

陈浩,张秀英,郝兴顺,等. 秸秆还田对农田环境多重影响研究进展[J]. 江苏农业科学,2018,46(5):21-24.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.05.005

# 秸秆还田对农田环境多重影响研究进展

陈浩,张秀英,郝兴顺,吴玉红,张春辉,张选明

(陕西省汉中市农业科学研究所,陕西汉中 723000)

**摘要:**秸秆还田作为一项长期有效的农业资源循环利用和农业节本增效措施得到大力推广应用,效果显著。同时,秸秆还田效应的多重性、复杂性和交互作用,对农田环境产生一定的负面影响,限制经济效益和环境效应的最大化,不利于秸秆还田技术的综合利用和有效推广。深入了解秸秆还田对农田环境的多重影响,对探讨农田环境影响机制、优化秸秆还田生态环境效益以及建立秸秆还田技术综合评价体系具有重要意义。从温室效应、化感效应、农田病虫害影响、土壤温度影响、土壤水分影响以及土壤修复效应等 6 个方面综述秸秆还田对农田环境的影响。在此基础上,提出今后秸秆还田对农田环境影响相关领域的研究方向,为推进秸秆还田技术发展和完善循环农业生态系统理论提供科学依据,为相关研究提供建议和指导。

**关键词:**秸秆还田;农田环境;效应;多重影响;研究展望

**中图分类号:** X712;S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)05-0021-04

随着农村能源结构的变化和农业生产技术的进步,在粮食增产的同时农作物秸秆过剩问题带来的农村环境问题和农村社会问题日益突出。为此,我国提出推进种养业废弃物资源化利用、无害化处置的建议,关于农业资源综合利用和农业可持续发展的新模式不断涌现,农作物秸秆资源化利用不断受到重视,秸秆还田技术得到广泛推广与应用。目前,作物秸秆作为替代传统有机肥的一种农业资源,直接或间接归还土壤,能够有效减少肥料投入,缓解农业所需肥料的不足,不仅可减少肥料对农田环境的污染<sup>[1-2]</sup>,而且有助于提高化肥利用率<sup>[3-4]</sup>;另外,秸秆还田后能够形成一个良好的土壤生态体系,显著提高土壤酶活性,增加土壤养分含量和土壤有机质含量<sup>[5-8]</sup>,改善农田有益生物环境条件,促进农田生态平衡,提高后茬作物产量<sup>[9-10]</sup>。而秸秆还田后土壤层结构和土壤有机质含量的变化使农田生境发生改变,使农业生产再次面临环境压力<sup>[8,11-13]</sup>,限制秸秆还田技术的节本增效、资源利用和生态循环优势。因此,有必要对当前秸秆还田的多重效应进行综合分析和深入探讨,从根本上阐明秸秆还田的效应机制,使秸秆还田技术在农业生产实践上得到有效推广与应用。如何正确把握秸秆还田技术且避免秸秆还田带来的不利影响,是秸秆还田资源化利用的热点问题之一。综合分析和讨论秸秆还田对农田环境影响的多重性,对深入了解农田环境变化、推进秸秆还田技术发展和完善循环农业生态系统理论具有重要意义,可为后续相关研究提供依据和指导。

收稿日期:2016-10-17

基金项目:陕西省科技统筹创新工程计划(编号:2015KTCL02-21);

陕西省农业科技创新与攻关项目(编号:2016NY-180);现代农业产业技术体系建设专项资金(编号:CARS-01-83)。

作者简介:陈浩(1983—),男,内蒙古土默特左旗人,硕士,农艺师,主要从事农业生态环境评价、农业资源化利用及植物保护等的研究。E-mail:84915135@qq.com。

通信作者:郝兴顺,研究员,主要从事农业资源化利用与循环农业技术及土壤农化等的研究。E-mail:372770515@qq.com。

## 1 秸秆还田对农田环境的多重效应

环境效应(environmental effect)是指自然过程或者人类的生产和生活活动会对环境造成污染和破坏,从而导致环境系统的结构和功能发生变化的过程。这种变化有正面效应,也有负面效应。由于秸秆还田打破了原有的土壤结构和土壤营养平衡,使农田环境发生了改变,从而引起一系列的环境效应;而各种效应在不同环境因子的影响下出现交互作用,使最后的综合效应变得复杂多变,产生效应叠加或效应消减效果。如农田温室效应、农田病虫害发生、土壤有机质的转化与吸收等会随着农田耕作制度、秸秆还田深度、秸秆还田施用量的变化而变化,从而影响作物产量、土壤质量及农田环境。认识和估计秸秆还田对农田环境影响的机制及其变化趋势,可为有效增加环境系统的正效应,降低环境系统的负效应,从而改善农田生态环境质量提供重要依据;同时为秸秆还田后农田环境质量的生物监测和生物学评价奠定理论基础,对于防治环境污染和发展循环生态农业具有实际意义。

## 2 秸秆还田对农田环境的影响

### 2.1 秸秆还田的温室效应

农业是温室气体排放的主要来源之一,无论是深耕还是覆盖的秸秆还田方式,都会引起农田生态系统的温室效应<sup>[14]</sup>。秸秆还田温室气体的排放量大小与农田类型和耕作方式密切相关,其中水旱轮作下稻田对温室气体排放的贡献率最大。已有研究表明,在水稻季全生育期内,秸秆还田处理的 CH<sub>4</sub> 排放总量为秸秆不还田处理的 1.4 倍<sup>[15]</sup>。在短期内,全量秸秆还田有助于降低总体温室气体的排放量,但长期进行秸秆还田后的降低幅度会逐渐减小,而增温潜势却不断增加<sup>[16-17]</sup>。CH<sub>4</sub> 排放量和碳释放量随着秸秆施用量的增加而增加,但当秸秆施用量增加到一定程度时,稻田甲烷排放量不再进一步增加<sup>[18-19]</sup>。尽管秸秆还田相对于不还田会起到土壤固碳减排的效果,但秸秆还田甲烷增排引起的全球增温潜

势远高于土壤固碳减排潜力。由此可见,秸秆还田后,稻田增排甲烷的温室效应会大幅抵消土壤固碳的减排效益<sup>[20-21]</sup>。张岳芳等研究显示,秸秆还田对长江中下游稻麦两熟区高产农田周年  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  排放总量、土壤碳固定量以及净增温潜势均有显著或极显著影响,与秸秆不还田相比, $\text{CH}_4$  排放总量增加 152%、 $\text{N}_2\text{O}$  排放总量减少 14%、土壤碳固定量增加 531%、净增温潜势增加 57%,表明秸秆还田可明显提高短期稻麦两熟高产农田的温室效应,其中主要排放的温室气体为  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$ <sup>[22]</sup>。通过改进秸秆还田方式,可以起到减温减排的效果。与常规还田相比,秸秆深埋处理可以减少温室气体的排放量,增加土壤固碳量。当秸秆沟埋深度在 20 cm 左右时,不但可增加碳的积累量,同时可减少碳的排放量<sup>[23]</sup>。在保证作物产量水平不变的情况下,适当调整农田施肥措施,降低氮肥施用水平也可以有效降低  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  和  $\text{CH}_4$  的排放量<sup>[24]</sup>。

## 2.2 秸秆还田对农田病虫害的影响

秸秆还田在增加有益微生物的同时,也为作物病虫害提供了栖息、越冬或越冬场所,增加了田间病虫害源基数。还田秸秆已成为病虫害传播的新媒介,提高病菌病虫成活率,尤其是当添加秸秆量过多或添加方式不当时,可对有害生物的生长产生一定的保护作用<sup>[25-27]</sup>。首先,还田方式及还田深度对地下害虫的种群数量与群落分布均有显著影响。免耕秸秆覆盖耕作方式不仅不会起到改善土壤疏松和增加通透性的作用,反而会使土壤湿度增大,通气性变差,为土壤中的病虫害繁殖创造良好的环境条件,加之气候变化的影响,农田生态系统的病虫害发生规律产生显著变化,导致病情加重<sup>[28]</sup>。通过调查免耕、旋耕、翻耕等 3 种耕作方式下秸秆还田对稻象甲等幼虫越冬死亡率的影响发现,虫害死亡率大小为翻耕 > 旋耕 > 免耕,说明深耕和中耕可以有效控制和降低地下害虫的密度<sup>[29]</sup>。当秸秆浅埋还田时,秸秆上的病菌会侵染生长作物,增加田间菌源量;当掩埋深度  $\geq 20$  cm 时,能有效地消灭病害残体,减少田间菌源量;当秸秆集中掩埋还田深度  $\geq 35$  cm 时,能有效降低病虫害越冬存活率<sup>[30]</sup>。因此,秸秆深耕是减少病虫害源的主要措施之一<sup>[31-32]</sup>。其次,直接将携带病害的秸秆和未腐熟的病害秸秆还田,会显著提高下茬复种作物发生病害的概率和比例。水稻病秸秆还田后,第 2 年复种水稻的稻瘟病、叶鞘腐病、纹枯病发生较重<sup>[33]</sup>。有必要对用来还田的秸秆进行病害调查和检测,以避免对下茬作物的生长产生不利影响。此外,不同秸秆还田时间对作物病虫害发生也具有一定的影响,但鉴于农业生产实际的可操作性,目前秸秆还田主要集中在作物茬耕翻阶段。

## 2.3 秸秆还田对土壤温度的影响

秸秆覆盖还田在一定程度上能阻隔外界光照与土壤之间的温度传递,使秸秆覆盖下土壤温度的变化趋于缓和,能够平抑地温变化,缩小昼夜温差,对土壤温度调控具有一定的作用<sup>[34]</sup>。这种双重效应对作物生长十分有利,在作物生长前期,秸秆还田可以维持土壤温度,促进作物根系生长,为作物后期的生长奠定良好的基础;而在作物生长后期,秸秆还田又能降低土壤温度,减少水分蒸发。已有研究表明,秸秆覆盖可降低冬小麦的基本苗数、分蘖数及生育前期的叶面积指数,但到生育后期,覆盖处理的叶面积指数反而升高<sup>[35]</sup>。但随着土层深度的增加,秸秆覆盖对土壤温度的调节作用逐渐减

弱<sup>[36]</sup>。在秸秆还田的同时配施不同比例的化肥,能够有效调节土壤温度,显著提高土壤微生物的数量与活性,改善土壤生态环境,进而提高作物产量。

## 2.4 秸秆还田对土壤水分的影响

秸秆还田可以降低土壤容重,提高土壤贮水消耗量,对农田保水控水起到很好的作用,有利于作物水分利用效率的提高。对麦田进行冬前秸秆覆盖处理,全生育期土壤储水量较未处理多 47.3 mm<sup>[37]</sup>。秸秆还田可抑制土壤水分蒸发,减少田间耗水量、调整作物的耗水结构,从而提高水分利用效率,减少盐分表聚现象,能够较好地满足作物生长发育对水分的需要。秸秆还田处理的周年水分利用效率较不还田处理提高 7.6%<sup>[38-40]</sup>。秸秆还田的保水效果与土层深度有关,可明显提高 0~40 cm 土层的含水量,对土壤剖面水分含量的影响范围可达 2 m,但其保水效果会随着土壤深度的增加而减小。与常规耕作相比,深耕、深松处理的周年作物水分利用效率分别提高 8.8%、6.3%,作物产量分别提高 10.7%、9.8%<sup>[38]</sup>。土壤温度对保水效果也有一定影响,在低温情况下秸秆覆盖的保水效果较低。秸秆还田对土壤水分性状的影响是复杂的,还田后的秸秆在腐解过程中将消耗大量土壤水分,因而产生与作物争夺水分的现象。当秸秆腐解过程基本结束后,秸秆覆盖又增加了土壤的保水性、渗水性,因而有利于土壤水分性状的改善或土壤含水量的增加<sup>[41-42]</sup>。已有研究表明,秸秆还田与氮肥的合理配施,可以调控土壤水分,增加土壤含水量,加快氮肥的吸收和利用,提高土壤肥力水平,改善肥料利用效率,从而达到很好的水肥耦合作用<sup>[43-44]</sup>。

## 2.5 秸秆还田的化感效应

由植物间产生的化学物质引起的有利或有害作用常称为化感作用。水稻、小麦等植物残体常通过活体分泌或腐解释放化感物质而起作用。其中,水稻秸秆在还田腐解过程中产生的苯乙醇酸、对氧基苯甲酸、香草酸、乙酸等可抑制水稻幼苗的生长<sup>[45-46]</sup>。另有研究指出,在土壤上覆盖一定量的麦秸后,秸秆分解物质的化感作用会降低玉米平均发芽率<sup>[47]</sup>;而小麦秸秆中的酚酸类化感物质在低水培浓度时,也会抑制小麦自身根系的生长<sup>[48]</sup>。在秸秆还田技术中,须加强研究秸秆腐解产生的化感物质对作物生长的抑制作用,了解不同作物秸秆化感物质对还田效果的影响,从而使化感效应向有益于农业生产的方向发展。稻秆腐解产生的有机酸类化感物质可以转移和溶解土壤中的矿质养分,提高土壤的生物有效性,从而有利于作物生长发育<sup>[49-50]</sup>。而水稻、小麦、高粱等秸秆的化感作用都可以显著抑制杂草的生长,降低植物病虫害的发生概率,减少农田除草剂和农药的使用量,有效减轻环境污染、减少病虫害的防治成本,且有利于提高下季作物产量,对农业生态环境和粮食生产安全起保护作用<sup>[50-51]</sup>。此外,秸秆化感作用强度与秸秆腐解方式、秸秆不同部位及腐解时间有关。在稻麦轮作中稻秆或水稻残株的还田对杂草有一定抑制作用,其中对作物生长前期杂草的抑制作用明显高于作物生长后期<sup>[52]</sup>。

## 2.6 秸秆还田对土壤的修复效应

作物秸秆作为重金属的有机固化物,在重金属吸附利用和土壤改良方面具有重要作用<sup>[53-55]</sup>。施用秸秆可以起到原位钝化土壤重金属的作用,这与秸秆还田在土壤中的转化过程有关,还田秸秆在腐解过程中产生大量活性有机物,可增加

对土壤重金属的吸附能力,降低重金属的移动性和生物有效性,减少其向周围环境的扩散<sup>[55-56]</sup>。研究表明,油菜秸秆、小麦秸秆和水稻秸秆等均可显著提高土壤化学耗氧量(chemical oxygen demand,简称 COD)的浓度,促进土壤中重金属 Cu 和 Cd 的溶出,其中油菜秸秆对土壤重金属的吸附能力较高<sup>[54,57-58]</sup>,且随着秸秆施用量的增加,土壤残留重金属全态、有效态含量呈逐渐降低的趋势<sup>[59]</sup>。此外,秸秆还田产生的 COD 可以有效调节土壤 pH 值,影响土壤酸碱度,有效改良次生盐渍化土壤,且土壤盐分含量随秸秆用量的增加而降低<sup>[56,60]</sup>。因此,探讨不同种类秸秆作为农田土壤修复剂的可行性和施用条件,对秸秆还田土壤的修复利用、农产品的安全生产以及有效降低农田面源污染具有重要意义<sup>[54-55]</sup>。但我国重金属污染耕地每年都会产生大量重金属污染秸秆,而这些秸秆还田在把营养物质带入土壤的同时,也把秸秆中的重金属带入了土壤<sup>[61]</sup>,使农田质量下降,增加后茬作物出现重金属含量超标的可能性。目前,对以秸秆与有机肥配施作为土壤重金属污染修复剂的研究较多,但关于秸秆对土壤修复内在机制的研究还须进一步深入。

### 3 研究展望

目前,我国秸秆资源化还田利用技术仍处在高消耗、高污染、低产出的状况,未能得到高效合理的开发利用<sup>[62-63]</sup>。充分认识秸秆还田效应的多重性、复杂性和交互作用,对完善秸秆还田技术具有一定的实践指导意义。综上所述,秸秆还田在农田环境影响方面的研究应集中在以下几个方面。

#### 3.1 加强秸秆还田对农田环境影响及其机制的研究

由于秸秆种类和还田方式的多样性以及不同地域气候条件复杂与耕作制度多样化等因素,秸秆还田效果的主导影响因素存在一定差异。加强各因素相关性研究,了解区域农田环境影响机制,进行区域横向对比研究,对于科学利用秸秆还田技术具有重要意义。同时,随着我国农业机械化水平的提高和区域农业结构的调整,应考虑在不同层次生产力水平上进行研究,以适应未来农业的发展。秸秆还田技术实施的不同年限对农田环境的影响程度不同,将短期与长期定位试验相结合进行纵向比较研究,对于揭示秸秆还田对农田环境影响机制、探索农作物资源化利用有效方式以及建立循环农业发展模式有重要意义。

#### 3.2 结合农田环境在秸秆还田过程中的变化因素及其相互影响机制,系统研究秸秆还田技术对农田环境及生态环境效率变化的影响

目前,秸秆还田对环境影响的研究主要集中在土壤物理性质、化学性质等单一环境变化方面,对引起农田生态系统环境变化各因素之间联系的研究较少,不能客观阐明环境效应的得失。同时,秸秆还田技术对农田环境的影响缺乏经济效益与环境效应相结合的综合生态效率评价体系,秸秆循环利用对农业生态环境的影响效果尚不明确。因此,探索新的评价指标及研究方法,对分析农田环境变化和系统评价农业可持续发展具有重要作用。

#### 3.3 加强秸秆还田各项农艺措施和关键技术环节的统筹与协调

由于缺乏统一的秸秆还田技术标准,目前大多关于秸秆

还田对农田环境效应的研究所采用的配套农艺措施均比较单一或不够完善。综合考虑秸秆还田与配肥技术、生物技术、耕作措施等关键环节的统筹与协调,对提高作物产量与品质、优化农田生态环境、增加社会效益及发展可持续农业具有重要意义。同时,建立数学模型模拟各项农业措施统筹对农田环境的影响,探索适合不同地域的秸秆还田技术标准和方法,对于正确评估秸秆还田对农田环境的影响以及建立低投入、高产出、低消耗、高效率的循环农业发展模式,实现农业资源循环利用的有效性与农业生产的可持续性具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 张宁. 山东地区农作物秸秆生态化综合利用研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [2] Horiuchi J, Shimizu T, Tada K, et al. Selective production of organic acids in anaerobic acid reactor by pH control [J]. *Bioresource Technology*, 2002, 82(3): 209-213.
- [3] 汪军, 王德建, 张刚. 太湖地区稻麦轮作体系下秸秆还田配施氮肥对水稻产量及经济效益的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(2): 265-270.
- [4] 许有尊. 秸秆还田及有机肥对水稻生长和氮肥利用率影响的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [5] 解媛媛, 谷洁, 高华, 等. 微生物菌剂酶制剂化肥不同配比对秸秆还田后土壤酶活性的影响[J]. *水土保持研究*, 2010, 17(2): 233-238.
- [6] 刘晓倩. 秸秆还田方式与施肥对水稻土壤微生物学特性的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2013.
- [7] 许仁良, 王建峰, 张国良, 等. 秸秆、有机肥及氮肥配合使用对水稻土微生物和有机质含量的影响[J]. *生态学报*, 2010, 30(13): 3490-3584.
- [8] Mulqueen J, Rodgers M, Scally P. Phosphorus transfer from soil to surface waters[J]. *Agricultural Water Management*, 2004, 68(1): 91-105.
- [9] 牛建刚. 陕南稻茬小麦油菜免耕覆盖栽培技术研究推广效益分析[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.
- [10] 郝继伟. 临沂市作物秸秆在农业生产利用中的问题与对策研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [11] 王德建, 常志州, 王灿, 等. 稻麦秸秆全量还田的产量与环境效应及其调控[J]. *中国生态农业学报*, 2015, 23(9): 1073-1082.
- [12] 周炜. 稻麦两熟制秸秆还田环境效应及全程机械化配套农艺研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [13] Saxton P, Chandler D, Stetler L, et al. Wind erosion and fugitive dust fluxes on agricultural lands in the Pacific Northwest [J]. *Transaction of the ASAE*, 2000, 43(3): 623-630.
- [14] 刘建民, 胡立峰, 张爱军. 保护性耕作对农田温室效应的影响研究进展[J]. *中国农学通报*, 2006, 22(8): 246-249.
- [15] 张晓艳, 马二登, 张广斌, 等. 麦季稻秆施用对后续稻季 CH<sub>4</sub> 产生氧化及排放的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(9): 1827-1833.
- [16] 胡安永, 孙星, 刘勤. 太湖地区不同轮作模式对稻田温室气体(CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O)排放的影响[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(1): 99-106.
- [17] 张翰林, 吕卫光, 郑宪清, 等. 不同秸秆还田年限对稻麦轮作温室系统气体排放的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2015, 23(3): 302-308.

- [18] Schütz H, Holzapfel – Pschorn A, Conrad R, et al. A 3 – year continuous record on the influence of daytime, season, and fertilizer treatment on methane emission rates from an Italian rice paddy[J]. Journal of Geophysical Research, 1989, 94(D13): 16405 – 16415.
- [19] 强学彩. 秸秆还田量的农田生态效应研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.
- [20] 逯 非, 王效科, 韩 冰, 等. 稻田秸秆还田: 土壤固碳与甲烷增排[J]. 应用生态学报, 2010, 21(1): 99 – 108.
- [21] Pandey D, Agrawal M, Bohra J S. Greenhouse gas emissions from rice crop with different tillage permutations in rice – wheat system [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2012, 159: 133 – 144.
- [22] 张岳芳, 陈留根, 朱普平, 等. 秸秆还田对稻麦两熟高产农田净增温潜势影响的初步研究[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(8): 1647 – 1653.
- [23] 查良玉, 吴 洁, 仇忠启, 等. 秸秆机械集中沟埋还田对农田净碳排放的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(3): 229 – 236, 241.
- [24] 谭月臣, 诸葛玉平, 刘东雪, 等. 华北平原农田管理措施对冬小麦 – 夏玉米轮作系统  $N_2O$  和  $CH_4$  排放的影响[J]. 环境科学学报, 2016, 36(7): 2638 – 2649.
- [25] 张四伟. 不同耕作方式与秸秆还田方式对稻麦轮作农田土壤养分及碳库的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [26] Katan J. Physical and cultural methods for the management of soil – borne pathogens[J]. Crop Protection, 2000, 19(8): 725 – 731.
- [27] 蔡祖聪, 黄新琦. 土壤学不应忽视对作物土传病原微生物的研究[J]. 土壤学报, 2016, 53(2): 305 – 310.
- [28] Momma N, Kobara Y, Uematsu S, et al. Development of biological soil disinfestations in Japan [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2013, 97(9): 3801 – 3809.
- [29] 王波成. 耕作制度与病虫害发生的调查浅述[J]. 上海农业科技, 1998(6): 7 – 8.
- [30] 孙秀娟. 秸秆集中掩埋还田对赤霉病菌 (*Fusarium graminearum* Seh. ) 和二化螟 (*Chilo suppressalis* Walker) 幼虫存活的影响 [D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [31] 庞恒国, 惠 华, 窦永明. 保护性耕作条件下农田杂草及病虫害的综合防治技术[J]. 农村牧区机械化, 2008(1): 12 – 13.
- [32] 汪金平, 何园球, 柯建国, 等. 南方双季稻田秸秆厢沟腐熟还田免耕土壤生态效应研究[J]. 南京农业大学学报, 2004, 27(2): 21 – 24.
- [33] 刘凤艳, 龚振平, 马先树, 等. 秸秆还田对水稻病虫害发生的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2010(8): 75 – 78.
- [34] 常晓慧, 孔德刚, 井上光弘, 等. 秸秆还田方式对春播期土壤温度的影响[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(5): 117 – 120.
- [35] 李全起, 陈雨海, 吴 巍, 等. 秸秆覆盖和灌溉对冬小麦农田光能利用率的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(2): 243 – 246.
- [36] 杨滨娟, 黄国勤, 钱海燕. 秸秆还田配施化肥对土壤温度、根际微生物及酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(1): 150 – 157.
- [37] 赵聚宝, 梅旭莱, 薛军红, 等. 秸秆覆盖对旱地作物水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 1996, 29(2): 59 – 66.
- [38] 赵亚丽, 薛志伟, 郭海斌, 等. 耕作方式与秸秆还田对冬小麦 – 夏玉米耗水特性和水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(17): 3359 – 3371.
- [39] Zhang J Y, Sun J S, Duan A W, et al. Effects of different planting patterns on water use and yield performance of winter wheat in the Huang – Hai plain of China[J]. Agrucultural Water Management, 2007, 92(1): 41 – 47.
- [40] 张 哲, 孙占祥, 张燕卿, 等. 秸秆还田与氮肥配施对春玉米产量及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(3): 144 – 152.
- [41] Unger P W, Vigil M F. Cover crop effects on soil water relationships [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1998, 53(3): 200 – 207.
- [42] 贾大林, 司徒淞, 王和洲. 节水农业持续发展研究[J]. 生态农业研究, 1994, 2(2): 30 – 36.
- [43] 汪 军, 王德建, 张 刚. 秸秆还田下氮肥用量对稻田养分淋洗的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 316 – 321.
- [44] 李 锦. 秸秆还田及其基础上氮肥减量对土壤碳氮含量及作物产量的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [45] Chou C H. Roles of allelopathy in plant biodiversity and sustainable agriculture[J]. Plant Sciences, 1999, 18(5): 609 – 636.
- [46] 陈国华. 秸秆还田对土壤 Cd 活度及水稻 Cd 积累的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2012.
- [47] 马永清, 毛仁钊, 刘孟雨, 等. 小麦秸秆的生化他感效应[J]. 生态学杂志, 1993, 12(5): 36 – 38.
- [48] 余叙文, 汤章城. 植物生理和分子生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 699 – 720.
- [49] 叶文培, 谢小立, 王凯荣, 等. 不同时期秸秆还田对水稻生长发育及产量的影响[J]. 中国水稻科学, 2008, 22(1): 65 – 70.
- [50] Albuquerque M B, Santos R C, Lima L M, et al. Allelopathy, an alternative tool to improve cropping systems. A review [J]. Agronomy for Sustainable Development, 2011, 31(2): 379 – 395.
- [51] 顾 元. 还田麦秸对水稻幼苗的化感作用及其调控技术研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [52] 于建光, 顾 元, 常志州, 等. 小麦秸秆浸提液和腐解液对水稻的化感效应[J]. 土壤学报, 2013, 50(2): 349 – 356.
- [53] 韦树燕, 黄宇妃, 宋 波. 重金属污染土壤化学钝化剂应用研究进展[J]. 资源节约与环保, 2013(6): 143 – 144.
- [54] 张 晶, 苏德纯. 不同镉污染农田土壤上秸秆和炭化秸秆分解动态及其对土壤镉的吸附特征[J]. 环境工程学报, 2013, 7(10): 4097 – 4102.
- [55] Koukal B, Guéguen C, Pardos M, et al. Influence of humic substances on the toxic effects of cadmium and zinc to the green alga *Pseudokirchneriella subcapitata* [J]. Chemosphere, 2003, 53(8): 953 – 961.
- [56] 贾 乐, 朱俊艳, 苏德纯. 秸秆还田对镉污染农田土壤中镉生物有效性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(10): 1992 – 1998.
- [57] 单玉华, 李昌贵, 陈 晨, 等. 施用秸秆对淹水土壤镉、铜溶出的影响[J]. 生态学杂志, 2008, 27(8): 1362 – 1366.
- [58] 陈 晨. 添加秸秆对污染土壤重金属活度的影响及对水体重金属的吸附效应[D]. 扬州: 扬州大学, 2008.
- [59] 陈国华. 秸秆还田对土壤 Cd 活度及水稻 Cd 积累的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2012.
- [60] 李尚科, 沈根祥, 郭春霞, 等. 有机肥及秸秆对设施菜田次生盐渍化土壤修复效果研究[J]. 广东农业科学, 2012, 39(2): 60 – 62, 73.
- [61] 高秀丽. 重金属污染及污染秸秆施用对土壤质量影响的研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2012.
- [62] 刘新芽. 荆州市农作物秸秆综合利用研究[D]. 荆州: 长江大学, 2013.
- [63] 朱自学, 刘天学. 秸秆还田的生态效应研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(23): 7221 – 7223.