

苏瑶, 杨艳华, 贾生强, 等. 秸秆还田下的主要产地环境问题及其绿色防控技术[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(6): 711-717.

SU Yao, YANG Yan-hua, JIA Sheng-qiang, et al. Main problems of agricultural production areas after straw returning and the respective green control technologies[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(6): 711-717.

秸秆还田下的主要产地环境问题及其绿色防控技术

苏瑶¹, 杨艳华^{1,2}, 贾生强^{1,2}, 喻曼¹, 陈喜靖¹, 沈阿林^{1*}

(1. 浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所, 杭州 310021; 2. 浙江农林大学环境与资源学院, 杭州 311300)

摘要: 秸秆还田作为当前最主要的秸秆资源化利用方式, 可有效实现土壤增碳培肥, 但同样存在一系列产地环境问题。基于近年相关研究, 总结了秸秆还田对土壤病虫害发生和土壤微生物区系的影响, 归纳了当前应用较广泛的病虫害绿色防控技术, 并对未来可进一步研究与应用的秸秆集中沟埋还田技术和以“虫害理化诱控-病虫生物防治-杂草生态防控”为核心的病虫害绿色防控技术集成等进行了展望, 以期为进一步推进高效秸秆还田条件下的可持续生产提供理论依据和技术参考。

关键词: 秸秆还田; 产地环境; 病虫害; 杂草; 土壤微生物

中图分类号: X71

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2019)06-0711-07

doi: 10.13254/j.jare.2019.0128

Main problems of agricultural production areas after straw returning and the respective green control technologies

SU Yao¹, YANG Yan-hua^{1,2}, JIA Sheng-qiang^{1,2}, YU Man¹, CHEN Xi-jing¹, SHEN A-lin^{1*}

(1. Environmental Resources and Soil Fertilizer Research Institute, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China;

2. College of Environment and Resources, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China)

Abstract: Straw returning, which is one of the most widely applied straw resource utilization methods, can increase soil carbon and nutrient content effectively, but it also causes a range of problems in agricultural production areas. Based on recent studies, we summarized the effect of straw returning on the occurrence of soil diseases, insect pests, and weeds, and on the changes in soil microflora. Subsequently, we outlined the various green control technologies widely applied in the field. Additionally, we presented an outlook for future research on potential straw returning technologies and the integration of green control technologies focusing on physical, chemical, and biological control of insect pests and disease; prevention techniques involving insect ecology; and control of weeds. We aim to provide theoretical basis and technical support for further promotion of sustainable production by increasing the efficiency of straw returning.

Keywords: straw returning; agricultural production area; disease and insect pests; weeds; soil microorganism

绿色、生态、可持续是现代农业发展的基本理念。近年来,随着国家相关部委关于秸秆禁烧和综合利用政策的相继颁布,以秸秆还田为优先方式的秸秆利用模式得到快速发展^[1],其在土壤培肥、作物增产、药肥

减量等方面已初见成效^[2-3],但不合理的还田方式及还田量仍给产地环境带来了系列问题,主要表现在作物病虫害加剧^[4-5]、杂草发生规律变化^[6-8]以及土壤微生物区系的改变^[9-11]。近年来,相关研究主要集中于

收稿日期: 2019-03-14 录用日期: 2019-04-17

作者简介: 苏瑶(1989—),女,四川成都人,博士,主要研究方向为南方稻茬麦田产地环境治理。E-mail:stellasu@sina.com

*通信作者: 沈阿林 E-mail:shenalin_123@126.com

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(41807034); 浙江省重点研发计划项目(2018C02036); 浙江省自然科学基金青年基金项目(LQ18D030001); 国家小麦产业技术体系项目(CARS-3)

Project supported: The National Natural Science Foundation Youth Fund Project(41807034); The Key Research and Development Program of Zhejiang Province(2018C02036); Zhejiang Natural Science Foundation Youth Fund Project(LQ18D030001); The National Modern Agricultural Technology System of Wheat(CARS-3)

改进秸秆还田方式和揭示秸秆还田后土壤物理结构、养分含量的变化等方面,对于不同的秸秆还田方式、还田量及还田时间所引发的产地环境问题还缺乏系统的总结,而这部分内容将有助于更全面地把握当前秸秆还田技术所面临的生产问题,进而可以提出合理的解决方案,指导实际生产。

鉴于此,本文对近年来报道的秸秆还田条件下的产地环境问题及未来需要进一步研究的重要内容进行总结,并针对性地介绍近年应用较为广泛的绿色防控技术,以期为推进秸秆还田条件下的绿色生产提供科学参考和理论依据。

1 秸秆还田下的主要产地环境问题

1.1 秸秆还田下的产地病虫害发生情况

目前,作物秸秆的资源化利用方式主要包括还田肥料化、饲料化、基料化和能源化,其中,以秸秆还田肥料化为主。秸秆还田可为土传病菌及害虫提供有利的生存场所,进而增加病虫害发生的风险。梁志刚等^[12]调查结果显示,两年免耕秸秆覆盖田地下害虫危害率低于7%,三年升至11%左右,四年升至16%左右,而常规种植模式的危害率约4%,且随着秸秆还田年限的增加,地下害虫危害程度不断增加。此外,据调查,华北平原玉米秸秆还田后小麦纹枯病、全蚀病、根腐病三大土传病害发病率都有所上升,影响作物的正常生长^[13-14]。但也有研究指出,将秸秆还田量控制在一定水平($<7500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)可有效降低土传病害的病情指数^[4],主要原因是适量秸秆还田可使土壤中微生物种类及数量增加,从而扰乱土壤中病原体的生存环境,随着土壤生态环境的改善,作物对病原体的抵抗能力也会进一步提高,进而减少土传病害的发生^[15];然而,还田秸秆量过高时,由于大量秸秆不能及时腐解,可为土传病菌的繁殖提供载体,同时创造适宜的水、温等生长环境,加剧病害的发生^[4]。不同的秸秆还田方式对土传病害的发生也具有不同影响。相较于秸秆深埋处理,秸秆还田免耕和旋耕处理使小麦根部病害的发生率和发病指数均显著升高,表明秸秆深埋处理相较于传统秸秆还田方式而言,对土传病的发生具有更为有效的控制效果,且不受秸秆量影响^[12]。但目前有关不同秸秆还田方式、还田数量、还田秸秆类型与土传病害的发生种类、规律、变化特点及土壤微生物区系、气候条件等的关系还缺乏系统的研究,这部分内容可为有效防控秸秆还田条件下的病虫害发生提供重要的理论基础,是未来需进一步展开

系统研究的重要内容和方向。

1.2 秸秆还田下的杂草发生情况

秸秆还田明显改变了作物-杂草生态关系,可有效抑制杂草的生长,但也有学者指出秸秆携带草籽,还田为其提供了良好的环境,会促进杂草的生长^[16]。陈浩等^[17]研究表明秸秆全量还田可有效降低稻田杂草密度、生物量和杂草多样性,但在秸秆还田、秸秆腐熟剂、不同氮肥管理措施交互作用下,农田杂草间竞争格局会发生明显改变,致使杂草群落组成的优势种出现明显交替,其中禾本科和莎草科杂草种类明显减少,杂草生物多样性差异明显。不同的秸秆还田方式,亦会影响田间杂草的发生情况,相较于小麦秸秆全量深埋还田,秸秆全量覆盖还田和浅耕还田对水稻田千金子、稗草、鸭舌草等杂草的抑制效果更佳,可延缓杂草萌发和生长,减少其发生数量^[8]。其中,秸秆覆盖还田能使杂草在生育期内无显著的萌发高峰期,杂草数量显著低于秸秆旋耕处理^[18]。尽管秸秆覆盖还田能达到较好的杂草控制效果,但其持续性和稳定性却较差。谢中卫^[19]调查结果显示,随着小麦秸秆还田力度的加大,玉米田间麦苗的数量显著增加46.7%,且对马齿苋、铁苋等阔叶类杂草无抑制作用。由此可见,秸秆还田可改变田间杂草的发生规律,在一定程度上抑制部分杂草,但从长期来看,仍然需要配套额外措施才能保障杂草防控的长效性和稳定性。

1.3 秸秆还田下土壤微生物区系变化情况

土壤微生物具有许多对陆地生命至关重要的作用,包括动植物残体的分解、生物地球化学循环、土壤结构形成、有机物转化、养分迁移转化等。当前,关于秸秆还田条件下土壤微生物区系变化的研究主要集中在微生物生物量、土壤酶活性、碳氮代谢活性的变化及其与土壤肥力、温室效应等的相关性方面。

研究表明,短期和长期秸秆还田均能显著影响土壤微生物量和代谢活性。长期(30年)试验后,相较于秸秆不还田,秸秆还田量在 4500 、 $9000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,土壤革兰氏阴性菌的丰度分别增加11.6%和9.3%,真菌丰度分别增加68.2%和113.6%,此外,葡萄糖苷酶、木糖苷酶和氨基葡萄糖苷酶活性均有所增加;而还田量为 $2250\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 对土壤微生物区系影响不显著^[11]。短期内(3年)秸秆还田亦可通过改变土壤微生物量碳和总有机碳含量来影响土壤微生物区系,包括增加微生物总PLFA(磷脂脂肪酸)含量及细菌、放线菌含量,减少真菌含量等^[9]。从菌属组成来看,秸秆还田对微生物区系产生的影响也是显著的,直接影响

土壤的某些重要功能和环境效应^[10,20]。Fan等^[21]研究了秸秆在土壤腐解过程中与氮代谢相关的细菌群落组成和丰度的变化,结果证实作物残渣腐解过程可显著影响土壤固氮和反硝化作用。还田试验组土壤中与反硝化相关的 *Proteobacteria* (变形菌门) 相对丰度从 18% 减少至 7.2%~13%, 而与碳转化相关的 *Firmicutes* (厚壁菌门) 相对丰度从 28%~41% 增加到 54%~77%, N_2O 还原菌 *Clostridium* (梭菌属) 丰度则从 7.6%~11% 增加到 13%~30%^[20], 这与作者试验中观察到的秸秆添加组 CO_2 和 CH_4 排放量增加、 N_2O 排放下降密切相关, 表明秸秆还田后土壤微生物区系中个别种属的变化直接影响土壤的碳氮元素循环。

土壤微生物区系的变化直接影响土壤对病虫害的免疫力与土壤健康^[22-23]。现有研究证实土壤微生物多样性的损失可能降低土壤多功能性^[22], 进而对土壤免疫产生负面影响^[23]。但是 Luo等^[24]通过盆栽试验探索添加有机肥和枯草芽孢杆菌后对棉花病害的影响, 发现该措施可有效减少根际土壤真菌多样性, 实现对棉花黄萎病的有效控制, 表明土壤中真菌, 尤其是致病真菌的减少带来的多样性减少可在一定程度上降低土壤致病风险。但是, 目前在微生物细菌和真菌具体组成及其多样性与土壤病害免疫方面的相互关系的研究还很缺乏, 较难判断秸秆还田引起的土壤微生物区系变化可能带来的土壤抵抗病害的免疫能力是否受到影响。因此, 要全面把握秸秆还田对产地土壤重要功能及土壤健康等方面的影响, 还需深入研究秸秆还田下土壤微生物群落多样性、种属组成的变化, 尤其是与土传病害相关的菌属组成及丰度的变化。

2 秸秆还田条件下的产地环境绿色防控技术

2.1 病虫害的绿色防治技术

2.1.1 理化诱控技术

理化诱控技术主要是利用害虫的趋光、趋化、趋色等习性, 在害虫发生期利用诱虫灯、引诱剂、色板、性诱剂等方式进行诱杀害虫^[25-29]。比如, 在稻田虫害的防控中, 可在飞虱、稻纵卷叶螟等害虫发生期, 利用频振式杀虫灯诱杀成虫, 用稻纵卷叶螟和大螟性诱剂诱杀雄虫, 减少田间落卵量^[26]; 对于麦田虫害的防治, 可在小麦红蜘蛛、蚜虫、吸浆虫等害虫发生期, 利用成虫的趋光习性, 在田间设置黑光灯和频振式杀虫灯, 通过悬挂色板诱杀大量害虫^[28-29]。

2.1.2 生物防治技术

生物防治技术以较小的经济投入获得比较显著的防治效果, 包括应用防虫菌剂、除病原菌菌剂和引入天敌等。

目前, 筛选的杀虫细菌中被开发成产品投入实际应用的主要包括苏云金芽孢杆菌、球形芽孢杆菌、日本金龟子芽孢杆菌和缓病芽孢杆菌^[30], 其中以苏云金杆菌的应用最为广泛, 其在整个微生物源农药中占比超过 70%^[31]。杀虫真菌主要以白僵菌、绿僵菌、拟青霉应用最多^[32]。防除病原菌菌剂中研究和应用最广泛的真菌有木霉菌和黏帚霉^[33], 细菌主要有枯草杆菌、假单胞菌、软腐欧文氏菌、地衣芽孢杆菌、放射形土壤杆菌^[31], 放线菌中应用最多的则是链霉菌。当前, 有关这类具有病虫害防除功能的菌剂的开发与研究, 正在从单一功能向肥药合一的多功能发展^[34], 未来, 还应就如何提高功能菌剂的广谱性和适应力以及实现产业化生产等方面加强研究与开发。

此外, 在防治作物虫害时, 还可利用引进天敌的方法实现绿色防控, 如在对菜青虫进行防治时, 一般可采用赤眼蜂; 在对水稻虫害防治中, 采用稻鸭、稻鱼的种植模式, 利用鸭子和鱼类对害虫成虫、幼虫及虫卵的捕食实现对水稻二化螟等虫害的有效控制^[27]; 在防治小麦后期的虫害时, 可利用食蚜蝇、龟纹瓢虫和蚜茧蜂等蚜虫天敌来控制蚜虫^[28-29]。

2.1.3 秸秆集中沟埋技术

近年来, 南京农业大学对稻麦轮作体系下的秸秆集中沟埋还田技术展开了系列研究, 结果显示秸秆集中沟埋于 20 cm 处不仅可有效提高土壤排水降渍能力^[35], 提升土壤有机质、酶活和微生物量水平^[36-37], 提高小麦产量^[36], 还可有效控制虫害发生^[38]。但是, 该类秸秆还田方式耗时耗力, 研发配套的农机设备是进一步应用和推广该类秸秆还田方式需要解决的关键问题。此外, 尽管秸秆集中沟埋技术基本规避了传统秸秆还田方式的诸多问题, 但深埋秸秆处于相对缺氧的环境, 易造成秸秆腐解不彻底的问题, 如何加速深层秸秆的腐殖化也是未来研究需要进一步思考的问题。另外, 秸秆碳可在厌氧条件下生成大量 CH_4 , 而其他经转化而形成的易被微生物利用的有机物质则可能增强亚作层土壤的反硝化作用, 导致氮素的损失和 N_2O 释放的增加。因此, 该秸秆还田方式在农田温室效应及养分损失方面可能产生的负面影响也需要有所考虑。

除上述病虫害绿色防控技术外, 选育抗性品种、合理施肥以及施用硅肥等举措亦可通过增强作物自

身的抗性来实现对病虫害的有效防控^[39-42]。

2.2 杂草的绿色防控技术

当前,研发和应用杂草绿色防控技术已成为杂草防治问题的热点。近年来,人们相继开展了生态控草技术、生物防除杂草技术和化感防控杂草技术等相关研究^[43]。

2.2.1 生态控草技术

生态控草是利用现代生态学理论和方法,根据生态位先佔和生态位竞争原理而提出并研究的杂草控制技术,具体方法包括秸秆覆盖,调整作物品种、播种量和种植密度,间套种绿肥,稻田种植红萍等^[43-45]。

秸秆覆盖可实现良好的控草效果,主要是由于秸秆对杂草种子发芽的他感作用(或称异株克生作用)和秸秆的物理屏障作用^[44-45],但长期而言其效果并不稳定。王晓琳等^[46]研究指出,在秸秆还田条件下结合作物播种量的增加和适量除草剂的使用,可达到较为理想的效果,不使用除草剂的情况下,随着小麦播种量的上升,看麦娘和菵草的发生密度呈下降趋势。相同除草剂使用剂量下,随着播种量增加,杂草受抑制作用也呈上升趋势。又如,移栽杂交稻Ⅱ优2070的过程中适当增加其种植密度,其在生长过程中会与稗草争夺生长空间,从而抑制稗草的生长^[47]。可见,秸秆覆盖还田条件下,可通过适当增加作物播种量来获得相对较好的杂草控制效果,但这在一定程度上增加了种植成本,因此,在实际应用中仍存在一定问题。

间套种绿肥控草不仅可有效防控田间杂草,减少化学农药的使用,还可培肥土壤,进一步减少下季作物化肥的使用,是极具发展空间的绿色生产模式^[48]。李先芳等^[49]研究表明紫花苜蓿行间播种苇状羊茅和间播无芒雀麦的处理可有效抑制杂草的数量,同时提高牧草产量。本研究团队亦开展了紫云英-小麦套作对田间杂草控制效果的研究,结果显示采用适宜的紫云英品种可实现与喷施常规化学除草剂基本相当的杂草控制效果,但对小麦产量会产生一定的影响^[50]。未来,还需在与作物间种或套作绿肥品种的筛选,绿肥和作物播种量、种植密度等方面开展进一步的研究,同时应与土壤环境、肥力水平及气候条件等因素关联起来。与间套种绿肥控草原理类似,在稻田中种植红萍或绿萍可利用红萍繁殖速度快的优势,在田间水面形成紧密的覆盖层,进而有效控制水田杂草^[47]。

此外,选种对杂草具有较好控制作用的作物品种也是实现田间杂草绿色防控的一种方法。有研究指出,不同的水稻品种对杂草的控制效果存在一定差异,如秀水11和粳稻春江11可以加快稗草的生长,而杂交稻Ⅱ优2070可以起到抑制稗草生长的作用^[47]。

2.2.2 生物防除杂草技术

生物防除杂草技术,主要指利用寄主范围较为专一的植物病原微生物或植食性动物(如昆虫、螨类、线虫等)将杂草种群控制在可容许的水平^[51]。比如我国从罹病的大豆菟丝子上分离到的胶包炭疽菟丝子转化型真菌(炭疽病/鲁保一号),可对大豆田的菟丝子等侵染致病,具有较为稳定的防效^[31,52]。新疆地区也曾施用镰刀菌防除埃及列当。此外,还可通过引进天敌昆虫等来进行杂草的生物防治^[43]。但是,这类技术作用相对较慢,在田间杂草群落多的情况下效果不明显。

2.2.3 化感作用防控杂草技术

当前,利用化感作用控制杂草已成为杂草生物防除领域的重要内容。我国对植物化感抑草进行的大量研究表明许多作物都存在化感抑制作用。张强等^[53]研究结果证实多种植物样品对油菜、黄瓜、小麦、高粱等4种作物中至少1种的种子芽后生长有70%以上的抑制作用。郭彩霞等^[54]研究显示7种豆科牧草茎叶及根的水浸提液均对多花黑麦草种子萌发和幼苗生长存在显著的化感抑制作用。这些结果表明利用植物地上部分存在的化感物质可有效控制田间杂草的发生和数量。未来研发基于植物化感物质的新型除草剂将有可能取代现有的化学除草剂,作为一种绿色无污染的植物源除草剂,必将成为杂草绿色高效防控领域的重要研究内容之一。

3 结论

(1)随秸秆还田量和还田年限的增加,作物病虫害发生的可能性增大;相较于传统秸秆还田方式,秸秆集中沟埋的方式可有效防控产地病虫害的发生,但在温室效应和土壤养分损失方面的影响还需进一步验证,同时在加速秸秆腐熟化和配套农机研发方面还有待完善。

(2)秸秆覆盖还田辅以作物播种量的增加可在一定程度上抑制杂草的发生,但缺乏长效稳定性,而通过绿肥与作物间套种以及采用植物源生物除草剂的方式或将成为秸秆还田条件下绿色高效防控田间

杂草的有力手段。

(3)秸秆还田量和还田方式对土壤健康的影响主要与土壤微生物区系多样性及相关群落的组成与丰度变化密切相关,但目前对其相互作用机制的研究还非常缺乏,未来可在机制研究基础上,配套以“虫害理化诱控-病虫生物防治-杂草生态防控”为核心的病虫草害绿色防控技术集成,以期实现秸秆还田在土壤培肥和保障土壤健康方面的双重功效。

参考文献:

- [1] 刘 乐,鞠美庭,李维尊,等. 秸秆资源化利用的技术经济分析[J]. 现代农业科技, 2011(8): 243-245, 248.
LIU Le, JU Mei-ting, LI Wei-zun, et al. Techniques and economy analysis on straw resources utilization[J]. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2011(8): 243-245, 248.
- [2] 曾宪楠,高斯倜,冯延江,等. 水稻秸秆还田对土壤培肥及水稻产量的影响研究进展[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(18):13-16.
ZENG Xian-nan, GAO Si-ti, FENG Yan-jiang, et al. Research progress of effects of straw returning on soil fertilizing and grain yield[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(18):13-16.
- [3] 吴玉红,郝兴顺,田霄鸿,等. 秸秆还田与化肥减量配施对稻茬麦土壤养分、酶活性及产量影响[J]. 西南农业学报, 2018, 31(5): 998-1005.
WU Yu-hong, HAO Xing-shun, TIAN Xiao-hong, et al. Effects of reduction of NPK fertilizer application rates plus rice straw return on soil nutrient, enzyme activities and wheat yield in rice-wheat rotation system[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 31(5): 998-1005.
- [4] 甄文超. 玉米秸秆还田对冬小麦土传病害影响的研究[C]. 昆明: 中国植物病理学会2009年学术年会, 2009: 557-563.
ZHEN Wen-chao. The influence of maize straw amendment on the soil-borne disease of winter wheat[C]. Kunming: 2009 Annual Conference of Chinese Society of Plant Pathology, 2009: 557-563.
- [5] 杨丽娟,魏 锋,李江伟,等. 秸秆还田对小麦病害的影响及防治[J]. 种业导刊, 2013(7):24-25.
YANG Li-juan, WEI Feng, LI Jiang-wei, et al. Effect of straw returning to field on wheat disease and its control[J]. *Journal of Seed Industry Guide*, 2013(7):24-25.
- [6] 王国忠,杨佩珍,陆峥嵘,等. 秸秆还田对稻麦田间杂草发生的影响及化除效果[J]. 上海农业学报, 2004, 20(1): 87-90.
WANG Guo-zhong, YANG Pei-zhen, LU Zheng-rong, et al. Effect of returning straw to field on weeds of rice field and wheat field and the efficiency of chemical weeding[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2004, 20(1): 87-90.
- [7] 牛新胜,刘美菊,张宏彦,等. 不同耕作、秸秆及氮素管理措施对冬小麦-夏玉米轮作田杂草生物量影响的研究[J]. 中国土壤与肥料, 2011(6): 49-53.
NIU Xin-sheng, LIU Mei-ju, ZHANG Hong-yan, et al. Influence of different tillage, straw and nitrogen management on weeds biomass in winter wheat-summer maize rotation systems[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2011(6): 49-53.
- [8] 李 贵,冒宇翔,沈俊明,等. 小麦秸秆还田方式对水稻田杂草化学防治效果及水稻产量的影响[J]. 西南农业学报, 2016, 29(5): 1102-1109.
LI Gui, MAO Yu-xiang, SHEN Jun-ming, et al. Effect of different wheat straw-returning patterns on weed chemical control and rice yield in paddy field[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2016, 29(5): 1102-1109.
- [9] Chen Z M, Wang H Y, Liu X W, et al. Changes in soil microbial community and organic carbon fractions under short-term straw return in a rice-wheat cropping system[J]. *Soil & Tillage Research*, 2017, 165:121-127.
- [10] Yang H S, Feng J X, Zhai S L, et al. Long-term ditch-buried straw return alters soil water potential, temperature, and microbial communities in a rice-wheat rotation system[J]. *Soil & Tillage Research*, 2016, 163: 21-31.
- [11] Zhao S C, Li K J, Zhou W, et al. Changes in soil microbial community, enzyme activities and organic matter fractions under long-term straw return in north-central China[J]. *Agr Ecosyst Environ*, 2016, 216: 82-88.
- [12] 梁志刚,王全亮,贾明光,等. 山西襄汾县秸秆还田对小麦病害的影响及防治[J]. 农业工程技术, 2017(10): 40.
LIANG Zhi-gang, WANG Quan-liang, JIA Ming-guang, et al. Effect of straw returning to field in Xiangfen County of Shanxi Province on wheat disease and its control[J]. *Agricultural Engineering Technology*, 2017(10): 40.
- [13] Qi Y, Zhen W, Li H. Allelopathy of decomposed maize straw products on three soil-borne diseases of wheat and the analysis by GC-MS[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2015, 14(1): 88-97.
- [14] 赵秀玲,任永祥,赵 鑫,等. 华北平原秸秆还田生态效应研究进展[J]. 作物杂志, 2017(1): 1-7.
ZHAO Xiu-ling, REN Yong-xiang, ZHAO Xin, et al. Advances in ecological effects of residue retained in North China Plain[J]. *Crops*, 2017(1): 1-7.
- [15] Bailey K L, Lazarovits G. Suppressing soil-borne diseases with residue management and organic amendments[J]. *Soil & Tillage Research*, 2003, 72(2): 169-180.
- [16] 赵玉信. 保护性耕作对陇东黄土高原轮作田杂草发生的影响及其机制研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2015.
ZHAO Yu-xin. Effect of conservation tillage on weed in rotation system and its mechanisms on the Loess Plateau of eastern Gansu[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2015.
- [17] 陈 浩,张秀英,吴玉红,等. 秸秆还田与氮肥管理对稻田杂草群落和水稻产量的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(6): 500-507.
CHEN Hao, ZHANG Xiu-ying, WU Yu-hong, et al. Effects of straw return and nitrogen fertilizer management on weed community and rice yield in paddy field[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2018, 35(6): 500-507.

- [18] 孙厚俊, 赵永强, 杨冬静, 等. 秸秆还田后麦田杂草发生规律及防治技术研究[J]. 广西农学报, 2016, 31(6): 1-4.
SUN Hou-jun, ZHAO Yong-qiang, YANG Dong-jing, et al. Weeds emergence regulation and control technologies research in wheat field with straws returning[J]. *Journal of Guangxi Agriculture*, 2016, 31(6): 1-4.
- [19] 谢中卫. 秸秆还田对玉米病虫草害的影响及防治对策[J]. 现代农业科技, 2015(21): 140-141.
XIE Zhong-wei. Effect of straw returning to field on corn disease, insect and grass damage and its control countermeasures[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2015(21): 140-141.
- [20] Wang N, Yu J G, Zhao Y H, et al. Straw enhanced CO₂ and CH₄ but decreased N₂O emissions from flooded paddy soils: Changes in microbial community compositions[J]. *Atmospheric Environment*, 2018, 174: 171-179.
- [21] Fan F L, Yin C, Tang Y J, et al. Probing potential microbial coupling of carbon and nitrogen cycling during decomposition of maize residue by ¹³C-DNA-SIP[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2014, 70: 12-21.
- [22] Manuel D B, Fernando T M, Peter B R, et al. Microbial diversity drives multifunctionality in terrestrial ecosystems[J]. *Nature Communications*, 2015, 7 (10541): 1-8.
- [23] Raaijmakers J M, Mazzola M. Soil immune responses soil microbiomes may be harnessed for plant health[J]. *Science*, 2016, 352 (6292): 1392-1393.
- [24] Luo J, Ran W, Hu J, et al. Application of bio-organic fertilizer significantly affected fungal diversity of soils[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2010, 74(6): 2039-2048.
- [25] 魏春禹. 大力推进农作物病虫害绿色防控技术集成创新与产业化推广[J]. 河北农业, 2017(12): 29-30.
WEI Chun-yu. Promoting integrated innovation and industrialization of green prevention and control technology of crop diseases and insect pests[J]. *Hebei Agriculture*, 2017(12): 29-30.
- [26] 张俊喜, 陈永明, 成晓松, 等. 水稻病虫害绿色防控技术研究与应用[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(21): 94-100.
ZHANG Jun-xi, CHEN Yong-ming, CHENG Xiao-song, et al. Research and integrated application of green control techniques for rice diseases and insect pests[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, 45(21): 94-100.
- [27] 华振宇. 浅析水稻病虫害绿色防控的应用技术[J]. 农业与技术, 2017, 37: 24.
HUA Zhen-yu. Application technology of green prevention and control of rice diseases and insect pests[J]. *Agriculture and Technology*, 2017, 37: 24.
- [28] 杨晓丽, 杨朝民, 袁志平, 等. 全程绿色防控技术在小麦病虫害过程中的运用[J]. 农业与技术, 2017, 37: 12.
YANG Xiao-li, YANG Chao-min, YUAN Zhi-ping, et al. Application of whole-process green prevention and control technology in wheat diseases and insect pests[J]. *Agriculture and Technology*, 2017, 37: 12.
- [29] 李玲, 范克汝. 小麦中后期病虫害绿色防控技术[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(17): 74-75.
LI Ling, FAN Ke-ru. Green prevention and control technology of wheat diseases and insect pests in the middle-late stage[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2017, 23(17): 74-75.
- [30] 施跃峰. 微生物杀虫剂研究进展[J]. 植物保护, 2000, 26(5): 32-34.
SHI Yue-feng. Advances in microbial insecticides[J]. *Plant Protection*, 2000, 26(5): 32-34.
- [31] 纪明山, 谷祖敏, 张 扬. 生物农药研究与应用现状及发展前景[J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(4): 545-550.
JI Ming-shan, GU Zu-min, ZHANG Yang. Status and developing prospects of biopesticide research and application[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2006, 37(4): 545-550.
- [32] 张 超, 王玉霞. 微生物农药在病虫害防治中的应用及发展前景[J]. 西南园艺, 2003, 31(4): 58-59.
ZHANG Chao, WANG Yu-xia. Application and development prospect of microbial pesticide in pest control[J]. *Southwest Horticulture*, 2003, 31(4): 58-59.
- [33] 朱玉坤, 尹衍才. 微生物农药研究进展[J]. 生物灾害科学, 2012, 35(4): 431-434.
ZHU Yu-kun, YIN Yan-cai. Research advances on microbial pesticides[J]. *Biological Disaster Science*, 2012, 35(4): 431-434.
- [34] 宋凤鸣, 刘建华, 吴彩琼, 等. 土壤微生物制剂的开发与应用概述[J]. 江西农业学报, 2015, 27(10): 38-42.
SONG Feng-ming, LIU Jian-hua, WU Cai-qiong, et al. Overview of development and application of soil microorganism inoculants[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2015, 27(10): 38-42.
- [35] 吴俊松, 刘 建, 刘晓菲, 等. 稻麦秸秆集中沟埋还田对麦田土壤物理性状的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(7): 2066-2075.
WU Jun-song, LIU Jian, LIU Xiao-fei, et al. Effects of rice and wheat straw ditch-buried returns on the soil physical properties of wheat fields[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(7): 2066-2075.
- [36] 吴俊松, 许明敏, 王小华, 等. 水稻秸秆集中沟埋还田对土壤有机质、酶活性及作物产量的影响[J]. 土壤通报, 2015, 46(1): 203-209.
WU Jun-song, XU Ming-min, WANG Xiao-hua, et al. Effects of ditch-buried rice straw on soil organic matter, enzyme activities and yield[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2015, 46(1): 203-209.
- [37] 许明敏, 冯金侠, 陈卫平, 等. 秸秆集中沟埋还田对土壤氮素分布及微生物群落的影响[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(10): 1960-1967.
XU Ming-min, FENG Jin-xia, CHEN Wei-ping, et al. Effects of ditch-buried straw return on nitrogen distribution and microbial community in the straw-soil interface[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(10): 1960-1967.
- [38] 孙秀娟, 李 妍, 朱利群, 等. 秸秆集中掩埋还田深度对二化螟幼虫越冬存活率和出土规律的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(4): 743-747.
SUN Xiu-juan, LI Yan, ZHU Li-qun, et al. Effects of burial depth of straw returned to soil on survival rate and emergence behavior of *Chilo suppressalis* over-wintering larva[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 28(4): 743-747.
- [39] 常雪梅, 车兆秋, 高俊杨. 利用品种抗性防治玉米主要病虫害的研

- 究进展[J]. 现代农业科技, 2010(2): 92-93.
- CHANG Xue-mei, CHE Zhao-qiu, GAO Jun-yang. Research progress on controlling main diseases and insect pests of maize by using the resistance of variety[J]. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2010(2): 92-93.
- [40] 冷苏凤, 张爱香, 李 伟, 等. 江苏省小麦新品种(系)对赤霉病的抗性分析[J]. 江苏农业科学, 2010(6): 108-110.
- LENG Su-feng, ZHANG Ai-xiang, LI Wei, et al. Resistance of new wheat varieties (lines) to scab in Jiangsu Province[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2010(6): 108-110.
- [41] 袁筱萍, 魏兴华, 余汉勇, 等. 不同品种及有关外因对水稻纹枯病抗性的影响[J]. 作物学报, 2004, 30(8): 768-773.
- YUAN Xiao-ping, WEI Xing-hua, YU Han-yong, et al. Effects of different cultivars and relative factors on sheath blight resistance of rice [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30(8): 768-773.
- [42] 钟飞鸣, 徐一兰, 竺传松, 等. 洞庭湖平原区稻田施硅量对水稻抗性和产量的影响[J]. 湖南农业科学, 2012(17): 58-60.
- ZHONG Fei-ming, XU Yi-lan, ZHU Chuan-song, et al. Effects of different silicon fertilizer rates on resistant and yield of rice in Dongting Lake plain[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2012(17): 58-60.
- [43] 何秋虹, 杨知建, 肖润林. 农田生态控草技术研究进展[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2009, 35(1): 59-63.
- HE Qiu-hong, YANG Zhi-jian, XIAO Run-lin. Review of studies on weed ecological control of farmland[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2009, 35(1): 59-63.
- [44] 李香菊, 吕德滋, 李杨汉. 小麦对升马唐种子发芽的异株克生作用研究[J]. 河北农业大学学报, 2000(2): 74-81.
- LI Xiang-ju, LÜ De-zi, LI Yang-han. Study on allelopathic effect of wheat straw on the emergence of crabgrass (*Digitaria ciliaris*) [J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2000(2): 74-81.
- [45] Buhler D D, Hartzler R G, Forcella F. Implications of weed seedbank dynamics to weed management [J]. *Weed Science*, 1997, 45: 329-336.
- [46] 王晓琳, 张卓亚, 伏 进, 等. 秸秆还田条件下不同播种量结合除草剂对杂草和小麦生长的影响[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(2): 307-313.
- WANG Xiao-lin, ZHANG Zhuo-ya, FU Jin, et al. Effects of seeding rate combined with herbicide application on weeds and wheat growth under the condition of rice straw returning[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 33(2): 307-313.
- [47] 谭 鸣. 浅析生物防控去除稻田杂草的相关措施[J]. 种子科技, 2018(10): 78-80.
- TAN Ming. Analysis on relative measures of biological control to remove weeds in paddy field[J]. *Seed Science & Technology*, 2018(10): 78-80.
- [48] 黄 涛, 包兴国, 王 婷, 等. 河西绿洲灌区小麦绿肥间套种植模式研究[J]. 甘肃农业科技, 2012(6): 9-10.
- HUANG Tao, BAO Xing-guo, WANG Ting, et al. Study on intercropping patterns of wheat and green manure in Hexi oasis irrigation[J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2012(6): 9-10.
- [49] 李先芳, 郭 孝, 李凤玲, 等. 紫花苜蓿草地综合防除杂草技术的研究[J]. 河南科学, 2001, 19(4): 421-424.
- LI Xian-fang, GUO Xiao, LI Feng-ling, et al. The studies on the techniques of comprehensive control of weeds grown in alfalfa field[J]. *Henan Science*, 2001, 19(4): 421-424.
- [50] 苏 瑶, 何振超, 杨艳华, 等. 绿肥-小麦套作生态控草技术初探[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(8): 1280-1282, 1287.
- SU Yao, HE Zhen-chao, YANG Yan-hua, et al. Study on ecological grass control of green mature-wheat intercropping[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2019, 60(8): 1280-1282, 1287.
- [51] 朱文达, 张朝贤, 魏守辉. 农作措施对油菜田杂草的生态控制作用[J]. 华中农业大学学报, 2005, 24(2): 125-128.
- ZHU Wen-da, ZHANG Zhao-xian, WEI Shou-hui. Ecological weed control by agronomic practices in rape field[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2005, 24(2): 125-128.
- [52] 李扬汉, 张宗俭. 有关真菌除草剂研究的进展[J]. 生物防治通报, 1994, 10(1): 35-39.
- LI Yang-han, ZHANG Zong-jian. A review on the recent progresses of mycoherbicide development in the world[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 1994, 10(1): 35-39.
- [53] 张 强, 郝双红, 马志卿, 等. 38种植物除草活性研究初报[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(3): 95-98.
- ZHANG Qiang, HAO Shuang-hong, MA Zhi-qing, et al. A preliminary study on the phytotoxicity of 38 plant species[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2004, 19(3): 95-98.
- [54] 郭彩霞, 沈益新, 李志华. 豆科牧草对多花黑麦草化感作用的种间差异[J]. 中国草地, 2005, 27(6): 39-43.
- WU Cai-xia, SHEN Yi-xin, LI Zhi-hua. Differences of allelopathic effect of different forage legumes on Italian ryegrass[J]. *Grassland of China*, 2005, 27(6): 39-43.