



消减大豆连作障碍的养分调控技术研究进展

孙义卓¹, 蔡姗姗¹, 王伟¹, 郭伟², 孙磊¹, 孙海燕²

(1. 黑龙江省黑土保护利用研究院, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江八一农垦大学 农学院, 黑龙江 大庆 163000)

摘要:为明确不同养分调控技术对大豆连作障碍消减的作用, 本文阐述了大豆连作障碍的发生与危害。从提高肥料养分供应能力、改善土壤理化性状和优化土壤微生物环境 3 个方面分别综述了针对大豆连作障碍中不同危害的解决方案。通过改变施肥方式、时间、数量等方式解决大豆长期连作导致土壤中养分偏耗和影响大豆生长发育的问题; 通过使用不同改良剂针对性地解决土壤酸化、板结、保水保肥能力下降的问题; 在大豆连作土壤中接入有益微生物, 从而降低有害微生物及病原菌的活性, 最终达到改善土壤微生物环境的效果。最后总结得出, 消减大豆连作障碍过程中尚待解决的问题以及养分调控技术的研究方向, 为大豆连作障碍的发生发展机理的研究、养分调控技术的优化改良提出建议和展望。

关键词:大豆; 连作障碍; 土壤质量退化; 养分调控技术

Research Progress on Nutrient Regulation Technology on the Reduction of Soybean Continuous Cropping Barrier

SUN Yizhuo¹, CAI Shanshan¹, WANG Wei¹, GUO Wei², SUN Lei¹, SUN Haiyan²

(1. Heilongjiang Institute of Black Soil Protection and Utilization, Harbin 150086, China; 2. College of Agriculture, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163000, China)

Abstract: In order to clarify the effect of different nutrient regulation technologies on the reduction of soybean continuous cropping obstacles, this paper expounds the occurrence and harm of soybean continuous cropping obstacles. In this paper, the solutions for different hazards in soybean continuous cropping obstacles were reviewed from three aspects: Improving fertilizer nutrient supply capacity, improving soil physical and chemical properties, and optimizing soil microbial environment. The problem of long-term continuous cropping of soybean causing nutrient depletion in the soil and affecting the growth and development of soybean was solved by changing the fertilization method, time and quantity. By using different amendments, the problems of soil acidification, compaction, and the decline of water and fertilizer retention capacity can be solved. Beneficial microorganisms were introduced into soybean continuous cropping soil, so as to reduce the activity of harmful microorganisms and pathogenic bacteria, and finally achieve the effect of improving the soil microbial environment. Finally, it is concluded that the problems to be solved in the process of reducing soybean continuous cropping obstacles and the research direction of nutrient regulation technology were summarized to provide suggestions and prospects for the research on the occurrence and development mechanism of soybean continuous cropping obstacles and the optimization and improvement of nutrient regulation technology.

Keywords: soybean; continuous obstacles; soil quality degradation; nutrient control technology

大豆是我国重要的粮油作物之一, 其主要产区为我国东北部。2022 年我国东北部大豆种植面积占全国大豆种植面积的 52.2%, 其中以黑龙江省为最多, 种植面积为 493.2 万 hm^2 。近年来, 我国大豆种植面积和年产量均呈现增长趋势, 2022 年大豆种植面积增长了 182.87 万 hm^2 ^[1], 达到了 1958 年以来的最高点。但是由于土地资源有限、市场需求量过大等原因, 大豆连作的种植方式在黑龙江省部分地区普遍存在。大豆是对连作种植方式极为敏感的典型作物之一, 连作种植极易使土壤理化性状恶

化, 微生物环境平衡被破坏, 诱发病虫害, 最终导致大豆生长发育受阻, 产量和质量均下降的结果^[2]。由于大豆连作而导致的土壤障碍, 已经成为限制中国大豆生产效率和可持续发展的一个重要瓶颈。

养分调控是消减大豆连作产生的一系列危害的主要技术措施, 目前国内外大豆连作障碍养分调控技术的作用途径一般可以分为 3 类: 通过改变施肥方式及化肥种类来提高养分供应能力^[3]; 施用土壤改良剂来达到改良土壤理化环境和缓解大豆化感自毒作用的效果^[4-5]; 在连作土壤中接入有益微

收稿日期: 2023-11-15

基金项目: 国家大豆产业技术体系 (CARS04); 黑龙江省揭榜挂帅项目 (2021ZXJ05B011); 中国与联合国开发计划署合作水资源管理方案之促进黑土区水资源保护与农业可持续发展示范项目 (CPR/21/401)。

第一作者: 孙义卓 (1998—), 男, 硕士研究生, 主要从事土壤肥力研究。E-mail: 937154436@qq.com。

通讯作者: 孙磊 (1981—), 男, 博士, 研究员, 主要从事大豆养分管理研究。E-mail: tufeisuosunlei@163.com;

孙海燕 (1979—), 女, 副教授, 主要从事植物营养与生理研究。E-mail: shysun7908@126.com。

生物和施入微生物菌剂来改善土壤微生物环境^[6]。本文在阐述了大豆连作障碍成因的基础上,对养分调控技术的发展前景进行展望,以期大豆连作障碍消减技术的改进提供理论依据。

1 大豆连作障碍成因

国内外大量对连作障碍的研究都集中在土壤养分亏缺偏耗、土壤理化性质的恶化及状态的改变、土壤微生物种类及多样性、作物的化感自毒作用等方面^[8-12]。土壤理化性状恶化、土壤微生物多样性丰富度下降、根系分泌物与残茬分解物等导致的化感自毒作用,是导致作物连作障碍的主要原因^[7]。引起大豆连作障碍的因素大致分为以下几点:一是土壤理化性质的恶化;二是土壤微生物环境及种类的变化;三是植物的化感自毒作用。

1.1 土壤理化性质改变

大豆连作导致的土壤理化性质的恶化主要体现在土壤养分偏耗、土壤酸化和土壤容重等方面。此外,大豆连作还会对土壤中的水稳性团聚体产生不同程度的影响,造成土壤中水分、气体、养分的积累和消耗情况的失衡^[13]。研究表明,大豆在生长发育的过程中会大量消耗钾元素,长期连作会导致土壤中的钾元素亏缺,从而影响大豆的光合速率,导致根冠比增大^[14-18],还可以间接影响大豆植株对氮、磷的吸收和利用^[19]。随着大豆连作年限的增长,土壤中一些微量元素如钼、硼、锌等的含量和有效性也随之降低^[20-21]。研究显示,在大豆连作过程中,土壤中的腐殖质和胡敏酸的含量也会下降,连作会使腐殖质的组成成分、形态等性质都发生明显改变,使腐殖质从高效的紧密结合状态转变成低效的松散和稳定两种形态^[22]。土壤腐殖化程度也会随着连作年限的增加而呈下降趋势^[23]。大豆连作导致土壤发生的一系列变化对土壤肥力的长期保持有不利影响,还会对耕地的生态稳定和可持续性造成影响^[24]。此外,土壤酸化的原因一般是由于大豆根系固氮作用的存在,导致无法完全吸收所施氮肥,大量的氮长期累积在土壤中转化成硝态氮,与土壤中的钙离子结合流失,土壤中氢离子过剩,导致土壤酸化^[25],也有研究表明是大豆根系分泌的酚酸类物质长年累积最终导致土壤酸化^[26]。大豆在酸胁迫的土壤环境中根系吸收能力随连作时间的增加而降低^[14]。大豆连作后的土壤理化性质恶化,导致大豆的生长发育情况受到负面影响,最终导致了大豆减产低质的结果。

1.2 土壤微生物环境恶化

土壤微生物的主要组成部分是细菌、真菌和放线菌,这3种微生物的数量多少会直接影响土壤中的养分水平及生化活性等指标。此外,土壤微生物的群落变化是判断土壤中物质代谢程度的重要依据^[27]。有研究表明,当可以改变微生物群落组成或影响其活动的因素发生改变时,就会对作物的生长和发育产生显著的影响^[28]。早在1996年就有学者在大豆灭菌的实验中发现,土壤生物学因素,包括细菌、真菌数量及优势菌门发生的变化,是引发大豆连作障碍的主要因素之一^[13]。在这之后,便有很多学者针对这一发现做了大量更加细致、全面的研究,基本确定了在大豆连作后,根系土壤中的细菌群落结构发生了变化,土壤中有益细菌数量减少,有害真菌总量增加^[29-31]。在大豆连作过程中土壤有益于大豆生长的细菌减少,引发大豆根腐病、孢囊线虫等其他病虫害的有害真菌如青霉菌、镰刀菌等增加^[32-34],使大豆连作土壤从高肥的“细菌型”土壤转变成低肥的“真菌型”土壤^[35]。而导致这一现象发生的原因是,大豆连作导致土壤酸化,因为酸化后的土壤环境既有利于真菌生长又抑制了细菌和放线菌的生长,所以导致真菌成为优势菌群^[36],最终导致大豆连作障碍的发生。

1.3 化感自毒作用

植物的化感作用是指活体植株通过其地上部分及根部向空气环境或土壤微环境中以挥发、淋溶、分泌和分解等方式释放化学物质,而对在其周围的植物和微生物,间接或直接地产生一些影响的现象^[37]。大豆长期连作会造成植株残体腐解、产生根系分泌物及向周围土壤环境释放化感物质等结果,从而对大豆种子的萌发产生抑制作用,对大豆植株的生长发育产生影响,表现出明显的自毒现象^[38-45]。诸多学者在不同的实验处理中^[46],对连作大豆根系进行了测定,发现其分泌物中都含有酚、醛、烃、酸、酯、苯和醇等化合物。已有研究表明,对大豆连作根分泌物具有化感效应的主要成分为酚酸类物质^[46-48]。这些根系分泌物主要抑制大豆种子的萌发和主根的生长,当同一种作物连续种植后,根系分泌物种类单一并长期积累在土壤中,根系活动对微生物的激活作用也相对减小^[49],导致植物给微生物提供的营养也较为单一,最终导致连作障碍的发生。

综上所述,通常所说的连作障碍不仅是指同种作物连续种植带来的连作障碍,还包括了长期不合

理施肥导致的土壤质量下降引起的土壤障碍。即使更换耕作模式,随着种植年限的增加,也可能引发生物发育障碍^[50]。需要针对不同作物和不同土壤的不同连作障碍的主导因素,选择针对性的养分调控技术,以消减大豆连作造成的土壤障碍。

2 养分调控技术对大豆连作土壤障碍的消减作用

目前对于消减大豆连作导致的土壤障碍的养分调控技术主要有以下 3 种:一是根据大豆需肥规律和养分偏耗特征等,改变施肥用量、方式、肥料种类等科学方式,从而提高养分供应能力;二是根据连作导致的不同土壤恶化类型针对性地施用化学改良剂和微生物菌剂,从而改善土壤环境和土壤微生物环境;三是通过土壤灭菌手段和抗性品种的选择来消减连作产生的化感自毒物质。

2.1 合理提高土壤养分供应能力

采用一个科学合理的施肥方式和肥料种类,是提高大豆连作土壤养分供应能力的重要手段。一方面急需加强对大豆需肥规律和养分偏耗特征的研究,另一方面要高度重视合理平衡的施肥技术的应用。目前针对大豆连作障碍使用的施肥调控技术主要是不同有机物料和微量元素与化肥配施、叶面肥和控释肥的施用。

前人研究表明优化施肥方案,增施有机肥可使土壤容重降低,孔隙率增加,呼吸强度增加,土壤有机质含量增加、作物的抗病性提高^[51-52],减轻矿物质化肥对土壤的负面影响^[53]。不同有机物料在大豆连作土壤中的作用各不相同:施用有机物料均能够有效减轻连作土壤酸化的问题;畜禽粪便类有机物料对提高大豆土壤速效钾含量效果显著;天然有机物料对提高土壤中碱解氮作用明显,正茬和连作分别平均提高 6.31% 和 3.30%^[53]。研究发现,在大豆生长发育的关键时期,使用多种化学抑制剂叶面喷施能够改善大豆的产量和品质。如果在苗期喷 LMA(利用适量浓度与比例的延缓型调节剂调环酸钙与促进型调节剂胺鲜酯进行复配并添加助剂后形成复配类化控剂,规格 20 g,有效含量为 17%),在初花期和鼓粒期喷 LMB(利用适量浓度与比例的延缓型调节剂调环酸钙与促进型调节剂油菜素内酯进行复配并添加助剂后形成复配类化控剂,规格 20 g,有效含量为 11%),则能使大豆的蛋白质含量大幅度增加,而在鼓粒期再喷施 LMA,则能使水溶蛋白、醇溶蛋白和蛋白质含量均大幅度增

加^[54-55]。在大田条件下,可根据大豆生长发育的需要,选择不同的喷施方法及喷施时期。与常规施肥相比,大豆在施用控释肥后,植株的农艺性状得到了明显的改善,大豆产量、肥料贡献率、肥料农学效率都显著提高,且控释肥对不同品种大豆的效果有所差异^[56]。在邹狮等^[57]研究中表明,施氮肥有利于籽粒产量的增加,但抑制大豆的结瘤和根瘤的发育,其中 V2 期施用氮肥更有利于大豆固氮和籽粒产量的提升,而 R1 期施用氮肥更有利于籽粒脂肪含量的增加,以及对异黄酮抑制作用更小,但施氮量需要控制在 5 mg N·kg⁻¹土为宜。同时,微量元素在大豆生长过程中也有着不可代替的地位。有研究表明^[58]在大豆连作土壤中,添加微量元素对大豆的抗病性和生长发育起到了关键作用,而不同类型的微量元素添加与缺失对大豆的影响也不相同。在单独施加微量元素的情况下,可以使大豆各品种中的蛋白质和脂肪含量增加,不同的微量元素配合施用的效果与单独施用的效果相比有显著提升,大量元素和微量元素肥料的配合施用,可以使大豆的品质得到更大程度的提升。此外,微肥的施用还可以起到降低株高,增加收获产量、荚数、粒数等作用^[59]。

综上所述,通过施用不同种类的化肥及在不同生育期追施化肥等方式,大豆连作土壤的养分供应能力可得到相应提升。大豆的农艺性状、产量、品质及化肥利用率也都会得到不同程度的改善及提升。

2.2 改良大豆连作土壤理化环境及微生物环境

目前对于改良大豆连作土壤理化环境及微生物环境主要采用化学调控技术,化学调控技术的发展得利于现代化工产业的发展。其主要措施是向连作土壤中施用不同种类的土壤改良剂,发挥各种改良剂本身自带的各种特性。如沸石由于其特殊的结构特点,施入土壤后可以增加土壤对铵态氮和钾离子的吸附,增强土壤的保肥能力,又能在作物需要时重新释放吸附的养分,增强作物对养分的利用率等,通过这种技术达到改善土壤理化性质的效果^[60]。在金梁等^[61]的研究中发现,生物炭与化肥配施后能显著改善大豆连作土壤的物理性状,配施 3 年后土壤团聚结构显著增强,土壤团聚体的数量增加。而改良土壤微生物环境可以通过施入微生物菌肥的方式实现,微生物菌肥的施用不仅能够使大豆的生物量、抗性 & 营养成分的含量提高,还能够使土壤肥力提高,从而使土壤形成一个稳定的微

生态系统。一般分成微生物菌剂、复合微生物肥料、生物有机肥3大类^[16,62]。

土壤改良剂含有一定量的氮磷钾等营养元素,且能够通过调节土壤结构来增强土壤保水保肥能力。郭和容等^[42]通过实验证明对南方的酸性土壤合理施用土壤改良剂可以有效改善酸性土壤固磷的问题,从而提高酸性土壤中磷肥的利用率,恢复土壤生态环境,缓解土壤连作障碍^[39]。有益微生物被接入土壤中,能够与病原微生物争夺生存空间和养分,抑制病原菌的生长,形成根际生物屏障,阻止有害微生物入侵,减轻病原菌的危害,降低土传病害的发生和严重性^[63-64]。有研究显示,在土壤中使用微生物菌剂能够对微生物的数量进行调控,从而提高细菌所占的比重。与肥料配合使用,还能够确保产量的同时,提高土壤中的酶活性,并促进土壤中微生物的代谢,加快土壤中腐殖质的形成,减少土壤中放线菌的数量^[65-67]。刘昭军等^[68]和张兴梅等^[69]对不同种类的微生物菌剂进行研究后发现,施用微生物菌剂不仅可以对病害进行抑制,还可以对土壤中微生物的生态环境以及群落变化进行改善,并对根系化感物质进行降解,使大豆根系的化感作用减弱,进而促进大豆根系和植株的发育。在连作土壤中加入氨基酸肥也可以对土壤进行改良,减少土壤中的尖孢镰刀菌^[62]。施用微生物菌肥可以增加土壤中有益微生物的数量,使土壤生态环境得到修复,从而减轻土壤连作障碍^[63]。

综上所述,化学调控技术可以改善大豆常年连作土壤的理化性质。通过施用不同种类的改良剂,可以实现提高土壤保肥保水能力、调节土壤pH、改善土壤物理形状、增加土壤的通水透气性、防治土壤板结等,从不同方面缓解大豆连作障碍对土壤和大豆生长过程中的危害。通过施用微生物菌剂可以抑制有害病原菌的生长,抵御有害微生物的入侵,提高土壤酶活性,促进微生物代谢循环,还可以对大豆长年连作导致土壤中积累的化感物质进行降解,从而促进大豆根系的生长发育。

2.3 消减大豆连作引发的化感自毒作用

在连续种植同种作物的情况下,土壤灭菌消毒以及改良土壤性状也是克服连作障碍的一个重要途径。对土壤的灭菌消毒包括物理、化学、生物灭菌消毒3大措施。物理灭菌消毒包括太阳能灭菌消毒、蒸气灭菌消毒等;化学灭菌消毒包括使用1,3-二氯丙烯、福尔马林、二甲基二硫等;生物灭菌消毒主要利用生物性物质进行熏蒸来达到效果^[70]。

土壤灭菌消毒在防治细菌、真菌以及线虫方面都有不同程度的效果,且能有效消减作物在生产中出现的自毒物质。当前,土壤灭菌消毒方式正在逐步完善,具备了多样化、系统化的特点,大面积种植作物时应选择适宜的土壤灭菌消毒方式,从而改良土壤理化性质,增加土壤的通透性。

在育种技术不断发展的前提下,应用抗性品种克服作物连作障碍问题是一项重要措施。通过育种及杂交等方法选育出抗性高、耐病虫害强的优良品种,来提高大豆对化感自毒物质及由镰刀菌、线虫引起的病虫害的抗性。在目前的实际生产中利用抗性品种克服连作障碍已经得到广泛应用^[71]。

综上所述,通过对抗性品种的选育和对土壤进行不同类型的灭菌处理,可以有效消减大豆长期连作后土壤中积累的根系分泌物,并降低土传病害的发生几率,缓解化感自毒作用引起的大豆连作障碍,提高大豆的产量与品质。

3 展望

自我国2020年9月发布“双碳”的战略目标后,实现绿色、环保、低碳的农业生产方式成为农业生产的重中之重。因此,在农业生产中应采取更绿色、低碳的方式消减大豆连作障碍。同时,也要从农户的利益角度出发,优化现有的养分调控技术,筛选出更经济有效的施肥方式、土壤改良剂和微生物菌剂种类。单一措施的使用并不能有效消减大豆连作引发的多种障碍。在生产实践中可以将不同措施叠加使用,例如:化肥配施土壤改良剂,可以增加土壤的养分供应能力,缓解土壤酸化、板结的问题;将微生物菌肥与基础化肥共同施入大豆连作土壤中,可以减少病原菌的数量,从而降低土传病害的发生频率等。将不同措施进行综合运用、相互配合,才能有效地消减大豆连作障碍。针对大豆连作障碍问题,提出以下几点消减及治理措施的建议。

3.1 合理轮作

轮作可以显著提高土壤酶活性、提高土壤有机质含量、降低土传病害的发生概率。大豆玉米轮作是黑龙江省农业生产中最常用的主要轮作方式之一,是当前优化作物种植结构和加速现代化农业建设的关键措施。在玉米茬种植大豆不仅可以避免大豆连作障碍,还可以利用前茬作物剩余的肥料及玉米秸秆还田培肥地力,减少农药使用量,从而降低土壤的污染程度促进耕地良性循环,实现用地养地、消减轮作障碍、促进作物生长,最终达到大豆品

质优化和产量提升的目的。

3.2 施用绿色智能肥料

施肥是保证大豆高产稳产的关键措施,但长期施用传统化肥会造成土壤酸化、板结、养分失调等问题。绿色智能肥料是由张福锁院士提出的一种具有养分高效、低碳环保、低排无废、资源全量利用等绿色特点的新型化肥^[72];绿色智能肥料可以根据土壤环境条件的变化,自主调节养分释放强度,从而与作物养分需求相匹配,可以对土壤含水率、pH值甚至土壤温度的变化做出反应,实现养分的精准释放。因此,在大豆连作中应用绿色智能肥料可以减少化肥施用量,从而降低对土壤环境的污染。还可以按照大豆养分需求精准供应养分,促进大豆生长发育、达到优质高产。

3.3 农机农艺结合

科学合理的土壤耕作能够为作物生长创造良好的土壤环境。进行合理的土壤耕作可以缓解土壤板结,为大豆根系生长发育创造良好的土壤条件。在土壤耕作方面应坚持以深松为主的松、翻、耙、旋相结合的土壤耕作制度。在耕作的过程中通常需要根据种植物的特点使用农业机器来建立良好的土壤耕层构造。将农机农艺相融合技术运用到大豆生产上,能够有效地控制大豆土壤连作障碍导致的减产问题。使用机械深翻等方法,以打破大豆根际原生长环境为目的,通过土壤耕作形成新的根际生长环境,降低病虫害。

参考文献

[1] 国家统计局. 中国统计摘要-2023[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023: 12-8. (National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China statistical abstract - 2023 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2023: 12-8.)

[2] 许艳丽, 韩晓增. 大豆重迎茬研究[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1995. (XU Y L, HAN X Z. Study on soybean replanting [M]. Harbin: Harbin Engineering University Press, 1995.)

[3] 宋蒙亚, 李忠佩, 刘明, 等. 不同有机物料组合对土壤养分和生化性状的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(17): 3594-3603. (SONG M Y, LI Z P, LIU M, et al. Effects of mixtures of different organic materials on soil nutrient content and soil biochemical characteristics [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(17): 3594-3603.)

[4] MATTHIAS C R, MARCEL W, MOHAMED S, et al. Material derived from hydrothermal carbonization: Effects on plant growth and arbuscular mycorrhiza[J]. Applied Soil Ecology, 2010, 45: 238-242.

[5] 任旭琴, 高军, 陈伯清, 等. 辣椒 DBP/DIBP 胁迫及其修复剂

优化和机理研究[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(6): 1121-1126. (REN X Q, GAO J, CHEN B Q, et al. Pepper growth influenced by and formula optimization and mechanisms of remediation for DBP/DIBP [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2015, 34(6): 1121-1126.)

[6] 朱诗君, 王丽丽, 金树权, 等. 微生物菌剂菌肥对西瓜连作障碍的缓解作用[J]. 中国农学通报, 2023, 39(28): 48-53. (ZHU S J, WANG L L, JIN S Q, et al. The alleviating effect of microbial fertilizer on watermelon continuous cropping obstacles [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2023, 39(28): 48-53.)

[7] 黄秀荣. 解决大豆重茬减产的技术措施[J]. 吉林农业, 2018(21): 41-42. (HUANG X R. Technical measures to solve the problem of soybean continuous cropping and yield reduction[J]. Agriculture of Jilin, 2018(21): 41-42.)

[8] 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. (ZHANG X L, PAN Z G, ZHOU X F, et al. Autotoxicity and continuous cropping obstacles: A review[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2007, 38(4): 781-784.)

[9] 黄丽英. 黑龙江省高寒地区大豆重迎茬减产原因及高产措施[J]. 种子世界, 2015(10): 48-49. (HUANG L Y. Reasons and high-yield measures for soybean yield reduction in cold region of Heilongjiang Province[J]. Seed World, 2015(10): 48-49.)

[10] 韩天富, 周新安, 关荣霞, 等. 大豆种业的昨天、今天和明天[J]. 中国畜牧业, 2021(12): 29-34. (HAN T F, ZHOU X A, GUAN R X, et al. Past, now and future of soybean seed industry [J]. China Animal Industry, 2021(12): 29-34.)

[11] 秦广杰. 设施蔬菜连作障碍的原因及防治措施研究[J]. 农业开发与装备, 2020(9): 155-156. (QIN G J. Study on the causes and control measures of continuous cropping obstacles of protected vegetables [J]. Agricultural Development & Equipments, 2020(9): 155-156.)

[12] Hiddink G A, Termorshuizen A J, van Bruggen A H C. Mixed cropping and. Suppression of soilborne diseases Lichtfouse E. Genetic engineering, biofertilisation, soilquality and organic farming, sustainable agriculture reviews [M]. Netherlands: Springer20,104:119-146.

[13] 季尚宁, 肖玉珍, 田慧梅, 等. 土壤灭菌对连作大豆生长发育的影响[J]. 东北农业大学学报, 1996, 27(4): 326-329. (JI S N, XIAO Y Z, TIAN H M, et al. Effect of soil sterilization on growth and development of continuous cropping soybean [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 1996, 27(4): 326-329.)

[14] 邵畅畅, 韦小丽, 周紫晶, 等. 供磷水平对棕榈幼苗生长及根系形态的影响[J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(1): 12-15. (SHAO C C, WEI X L, ZHOU Z J, et al. Effects of phosphorus levels on growth and root morphology of *Trachycarpus fortunei* seedlings[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2021, 49(1): 12-15.)

[15] 计钟程, 许文芝, 赵立臣. 连作大豆对土壤水分和养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(S1): 89-92. (JI Z C,

XU W Z, ZHAO L C. Effects of continuous cropping soybean on soil moisture and nutrients [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 1995, 1(S1): 89-92.)

[16] WANG Z, PENG Z, NI S, et al. Progress in spelean stalagmite paleoclimatology and chronology [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 1999, 18(1): 25-29.

[17] 计钟程, 许文芝. 重茬大豆减产与土壤环境变化[J]. 大豆科学, 1995, 14(4): 321-329. (JI Z C, XU W Z. Continuous cropping soybean yield reduction and soil environment change[J]. Soybean Science, 1995, 14(4): 321-329.)

[18] 王金陵. 大豆[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1982: 86. (WANG J L. Soybean [M]. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 1982: 86.)

[19] 王金龙, 徐冉, 陈存来, 等. 大豆连作下土壤环境条件变化的概述[J]. 大豆科学, 2000, 19(4): 367-371. (WANG J L, XU R, CHEN C L, et al. General review in the study of barrier mechanism caused by continuous soybean cropping[J]. Soybean Science, 2000, 19(4): 367-371.)

[20] 杨庆凯, 马占峰, 李季文. 黑龙江省大豆重迎茬问题及对策[J]. 大豆科学, 1994, 13(2): 157-163. (YANG Q K, MA Z F, LI J W. Problems and countermeasures of soybean replanting in Heilongjiang Province[J]. Soybean Science, 1994, 13(2): 157-163.)

[21] 刘芷宇. 根际微域环境的研究[J]. 土壤, 1993, 25(5): 225-230. (LIU Z Y. Study on rhizosphere micro-environment[J]. Soils, 1993, 25(5): 225-230.)

[22] 李艳. 黑土区大豆连作土壤线虫群落特征及其影响因子研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2021. (LI Y. Characteristics of soil nematode community and its influencing factors in soybean continuous cropping in black soil region[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2021.)

[23] 傅慧兰, 邹永久, 韩丽梅, 等. 大豆连作土壤障碍因素研究: II. 连作土壤酶活性与肥力因素间的相关性分析[J]. 大豆科学, 1996, 15(4): 332-339. (FU H L, ZOU Y J, HAN L M, et al. Effect of continuous soybean cropping on obstacle factors of soil ii. correlative analysis between enzyme activity of continuous cropping soil and fertility factors[J]. Soybean Science, 1996, 15(4): 332-339.)

[24] 王晶英, 郑桂萍, 张红燕, 等. 连作大豆根冠比增大原因的研究[J]. 大豆科学, 1997, 16(2): 45-51. (WANG J Y, ZHENG G P, ZHANG H Y, et al. Study on the reasons for the increase of root-shoot ratio of continuous cropping soybean [J]. Soybean Science, 1997, 16(2): 45-51.)

[25] 高群, 孟宪志, 于洪飞. 连作障碍原因分析及防治途径研究[J]. 山东农业科学, 2006, 38(3): 60-63. (GAO Q, MENG X Z, YU H F. Reason analysis and control methods of succession cropping obstacle[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2006, 38(3): 60-63.)

[26] MARSCHNER H, 范晓晖. 根系分泌物对根际矿质养分的活化作用 [J]. 土壤学进展, 1992, 20(2): 46-47, 49. (MARSCHNER H, FAN X H. Activation of root exudates on mineral nutrients in rhizosphere[J]. China Industrial Economics, 1992, 20(2): 46-47, 49.)

[27] 沈仁芳, 赵学强. 土壤微生物在植物获得养分中的作用[J]. 生态学报, 2015, 35(20): 6584-6591. (SHEN R F, ZHAO X Q. Role of soil microbes in the acquisition of nutrients by plants [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(20): 6584-6591.)

[28] 汪顺义, 冯浩杰, 王克英, 等. 盐碱地土壤微生物生态特性研究进展[J]. 土壤通报, 2019, 50(1): 233-239. (WANG S Y, FENG H J, WANG K Y, et al. Advances of soil microbial ecological characteristics in saline-alkali soil[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2019, 50(1): 233-239.)

[29] 台莲梅, 张红梅, 闫风云, 等. 重迎茬对大豆根际土壤微生物数量的影响[J]. 土壤肥料, 2003(6): 41-42, 47. (TAI L M, ZHANG H M, YAN F Y, et al. Effect of the amount of soil microbe in soybean rhizosphere under the condition of soybean continons or companion cropping[J]. Soils and Fertilizers, 2003(6): 41-42, 47.)

[30] 马春梅, 唐远征, 季尚宁. 作物定位轮作体系长期试验研究 (II): 不同轮作方式对大豆田土壤微生物数量的影响[J]. 东北农业大学学报, 2004, 35(6): 645-650. (MA C M, TANG Y Z, JI S N. Long-term crop rotation research (II)—The impact on soil microorganisms quantity of the soybean field of different crop rotation ways [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2004, 35(6): 645-650.)

[31] 邹莉, 袁晓颖, 李玲, 等. 连作对大豆根部土壤微生物的影响研究[J]. 微生物学杂志, 2005, 25(2): 27-30. (ZOU L, YUAN X Y, LI L, et al. Effects continuous cropping on soil microbes on soybean roots[J]. Journal of Microbiology, 2005, 25(2): 27-30.)

[32] 刘金波, 许艳丽, 李春杰, 等. 长期连作对大豆根际真菌主要类群的影响[J]. 农业系统科学与综合研究, 200, 925(1): 105-108, 113. (LIU J B, XU Y L, LI C J, et al. Effect of soybean long term continual cropping on main groups of rhizosphere fungi [J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 200, 925(1): 105-108, 113.)

[33] 陈申宽, 黄复民, 郭桂清, 等. 大豆连作土壤肥力变化与有害生物发生的关系[J]. 中国农学通报, 2006, 22(7): 373-376. (CHEN S K, HUANG F M, GUO G Q, et al. The relation between soil fertility caused by continuous soybean and the harmful livings[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(7): 373-376.)

[34] GARBEVA P, VAN VEEN J A, VAN ELSAS J D. 土壤中的微生物多样性: 按植物和土壤类型选择微生物种群及其对疾病抑制性的影响 [J]. 植物病理学报, 2004, 42: 243-270. (GARBEVA P, VAN VEEN J A, VAN ELSAS J D. Microbial diversity in soil: Selection of microbial populations by plant and soil type and their impact on disease suppression [J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2004, 42: 243-270.)

[35] MACKAY J E, CUNNINGHAM S C, CAVAGNARO T R. Riparian reforestation: Are there changes in soil carbon and soil microbial communities? [J]. The Science of the Total Environment, 2016, 566-567: 960-967.

[36] 郭和蓉, 陈琼贤, 郑少玲, 等. 营养型土壤改良剂对酸性土壤

中磷的活化及玉米吸磷的影响[J]. 华南农业大学学报, 2004, 25(1): 29-32. (GUO H R, CHEN Q X, ZHENG S L, et al. Effects of nutritive soil modifier activation and uptake on soil phosphorus by corn plants on acid soils[J]. Journal of South China Agricultural University, 2004, 25(1): 29-32.)

[37] 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. (KONG C H, HU F. Allelopathy of plant and its application[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001.)

[38] ZHAO D, ZHAO Z. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the hot-dry valley of the Jinsha River, southwest China[J]. Applied Soil Ecology, 2007, 37(1-2): 118-128.

[39] 魏帛轩. 氮磷钾不同施肥组合对大豆连作土壤养分及土壤微生物群落的影响[D]. 延吉: 延边大学, 2021. (WEI B X. Effects of different combinations of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on soil nutrients and soil microbial communities of continuous cropping soybean[D]. Yanji: Yanbian University, 2021.)

[40] 张微. 生物质土壤改良剂对风沙土改良效应及植物生长的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2014. (ZHANG W. The influence of biomass soil improver on aeolian sandy soil improvement effect and plant growth[D]. Hohhot: Inner Mongolia Normal University, 2014.)

[41] GROTH D E, HOLLIER C A. Rice disease survey[J]. Annual progress report Louisianaagricultural experiment station. doi: 10.2135/cropsci2005.0274.

[42] 阮维斌, 王敬国, 张福锁. 接种孢囊线虫对大豆生长的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(1): 24-27. (RUAN W B, WANG J G, ZHANG F S. Effects of soybean cyst nematode (SCN) on soybean growth [Glycine max (L.)][J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2000, 6(1): 24-27.)

[43] 阮维斌, 王敬国, 张福锁. 连作障碍因素对大豆养分吸收和固氮作用的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(1): 22-29. (RUAN W B, WANG J G, ZHANG F S. The effect of continuous cropping factors on soybean seedling growth and nitrogen fixation[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(1): 22-29.)

[44] 韩丽梅, 王树起, 鞠会艳, 等. 吸附树脂提取的大豆根分泌物种类的 GC-MS 分析[J]. 大豆科学, 2003, 22(4): 301-305. (HAN L M, WANG S Q, JU H Y, et al. GC-MS analysis on the kinds of soybean root exudates extracted with adsorption resin[J]. Soybean Science, 2003, 22(4): 301-305.)

[45] 黄斌. 大豆残茬中异黄酮的分离、鉴定与其化感作用的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2001. (HUANG B. Isolation, identification and allelopathy of isoflavones from soybean residues [D]. Beijing: China Agricultural University, 2001.)

[46] 马凤鸣, 王安娜, 吴蕾, 等. 大豆根系分泌物的鉴定及 PAL1, PAL2, C4H 的克隆[J]. 作物杂志, 2011(2): 65-71. (MA F M, WANG A N, WU L, et al. Identification of soybean root exudates and cloning of the PAL1, PAL2, C4H genes[J]. Crops, 2011(2): 65-71.)

[47] 吴蕾, 马凤鸣, 刘成, 等. 大豆与玉米、小麦、高粱根系分泌物的比较分析[J]. 大豆科学, 2009, 28(6): 1021-1025, 1030. (WU L, MA F M, LIU C, et al. Comparative analysis of root exudates in soybean, corn, wheat and Sorghum[J]. Soybean Science, 2009, 28(6): 1021-1025, 1030.)

[48] 李业成, 马凤鸣, 吴蕾, 等. 正茬与连作大豆根系分泌物差异及对大豆幼苗生长的影响[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(6): 1-6. (LI Y C, MA F M, WU L, et al. Difference effect of rotation and continuous soybean root secretion on seedling growth of soybean[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41(6): 1-6.)

[49] BRENNAN E B, ACOSTA-MARTINEZ V. Cover cropping frequency is the main driver of soil microbial changes during six years of organic vegetable production[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2017, 109: 188-204.

[50] 李天来, 杨丽娟. 作物连作障碍的克服: 难解的问题[J]. 中国农业科学, 2016, 49(5): 916-918. (LI T L, YANG L J. Overcoming continuous cropping obstacles-The difficult problem [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(5): 916-918.)

[51] 黄淑, 张文杰, 于晓春, 等. 长期施肥对南方地区玉米生产力及其可持续性的影响[J]. 农业、生态系统和环境, 2010, 138(1-2): 44-50. (HUANG S, ZHANG W J, YU X C, et al. Effects of long-term fertilization on maize productivity and sustainability in southern regions [J]. Agriculture, Ecosystems and the Environment, 2010, 138(1-2): 44-50.)

[52] CHEN L, LI F, LI W, et al. Organic amendment mitigates the negative impacts of mineral fertilization on bacterial communities in Shajiang black soil [J]. Applied Soil Ecology, 2020, 150: 103457.

[53] 王笃超, 吴景贵, 李建明. 不同有机物料对连作大豆土壤养分含量及生物性状的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(3): 258-262, 270. (WANG D C, WU J G, LI J M. Effects of different organic materials on soil nutrient contents and biological properties of continuous cropping of soybean[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2017, 31(3): 258-262, 270.)

[54] 王通宇, 方淑梅, 王庆燕, 等. 叶面喷施不同化控复配剂对大豆产量与品质的影响[J]. 大豆科学, 2023, 42(1): 70-76. (WANG T Y, FANG S M, WANG Q Y, et al. Effects of foliar spraying different chemical regulator compounds on soybean yield and quality[J]. Soybean Science, 2023, 42(1): 70-76.)

[55] 田艺心, 高凤菊, 朱冠雄, 等. 不同施肥方式对夏大豆农艺性状、产量及肥料农学效率的影响[J]. 中国农学通报, 2023, 39(11): 50-56. (TIAN Y X, GAO F J, ZHU G X, et al. Effects of different fertilization modes on agronomic traits, yield and fertilizer agronomic efficiency of summer soybean [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2023, 39(11): 50-56.)

[56] 邹狮, 严君, 高瑞敏, 等. 高油大豆结瘤固氮和籽粒产质量对氮肥的响应[J]. 中国油料作物学报, 2023, 45(4): 836-844. (ZOU S, YAN J, GAO R M, et al. Response of nodulation and nitrogen fixation and grain yield and quality of high oil soybean to nitrogen fertilizer [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2023, 45(4): 836-844.)

[57] 王继安, 徐杰, 宁海龙, 等. 施用大、中、微量元素对大豆品质

及其它性状的影响[J]. 大豆科学, 2003, 22(4): 273-277. (WANG J A, XU J, NING H L, et al. Effects on soybean protein & oil content and other characteristics by application of major, middle and minor element in soil[J]. Soybean Science, 2003, 22(4): 273-277.)

[58] 朱宝国, 朱凤莉, 张春峰, 等. 中微肥对大豆农艺性状、产量及品质的影响[J]. 大豆科学, 2014, 33(4): 550-553. (ZHU B G, ZHU F L, ZHANG C F, et al. Effect of medium and micro fertilizers on soybean's agronomic characters, yield and quality [J]. Soybean Science, 2014, 33(4): 550-553.)

[59] 张凡. 微地形改造径流调控技术对坡面蓄流能力及稳定性的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2019. (ZHANG F. Effects of runoff regulation and control technology on slope flow storage capacity and stability [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2019.)

[60] 金梁, 魏丹, 李玉梅, 等. 生物炭与化肥配施对土壤主要物理特性的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2017, 48(4): 424-430. (JIN L, WEI D, LI Y M, et al. Effect of biochar combined with chemical fertilizers on soil major physical properties[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2017, 48(4): 424-430.)

[61] 王树起, 韩丽梅, 杨振明, 等. 大豆根茬腐解液和营养液残液对大豆生长发育的自感效应[J]. 中国油料作物学报, 2000, 22(3): 44-48. (WANG S Q, HAN L M, YANG Z M, et al. Effect of decomposed liquids from soybean stubs and remnants of nutrient solution on soybean growth [J]. Chinese Journal of Oil Crop Scieives, 2000, 22(3): 44-48.)

[62] 姚延轩, 接伟光, 胡威, 等. 微生物菌肥对大豆生长发育及根际土壤性质的影响综述[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(20): 21-24, 38. (YAO Y X, JIE W G, HU W, et al. Research progress on the effects of microbial fertilizer on the growth and development of soybean and the properties of rhizosphere soil [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2019, 58(20): 21-24, 38.)

[63] IGIEHON O N, BABALOLA O O. *Rhizobium* and mycorrhizal fungal species improved soybean yield under drought stress conditions[J]. Current Microbiology, 2021, 78(4): 1615-1627.

[64] KLOEPPER J W, RYU C M, ZHANG S A. 芽孢杆菌诱导全身抗性并促进植物生长[J]. 植物病理学报, 2004, 94(11): 1259-1266. (KLOEPPER J W, RYU C M, ZHANG S A. Bacillus induces systemic resistance and promotes plant growth [J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2004, 94(11): 1259-1266.)

[65] BAREA J M, ANDRADE G, BIANCIOTTO V, et al. 作为土传真菌植物病原菌生物防治接种剂的假单胞菌菌株从枝菌根形成的影响[J]. 应用与环境微生物学, 1998, 64(6): 2304-2307. (BAREA J M, ANDRADE G, BIANCIOTTO V, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal formation of Pseudomonas strains as inoculations for the biological control of plant pathogens of Pseudomonas soilis [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1998, 64(6): 2304-2307.)

[66] 王梅, 徐钰, 石璟, 等. 优化施肥及增施微生物菌剂对次生盐渍化土壤设施番茄生长和土壤微生物的影响[J]. 山东农业科学, 2020, 52(11): 111-114. (WANG M, XU Y, SHI J, et al. Effects of optimized fertilization and adding microbial agents on greenhouse tomato growth and soil microorganism in secondary salinized soil [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2020, 52(11): 111-114.)

[67] 吴彪, 柯智, 陈喜蓉, 等. 不同肥料对无籽青柠檬种植地土壤肥效、微生物与酶活性的影响[J]. 热带林业, 2020, 48(4): 20-24. (WU B, KE Z, CHEN X R, et al. Effects of different fertilizers on soil fertility, microbial and enzyme activities in planting area of seedless green lemon [J]. Tropical Forestry, 2020, 48(4): 20-24.)

[68] 刘昭军, 王德国, 李铁, 等. 野生大豆根际微生物的分离及其缓解大豆连作障碍的研究[J]. 大豆科学, 2007, 26(2): 176-180. (LIU Z J, WANG D G, LI T, et al. Isolation of bacteria in wild soybean rhizosphere and study on its function to reduce disadvantage of soybean continuous cropping [J]. Soybean Science, 2007, 26(2): 176-180.)

[69] 张兴梅, 王士强, 赵海红, 等. 不同生物菌剂对大豆根系抗性物质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2009(5): 64-68. (ZHANG X M, WANG S Q, ZHAO H H, et al. Effects of biological agents on resisting substance from soybean root system [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2009(5): 64-68.)

[70] 曹丽霞, 赵存虎, 孔庆全, 等. 紫花苜蓿根腐病病原及防治研究进展[J]. 内蒙古农业科技, 2006, 34(3): 36-37, 51. (CAO L X, ZHAO C H, KONG Q Q, et al. Research progress on pathogen and control of alfalfa root rot [J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2006, 34(3): 36-37, 51.)

[71] 苏一诺, 李孟滕, 陈西文, 等. 作物连作障碍及防控技术研究进展[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2019(9): 44-48. (SU Y N, LI M T, CHEN X W, et al. Research progress on obstacles and prevention and control techniques of continuous cropping of crops [J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2019(9): 44-48.)

[72] 张福锁, 黄成东, 申建波, 等. 绿色智能肥料: 矿产资源养分全量利用的创新思路与产业化途径[J]. 土壤学报, 2023, 60(5): 1203-1212. (ZHANG F S, HUANG C D, SHEN J B, et al. Green intelligent fertilizer: New insight into making full use of mineral nutrient resources and industrial approach [J]. Acta Pedologica Sinica, 2023, 60(5): 1203-1212.)