



刘成,李润孜,周益权,等.黄连连作障碍研究进展[J].黑龙江农业科学,2024(10):102-107.

黄连连作障碍研究进展

刘成¹,李润孜¹,周益权²,欧阳金¹,熊政委¹,熊云¹,冉家华¹,冉昕禾¹

(1. 重庆第二师范学院 生物与化学工程学院 / 三峡库区特色道地中药材重庆市野外科学观测研究站,重庆 400067; 2. 重庆市中药研究院,重庆 400067)

摘要:黄连作为一种重要的中药材,在中医药体系中具有不可替代的地位,且其药用历史源远流长。然而,随着黄连种植年限的延长,连作障碍日益凸显,对黄连的产量与品质构成了严重威胁,进而影响了整个黄连产业的稳健发展。本文深入探讨了黄连连作所带来的潜在危害,详细分析了连作障碍形成的深层原因,并针对性地总结了一系列切实可行的缓解措施。研究表明,土壤理化性质的逐渐劣化、土传病虫害的不断加剧,以及黄连自身的化感自毒效应,是导致连作障碍的三大主导因素。这些因素的产生与黄连、土壤及微生物之间的复杂交互作用密切相关,因此,应从优化栽培措施,落实土壤微环境修复,加速抗性品种选育一系列措施综合管理,进而促进黄连的高质量发展。

关键词:黄连;连作障碍;化感自毒作用;根际微生物;缓解措施

黄连属(*Coptis* Salisb.)植物,隶属于毛茛科(Ranunculaceae)黄连族(Trib. Coptideae),为多年生草本植物。目前,全球范围内该属植物的记录种类有11~18种,它们主要分布在东亚和北美的暖温带以及寒冷的针叶林地区。黄连属植物因具有显著的药用价值而广受关注,特别是在中国传统医学中,素有“中药抗生素”的美称,被视为重要的大宗中药材之一^[1],到现在为止有两千多年的入药史,中国是黄连属的物种多样性中心之一,大多分布在湘、渝、川、云、黔等中西部地区。现代科学研究证明,黄连主要化学成分多种异喹啉生物碱,包括小檗碱、黄连碱、甲基黄连碱、掌叶防己碱、非洲防己碱、吐根碱等多种生物碱^[2]。其中小檗碱是黄连主要有效成分,对关节炎有良好的治疗效果^[3],具有显著的药理作用,抗微生物及抗原虫、抗急性炎症、抗癌、抗溃疡、降血压、降血糖^[4]、抑制组织代谢、降低心肌耗氧量,以及保护心脑血管等^[5],对治疗肿瘤、糖尿病和心血管等现代顽疾也有一定药效。

近年来,由于市场需求持续增长,黄连的经济效益日益显著,导致其种植面积迅速扩大。然而,由于种植技术的限制和土地资源的有限性,黄连等中药材的连作问题日益突出。在黄连的种植过程中,连作障碍成为了一个不可忽视的问题。连

作障碍会导致土壤理化性质劣化、植物的化感自毒作用增强,使作物生长发育减慢、单产下降,甚至引发严重的土传病害,给中药材产业带来巨大损失。黄连连作障碍问题严重制约了黄连产业的发展,已经成为黄连产业进一步发展的主要限制因素,严重影响了黄连的产量和品质^[6]。

本文旨在对黄连连作障碍进行深入研究,以理解其形成机制和影响因素,从而为制定有效的防治措施提供科学依据。并通过研究黄连连作障碍的修复技术和应用方法,推动黄连产业的可持续发展,提高黄连的产量和品质,更好地满足市场需求,促进经济繁荣。

1 黄连连作障碍及其危害

1.1 黄连连作障碍

近年来,随着中医药产业的蓬勃发展,中药材的需求量持续攀升,在中药材的种植过程中,连作障碍问题愈发普遍,成为了中药材产业可持续发展的瓶颈^[7]。据统计,大约70%的根茎类中药材在种植过程中会遇到连作障碍问题,例如人参、西洋参、黄连、地黄和山药等^[8],其中以人参、黄连的连作障碍问题最突出。黄连连作障碍是指在同一块土地上,以相同的种植方式连续种植黄连两季或更多季,从而引发的黄连植株病害加剧、生长受阻,进而导致产量下滑和品质降低的现象^[9]。

收稿日期:2024-05-22

基金项目:重庆市教育委员会科学技术研究项目(KJQN202201606);重庆市技术创新与应用发展专项(CSTB2023TIAD-LDX0012);

重庆第二师范学院高层次人才科研启动项目(2023BSRC014);重庆第二师范学院校级科研项目(KY202301A)。

第一作者:刘成(1982—),男,博士,讲师,从事中药材种植及生理生态研究。E-mail:2513805919@qq.com。

1.2 黄连连作障碍的危害

1.2.1 产量、品质降低 连作是导致黄连减产和病害加剧的主要因素^[10]。在连作条件下,土壤中的养分容易失衡,特别是某些对黄连生长至关重要的微量元素和有机物质可能逐渐耗尽,无法满足黄连正常生长的需求。此外,连作还可能导致土壤结构恶化,影响土壤的通气性和保水性,进而影响黄连的根系发育和养分吸收,使黄连的根部病害较为严重,其生长发育受到限制,产量减少且品质降低,有时甚至无法种植出符合商品标准的药材。

连作还容易引发土壤中的病原菌和害虫的积累,增加黄连遭受病虫害的风险。病虫害的侵袭不仅直接影响黄连的生长和发育,还可能导致植株死亡,从而显著降低产量。研究表明,黄连存在显著的连作障碍。种植五年后,若继续在原土地上种植,黄连的生理系统会出现紊乱,微生物生态平衡也会受到干扰。细胞膜会发生过氧化反应,进而损害膜的正常结构和功能,导致光合能力下降,植株的生长发育受阻,整体抗性也会相应减弱。由于连作障碍,黄连的产量会下降 43.29%^[11]。

1.2.2 病害加剧 连作使得土壤中的病原菌和害虫数量增加,为病害的发生提供了有利条件,使发病率提高 59.92%^[11]。这些病原菌和害虫会不断积累,并在连作过程中逐渐适应并侵害黄连,导致病害的频繁发生和加剧。病害的加剧不仅会影响黄连的正常生长和发育,还可能导致植株死亡,从而进一步降低产量。同时,病害还会影响黄连的品质,使其无法达到商品标准,给种植者带来经济损失。因此,黄连采收后必须进行土地更换栽培,这无疑造成了对土地的极大浪费,甚至在某些情况下会导致没有新的土地可供使用,从而严重制约了黄连药材的生产^[12]。

2 连作障碍产生的原因

在中药材中,黄连的连作障碍问题尤为突出,这是由多种相互关联且相互制约的因素共同作用的结果,其形成机制相当复杂^[13]。当前的研究揭示,黄连连作障碍的主要原因包括土传真菌病害的加剧和线虫数量的增加;植株对营养元素的单一吸收导致土壤微生物的失衡,这种失衡又进一步恶化了土壤的理化性状;以及黄连植株自身的化感自毒效应,共同构成了导致连作障碍的三大主导因素^[14]。

2.1 土传真菌病害加重,线虫增多

土壤微生物区系的变化对土壤健康状况有着直接影响,进而关系到作物的健康生长^[15]。相较于由细菌、线虫等引发的土传病害,土传真菌病害的传播性更强。黄连的连续种植会导致某些特定病菌如根腐病菌、立枯病菌等会在土壤中连年繁殖并大量积累,这些病原菌通过侵染黄连的根系,导致病害的发生和加重。同时,连作还会使土壤中的病原菌产生抗药性,从而形成病土,进一步加剧病害的防治难度。病土的形成会使黄连的长势减弱、产量降低,抗病和抗逆能力下降^[16]。

此外,连续种植还会抑制硝化细菌、放线菌、光合菌、根瘤菌、菌根真菌以及固氮菌等有益微生物的生长和繁殖。这会导致土壤微生物区系发生改变,病虫害不断积累,进而造成严重的土传病害^[16]。根茎类药用植物在连作后,线虫病的发生率也会显著提高^[17]。微生物的种类和数量与连作障碍之间存在密切关联,长期连作会破坏根际微生物的生态平衡,从而导致土壤微生物群落的结构和功能发生变化,进而引发各种土传病害^[18]。

2.2 对营养元素的片面吸收导致土壤理化性状恶化

2.2.1 养分失衡与有机质下降 连作会导致土壤中某些元素亏缺,而其他元素相对富集,从而造成土壤养分不均衡^[19]。这种养分的不均衡对下一茬黄连的正常生长造成了严重影响,降低了黄连的抗逆能力,进而容易引发病虫害,最终导致黄连的产量和品质下降^[20]。在连续多年的黄连栽培土壤中,由于黄连对养分的选择性吸收,特别是氮、磷、钾等关键元素容易被过度消耗,导致土壤中部分营养元素缺乏。同时,土壤中的有机质含量也逐渐下降,导致土壤肥力降低。但长期过度施用化肥也会进一步加剧土壤质量的下降^[21]。连作使得土壤结构变得紧实,通气性降低,这不利于黄连根系的呼吸和生长。此外,土壤保水性也会受到影响,导致水分利用效率降低。

2.2.2 单盐毒害 黄连在生长过程中不断消耗自身所需的元素,导致土壤中这些元素的含量逐渐减少。与此同时,黄连根系分泌出的大量有毒物质在土壤中不断累积,土壤中的菌量也随之增加^[22]。这些因素容易导致毒害作用或元素间的拮抗作用,进而使土壤的酸碱度失衡,最终可能引发单盐毒害。

2.3 化感自毒作用及作用机制

当作物通过分泌化感物质对自身或同科作物造成危害时,被称为自毒作用^[23]。植物化感作用是一种化学生态学现象,指的是活体植物通过分泌、分解等方式向环境释放次生代谢物,并对邻近伴生植物(如杂草等受体)的生长发育产生影响^[24]。

2.3.1 根系分泌物的抑制作用 张丹^[25]研究发现,黄连根际土壤中的酚酸类化合物具有化感作用,这些化合物来源于黄连根系的分泌物。在黄连的栽培过程中,随着生长年限的增加,连作土壤中的酚酸含量逐渐上升。黄连植株分泌的化感物质会影响其光合作用、呼吸作用,改变细胞膜的功能和渗透性,对植株体内的氧化还原反应和激素水平产生影响,同时还会对负责矿物质营养元素吸收的根系造成严重影响。

2.3.2 自毒物质的积累与影响 在黄连的栽培过程中,随着生长年限的增加,连作土壤中的总酚酸和阿魏酸含量均呈现上升趋势,这种酚酸的积累被认为是导致黄连连作障碍的主要因素。研究还发现,酚酸类化合物与土壤理化性质和土壤微生物群落之间存在一定的相关性,特别是部分土壤理化性质与酚酸类化合物之间存在显著的相关性^[26]。多项研究表明,黄连根系分泌的酚酸类化合物会诱导黄连土壤微生物区系失衡,从而改变土壤理化性质和连作地的土壤环境,再加上植株的化感自毒效应,这些因素皆为黄连发生连作障碍的重要原因^[13]。

3 连作障碍缓解措施

连作障碍在我国中药材各大产区均普遍存在。目前,对于黄连连作障碍的内在机制尚未被系统揭示,因此仍无法从根源上彻底解决黄连种植过程中的连作障碍问题。然而,通过采取一系列优化措施,如调整栽培结构,实施合理的轮作、间作和套作制度,科学施肥并添加修复微生物菌剂,以及进行合理的土壤管理和选用抗连作的优良品种,可以在一定程度上缓解黄连连作障碍所带来的问题。

3.1 优化栽培结构

通过对黄连土壤进行合理轮作、间作和套作等方式,可以有效地减轻酚酸类物质的自毒作用。作物轮作被看作是一种具有潜力的可持续战略,它有助于解决集约化农业实践中产生的环境问

题^[27]。此外,轮作作物的真菌营养和泥炭土壤改良对田间土壤中本土丛枝菌根真菌的丰度和有效性产生积极影响^[28]。“稻连轮作”模式以黄连-水稻轮作为核心,不仅实现了黄连的优质高产,还提高了土地的经济效益,土壤中的有机质、氮含量以及速效钾含量均呈现上升趋势,且随着种植年限的增加,土壤中的主要微生物数量也有所增加,土壤pH下降问题在这一轮作模式中得到了显著改善^[29]。黄连与川牛膝具有相似的生态环境需求,它们都适宜生长在富含腐殖质、排水良好且土层深厚的土壤中,以及海拔较高的山区。在四川峨眉地区进行的大田研究表明,川牛膝采收后轮作黄连,黄连的生长状况良好且病虫害较少^[30]。

不同作物间作也是缓解连作障碍的一项重要策略。间作不仅能提高作物产量^[31],还能通过作物根系的分泌物或挥发物改变间作体系内的根际土壤微生态环境,从而创造出一个友好型的生态环境,有助于缓解连作障碍的发生。间作还能促进磷、铁和锌等营养元素的吸收,进而提高产量并改进作物的营养质量^[32]。段媛媛等^[33]的研究表明,与单作模式相比,林下间作模式下的黄连生长性状更优,特别是玄参-黄连间作模式效果最佳。这种间作模式不仅改善了土壤的理化性质,还促进了黄连的生长,并显著增强了黄连根际土壤的酶活性。

牛四坤^[11]研究表明,伴生种植可以有效缓解黄连连作产生的病虫害增加、产量下降等负面影响,其中大葱作为伴生植物的效果最佳。徐锦堂等^[34]的研究则表明,玉米与黄连套种可以提高黄连的存苗率,并增加土壤肥力。

3.2 合理施肥及修复微生物菌剂的使用

黄连的生长周期相对较长,并且对土壤的营养成分有着较高的要求,连续种植会导致土壤的物理和化学性质发生改变,进而引发土壤退化,这意味着在短时间内难以再次种植出高品质的黄连。为了满足黄连在各个生长阶段的需求,肥料的选择和使用显得尤为重要。特别是在黄连的生长中期,更加需要肥效稳定且营养全面的复合肥来确保其健康生长。曾烨等^[35]研究指出,采用适量氮、钾、磷配比施肥可以显著提高黄连的养分吸收、产量以及品质,从而获得更为优质的黄连。此外,其他研究也表明,使用缓释肥可以有效增加黄连的产量,解决因连续种植导致的营养元素缺失问题,并有助于黄连的营养积累^[36]。在黄连的生

长过程中,应根据其不同生长阶段的需求及时施加相应的肥料,并考虑将不同类型的肥料进行混合使用,以达到更好的施肥效果。同时,为了更加合理地施肥,需要根据土壤的具体肥力状况进行土壤测试,然后根据测试结果调整底肥的施用比例。喻伟龙^[21]的研究显示,使用有机肥部分替代化肥可以显著改善黄连根际土壤的养分状况,能够明显改变真菌群落的构成,并增加特有物种的数量,这对改善土壤生态系统的健康状况和提高药材的品质都是有益的。周涛^[37]从黄连土壤的微生物中成功筛选出能够降解酚酸的菌株,并基于这些菌株制备了复合型微生物菌剂。这种菌剂不仅可以调节土壤中的微生物群落,还具有抑制有害微生物的潜在作用,进而能够促进黄连品质和产量的提升。试验说明复合菌剂能改善土壤结构,提高土壤通气性和保水性,为黄连的生长创造良好的土壤环境,进而提高黄连的产量和品质。复合菌剂的合理施用为解决黄连连作障碍问题提供了新的思路和方法。

3.3 合理的土壤管理制度

在集约化耕作制度下,当代农业过度依赖化肥并大量投入有机物和微生物,这已成为其基本特征。然而,这种做法引发了一系列可持续性问题,诸如土壤健康退化和作物生产力下降等^[38]。在黄连种植过程中,合理的土壤管理制度对于提高黄连产量和品质起着至关重要的作用。首先,选择排水良好、肥力适中的微酸性土壤作为黄连的种植基础至关重要,这需要对土壤进行详细化验和分析,以确保其满足黄连的生长需求。其次,在种植前对地块进行深翻和细耙,打破土壤板结,提升通气性和透水性,并结合化验结果合理施用有机肥和无机肥,为黄连提供均衡营养。

在生长期,根据黄连的生长需求和天气条件,制定科学的施肥计划,并保持合理的灌溉与排水,以防涝害,及时拔除中心病株、清除作物病残体,以减轻连作病害的影响;同时加强土地管理,采用高温闷棚、深翻土壤、蒸汽消毒、火焰消毒技术和热水消毒技术等方法,将病原菌翻入土壤中,加速病残体的分解和腐烂,从而消除其传染机会^[39]。土壤保护也不容忽视,通过避免过度耕作和滥用化肥、农药,以及采用生物和物理防治方法,可以有效减少病虫害,保障黄连健康生长。因此,在保证生态安全绿色可持续的前提下,要通过这一系列综合措施,争取为黄连创造一个理想的

土壤环境,从而提高其产量和品质,为黄连产业的持续发展奠定坚实基础。

4 结语与展望

黄连具有多重药理作用,包括抗炎、抗肿瘤、降血脂、降血糖、抗骨质疏松症和抗骨关节炎等效果。这些药理作用使得黄连在治疗细菌性痢疾、糖尿病、百日咳、喉咙痛、口疮和湿疹等疾病方面具有显著疗效^[40-42]。我国黄连的栽培历史深远,对于其栽培技术和产量品质有着严格的标准。黄连的药用成分含量不仅是衡量其质量的核心要素,更在临床应用中发挥着至关重要的作用^[43]。如今,黄连的应用已经广泛渗透到人们生活的方方面面,不仅在传统的中医药领域得到应用,还拓展到了饮食、保健品、化妆品、畜禽业以及绿色农药等多个领域。然而,随着黄连应用领域的不断拓展,人们对黄连的需求量急剧增加,这使得黄连的栽培变得更为重要和具有挑战性。由于黄连生长期长,且存在连作障碍等问题,因此,必须更加重视黄连的栽培技术和方法,以满足市场需求,并推动黄连产业的持续发展。

当黄连的残茬和凋零的地上部分在土壤中分解时,会释放出大量化感物质。这些物质在黄连的根际区域逐渐积累,可能吸引并滋生大量有害微生物,进而对黄连的根系生长造成抑制^[44]。在黄连的根际土壤中,植物、土壤与微生物之间存在着复杂的交互关系。为了有效缓解连作障碍,合理施用有机肥和微生物肥料成为关键,这不仅可以提升黄连的产量和品质,还能实现经济效益与生态效益的双重提升^[45]。当下的研究仅初步探索了黄连与土壤微生物间复杂的相互作用,但具体生理调控机制尚不清楚。未来,应该从基因和蛋白质层面进行深入探究,利用多组学和高通量测序等先进技术^[46-49],对连作土壤中逐渐积累的化感物质以及微生物群落失衡问题进行更为详尽的分析,并为解决黄连连作障碍提供全新的视角和解决方案,进而促进黄连产业的良性健康发展。

参考文献:

- [1] 郑琛. 黄连属植物系统发育及分类修订[D]. 南昌:江西农业大学,2022.
- [2] 徐锦堂,王立群,徐蓓. 黄连研究进展[J]. 中国医学科学院学报,2004,26(6):704-707.
- [3] WU J S, LUO Y, DENG D H, et al. Coptisine from *Coptis chinensis* exerts diverse beneficial properties: a concise review [J]. Journal of Cellular and Molecular Medicine, 2019, 23(12): 7946-7960.

- [4] 李大龙, 徐美良. 黄连生物碱治疗糖尿病肾病的研究进展[J]. 中国医药科学, 2024, 14(1): 72-75.
- [5] 胡茜, 张颖, 李塋, 等. 黄连主要成分小檗碱的临床药理作用探析[J]. 中国中医药现代远程教育, 2021, 19(24): 203-205.
- [6] 李慕源. 黄连种植土壤微生物组学特性及其在连作障碍修复中的应用[D]. 重庆: 西南大学, 2021.
- [7] WANG F Y, ZHAN P, ZHANG X M, et al. Unraveling rotational remedies: Deciphering the autotoxicity of *Panax notoginseng*saponins[J]. Industrial Crops and Products, 2023, 206: 117601.
- [8] ZHANG B, LI X Z, WANG F Q, et al. Assaying the potential autotoxins and microbial community associated with *Rehmannia glutinosa* replant problems based on its 'autotoxic circle' [J]. Plant and Soil, 2016, 407(1): 307-322.
- [9] 赵培强. 黄芪(*Astragalus membranaceus*)连作障碍的研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2009.
- [10] MOHAMMAD MURTAZA ALAMI. 黄连五年连作对土壤微生物群落的影响[D]. 湖北: 华中农业大学, 2020.
- [11] 牛四坤. 不同作物伴生对连作黄连产量和根际土壤微生物群落的影响[J]. 河南农业科学, 2020, 49(1): 52-60.
- [12] WU H M, LIN M H, RENSING C, et al. Plant-mediated rhizospheric interactions in intraspecific intercropping alleviate the replanting disease of *Radix pseudostellariae* [J]. Plant and Soil, 2020, 454(1): 411-430.
- [13] 罗梦香, 张森, 周旺, 等. 地黄连作障碍研究进展[J]. 河南农业大学学报, 2024, 58(1): 15-22.
- [14] LI J X, ZHAO T T, CHEN L, et al. *Artemisia argyi* allelopathy: a generalist compromises hormone balance, element absorption, and photosynthesis of receptor plants [J]. BMC Plant Biology, 2022, 22(1): 368.
- [15] 侯慧, 董坤, 杨智仙, 等. 连作障碍发生机理研究进展[J]. 土壤, 2016, 48(6): 1068-1076.
- [16] 杜用玺, 蒋靖怡, 徐扬, 等. 黄连常见病害研究进展与防治策略[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(5): 1067-1072.
- [17] 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, 2018.
- [18] 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 monoculturing[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 72: 11-18.
- [19] 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.
- [20] 武华卫, 陈善波, 金银春, 等. 不同施肥量对黄连早期生长量的影响[J]. 四川林业科技, 2017, 38(4): 1-5.
- [21] 喻伟龙. 有机肥替减化肥对黄连生物碱含量及根际土壤微生物的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- [22] 刘昌云, 张永至, 申杰, 等. 黄连根腐病发病因素分析及防治药剂筛选[J]. 植物医生, 2019(4): 24-27.
- [23] SHAN Z X, ZHOU S X, SHAH A, et al. Plant allelopathy in response to biotic and abiotic factors [J]. Agronomy, 2023, 13(9): 2358.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] VASHISHTH D S, BACHHETI A, BACHHETI R K, et al. Allelopathic effect of *Callistemon viminalis*'s leaves extract on weeds, soil features, and growth performance of wheat and chickpea plants [J]. Journal of Plant Interactions, 2023, 18(1): 2248172.
- [27] REBOLLEDO-LEIVA R, ALMEIDA-GARCÍA F, PEREIRA-LORENZO S, et al. Determining the environmental and economic implications of lupin cultivation in wheat-based organic rotation systems in Galicia, Spain[J]. Science of the Total Environment, 2022, 845: 157342.
- [28] VESTBERG M, SAARI K, KUKKONEN S, et al. Mycotrophy of crops in rotation and soil amendment with peat influence the abundance and effectiveness of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi in field soil[J]. Mycorrhiza, 2005, 15(6): 447-458.
- [29] 李鑫鑫. 黄连栽培模式对土壤因子的影响及黄连品系间主要生理指标研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [30] 赵磊. 川牛膝与黄连轮作规范化种植规程(SOP)和川牛膝多糖提取分离技术研究[D]. 成都: 成都中医药大学, 2009.
- [31] RAZA M A, YASIN H S, GUL H, et al. Maize/soybean strip intercropping produces higher crop yields and saves water under semi-arid conditions[J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 1006720.
- [32] XUE Y F, XIA H Y, CHRISTIE P, et al. Crop acquisition of phosphorus, iron and zinc from soil in cereal/legume intercropping systems: a critical review [J]. Annals of Botany, 2016, 117(3): 363-377.
- [33] 段媛媛, 刘晓洪, 吴佳奇, 等. 间作模式对黄连生理生长性状及根际土壤理化性质的影响[J]. 生态学杂志, 2020, 39(11): 3676-3685.
- [34] 徐锦堂, 袁政, 周继武. 林间栽连及玉米黄连套种黄连生态栽培技术[J]. 中国医学科学院学报, 2004, 26(6): 604-607.
- [35] 曾烨, 王学奎, 周波, 等. 配方施肥对生长中期黄连养分和品质的影响[J]. 西南农业学报, 2013, 26(5): 1924-1928.
- [36] 陈仕江, 张德利, 钟国跃, 等. 黄连缓释专用肥对其产量、养分、品质的影响研究[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(20): 2313-2316.
- [37] 周涛. 黄连连作障碍修复菌剂的制备与应用研究[D]. 重庆: 西南大学, 2021.
- [38] GUPTA G, DHAR S, KUMAR A, et al. Microbes-mediated integrated nutrient management for improved rhizomodulation, pigeonpea productivity, and soil bio-fertility in a semi-arid agro-ecology[J]. Frontiers in Microbiology, 2022, 13: 924407.
- [39] 孙泽万, 孙媛, 朱万辉, 等. 利川市黄连根腐病发病规律及综合防治建议[J]. 湖北植保, 2023(1): 59-60, 69.

[40] 陈斐杰,夏会娟,刘福德,等. 生物质炭特性及其对土壤性质的影响与作用机制[J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(1):161-172.

[41] 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.

[42] WANG J, WANG L, LOU G H, et al. Coptidis Rhizoma: a comprehensive review of its traditional uses, botany, phytochemistry, pharmacology and toxicology [J]. Pharmaceutical Biology, 2019, 57(1): 193-225.

[43] ZHANG Y H, MA J L, ZHANG W F. Berberine for bone regeneration: therapeutic potential and molecular mechanisms[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2021, 277: 114249.

[44] CHEN D X, PAN Y, WANG Y, et al. The chromosome-level reference genome of *Coptis chinensis* provides insights into genomic evolution and berberine biosynthesis [J]. Horticulture Research, 2021, 8(1): 121.

[45] LAVANYA G, VASUNDHARA S, REDDY B R K, et al. Effect of microbial inoculants on crop growth, yield, biochemical and physiological parameters of blackgram [*Vigna mungo* (L.) hepper][J]. International Journal of Environment and Climate Change, 2023, 13(10): 3808-3816.

[46] WAMBAC Q E, ALLOUL A, GRUNERT O, et al. Aerobes and phototrophs as microbial organic fertilizers: Exploring mineralization, fertilization and plant protection features [J]. PLoS One, 2022, 17(2): e0262497.

[47] de FREITAS G M, THOMAS J, LIYANAGE R, et al. Cold tolerance response mechanisms revealed through comparative analysis of gene and protein expression in multiple rice genotypes[J]. PLoS One, 2019, 14(6): e0218019.

[48] VANDEREYKEN K, SIFRIM A, THIENPONT B, et al. Methods and applications for single-cell and spatial multi-omics[J]. Nature Reviews. Genetics, 2023, 24(8): 494-515.

[49] CAO T T, LUO Y C, SHI M, et al. Microbial interactions for nutrient acquisition in soil: Miners, scavengers, and carriers [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2024, 188: 109215.

Research Progress on Continuous Cropping Obstacles of Huanglian(*Coptis chinensis* Franch.)

LIU Cheng¹, LI Runzi¹, ZHOU Yiquan², OUYANG Jin¹, XIONG Zhengwei¹, XIONG Yun¹, RAN Jiahua¹, RAN Xinhe¹

(1. College of Biological and Chemical Engineering, Chongqing Second Normal University / Chongqing Field Scientific Observation and Research Station for Authentic Traditional Chinese Medicine in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 400067, China; 2. Chongqing Institute of Traditional Chinese Medicine, Chongqing 400067, China)

Abstract: As an essential traditional Chinese medicinal material, Huanglian (*Coptis chinensis* Franch.) holds an irreplaceable and significant position in the system of traditional Chinese medicine, boasting a long history of medicinal use. However, with the prolongation of Huanglian cultivation years, the obstacles of continuous cropping have become increasingly prominent, posing a severe threat to its yield and quality, thereby affecting the steady development of the entire Huanglian industry. This paper delved into the potential hazards arising from the continuous cropping of Huanglian, comprehensively analyzed the underlying causes of these cropping obstacles, and summarized a series of practical and feasible mitigation measures accordingly. Research indicated that the gradual deterioration of soil physical and chemical properties, the intensification of soil-borne pests and diseases, and the allelopathic autotoxicity of Huanglian itself were the three primary factors leading to continuous cropping obstacles. The emergence of these factors were closely related to the complex interactions among Huanglian, soil, and microorganisms. Therefore, we should optimize cultivation measures, implement soil microenvironment restoration, and accelerate the comprehensive management of resistant variety breeding, so as to promote the high-quality development of Huanglian.

Keywords: *Coptis chinensis*; continuous cropping obstacles; allelopathic autotoxicity; rhizosphere microorganisms; mitigation measures