

玉米秸秆还田对土壤理化性状与小麦 生长发育和产量的影响研究进展

蒋 向^{1,2}, 任洪志², 贺德先¹

(1. 河南农业大学农学院, 河南郑州 450002; 2. 河南省农业技术推广总站, 河南郑州 450002)

摘 要: 为给玉米秸秆还田技术的机理研究和推广应用提供参考, 总结和分析了该技术的研究进展。秸秆还田对土壤物理性状、土壤水分含量、土壤有机质和矿质营养含量、土壤微生物和土壤酶活性, 以及下茬小麦生长发育、产量及其构成因素、籽粒品质及麦田病虫害均有影响。未来该技术应增强增产机理、量化技术及配套技术方面的研究。

关键词: 小麦; 玉米秸秆还田; 土壤理化性状; 生长发育; 籽粒产量

中图分类号: S512.1; S141.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2011)03-0569-06

Research Progress on Effects of Returning Maize Straws into Soil on Soil Physical & Chemical Characters and on Development and Yield of Wheat as Succeeding Crop

JIANG Xiang^{1,2}, REN Hong-zhi², HE De-xian¹

(1. College of Agronomy, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China;

2. Henan Extension Center for Agricultural Techniques, Zhengzhou, Henan 450002, China)

Abstract: Patterns and methods of returning maize straws into soil, and the effects of returning maize straws into soil were comprehensively reviewed on soil physical characters, soil moisture content, contents of soil organic matters and mineral nutrients, activities of microbes and enzymes, as on plant growth and development, grain yield and its components, grain quality, and pests and diseases in the field of wheat as succeeding crop as well. Furthermore, current obstacles to returning maize straws into soil in wheat production practice were discussed, and several suggestions to those obstacles and prospects on yield-increasing mechanism of returning maize straws into soil and corresponding techniques were also put forward.

Key words: Wheat; Returning maize straws into soil; Soil physical and chemical characters; Development; Grain yield

中国是世界秸秆产量大国^[1], 且随着农业综合生产能力的提高, 秸秆产量不断增长。据统计, 2006 年中国玉米、水稻、小麦三大作物的秸秆产量达 5.89×10^8 t, 占秸秆总量的 77.2%^[2]。其中, 玉米秸秆产量最大, 达 2.91×10^8 t, 占中国作物秸秆总量的 38.2%^[2], 具有十分可观的利用前景。研究表明, 秸秆长期施入农田, 可以改善土壤理化性状, 增加土壤有机质和 N、P、K 等养分含量^[3-6], 有

利于下茬作物生长发育和提高产量^[7-10]。近年来, 中国玉米秸秆还田面积不断扩大, 成为作物生产中的一项重要技术, 但在生产实践中, 秸秆还田技术存在配套技术不完善、量化不合理、操作不当等问题, 导致该技术正负效应并存^[11]。另外, 秸秆焚烧现象依然普遍, 不仅影响环境, 而且造成资源浪费^[12-14], 成为人们关注的热点问题。因此, 本文总结了已有的研究, 深入分析了玉米秸秆还田技术目

* 收稿日期: 2010-10-26 修回日期: 2010-12-27

基金项目: 河南省科技创新人才计划项目(104200510013); 河南省重大科技攻关项目(102101110200)。

作者简介: 蒋 向(1984-), 男, 硕士研究生, 主要从事作物生态生理研究。E-mail: jiangxiang84@126.com

通讯作者: 贺德先(1963-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事作物生态生理研究。E-mail: hedexian@yahoo.com。

前存在的技术难题及应用前景,以期为该技术的机理性研究和推广应用提供参考。

1 玉米秸秆还田的方式与方法

目前,生产实践中玉米秸秆还田主要有4种方式。一是直接还田,包括翻压还田、覆盖还田。其中,采用机械将秸秆粉碎还田,多道工序一次性完成,生产效率大大提高,同时还能促进秸秆在土壤中的腐解速度,增加土壤有机质含量,并改善土壤结构,提高下茬作物产量^[15-16]。而秸秆覆盖还田后,阻挡了自然降水对地表的直接冲刷,保护土壤,同时也可以有效降低土壤水分散失,使土壤有效储水量明显提高^[17]。二是过腹还田,即将秸秆作为粗饲料,饲喂牲畜后以粪便形式归还农田,不仅加速了还田纤维物质的腐解速度,发挥有机肥改良土壤、提高肥力的作用,同时对于维持和提高土壤中N和K的水平具有重要意义^[18]。三是堆沤还田,即利用高温发酵原理堆沤秸秆,然后还田。该方式的特点是所需时间长,劳动强度高,但成本低廉。目前生产中通过运用催腐剂、酵素剂等,可显著缩短沤制时间。四是快速腐熟后还田,主要是利用秸秆腐解剂快速腐熟秸秆后还田,腐解剂中富含高效微生物菌,其作用是促进秸秆快速腐解^[19-20]。比较来看,秸秆粉碎直接还田由于经济方便,利于被应用推广,成为秸秆还田的主要技术措施和手段。

近些年来,秸秆还田在生产中已不再仅仅作为一个单项技术措施而运用,而是更注意与其他技术措施的组装与配套。新近的研究指出,秸秆还田配施适量N肥可提高小麦产量和N肥利用效率,其中以秸秆还田配施纯N 270 kg·hm⁻²的效果为最好^[21]。在不同促腐条件下,玉米秸秆配施化肥直接还田可明显提高土壤微生物的C、N、P含量,增强土壤酶活性,对下茬作物具有明显的增产作用,其中以将玉米秸秆C/N调解为35:1,并结合施用促腐剂的效果为好^[22]。另有研究指出,秸秆配施外源纤维素酶能促进下茬小麦生长发育,株高和干物质积累量增加,叶片叶绿素含量和根系活力提高^[23]。至于玉米秸秆的直接还田量,一般认为以当年秸秆生产量的30%~50%为宜,过多施用导致秸秆对土壤有机质增加的比率降低^[24],而过少施用则效果不明显。关于秸秆还田的时间,应根据当地的种植制度而定,其总的原则是越早越好。秋收后玉米秸秆含水量高,气温也高,及时翻耕深埋有利于迅速腐解和来年保墒育苗^[25]。因此,玉米秸秆还田配套技术的组装配套与量化有待进一步研究与应用。

2 玉米秸秆还田对土壤理化性状及微生物活性的影响

2.1 对土壤物理性状的影响

多年来,国内外学者就玉米秸秆还田对土壤理化性状的影响及生物学效应做了较多的研究^[26-28],认为秸秆还田可促进土壤微粒的团聚作用,显著改善土壤理化性状,如

土壤孔隙度增加,土壤容重下降。据研究,秸秆还田处理田块0~10 cm表层土壤1~0.05 mm的大团粒比不还田处理增加20%左右,土壤容重比不还田处理降低0.17~0.25 g·cm⁻³,有效改善了土壤结构^[29]。与无肥对照相比较,施用玉米秸秆后0~20 cm土层的土壤容重降低5.26%~9.02%,差异达显著水平^[34],并且玉米秸秆还田在降低土壤0~20 cm容重的效果要好于猪粪肥。机械化秸秆全量还田能够降低土壤耕作层容重,这有利于作物根系向下生长。另有研究表明,玉米秸秆还田后土壤容重比对照下降了4.38%~8.03%,并且土壤通气与水分状况显著改善,最大田间持水量提高0.74%~6.41%,土壤密度降低,总孔隙度增加8.64%~18.65%^[30]。

2.2 对土壤水分含量的影响

秸秆覆盖还田降低土壤水分蒸发速度,减少蒸发量,增强土壤蓄水保墒能力,为下茬作物生长创造了适宜的土壤水分条件^[31-33]。前人研究认为,玉米秸秆覆盖能有效减少下茬小麦的棵间蒸发量,且覆盖量越大,保墒效果越好,秸秆覆盖处理的土壤耗水量比对照(不覆盖)降低1.09%~6.68%^[34]。据研究,秸秆覆盖时间长短的蓄水保墒效果不同,覆盖3 d和9 d后,近地层土壤含水量比对照(不覆盖)分别提高2.8%和2.1%,而灌溉3 d后,秸秆覆盖处理的灌溉水影响到地面以下80 cm处的土层,但对照(不覆盖)只能影响到60 cm处,这充分说明秸秆覆盖可加强灌溉水的入渗^[35]。有资料表明,秸秆覆盖不仅显著提高土壤表层0~10 cm的保水效果,而且对10 cm以下土层的含水状况也有一定改善^[36]。另据研究,秸秆覆盖与不同耕作模式相结合,与传统耕作相比较,显著提高土壤含水量,并增强土壤保墒能力^[37-38],其中以深翻覆盖与免耕留茬的保墒作用最好^[38]。同时还有研究认为,秸秆分解时将产生的水分补给土壤,起到补墒作用,秸秆还田后的土壤含水量在较长时间内较为稳定^[39]。

2.3 对土壤有机质含量的影响

玉米秸秆富含纤维素、木质素等,是形成土壤有机质的主要来源,而通过归还秸秆于土壤以增加土壤有机质,则是秸秆还田技术最主要的作用,这已被众多研究和生产实践所证实^[40-41]。据研究,在0~10和10~20 cm土层,玉米秸秆还田比不还田处理的有机质含量显著增加^[42]。同时,秸秆还田可逐年提高土壤有机质含量。多年多点试验结果指出,玉米秸秆还田3、6和9年后,土壤有机质含量分别提高0.05%~0.09%,0.06%~0.1%和0.09%~0.12%^[43]。玉米秸秆全量还田16年后土壤有机质提高1.19%。土壤中有有机质的含量不仅与秸秆还田量的关系密切,而且不同秸秆还田方式对土壤有机质也有影响,产生这种差异的原因主要是玉米秸秆与土壤接触的程度不同,从而影响其腐殖化进程^[44]。

2.4 对土壤矿质营养含量的影响

多数研究表明,秸秆还田后可以增加土壤中植物生长的必须元素与微量元素^[25,29-30]。玉米秸秆中含有丰富的

N、P、K 等营养成分, 每年还田玉米鲜秸秆 18.75 t · hm⁻², 归还于土壤的 N、P、K 量相当于 281.25 kg · hm⁻² 碳酸氢铵、150 kg · hm⁻² 过磷酸钙、104.75 kg · hm⁻² 硫酸钾^[44-45]。秸秆还田 2 年后, 土壤全 N 含量增加 11%, 全 P 含量增加 10%, 水解 N 增加 41.0%^[46]。据研究, 在 N、P 化肥施用量相同的情况下, 土壤速效 K 含量与秸秆还田量呈正相关, 即使不施用任何化学 K 肥而只通过秸秆还田技术, 也可有效减少土壤速效 K 的亏损并维持土壤 K 素平衡^[4]。另据研究, 随着还田方式不同, 玉米秸秆还田对土壤养分的贡献也不同, 过腹还田对于维持和提高土壤 N 素水平具有重要意义, 而直接还田则能够补充和提高土壤 P 素和 K 素水平^[40,47]。其中, 对土壤 P 素的作用突出体现在 0~20 cm 土层, 但同时对于 20~40 cm 土层的有效 P 贮备也起到一定的积极作用; 而对土壤 K 素, 玉米秸秆还田可影响到 0~60 cm 深的土层^[37]。

2.5 对土壤微生物活性的影响

秸秆归还土壤后, 为土壤微生物提供了充足的能源, 对土壤微生物的数量和活性具有显著的促进作用^[40,48-51]。有研究结果表明, 玉米秸秆全量和倍量还田后, 0~10 cm 土层中的总生物量分别比对照(无秸秆)增加 29.79% 和 34.55%, 10~20 cm 土层分别增加 19.75% 和 9.21%^[52], 土壤微生物生物量 C 和 N 的含量显著提高, 在最大峰值期微生物生物量 C 达到施入 C 量的 30%~40%, 微生物生物量 N 达到施入 N 量的 60%~70%^[53]。玉米秸秆还田后能够显著增加土壤细菌和真菌数量, 还田后 50 d 细菌数量增加 53.7%, 其中无机磷细菌、放线菌和真菌数量分别增加 24.77%、47.75% 和 212.19%^[54]。秸秆还田后对真菌的促进作用要大于细菌, 具有使土壤微生物区系由细菌型转化为真菌型的趋势^[48]。进一步的研究指出, 与对照(未施秸秆)相比, 秸秆还田尤其显著增加土壤溶磷真菌数量, 增加幅度约为 50%^[49]。秸秆还田对微生物的活动起到适当的调节^[55]。研究发现, 不同秸秆处理量的土壤微生物量季节波动较没有秸秆处理的幅度减小, 随着秸秆还田量增多, 效果越明显, 而且这种效应在耕层表现尤其明显^[52]。

2.6 对土壤酶活性的影响

土壤酶主要来自微生物、植物和动物的活体或残体^[56]。研究表明, 秸秆还田后土壤中脲酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶活性明显上升^[57], 这与秸秆本身带入大量活的微生物有关^[56]。秸秆还田可逐步提高酶活性, 但土壤酶活性的积累受到秸秆还田因素和自身强度的综合影响。研究指出, 土壤过氧化氢酶、转化酶、脲酶和磷酸酶活性还田第 1 年分别提高了 23.0%~32.1%、60.5%~70.4%、58.1%~69.0% 和 17.5%~31.7%, 还田第 2 年分别提高了 5.0%~7.9%、7.6%~11.3%、9.7%~13.9% 和 9.6%~14.9%^[22]。另有研究表明, 秸秆还田对小麦起身期磷酸酶、转化酶、过氧化氢酶活性的影响并不明显, 而在成熟期磷酸酶活性有所增加^[58]。

3 玉米秸秆还田对小麦生长发育及产量与品质的影响

3.1 对小麦生长发育的影响

前人对玉米秸秆还田对下茬作物生长发育的影响也做过一定的研究。秸秆还田后, 下茬小麦基本苗数略有减少^[59-60], 单株次生根数和最高分蘖数增加^[28,61], 不同生育时期的植株增高, 茎秆直径变粗, 植株干物质重增加, 收获前绿叶数增加, 成穗率提高^[62]。秸秆还田对小麦生长所起到的积极作用在生长后期表现得更为明显。有研究指出, 秸秆还田与优化水肥结合后, 冬小麦抽穗到成熟干物质日增长量分别比对照增加 33.92 和 25.91 kg · hm⁻² · d⁻¹, 干物质积累量分别比对照增加 22.34% 和 17.06%, 干物质积累量占全生育期干物质积累总量的比例也比对照分别增加 7.93 和 4.45 个百分点, 经济系数有所提高^[38]。但在生产实际中, 必须注意还田的方式方法, 否则也会给小麦生育及产量造成负面效应。

玉米秸秆还田对下茬作物叶片光合特性及物质积累具有显著影响。据研究, 适量的玉米秸秆还田提高小麦叶绿素含量与光合速率, 特别是提高叶绿素 a 含量^[63]。研究进一步指出, 玉米秸秆还田提高叶绿素含量, 主要是因为其对叶绿素的降解起到抑制作用, 其中特别是对叶绿素 a 降解的抑制^[63]。另据研究, 在常规低施肥量条件下, 秸秆还田量与下茬冬小麦旗叶的抗衰老性的正相关和负相关分别呈单峰和单谷曲线, 适量还田时旗叶抗衰老能力最强, 有利于有机物质合成与转化、积累^[64,65]。

3.2 对小麦产量及其构成因素的影响

关于玉米秸秆还田对下茬作物产量的影响, 前人已有较多的报道^[4,29,66-67]。玉米秸秆整株还田或者粉碎还田后, 下茬小麦增产效果显著, 与清茬相比较, 3 年平均单产分别增加 540 或 615 kg · hm⁻², 增产幅度达 10%^[29]。中国农业大学根据多年多点的资料, 曾拟合出 1 个关系曲线, 其方程为: $y = 14.27x / (0.28 + x)$, $r = 0.7926$, 式中 y : 小麦产量, x : 秸秆还田量。该曲线方程说明, 在少量还田时, 产量与秸秆增量呈显著的正相关关系^[12]。与单施等量 N 肥相比, 秸秆还田配施氮肥后冬小麦之所以增产, 是因为全生育期内干物质总量相对较大, 且表现为生育前期少而后期多^[60,68]。秸秆还田与不同耕作模式相结合, 下茬小麦有效穗数和穗粒数增多^[59], 同时籽粒灌浆速率提高, 灌浆时间延长, 千粒重显著提高^[35,38,65]。

3.3 对小麦籽粒品质的影响

截至目前, 尚未见玉米秸秆还田对下茬作物产品品质影响的专题报道。零星的相关研究仅指出, 长期配施秸秆虽对提高小麦产量具有一定的积极作用, 但籽粒氨基酸含量及面粉品质指标等则表现出明显的劣化现象^[67]。其他作物秸秆还田对下茬作物品质的影响也较罕见^[69]。仅有研究指出, 稻麦秸秆覆盖还田可增加下茬小麦籽粒蛋白质和湿面筋含量, 进而改善中强筋专用小麦的品质, 秸秆覆

盖还田与免耕相结合对小麦淀粉糊化特性具有一定影响,峰值黏度和稀懈值有下降趋势,使中筋小麦的面条品质降低,这种变化应该与玉米秸秆效应相似^[7]。关于秸秆还田条件下籽粒品质的研究,是本领域今后的一个重要方向。

3.4 对小麦病虫害的影响

有研究认为,通过玉米根茬粉碎,疏松、搅动表土,可改变土壤理化性状,破坏玉米螟及其他地下害虫的寄生环境,进而减轻对下茬作物的危害^[70]。但在免耕条件下,进行秸秆覆盖,则给病菌和虫害提供了有利的滋生环境,使地下害虫数量增加,危害加大^[71]。另有研究指出,秸秆直接还田在一定程度上加剧根病的危害^[72]。综合来看,玉米秸秆还田对小麦病害的研究相对较少,并且研究结论不一,还需进一步研究考证。在生产中应采取合适的秸秆还田方式和相应措施来避免和减少秸秆还田所带来的病虫害危害。

4 玉米秸秆还田技术存在的问题及应用前景分析

4.1 秸秆还田增产机理尚需进一步探讨

大多数研究认为,秸秆还田对下茬小麦具有增产作用^[4,66]。然而,也有秸秆还田后导致小麦减产的报道^[12,70],其减产原因有人认为是秸秆单独还田导致土壤 C/N 失衡^[73],有人认为是秸秆对麦苗生长具有他感相克作用,减小了幼苗生物量^[74]。而另有一些研究则认为,将秸秆粉碎后还田,只要施用量适宜、方法得当,对下茬作物产量并不造成什么影响^[24,75]。总体来看,秸秆还田改善了土壤理化性状和微生物活性,有效促进了下茬作物生长发育,其增产效应占主导地位。至于部分报道不增产或者减产,可能与具体的还田技术措施不同有关。

有研究指出,秸秆还田后之所以增产,是提高了作物 N 素吸收效率^[76],尤其是对土壤 NO_3^- -N 的利用率^[68]。而秸秆还田后小麦对土壤 NO_3^- -N 吸收利用率提高,则是土壤 NO_3^- -N 残留量减少的主要原因^[68]。另有研究认为,秸秆还田增强土壤反硝化潜势,进而削弱土体中 NO_3^- -N 的积累^[77]。然而,现有的研究结论多是在研究秸秆还田的单一或某几个效应时得出的^[78],尚不能阐明全面的、综合的秸秆还田增产机理,同时秸秆还田导致籽粒品质变劣的原因也有待于进一步探讨^[67]。因此,进一步深入研究秸秆还田与土壤肥力、农业环境、作物生长、产量与品质之间的相互关系以及作用机制,具有重要的理论与现实意义。

4.2 秸秆还田技术尚需进一步量化

玉米秸秆 C/N 为 65:1 左右,而微生物活动适宜的 C/N 为 25:1,因此,玉米秸秆还田后,较高的 C/N 比导致其不易腐解,而且还导致土壤微生物与作物对土壤有效 N 的竞争加剧^[58]。绝大多数研究认为,秸秆还田配施一定 N 肥有利于秸秆腐解和下茬作物生长,但针对不同条件下秸秆还田的 N 肥配施量的量化研究不够^[10,21]。此

外,玉米秸秆直接还田后,其所含养分是否可作为下茬作物的当季肥源,下茬作物施肥量如何应变^[79];秸秆还田后,是否应减少下茬作物的施肥量,减少幅度如何确定;同量秸秆可否隔年施用^[80];随着玉米产量提高到高产和超高产水平,秸秆生产量增加,此时的秸秆全量还田是否适宜,如何调控,多余秸秆如何处理,不同条件下适宜的秸秆还田量等问题,均需进一步的研究与量化。

4.3 秸秆还田配套技术尚需进一步研究

在当前的作物生产实践中,玉米秸秆还田已不是 1 项单项技术,而是 1 套以秸秆还田为主体的复合的技术体系。秸秆还田技术性强,应用不当不仅收不到预期效果,甚至会造成减产。有研究表明,与秸秆还田技术相配合的耕作方式不当,或秸秆还田条件下小麦播种质量差将导致出苗率下降,引起减产,如播种过浅或过深、秸秆(或根茬)阻碍、土壤水分不足等类型^[11]。玉米秸秆粉碎还田时粉碎效果不理想或还田不均匀,也会影响翻耕和播种质量。在前后作物接茬较紧地区,秸秆腐烂不能在休闲期进行,腐解速度慢,也成为秸秆还田问题之一^[40]。因此,进一步系统探讨玉米秸秆还田各项技术措施,如在不同土壤(类型、质地、肥力)、自然降水和生产条件下,如何确定翻压时间、秸秆数量、补 N 数量,以及相应的还田机具^[25],意义重大。同时,随着机械化水平的提高和生物技术的发展,如何在新的生产条件下丰富秸秆还田技术,将机械化秸秆收获、机械化粉碎还田、机械化耕作、新型生物制剂(腐解剂)等技术协调结合,进而达到更好的还田效果,具有较大的研究与应用前景。

参考文献:

- [1] 王亚静,毕于运,高春雨. 中国秸秆资源可收集利用量及其适宜性评价[J]. 中国农业科学, 2010, 43(9): 1852-1859.
- [2] 高利伟,马林,张卫峰,等. 中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 173-179.
- [3] Eagle A J, Bird J A, Horwath W R, *et al.* Rice yield and nitrogen utilization efficiency under alternative straw management practices[J]. Agronomy Journal, 2000, 92(6): 1096-1103.
- [4] 劳秀荣,孙伟红,王真,等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 618-623.
- [5] Wit C, Cassman K G, Olk D C. Crop rotation and residue management effects on carbon sequestration, nitrogen cycling and productivity of irrigated rice systems[J]. Plant Soil, 2000, 225(1): 263-278.
- [6] 王志明,朱培立,黄东迈,等. 秸秆碳的田间原位分解和微生物量碳的周转特征[J]. 土壤学报, 2003, 40(3): 446-453.
- [7] 刘世平,陈后庆,陈文林,等. 稻麦两熟制不同耕作方式与秸秆还田对小麦产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(5): 859-863.
- [8] Insam H, Mitchel C C, Dormaar J F. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization and crop yield of three ultisols[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1991, 23(5): 459-464.

[9] Lal R. World crop residues production and implications of its use as a biofuel [J]. *Environment International*, 2005, 31(4): 575-584.

[10] 王振忠, 吴敬民, 陈留根, 等. 稻麦两熟地区秸秆全量直接还田施肥技术的增产培肥效果[J]. *江苏农业学报*, 2003, 19(3): 151-156.

[11] 李少昆, 王克如, 冯聚凯, 等. 玉米秸秆还田与不同耕作方式下影响小麦出苗的因素[J]. *作物学报*, 2006, 32(3): 463-465.

[12] 刘翼浩, 高旺盛, 朱文珊. 秸秆还田的机理与技术模式[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.

[13] 赵聚宝, 梅旭荣, 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.

[14] 刘天学, 纪秀娥. 焚烧秸秆对土壤有机质和微生物的影响研究[J]. *土壤*, 2003, 35(4): 347-348.

[15] 顾绍军, 王兆民, 孙皓, 等. 试论秸秆还田对改善土壤微生态环境的作用[J]. *江苏农业科学*, 1999(6): 56-58.

[16] 郝辉林. 玉米秸秆机械粉碎还田前景分析[J]. *中国农机化*, 2001(2): 30-31.

[17] 李素娟, 李琳, 陈阜, 等. 保护性耕作对华北平原冬小麦水分利用的影响[J]. *华北农学报*, 2007, 22(S1): 115-120.

[18] 刘丽香, 吴承祯, 洪伟, 等. 农作物秸秆综合利用的进展[J]. *亚热带农业研究*, 2006, 2(1): 75-80.

[19] 姜佰文, 潘俊波, 王春宏, 等. 秸秆常温快速腐熟生物技术研究[J]. *东北农业大学学报*, 2005, 36(4): 439-441.

[20] 李庆康, 王振中, 顾志权, 等. 秸秆腐解剂在秸秆还田中的效果研究初报[J]. *土壤与环境*, 2001, 10(2): 124-127.

[21] 赵鹏, 陈阜. 秸秆还田配施化学氮肥对冬小麦氮效率和产量的影响[J]. *作物学报*, 2008, 34(6): 1014-1018.

[22] 张电学, 韩志卿, 刘微, 等. 不同促腐条件下玉米秸秆直接还田的生物学效应研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(6): 742-749.

[23] 韩玮, 聂俊华, 李飒. 外源纤维素酶在秸秆还田上的应用研究[J]. *河南农业科学*, 2005(11): 70-73.

[24] 宫亮, 孙文涛, 王聪翔, 等. 玉米秸秆还田对土壤肥力的影响[J]. *玉米科学*, 2008, 16(2): 122-124.

[25] 朱玉芹, 岳玉兰. 玉米秸秆还田培肥地力研究综述[J]. *玉米科学*, 2004, 12(3): 106-108.

[26] Roldan A, Caravaca F, Hernandez M T, *et al.* No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico) [J]. *Soil and Tillage Research*, 2003, 72(1): 65-73.

[27] Bescansa P, Imazi M J, Virto I, *et al.* Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain [J]. *Soil and Tillage Research*, 2006, 87(1): 19-27.

[28] Sasal M C, Andriulo A E, Aboada M A. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas [J]. *Soil and Tillage Research*, 2006, 87(1): 9-18.

[29] 马永良, 师宏奎, 张书奎. 玉米秸秆整株全量还田土壤理化性状的变化及其对下茬小麦生长的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2003, 8(Z1): 42-46.

[30] 武志杰, 张海军, 许广山. 玉米秸秆还田培肥土壤的效果[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(5): 539-542.

[31] 徐泰平, 朱波, 汪涛, 等. 秸秆还田对紫色土坡耕地养分流失的影响[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(1): 30-32.

[32] 周凌云. 农田秸秆覆盖节水效应研究[J]. *生态农业研究*, 1996, 4(3): 49-52.

[33] 李全起, 陈雨海. 覆盖与灌溉条件下农田耕层土壤养分含量的动态变化[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(1): 37-40.

[34] 于晓蕾, 吴普特, 汪有科, 等. 不同秸秆覆盖量对冬小麦生理及土壤温、湿状况的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2007, 26(4): 44-44.

[35] 李全起, 陈雨海, 于舜章, 等. 灌溉与秸秆覆盖条件下冬小麦农田小气候特征[J]. *作物学报*, 2006, 32(2): 302-309.

[36] 张萍, 李其昀, 于磊, 等. 秸秆覆盖对冬小麦生长状况及产量的影响[J]. *山东理工大学学报*, 2008, 22(5): 49-51.

[37] 吕雯, 汪有科. 不同秸秆还田模式冬麦田土壤水分特征比较[J]. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(3): 68-71.

[38] 李志勇, 陈建军, 陈明灿. 不同水肥条件下冬小麦的干物质积累、产量及水氮利用效率[J]. *麦类作物学报*, 2005, 25(5): 80-83.

[39] 左玉萍, 贾志宽. 土壤含水量对秸秆分解的影响及动态变化[J]. *西北农林科技大学学报*, 2004, 32(5): 61-63.

[40] 张电学, 韩志卿, 刘微, 等. 玉米秸秆直接还田配施促腐剂效应研究[J]. *河北科技师范学院学报*, 2003, 17(4): 5-9.

[41] 郑立臣, 解宏图, 张威, 等. 秸秆不同还田方式对土壤中溶解性有机碳的影响[J]. *生态环境*, 2006, 15(1): 80-83.

[42] 牛新胜, 马永良, 牛灵安, 等. 玉米秸秆覆盖冬小麦免耕播种对土壤理化性状的影响[J]. *华北农学报*, 2007, 22(S2): 158-163.

[43] 王应, 袁建国. 秸秆还田对农田土壤有机质提升的探索研究[J]. *山西农业大学学报*, 2007, 27(6): 120-121.

[44] 张力. 农作物秸秆利用技术[M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 1998.

[45] Shelton D R, Sadeghi A M, Mecarty G W, *et al.* A soil core method for estimating N-mineralization and denitrification during cover crop decomposition [J]. *Soil Science*, 1997, 162(7): 510-517.

[46] 赵聚宝. 秸秆还田效果及在土壤培肥中的地位[J]. *土壤通报*, 1991, 5(1): 80-83.

[47] 王小彬, 蔡典雄, 张镜清, 等. 旱地玉米秸秆还田对土壤肥力的影响[J]. *中国农业科学*, 2000, 33(4): 54-61.

[48] 崔俊涛, 窦森, 张伟, 等. 玉米秸秆对土壤微生物性质的影响[J]. *吉林农业大学学报*, 2005, 27(4): 424-428.

[49] 范丙全, 刘巧玲. 保护性耕作与秸秆还田对土壤微生物及其溶磷特性的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2005, 15(3): 130-132.

[50] Georg Guggenberger, Edward T. Microbial contributions to the aggregation of a cultivated grassland soil amended with starch [J]. *Soil Science*, 1998(56): 56-59.

[51] McGill WB. Dynamics of soil microbial biomass and water-soluble organic C in Breton L after 50 years of cropping to two rotations [J]. *Soil Science*, 1986, 66: 1-19.

[52] 强学彩, 袁红莉, 高旺盛. 秸秆还田量对土壤 CO₂ 释放和土壤

- 微生物量的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3): 469-472.
- [53] 严永贵, 孙冬梅, 汤 晖等. 生物能源物质与土壤微生物数量及磷素转化关系[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2000, 12(1): 15-18.
- [54] 吴景贵, 姜 岩, 姜亦梅, 等. 非腐解有机物培肥对水田土壤生物量态碳、氮的影响[J]. 土壤通报, 1998, 29(4): 158-160.
- [55] Tianzhi Reb, Stefano Grego. Soil bio-indicators in sustainable agriculture [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2000, 33(1): 68-75.
- [56] Jones DL. Organic acids in the rhizosphere—A critical review [J]. Plant and Soil, 1981, 205: 25-44.
- [57] 徐国伟, 段 骅, 王志琴, 等. 麦秸还田对土壤理化性质及酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(3): 934-942.
- [58] 李春霞, 陈 阜, 王俊忠, 等. 秸秆还田与耕作方式对土壤酶活性动态变化的影响[J]. 河南农业科学, 2006(11): 68-70.
- [59] 朱瑞祥, 薛少平, 张秀琴, 等. 机械化玉米秸秆还田对土壤水肥状况的动态研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(4): 39-42.
- [60] 赵 鹏, 陈 阜. 豫北秸秆还田配施氮肥对冬小麦氮利用及土壤硝态氮的短期效应[J]. 中国农业大学学报, 2008, 13(4): 19-23.
- [61] 韩 宾, 李增嘉, 王 芸, 等. 土壤耕作及秸秆还田对冬小麦生长状况及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 48-53.
- [62] 赵四申, 张西群, 贾素梅, 等. 玉米秸秆整株还田对小麦生长发育及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(1): 145-147.
- [63] 刘 阳, 李吾强, 温晓霞, 等. 玉米秸秆还田对接茬冬小麦旗叶光合特性的影响[J]. 西北农业学报, 2008, 17(2): 80-85.
- [64] 郑 伟, 张 静, 刘 阳, 等. 低施肥条件下秸秆还田对冬小麦旗叶衰老的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 4967-4974.
- [65] 刘义国, 林 琪, 王月福, 等. 秸秆还田与氮肥耦合对冬小麦光合特性及产量形成的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 42-44.
- [66] 江永红, 宇振荣, 马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响[J]. 土壤通报, 2001, 32(5): 209-213.
- [67] 刘 骅, 王西和, 张夫道, 等. 不同肥料长期配施对春小麦产量和品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2008, 45(4): 695-699.
- [68] 赵俊晔, 于振文. 高产条件下施氮量对冬小麦氮素吸收分配利用的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(4): 484-490.
- [69] Saha S, Gopinath K A, Lal Mina B, *et al.* Influence of continuous application of inorganic nutrients to a maize-wheat rotation on soil enzyme activity and grain quality in a rainfed Indian soil[J]. European Journal of Soil Biology, 2008, 44(5): 521-531.
- [70] 尚 梅, 任晓东, 刘德璋, 等. 农作物秸秆还田技术应用及推广前景[J]. 农机化研究, 2000(2): 93-95.
- [71] 籍增顺, 张乃生, 刘杰. 旱地玉米免耕整秆半覆盖技术体系及其评价[J]. 干旱地区农业研究, 1995, 13(2): 14-19.
- [72] 曹奎荣, 朱建兰. 秸秆还田与免耕对小麦根际线虫数量和根病的影响[J]. 植物保护, 2006, 32(1): 91-93.
- [73] Kumar K, Goh K M. Nitrogen release from crop residues and organic amendments as affected by biochemical composition [J]. Commun Soil Sci Plant Analysis, 2003, 34(17): 2441-2460.
- [74] 杨思存, 霍 琳, 王建成. 秸秆还田的生化他感效应研究初报[J]. 西北农业学报, 2005, 14(1): 52-56.
- [75] 刘海忠, 王保强, 武玉华, 等. 小麦夏玉米两茬秸秆还田不同耕作方式施肥技术研究[J]. 河北农业大学学报, 2004, 27(3): 6-9.
- [76] Takahashi S, Uenosono S, Ono S. Short- and long-term effects of rice straw application on nitrogen uptake by crops and nitrogen mineralization under flooded and upland conditions[J]. Plant and Soil, 2003, 251(2): 291-301.
- [77] 王维敏. 麦秸、氮肥与土壤混合培养时氮素的固定、矿化与麦秸的分解[J]. 土壤学报, 1986, 23(2): 97-104.
- [78] Ntanos D A, Koutroubas S D. Dry matter and N accumulation and translocation for indica and japonica rice under Mediterranean conditions [J]. Field Crops Research, 2002, 74(1): 93-101.
- [79] 徐国伟, 吴长付, 刘 辉, 等. 麦秸还田及氮肥管理技术对水稻产量的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(2): 284-291.
- [80] 高茂盛, 廖允成, 尹振燕, 等. 麦秸还田对隔茬口冬小麦根系及叶片衰老的影响[J]. 西北植物学报, 2007, 27(2): 0303-0308.