	黄芪-苜蓿/燕麦轮作 <sup>[30,46]</sup>	白术	白术-玉米轮作 <sup>[51]</sup>	北柴胡	北柴胡-玉米轮作间作 <sup>[57]</sup>
黄芩	黄芩-小麦轮作 <sup>[47]</sup>	当归	当归-大蒜/万寿菊间作 <sup>[52-53]</sup>	牛膝	牛膝-黄连轮作 <sup>[58]</sup>
丹参	丹参-烤烟轮作间作 <sup>[48]</sup>	太子参	太子参-辣椒轮作 <sup>[54]</sup>	三七	三七-茴香轮作 <sup>[59]</sup>

2.2 物理方法

物理方法包括强还原土壤处理(Reductive Soil Disinfestation, RSD)、蒸汽消毒和施加生物炭等。强还原土壤处理指在土壤中施用大量粉碎易分解的有机物料后、淹水覆膜强还原土壤,短期内杀灭土传病原菌的方法<sup>[60]</sup>。强还原土壤处理

不仅可改善土壤理化性质,修复因酸化和次生盐渍化而退化的土壤,还可以重建微生物区系,消减因理化性质退化和土传病原菌导致的连作障碍。

强还原土壤处理在地黄中的研究表明,土壤强还原处理能够显著提高重茬地黄的存活率和产量<sup>[33,61]</sup>;三七连作土壤强还原处理后,能显著降



低尖孢镰刀菌在真菌中的比例,降低三七发病率<sup>[62]</sup>;在黄芪连作土壤中添加秸秆和牛粪有机物料后,强还原处理效果较好,可杀灭土壤中病原真菌<sup>[63]</sup>;此外,强还原处理还能有效杀灭土壤中的根结线虫,杀线率较高。

土壤蒸汽消毒是利用 70 ℃ 蒸汽保持 30 min 杀死土壤病原生物的方法。研究表明,土壤蒸汽消毒后,三七的出苗率、存苗率、根鲜质量和干质量均高于对照,根腐病的发病率降低<sup>[64]</sup>。土壤中施加生物炭对太子参<sup>[65]</sup>、三七<sup>[66]</sup>和兰州百合的连作障碍也有一定缓解作用,但存在成本高等问题,因此大面积推广应用受到限制。值得一提的是,有研究发现土壤中蚯蚓及蚯蚓粪也能够一定程度上缓解连作障碍<sup>[67-68]</sup>。

## 2.3 化学方法

消减连作障碍常用的化学农药包括氯化苦、威百亩、棉隆和噻唑膦等。氯化苦别名三氯硝基甲烷,是一种易挥发油状液体,可有效防治连作土传病害和根结线虫,目前在我国仅作土壤熏蒸,且必须在专业技术人员指导下使用。研究表明:连作地黄每 667 m<sup>2</sup> 地块用 30 kg 氯化苦熏蒸后,长势较好<sup>[69]</sup>;药食两用生姜连作后根结线虫发病严重,氯化苦熏蒸后,腐生性线虫数量和寄生性线虫数量大幅度降低<sup>[70]</sup>。威百亩是一种液态土壤熏蒸剂,常用剂型为 32.7%~42.0% 水剂。根据报道,安平县白山药连作种植后,土传病害严重,威百亩防治镰刀菌引起的白山药褐腐病效果较好,但熏蒸时应注意地温和熏蒸时间,当地温高且熏蒸时间过长时,易产生药害<sup>[71]</sup>。

98% 棉隆微粒剂是固态熏蒸剂,研究表明,375 kg·hm<sup>-2</sup> 的施用量对当归麻口病防效达 50.00%~69.30%,同时控制了地下害虫和田间杂草的发生<sup>[72]</sup>;此外,棉隆对三七和山药的连作障碍也有较好消减作用,有效降低病害发生率。噻唑膦属于有机磷类杀线虫剂,一般选择 10% 噻唑膦颗粒剂进行土壤撒施,如防风连作后发生根腐病,可按 30 kg·hm<sup>-2</sup> 的用量施用噻唑膦,如果施用量大则易伤根,且会造成土壤和地下水环境污染。

## 2.4 生物方法

土壤微生物失衡是导致连作障碍发生的原因之一。利用微生物菌剂可调节土壤微生物群落并抑制有害微生物。目前已报道的病原菌拮抗微生物有芽孢杆菌、哈茨木霉(*Trichoderma harzianum*)、淡紫拟青霉(*Paecilomyces lilacinus*)和厚孢轮枝菌(*Verticillium chlamydosporium*)等。

2.4.1 芽孢杆菌 芽孢杆菌作为镰刀菌的拮抗

菌已被广泛应用。黄伟民<sup>[73]</sup>在野生地黄生防菌的筛选和验证试验中,筛选出有效拮抗菌蜡样芽孢杆菌(*B. cereus*),平板对峙试验证实所筛选的菌株对地黄病原菌尖孢镰刀菌有明显的拮抗效应;杨瑾<sup>[74]</sup>通过研究发现,贝莱斯芽孢杆菌(*B. velezensis*)对丹参根腐病原菌腐皮镰孢菌和尖孢镰孢菌有抑制作用;杜家方<sup>[33]</sup>在黄连连作障碍发生机制及消减措施研究中发现,特基拉芽孢杆菌(*B. tequilensis*)对尖孢镰刀菌生长具有拮抗作用;此外,研究还发现,枯草芽孢杆菌(*B. subtilis*)和贝莱斯芽孢杆菌对北苍术、桔梗和人参连作病原菌均有抑制作用。

2.4.2 哈茨木霉 诸多研究表明,生防真菌哈茨木霉菌可缓解连作障碍<sup>[75]</sup>,显著消减根际土壤中酚酸物质,对人参铁锈病的抑制率达 79.53%,对地黄的病原菌也有抑制作用。平板对峙中对西洋参腐皮镰刀菌抑菌率高达 100%<sup>[76]</sup>,对从根腐病发病的白术中分离的尖孢镰刀菌抑菌率达 50% 以上<sup>[77]</sup>,可降低白术发病率,促进白术生长,缓解连作障碍<sup>[78]</sup>。平贝母连作后菌核病发病严重,生物防治菌剂中的哈茨木霉菌对平贝母菌核病防效达 79.27%<sup>[79]</sup>,防治效果较好。此外,哈茨木霉菌可提高半夏连作土壤磷酸酶活性,降低连作时细菌性疫病的发病率,提高生物产量<sup>[5]</sup>。可见,哈茨木霉菌在防治中药材土传病害时,具有广谱的特点,可以抑制多种土传病原菌的生长。

2.4.3 淡紫拟青霉和厚孢轮枝菌 药用植物连作后,不仅镰刀菌数量增加,还会增加土壤中线虫数量,如山药、丹参和西洋参等<sup>[80]</sup>。淡紫拟青霉和厚孢轮枝菌属寄生真菌,淡紫拟青霉适宜生长的温度为 15~30 ℃,菌丝生长适宜 pH6~9,黑暗中生长最佳,二者对根结线虫和孢囊线虫有较强寄生能力,可用于多种植物线虫病的防治。据报道,淡紫拟青霉颗粒剂 41.25 kg·hm<sup>-2</sup> 的施用量,对导致当归麻口病发生的茎线虫的防效为 63.43%,厚孢轮枝菌颗粒剂 33.75 kg·hm<sup>-2</sup> 穴施,亦可有效防治当归麻口病<sup>[81]</sup>。除上述微生物菌剂之外,复合微生物肥料和生物有机肥在中药材无公害种植中也得到了较为广泛地应用,可改善连作土壤,提高中药材产量和品质。

## 3 展望

集约化种植方式不可避免地引起连作障碍问题。尽管国内外学者已对连作障碍原因及消减措施进行了大量研究,但大多研究都是从单一因素进行分析,存在一定局限性,且连作障碍发生原因

较为复杂,涉及到根茎类药用植物的根系、土壤、微生物和环境等诸多因素,因此仍需进一步开展相关研究工作。(1)运用基因组学、转录组学、蛋白组学和代谢组学等分子生物学手段,从生态系统的角度深入解析连作障碍发生机制是未来的研究方向;(2)全面收集野生中药材种质资源,选育抗病性强、耐连作的优质新品种,是消减连作障碍的重要途径之一;(3)现有的芽孢杆菌、哈茨木霉、淡紫拟青霉和厚孢轮枝菌菌剂、复合微生物肥料和生物有机肥虽已在实际生产中发挥较好作用,但是目前这些菌剂和肥料存在的田间应用稳定性及成本问题,仍然制约着菌剂和微生物肥料的发展和推广,还需进一步改良和研究,使其大田应用效果更稳定;(4)随着技术的进步,寻找新的病原菌拮抗微生物也将是今后研究的内容;(5)在发病严重的地块,单一的消减措施可能得不到理想的效果,需采取积极有效的综合防控措施,进一步筛选适宜的轮作间作植物种类,积极探索药粮种植模式、林药种植模式和药药种植模式,建立科学、合理的轮作制度,同时注重有机肥和微生物肥料的使用,将有效缓解连作障碍,实现经济效益和生态效益的最大化。

#### 参考文献:

- [1] 王慧,张小波,汪娟,等. 2020 年全国中药材种植面积统计分析[J]. 中国食品药品监管, 2022(1): 4-9.
- [2] 卢之颐. 本草乘雅半偈[M]. 刘更生等校注. 北京: 中国中医药出版社, 2016.
- [3] 车欣宇. 丹参根际拮抗真菌 RF15 的筛选鉴定及其促生效应研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022.
- [4] 赵方杰. 陕西留坝西洋参连作障碍成因及消减措施初步研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.
- [5] 何贝贝. 半夏连作效应缓解技术研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- [6] 董晓民, 高晓兰, 刘伟, 等. 桃连作障碍中毒作用的研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2021(2): 123-127.
- [7] 何志贵. 半夏连作障碍发生机制与轮作修复研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [8] 王鹏飞. 丹参自毒物质的鉴定及其在腐解液和根际土中的含量分析[D]. 泰安: 山东农业大学, 2021.
- [9] 聂铭. 不同连作年限地黄生长生理特性及其根区土壤化感物质研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2017.
- [10] 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]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018.
- [11] 张丹. 基于黄连化感物质与微生物群落结构变化的连作障碍机制研究[D]. 成都: 成都中医药大学, 2015.
- [12] 刘永录, 李自刚. 复合微生物制剂对怀山药连作障碍的修复机制研究[J]. 河南农业科学, 2010, 39(11): 90-93.
- [13] 李丽, 蒋景龙, 董艳鑫, 等. 连作西洋参根际土壤化感物质筛选及化感效应分析[J]. 西北农业学报, 2022, 31(8): 1046-1057.

- [14] 杨焱. 微生物肥料对黄芪连作障碍的缓解作用[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
- [15] WU H M, WU L K, ZHU Q, et al. The role of organic acids on microbial deterioration in the *Radix pseudostellariae* rhizosphere under continuous monoculture regimes[J]. Scientific Reports, 2017, 7: 3497.
- [16] NI X Z, JIN C Z, LIU A Y, et al. Physiological and transcriptomic analyses to reveal underlying phenolic acid action in consecutive monoculture problem of *Polygonatum odoratum*[J]. BMC Plant Biology, 2021, 21(1): 362.
- [17] 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(3): 409-417.
- [18] 王文庆. 平遥长山药连作障碍机理研究及其防治对策[D]. 太原: 山西大学, 2012.
- [19] 邱黛玉, 杜毛笑, 巫蓉, 等. 连作障碍对党参根际土壤微环境的影响[J]. 中国野生植物资源, 2022, 41(5): 12-17, 22.
- [20] 廖海兵, 李云霞, 邵晶晶, 等. 连作对浙贝母生长及土壤性质的影响[J]. 生态学杂志, 2011, 30(10): 2203-2208.
- [21] 安艳. 半夏连作障碍影响因子研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018.
- [22] 谢忠凯, 徐厚来. 长白山区人参地连作障碍的研究: 人参地土壤酸化初报[J]. 人参研究, 1996, 8(2): 31-33.
- [23] ZHAO Y, QIN X M, TIAN X P, et al. Effects of continuous cropping of *Pinellia ternata* (Thunb.) Breit. on soil physicochemical properties, enzyme activities, microbial communities and functional genes[J]. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 2021, 8(1): 1-12.
- [24] 郝慧荣, 李振方, 熊君, 等. 连作怀牛膝根际土壤微生物区系及酶活性的变化研究[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(2): 307-311.
- [25] 李振方, 杨燕秋, 谢冬凤, 等. 连作条件下地黄药品质及土壤微生态特性分析[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(2): 217-224.
- [26] 吴风云. 三七连作对土壤酶活及土壤化学性质的影响研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2017.
- [27] 李婧. 连作障碍对栝楼生理活性的影响及其根际土壤环境的动态探究[D]. 金华: 浙江师范大学, 2018.
- [28] 孙凯宁, 杨宁, 王克安, 等. 山药连作对土壤微生物群落及土壤酶活性的影响[J]. 水土保持研究, 2015, 22(6): 95-98.
- [29] SONG X H, PAN Y, LI L Y, et al. Composition and diversity of rhizosphere fungal community in *Coptis chinensis* Franch. continuous cropping fields[J]. PLOS One, 2018, 13(3): e0193811.
- [30] 孙窗舒. 连作对黄芪品质形成和根际土壤微生物的影响及黄芪轮作换茬方式的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2017.
- [31] LI C W, CHEN G Z, ZHANG J L, et al. The comprehensive changes in soil properties are continuous cropping obstacles associated with American ginseng (*Panax quinquefolius*) cultivation[J]. Scientific Reports, 2021, 11: 5068.
- [32] 朱文娟. 丹参连作障碍发生机制及防控技术[D]. 北京: 中国科学院大学, 2019.
- [33] 杜家方. 地黄连作障碍发生的生物机制及其消减措施研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2020.

- [34] 李翟. 镰刀菌和木霉菌与人参的互作及其生长发育的影响研究[D]. 长春: 长春中医药大学, 2021.
- [35] 赵伟超, 秦朝, 张江利, 等. 河南省温县铁棍山药根腐线虫种类鉴定[J]. 植物保护, 2022, 48(3): 248-253.
- [36] 陈昆圆, 文艺, 许相奎, 等. 河南省丹参根结线虫病病原种类鉴定[J]. 河南农业大学学报, 2022, 56(6): 998-1006.
- [37] 陈中坚, 马小涵, 董林林, 等. 药用植物 DNA 标记辅助育种(三)三七新品种: “苗乡抗七 1 号”的抗病性评价[J]. 中国中药杂志, 2017, 42(11): 2046-2051.
- [38] 彭星星, 李卫文, 储转南, 等. 多花黄精新品种‘皖黄精 3 号’[J]. 园艺学报, 2020, 47(S2): 3144-3145.
- [39] 唐映军, 潘正康, 王海玲, 等. 半夏新品种赫麻芋 2 号的选育及其特征特性[J]. 贵州农业科学, 2022, 50(12): 1-5.
- [40] 温春秀, 姜国志, 谢晓亮, 等. 优质高产抗病丹参系列新品种选育及产业化应用[Z]. 河北省农林科学院经济作物研究所, 2018.
- [41] 陈永军, 苟永平. 高产优质黄芪新品种: 9118[J]. 农业科技通讯, 2000(9): 30.
- [42] 刘效瑞, 荆彦民, 尚虎山, 等. 甘肃黄芪新品系 94-02 选育及研究[Z]. 定西市旱作农业科研推广中心, 2008.
- [43] 孙敦恒, 乔晓梅, 史慧英, 等. 丰抗 3219 山药高产高效栽培技术[J]. 农民科技培训, 2011(3): 32.
- [44] 李鹏程, 刘效瑞. 当归新品种岷归 4 号选育及优化种植技术研究[J]. 中药材, 2011, 34(7): 1017-1019.
- [45] 李玉春, 赵霞, 葛付存, 等. 柴胡新品种济柴 1 号的选育及无公害栽培技术[J]. 农业科技通讯, 2021(11): 287-289.
- [46] 李冰圳. 连作及轮作对蒙古黄芪根际微生物多样性及其品质的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2019.
- [47] 彭晓邦, 秦绍龙. 黄芩种植地土壤微生物数量特征及土壤酶活性研究[J]. 陕西农业科学, 2020, 66(8): 60-64.
- [48] 周广苗. 烤烟和丹参轮作对土壤生物学性状及烟叶品质的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
- [49] 朱静坚. 浙贝母种植模式调查与探讨[J]. 浙江农业科学, 2018, 59(3): 380-381, 387.
- [50] 金宏荣, 陈红, 姚彦斌. 连作和倒茬对党参根腐病的影响研究[J]. 中兽医医药杂志, 2022, 41(3): 40-42.
- [51] 徐建中, 孙乙铭, 王志安, 等. 白术-玉米轮作对白术植株生长及产量影响研究[J]. 中国现代中药, 2012, 14(2): 40-42.
- [52] 李林强, 邱黛玉, 贾雪. 连作轮作模式下当归大蒜间作对当归质量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(3): 53-58.
- [53] 魏环宇, 管丽蓉, 王扬, 等. 万寿菊当归多样性种植对土壤真菌多样性的影响[J]. 植物保护, 2015, 41(5): 69-74, 93.
- [54] 魏丹. 基于土壤理化性质及微生物群落结构探讨辣椒-太子参轮作可行性[D]. 福州: 福建中医药大学, 2021.
- [55] 陈家泽. 粮经复合模式“水稻+川芎”高效栽培技术探索[J]. 农家科技, 2015(4): 48.
- [56] 钮颜宇, 郭志祥, 徐淑慧, 等. 地黄-大蒜轮作对大蒜生长及地黄化感自毒作用的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(3): 139-146.
- [57] 刘丽. 生物菌肥和种植模式对北柴胡土壤微生态的影响[D]. 济南: 山东中医药大学, 2022.
- [58] 赵磊, 余弦, 宋玉丹, 等. 川牛膝不同种植模式比较[J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(8): 86-88.
- [59] 刘海娇, 苏应威, 方岚, 等. 茴香轮作调控土壤细菌群落缓解三七连作障碍的效应及机制[J]. 中国生物防治学报, 2021, 37(1): 139-149.
- [60] YANG R Y, WEINER J, SHI X J, et al. Effect of reductive soil disinfestation on the chemical and microbial characteristics of rhizosphere soils associated with *Salvia miltiorrhiza* production in three cropping systems[J]. Applied Soil Ecology, 2021, 160: 103865.
- [61] 张重义, 李明杰, 古力, 等. 地黄连作障碍的形成机制[M]. 北京: 科学出版社, 2021.
- [62] 李云龙. 三七化感作用及其微生物学消减机制[D]. 南京: 南京师范大学, 2020.
- [63] 樊子婧. 强还原土壤灭菌法改善黄芪连作土壤及对土壤微生物群落的影响[D]. 兰州: 西北师范大学, 2022.
- [64] 徐玉龙, 戴蕾, 赵丹, 等. 几种土壤处理方法影响三七幼生长及根腐病发生的研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2016, 31(6): 1006-1011.
- [65] WU H M, QIN X J, WU H M, et al. Biochar mediates microbial communities and their metabolic characteristics under continuous monoculture[J]. Chemosphere, 2020, 246: 125835.
- [66] 王昆艳, 官会林, 赵林艳, 等. 稻壳炭对三七连作土壤理化性质和细菌群落结构的影响[J]. 西南农业学报, 2022, 35(9): 2107-2113.
- [67] 毕艳孟, 孙振钧. 蚯蚓调控土壤微生态缓解连作障碍的作用机制[J]. 生物多样性, 2018, 26(10): 1103-1115.
- [68] 孙喜军, 吕爽, 高莹, 等. 蚯蚓粪对作物连作障碍抑制作用研究进展[J]. 土壤, 2020, 52(4): 676-684.
- [69] 王素娟, 董诚明, 杨林林, 等. 土壤熏蒸对连作地黄生长、质量及土壤性质的影响[J]. 时珍国医国药, 2022, 33(1): 193-197.
- [70] 孙兆凯. 不同土壤调控方法对生姜连作线虫群体数量的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
- [71] 王菊. 威百亩在白山药重茬地熏蒸处理时应注意的问题[J]. 现代农村科技, 2021(4): 35-36.
- [72] 尚虎山, 曹世勤, 张明, 等. 98%棉隆颗粒剂在甘肃岷县当归育苗中的应用效果[J]. 植物保护, 2021, 47(6): 347-352.
- [73] 黄伟民. 野生地黄连作下根际微生物区系变化及关键微生物筛选[D]. 福州: 福建农林大学, 2014.
- [74] 杨瑾. 河南省丹参根腐病原菌的鉴定及防控药剂筛选[D]. 郑州: 河南中医药大学, 2020.
- [75] 李正洲, 丁绪, 赖茅田, 等. 外施木霉对甜瓜土壤酶活性的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2021(12): 53-57.
- [76] 安淑辉. 抑制西洋参土传病害木霉菌的筛选及其连作障碍因子消除机制的研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2022.
- [77] 倪方方, 徐红梅, 宋腾蛟, 等. 生防菌对白术根腐病菌的拮抗作用及盆栽防治效果[J]. 浙江中医药大学学报, 2017, 41(3): 179-185, 204.
- [78] 雷琳琳. 三种生物菌肥配施对白术连作障碍的减缓效应研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2022.
- [79] 孙海峰, 沈莹, 宁荣彬, 等. 防治平贝母菌核病的药剂筛选及田间应用[J]. 农药, 2019, 58(2): 141-144.
- [80] 谢辉. 植物线虫分类学[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [81] 惠娜娜, 马永强, 王立, 等. 淡紫拟青霉、厚垣轮枝菌生防菌剂对当归“麻口病”的防治效果[J]. 植物保护, 2015, 41(4): 199-202.



- [17] 乔木. 露地洋葱水肥一体化优质高产栽培技术[J]. 特种经济动植物, 2023, 26(8): 111-112, 133.
- [18] 王波. 洋葱常见病虫害的发生与防治[J]. 种业导刊, 2012(12): 26-28.
- [19] 王志勇, 赵艳艳, 杨双娟, 等. 河南省大白菜露地越冬杂交制种技术[J]. 北方园艺, 2022(24): 153-156.
- [20] 田朝辉, 李志萌, 曾维银, 等. 洋葱、西瓜、三樱椒套作高效栽培技术[J]. 北方园艺, 2021(6): 175-177.
- [21] 贾俊香, 李娜, 杨国栋, 等. 大葱种子生产技术规程[J]. 北方园艺, 2022(1): 155-158.
- [22] 李春海. 牡丹江市洋葱高产优质栽培技术[J]. 中国农技推广, 2021, 37(12): 48-49.

## High-Yield and High-Quality Cultivation Technology and Pest Control of Onions in Heilongjiang Province

TAO Meng, MAO Junying, ZHANG Jinghua, YANG Guang, LI Guiwei, ZHANG Kun, SUN Yuanqing, ZHOU Shuang

(Institute of Science and Technology for Rural Revitalization, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150023, China)

**Abstract:** Heilongjiang Province is one of the main onion producing areas, and its onion market time is staggered with other producing areas, effectively filling the gap in market supply. In order to promote the sustainable development of onion industry in Heilongjiang Province and improve the overall quality of onion, this paper summarized and introduced the key technical links in the onion cultivation process according to the growth habit characteristics of onion. Introduced the technical points of onion variety selection, seedling rearing technology, planting method, field management, disease control, pest control and harvest process.

**Keywords:** Heilongjiang Province; onion; variety selection; seedling rearing technology; disease and pest control

(上接第 115 页)

## Research Progress on Continuous Cropping Obstacle of Rhizome Medicinal Plants

WANG Xiaoguo<sup>1,2</sup>

(1. College of Food and Landscape Architecture, Sanmenxia Polytechnic, Sanmenxia 472000, China; 2. College of Applied Engineering, Henan University of Science and Technology, Sanmenxia 472000, China)

**Abstract:** In the intensive cultivation of rhizome medicinal plants, the continuous cropping problems such as poor growth rate, declined yield and lower quality have become important factors restricting the development of traditional Chinese medicine industry. To reduce or eliminate the obstacles and promote the development of agriculture, we sum up the causes of obstacles in medicinal plants and control measures in this review. In general, rhizosphere autotoxin enrichments, soil fertility unbalance, changes in soil enzyme activity, and microbial community variation were considered to be the main factors of continuous cropping obstacles. The commonly used measures include developing new varieties with enhanced traits and disease resistance, intercropping, reductive soil disinfestation, steaming disinfection of soil, application of biochar to soil, use of pesticides and effective microorganisms, etc. Of these, using of effective microorganisms has become one of the hotspots to reduce or eliminate continuous cropping obstacles. However, the obstacles represent the integrated effects of various factors between plants and soil, the comprehensive strategies and measures were required. Finally, we propose future research trends and strategies to reduce or eliminate the obstacles from different views.

**Keywords:** medicinal plants; continuous cropping obstacles; consecutive monoculture; control measures