

秸秆还田在农业可持续发展中的综合评价

郑 丹¹, 迟凤琴²

(1. 东北农业大学 资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所/黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室/黑龙江省肥料工程技术研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:阐述了国内外的秸秆资源与利用现状,介绍了还田秸秆腐解的影响因素与秸秆还田对土壤肥力的影响。总结概括出秸秆还田的生产效益,同时还对秸秆还田产生的化感作用进行了简单的描述,并对黑龙江省秸秆还田的现状、存在的问题以及从中产生的思考作出探讨。

关键词:秸秆还田;腐解;土壤肥力;生产效益;化感作用

中图分类号:F323.2

文献标识码:A

文章编号:1002-2767(2012)01-0133-06

我国是一个农业大国,作物秸秆资源丰富,而作为农业生产的必然产物,为使其被更有效的利用,使它既不因焚烧而污染环境,又能造福人类,近年来,人们开始对此进行不断的研究,最终把作物秸秆定位成一种十分宝贵的可再生有机资源,如果利用得好,其生态、社会和经济效益都会有显著的提高,是实现农业可持续发展的重要资源。

1 秸秆资源与利用现状

1.1 国内秸秆资源与利用现状

我国农作物秸秆资源丰富,它既包括玉米、小麦、稻谷、大豆、薯类等粮食作物秸秆,也包含花生、棉花、蔬菜等经济作物秸秆。据统计,全世界年农作物秸秆约 1000 亿~2000 亿 t,我国每年达 7 亿 t 以上^[1],这相当于每年化肥用量的 1/4 以上,可折合为 300 多万 t 氮肥、700 多万 t 钾肥和 70 多万 t 的磷肥^[2]。按照秸秆产量的多少排序主要为:稻秸>玉米秸秆>小麦秸秆>油料作物>豆类秸秆>薯秧,其中最多的稻秸约占总秸秆产量的 29.93%,主要生产于中南和华东地区及西南的部分省份,而玉米秸秆仅次于稻秸,约占总秸秆产量的 27.39%,位于第三的小麦秸秆约

占总秸秆产量的 18.31%,这两种秸秆在东北和华北地区的各省份及华东和中南的部分省份较多^[3-4]。那么为了有效地利用秸秆资源,在“八五”期间,针对我国一些地区的麦秸、玉米秸和稻草的直接还田技术制定出了一系列的规程,并且分析了秸秆还田增产效果的作用机理;而后在“九五”期间,又对寒地水田秸秆的还田技术进行了培肥地力的研究^[5]。其实秸秆的用途很广泛,包括农业肥料、畜牧业饲料、工业材料以及能源原料,其中秸秆养畜和秸秆直接还田分别占秸秆总量的 30%和 15%;工业材料和能源材料占 24%;还有 31%的秸秆被丢弃或就地焚烧,这造成了严重的环境污染和火灾隐患,同时也造成了极大的资源浪费。

目前,秸秆还田的主要方式是直接还田和间接还田。胡海生总结了以下几种还田技术:(1)直接还田是将秸秆不经过化学处理而直接还田,主要方式有墒沟埋草、留高茬、反转灭茬、宽行作物田间铺草覆盖、粉碎还田。(2)间接还田是将秸秆经过化学处理后再还田,主要有秸秆堆腐、高温堆腐、腐熟剂堆腐等方式,还可把利用秸秆生产食用菌所产生的废渣进行还田以及沼肥还田等^[6]。

我国政府十分重视秸秆的合理利用问题,并在资金、政策等方面给予了大力扶持与推动,极大地促进了秸秆综合利用工作的广泛开展。

1.2 国外秸秆资源与利用现状

国外十分重视土地的用养结合,而采用秸秆还田技术对他们来说是一项重要措施。在美国,

收稿日期:2011-10-19

基金项目:黑龙江省发展高新技术产业专项资金资助项目(FW09B909);黑龙江省农业科技创新工程青年资助项目
第一作者简介:郑丹(1986-),女,内蒙古自治区满洲里市人,在读硕士,从事土壤肥力方面研究。E-mail:zd_19861122@163.com。

通讯作者:迟凤琴(1963-),女,黑龙江省勃利县人,博士,研究员,从事土壤肥力方面的研究。E-mail:fqchi@yahoo.com.cn。

所有作物秸秆尽量还田。据美国农业部数据显示,美国每年生产 4.5 亿 t 的作物秸秆,其秸秆还田量占秸秆总量的 68%,对保持和提高地力起到了一定的作用;同时,美国秸秆的利用还很广泛,例如用作饲料、手工制品或是把秸秆捆绑后高强度挤压来填充房屋墙壁;而现在美国把秸秆与纤维素乙醇的提炼问题列为美国秸秆综合回收利用的最新发展。据人民日报报道,在加拿大首都渥太华北部的农业区,一般每年 5 月播种玉米,10 月收获;收割时,玉米收割机还可把玉米秆切碎,作为肥料返到田里。在英国,秸秆直接还田量占其生产量的 73%。在日本,秸秆的处理方式主要有三种:第 1 种是秸秆还田到土中作为肥料,稻秸秆约占 68%;第 2 种是用于畜牧业,约占 22.7%;第 3 种是将一小部分难于处理的秸秆就地燃烧,约占 4.1%。最近几年,日本研究出了一种秸秆分解菌技术,有利于秸秆还田,使其效果更好。在丹麦首都哥本哈根以南的阿维多发电厂使用秸秆发电,成为全球效率最高、最环保的供电厂之一。

国内外的研究资料都证明,保持和提高土壤肥力,不仅对作物产量有很大的影响,对农业的可持续发展也有非常大的作用。

2 秸秆在土壤中腐解的影响因素

2.1 土壤中的水分含量

土壤中的水分会对微生物的活动产生相应的影响。一般认为土壤田间持水量 80% 左右最适于秸秆的腐解,土壤含水量越高的情况下,通气条件就越差,则有机物料分解也会变慢^[7]。莫淑勋的研究表明:不同水分条件下腐解秸秆的微生物区系不同,腐解速率不同,好气条件下分解秸秆的微生物效率较低,同时能固定较多的氮,而嫌气微生物分解秸秆效率较高,固定的氮也少。

2.2 土壤温度

土壤温度不仅影响土壤微生物的组成和活性,还影响土壤酶的活性,进而影响秸秆的腐解速率。土壤温度低于适宜温度范围时,微生物活性减弱,腐解较慢;土壤温度高于适宜温度范围时,抑制微生物的活性,甚至使土壤酶失去活性。一般认为,在 28~35℃ 时,温度变化不会影响微生物的活动,秸秆分解最快,而低于 10℃ 时分解较

弱,5℃ 时基本不分解。温度在秸秆腐解前期的影响要比水分更为明显。

2.3 土壤质地

土壤中的部分粘粒对作物残体的分解具有保护作用,随着粘粒含量的增多作物残体的腐殖化系数会增大^[8]。土壤 pH 越高越有利于有机物质的分解,不同的土壤 pH 会影响有机物料的腐殖化系数,而强酸性土壤环境不利于有机质的分解。覆盖在表层的秸秆腐解速率因不同性质土壤而异,基本为轻壤土>中壤土>重壤土;翻埋在土壤中的秸秆腐解速率为重壤土>中壤土>轻壤土^[9]。

2.4 C/N

贺志一的研究表明,有机物在土壤中的分解与养分的释放与其 C/N 有很大的关系^[10]。有机物料的分解速率与其 C/N 呈正相关,C/N 越高,则分解速率就越快,其残留碳量也越小;反之则分解速率越慢,其残留碳量也越大^[11-14]。其中豆科秸秆含氮较高,养分易于释放;禾本科秸秆含氮低,养分释放缓慢。

2.5 还田深度

何念祖等对稻草还田试验表明,面施时秸秆中磷钾释放比深施快,而氮的释放速度面施比深施表现为先慢后快^[15]。但最近几年研究表明,秸秆中的氮、磷、钾养分释放深施比面施快;从氮、磷、钾养分的释放速率来比较,钾的释放最快,磷次之,氮最慢^[16-18]。迟凤琴等利用网袋法对有机物料的分解试验表明,大豆秸秆在土埋条件下分解速度比露天处理高 9%~20%,其中土埋处理前期分解较快,而露天处理初期分解速率慢^[19]。

2.6 还田时间

在秋季,刚收获的秸秆含水量较高,气温也较高,立即还田有利于迅速腐解,还有利于来年的保墒保苗。而秸秆腐解总的趋势是前期快,后期慢。腐解主要集中在还田后的前 2 个月,2 个月后将剩下难腐解的纤维素和半纤维素,腐解会相当缓慢^[9]。

3 秸秆还田对土壤肥力的影响

3.1 对土壤物理性质的影响

秸秆还田对土壤的物理状况有着积极的影

响,它能够提高土壤孔隙度和非毛管孔隙度,降低土壤容重,增加土壤团聚体含量,增强土壤蓄水保水性能和粘质土通透性等。同时,还会改变土壤的氧化还原状况、pH、比电导和养分的转化。大量研究发现,秸秆覆盖还田或翻压还田都能增加土壤孔隙度和减少土壤容重。

3.2 对土壤化学性质的影响

秸秆还田必定会增加土壤中的氮素储量。目前,我国农田氮素大量盈余,造成氮肥利用率低下,经济效益下降,使环境受到污染。因此,研究秸秆还田在提高作物产量的前提下,提高氮素利用率,使农田氮素走向平衡具有重要意义。赵鹏等研究表明,在麦玉轮作情况下,考虑到农田氮素平衡,应减少施用量,施纯氮不要超过 $360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;如果既要考虑农田氮素平衡又要考虑作物产量,那么配施纯氮以 $360 \sim 540 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 为宜^[20]。李本荣等研究结果表明,当秸秆还田与氮肥配施,氮肥用量超过 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,水稻产量不再增加;但氮肥用量的增加,可以提高水稻籽粒和秸秆中的氮素含量,这时氮肥的利用率开始下降^[21]。秸秆中磷素的含量较低,所以秸秆还田在短期内对土壤磷素不能产生明显的变化。大量研究表明,长期秸秆还田会增加土壤有效磷和土壤全磷的含量^[22-24]。戴志刚等研究指出,不同秸秆磷累积释放率为水稻秸秆>油菜秸秆>小麦秸秆;秸秆中的磷含量较低,但磷释放迅速,腐解停滞期较长,主要原因可能因有机磷和木质素胶结在一起,致使无机磷在前期迅速释放后有机磷不能立即分解所引起^[25]。土壤钾的固定降低了钾的有效性,从而降低当季钾肥的利用率,但固定的钾对后茬作物有效,是后茬作物利用的潜在来源。因此,根据钾素的固定特点,可为钾肥施用提供科学依据。研究指出,长期连续秸秆还田可显著降低土壤对外源钾素的固定,环境溶液中钾素浓度从 $1\,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 上升到 $4\,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,土壤固钾量也随之增加;一年两作种植制度下土壤的固钾量比单作制高^[26]。

3.3 对土壤有机质的影响

土壤有机质的含量有利于提高土壤的缓冲能力,不仅可以保水、保肥,对某些土壤的物理性状以及微生物活动也会产生一些有利的影响,然而

秸秆还田是农田土壤有机质的主要来源。迟凤琴等研究指出,各种有机物料对土壤有机质积累量为玉米秸秆肥>玉米秸秆>草木樨秸>草木樨根茬>玉米根茬;如果每年不断重复等量添加有机物料,可使土壤有机质在土壤中残留率增加^[27]。玉米秸秆直接还田或间接还田可以提高土壤有机质含量及活性,玉米秸秆的施入量应为当年生产量的 $30\% \sim 50\%$,如果施入过多的秸秆,将导致土壤有机质增加的比率降低;同时,单施化肥和根茬对土壤有机质的保持和提高存在不利影响^[28]。许多研究表明,在室内培养下玉米秸秆在分解期间(1~15 d)胡敏酸先上升后下降,富里酸含量下降,最初富里酸形成速度大于胡敏酸,随着培养时间的延长富里酸转化为胡敏酸,使胡敏酸、富里酸结构逐渐趋于复杂化;土壤施入有机物料后,分解产生的水溶性有机物质能够参与原土壤有机质的分解并释放出新水溶性有机质^[29-30]。

3.4 对土壤生物活性的影响

土壤生物活性包括土壤微生物种群结构和土壤酶活性,这两者的变化可揭示连作后土壤肥力的演变规律及其对土壤生产性能的深远影响。玉米、谷子、马铃薯和苜蓿秸秆还田后,促进了土壤微生物的快速繁殖,使微生物量碳、氮、磷大量增加^[31]。保护性耕作可使微生物的数量增加,特别是免耕留高茬覆盖和免耕留低茬覆盖,其原因为留茬覆盖改善了土壤综合生态因子,增强了土壤微生物的活性,同时形成了互动效应;这两种保护性耕作,在过氧化氢酶、蔗糖酶和脲酶的活性上与传统耕作相比,也有所增加^[32]。陈冬林等研究指出,在不同耕作方式下,秸秆还田量对土壤微生物活性的影响表现不同,耕翻条件下以 $2/3$ 还田量处理的土壤微生物活性最高,而少免耕条件下 $1/3$ 还田量处理最高^[33]。邱莉萍等通过长期定位试验对土壤养分和酶活性的研究,发现土壤脲酶和碱性磷酸酶活性可作为衡量土壤肥力水平的指标^[34]。

4 秸秆还田的生产效益

综上可看出,秸秆还田不仅对土壤有培肥作用,还对生态环境有一定的改善,从而增加作物产量。国内许多报道指出秸秆还田有增产的效

应^[35-37]。我国的秸秆还田量平均约为 $4\ 611\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,增产幅度平均为 15.17% ^[38]。据资料显示,耕地通过秸秆还田相当于增加氮、磷和钾的量,分别为 255 、 255 和 $285\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,同时粮食可增产 $375\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

5 秸秆的化感作用

化感作用是指一种植物或微生物通过挥发、淋溶和根系分泌物等途径向环境中释放某些化学物质,从而对自身或周围植物的生长产生促进或抑制的作用。化感作用还包括自毒作用,它是一种发生在种内的生长抑制作用。近年来,证实了水稻、玉米、小麦、高粱、大豆等都具有化感作用^[39-40],这些作物不仅产生种间化感作用,还产生种内的自毒效应。目前比较常用的生物测定方法有发芽试验、幼苗生长发育测定、盆栽试验和大田试验等。

可以通过对化感作用的进一步研究,合理安排轮作、间作、重茬等耕作制度,从而有效地控制杂草和病虫害,并且筛选出相应的抗性品种资源及对其进行育种工程。李逢雨的研究表明,水稻秸秆水浸提液对小麦发芽与幼苗生长的影响总体上都表现为低促高抑,即低浓度的浸提液对小麦发芽与幼苗生长有促进作用,而浓度过高就会产生抑制作用^[41]。张承胤等盆栽试验指出,玉米秸秆对小麦根系活力的抑制作用随腐解液浓度增大而增强,当玉米秸秆粉碎后 30 g 秸秆: 1 kg 土时,对小麦根系活力、SOD酶、MDA含量等生理指标均有一定的抑制作用^[42]。综上所述,化感作用有很大一部分取决于秸秆还田量的多少,但是这是较直观的测定方法,还有一些细致的试验方法,例如:化感物质的提取、浓缩和纯化方法,但是由于方法太多,没有统一规范,致使科学性不够,所以需要进一步的研究,找到较准确的研究方法,同时化感作用的研究还有很强的挖掘性。

6 黑龙江省秸秆还田存在的问题及其产生的思考

6.1 黑龙江省秸秆还田现状及存在的问题

黑龙江省是种植业大省,常年农作物播种面积约 800万 hm^2 ,年产作物秸秆 $4\ 136$ 多万t。全部可折算为尿素 44.9 万t、过磷酸钙 103.4 万t、

钾肥 137.8 万t,此外秸秆中还含有钙、镁、铜、锌、钼、硼等多种矿物质元素。总体来看,黑龙江省秸秆利用率较低,仅占 30% 左右,其中某些地区的利用率高的达到 60% ,而低的仅 10% ,特别是小麦和水稻秸秆 55% 以上基本就地焚烧。因此,秸秆利用率低不仅造成资源的极大浪费,还严重污染环境。黑龙江省秸秆利用的主要方式是直接还田、堆沤和过腹还田,麦秸和稻秸主要用于直接还田,玉米秸主要是过腹还田^[43]。近几年,随着玉米全程机械化的推进和国际市场及国内需求的影响,全国种植面积呈逐年上升趋势,并且经济效益也越来越显著。其中黑龙江省的玉米种植面积已成为全省农作物之首,到2010年种植面积达到 436.8万 hm^2 ,是粮食作物种植面积的 $1/3$ 以上,由此看出玉米产量的高低已成为影响粮食安全的重要因素,同时,玉米秸秆还田利用技术与方法的研究也备受关注^[44]。

黑龙江省是典型的旱作农业区,再加上传统农业的过度耕作,导致该地区的水土流失加剧和生态环境恶化。那么为了改善土壤环境,需采取秸秆还田有效配套措施,但其中还需要解决一些问题。针对黑龙江农垦来说,还存在着以下几个问题:一是秸秆还田覆盖的量多易造成地表温度过低,使农作物出苗有了一定的困难;二是由于农垦地表情况复杂,致使秸秆覆盖量不均匀,从而播种质量不稳定;三是大面积地块的杂草控制比较困难,病虫害有增多的趋势。而对于黑龙江省项目县来说,主要是:示范时间短、基地少,技术模式欠缺,保护性耕作机具少,型号单一,其性能还需要继续改进^[45]。此外,黑龙江省西部地区土壤存在着旱时板结僵硬、涝时粘朽、蓄水保墒能力降低等问题,需要对其进行改良培肥技术,王晓军等研究表明,增施秸秆还田较常规施肥田间持水量增加 $3.2\%\sim 8.1\%$,土壤孔隙度增加 $7.4\%\sim 11.3\%$,土壤容重降低 $0.07\sim 0.10\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,玉米产量增加 $199.9\sim 2\ 135.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[46]。黑龙江省还受自然因素的影响,如 5℃ 以下地温的时间就有4个月,影响秸秆分解速度,长期未分解的秸秆在土壤中积累,将会对耕作、保墒及保苗产生不利的影响,所以急需在低温条件下使秸秆快速分解腐烂的商品菌种^[47]。

6.2 秸秆还田为黑龙江省带来的经济、社会和生态效益

2006 年农业部在黑龙江省建立两个保护性耕作项目示范点,分别是农垦大西江农场和兰西县。其中大西江农场推行免耕、少耕技术,由于多年前就已开始实行,所以目前技术模式比较成熟;而兰西县主要实行垄沟免耕播种、药剂灭草、秸秆粉碎还田覆盖和机械收获的模式。这两个示范区无论在经济、社会和生态效益上都有很大的收获,在经济效益方面,到 2008 年大西江农场统计,采用保护性耕作技术比传统作业少进地 4~7 次,少耗油 17~80 kg·hm⁻²,降低生产成本 10%~15%,2 a 共节省柴油 280 t 左右,按 5 800 元·t⁻¹ 计算,节约成本 162 万元左右。兰西县调查结果显示,全县项目区面积达 2 000 hm²,增收节支总效益达 390 万元。在社会效益方面,保护性耕作舍去了不必要的作业环节,减轻了农民的劳动强度,并且提高了生产效率和农民对农业科技的认识与掌握。在生态效益方面,不仅培肥了地力,加强了土壤的蓄水保墒能力,并且减少了天然降水的地表径流和水分蒸发,使水资源得到缓解,解决了焚烧秸秆问题,保护了生态环境^[45]。

6.3 思考

由以上内容可以看出,秸秆还田遇到了一些阻力,概括为 3 点:首先,许多农户对秸秆还田没有深层次的认识,他们认为秸秆还田需要增加成本,进而采用焚烧的办法,省时省力省钱,基于这点可以看出,秸秆还田技术推广力度不够,没有突出其实用性;其次,有一些农户实现了秸秆还田,但是还田效果不佳,其影响因素包括还田方法不配套、耕作和施肥不合理、田间管理不标准等;第三,是秸秆还田的基础设施较薄弱,一些硬件还存在着一定的质量问题,例如收获机、粉碎机以及其它的硬件设计不够合理。

针对以上 3 点,首先,政府应该采取一定的措施,充分利用秸秆到多种领域,并且抓落实,提供优惠政策,多建设示范基地,扩大示范面积,同时,通过相关的文件、新闻媒体和科研机构的技术培训等形式对秸秆还田技术进行有力的宣传和指导;其次,根据当地的不同气候、不同土壤条件,科学地选择适合本地的秸秆还田配套方法,提高秸秆还田的质量,并且予以完善;最后,要改善机械的制造质量,提高作业质量和粉碎质量,增加其实

用性。

参考文献:

- [1] 张雪松,朱建良. 秸秆的利用与深加工[J]. 化工时刊, 2004(5):1-5.
- [2] 宋硕. 焚烧秸秆造成的危害及其综合利用技术[J]. 山东环境, 1999(5):1-52.
- [3] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业统计年鉴 2000[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [4] 《非常规饲料资源的开发与利用》研究组. 非常规饲料资源的开发与利用[M]. 北京:中国农业出版社, 1996.
- [5] 韩永俊. 秸秆还田的研究现状[J]. 农机化研究, 2003(2): 39-40.
- [6] 胡海生. 秸秆还田的作用与方法[J]. 现代农业科技, 2008(6):159.
- [7] 杨首乐. 潮土中小麦秸秆腐解残留率测定方法比较[J]. 河南农业科学, 2005(12):60-63.
- [8] 张镜清. ¹⁴C、¹⁵N 双标记田菁及玉米秸腐解试验[J]. 土壤通报, 1984, 15(1):37-38.
- [9] 李新举,张志国,李贻学. 土壤深度对还田秸秆腐解速度的影响[J]. 土壤学报, 2001, 38(1):135-138.
- [10] 贺志一. 水稻土中各种有机物的分解过程[J]. 土壤学进展, 1991, 19(6):34-39.
- [11] 须湘成,张继宏,汪景宽,等. 不同有机物料的腐解残留率及其对土壤腐殖质组成和光学性质的影响[J]. 土壤通报, 1993, 24(2):53-56.
- [12] 林心雄,程励励,施书莲,等. 绿肥和蒿秆在苏南地区土壤中的分解特征[J]. 土壤学报, 1980, 17(4):319-325.
- [13] 王兆荣,王宏燕,种传立. 有机物料的腐解及土壤有机质的调控[J]. 东北农学院学报, 1991, 22(4):307-313.
- [14] Liang B C, Mackenzie A F, Schnitzer M et al. Management-induced change in labile soil organic matter under continuous corn in eastern Canadian soils[J]. Biol. Fertile. Soils, 1998, 26:88-94.
- [15] 何念祖,林咸永,林荣新,等. 面施和深施对秸秆中氮磷钾释放的影响[J]. 土壤通报, 1995, 26(7):40-42.
- [16] 陈永星,黄守林,张悟民,等. 深施与面施对水稻秸秆养分释放及增产效果研究[J]. 农业机械化论坛, 1997(4): 14-15.
- [17] 沈佳音,张悟民. 稻秆深施与面施对养分释放的影响及其增产效果[J]. 土壤肥料, 1999(3):42-43.
- [18] 杨振权,陈永星. 水田机械秸秆深施的养分释放及增产效果研究[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版, 2000, 26(3):329-331.
- [19] 迟凤琴,匡恩俊,宿庆瑞,等. 不同还田方式下有机物料有机碳分解规律研究[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(2): 60-65.
- [20] 赵鹏,陈阜,马新明,等. 麦玉两熟秸秆还田对作物产量和农田氮素平衡的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(8):162-166.
- [21] 李本荣,文顺元,王伯仁,等. 秸秆还田下氮肥用量对水稻产量及氮素吸收的影响[J]. 耕作与栽培, 2010(2):10-11.

- [22] 张振江. 长期麦秆直接还田对作物产量与土壤肥力的影响[J]. 土壤通报, 1998, 29(24): 154-155.
- [23] Norwood C A. Water use and yield of dryland row crops as effected by tillage system [J]. Agron, 1999, 91 (1): 108-115.
- [24] 孙星, 刘勤, 王德建, 等. 长期秸秆还田对土壤肥力质量的影响[J]. 土壤, 2007, 39(5): 782-786.
- [25] 戴志刚, 鲁剑巍, 李小坤, 等. 不同作物还田秸秆的养分释放特征试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 272-276.
- [26] 谭德水, 金继运, 黄绍文, 等. 长期施钾及小麦秸秆还田对北方典型土壤固钾能力的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(10): 2072-2079.
- [27] 迟凤琴, 宿庆瑞, 王鹤桥. 不同有机物料在黑土中的腐解及土壤有机质平衡的研究[J]. 土壤通报, 1996, 27(3): 124-125.
- [28] 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.
- [29] 关松, 窦森, 王玉珍. 培养条件下 CO₂ 对施入玉米秸秆后土壤有机质的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2006, 28(3): 298-302.
- [30] 张晋京, 窦森. 玉米秸秆分解期间胡敏酸、富里酸动态变化的研究[J]. 土壤通报, 2005, 36(1): 134-136.
- [31] 张成娥, 王栓全. 作物秸秆腐解过程中土壤微生物量的研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 96-99.
- [32] 张星杰, 刘景辉, 李立军, 等. 保护性耕作对旱作玉米土壤微生物和酶活性的影响[J]. 玉米科学, 2008, 16(1): 91-95.
- [33] 陈冬林, 易镇邪, 周文新, 等. 不同土壤耕作方式下秸秆还田量对晚稻土壤养分与微生物的影响[J]. 环境科学学报, 2010, 30(8): 1722-1728.
- [34] 邱莉萍, 刘军, 王益权, 等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 277-280.
- [35] 谭德水, 金继运, 黄绍文, 等. 不同种植制度下长期施钾与秸秆还田对作物产量和土壤钾素的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(1): 133-139.
- [36] 余延丰, 熊桂云, 张继铭, 等. 秸秆还田对作物产量和土壤肥力的影响[J]. 湖北农业科学, 2008, 47(2): 169-171.
- [37] 李孝勇, 武际, 朱宏斌, 等. 秸秆还田对作物产量及土壤养分的影响[J]. 安徽农业科学, 2003, 31(5): 870-871.
- [38] 曾木祥, 王蓉芳, 彭世琪, 等. 我国主要农区还田秸秆试验总结[J]. 土壤通报, 2002, 33(5): 336-339.
- [39] 胡飞, 孔垂华, 徐效华. 水稻化感材料的抑草作用及其机制[J]. 中国农业科学, 2004, 37(8): 1160-1165.
- [40] 孔垂华, 徐效华, 梁文举. 水稻化感品种根分泌物中非酚酸类化感物质的鉴定与抑草活性[J]. 生态学报, 2004, 24(7): 1318-1322.
- [41] 李逢雨, 孙锡发, 冯文强, 等. 水稻秸秆水浸提液对小麦的化感作用研究[J]. 西南农业学报, 2008, 21(4): 960-964.
- [42] 张承胤, 代丽, 甄文超, 等. 玉米秸秆还田对小麦根部病害化感作用的模拟研究[J]. 植物保护科学, 2007, 23(5): 298-301.
- [43] 孟凯. 黑龙江省耕地质量的态势与对策[J]. 农业系统科学与综合研究, 2009, 25(4): 490-493.
- [44] 李世民, 张立国, 王海舟, 等. 黑龙江省玉米生产中存在的问题与对策[J]. 现代化农业, 2011(5): 12-13.
- [45] 韩雪, 刘宪, 张树阁. 黑龙江实施保护性耕作显成效[J]. 农机科技推广, 2008(4): 18-19.
- [46] 王晓军, 于凤芝, 高同彬, 等. 碳酸盐黑钙土改良培肥技术研究[J]. 现代农业科技, 2010(10): 261-262.
- [47] 潘亚东, 刘希锋, 钱晓辉. 北方寒区农作物秸秆利用技术及应用前景分析[J]. 农机化研究, 2010(5): 5-8.

A Comprehensive Evaluation on Straw Return to Soil in the Sustainable Development of Agriculture

ZHENG Dan¹, CHI Feng-qin²

(1. Resources and Environment College of Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030; 2. Soil Fertilizer and Environment Resources Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/The Key Lab of Soil Environment and Plant Nutrition of Heilongjiang Province/Research Center of Fertilizer Engineering and Technology of Heilongjiang Province, Harbin, Heilongjiang 150086)

Abstract: The straw resources and its use situation at home and abroad were summarized, and factors of the decomposition about straw and effect of straw returned to soil on soil fertility were introduced. Production efficiency of straw returned was summed up, while a brief description of straw allelopathy was concluded, finally, the present situation, some problems and ideas from straw returned to soil of Heilongjiang province were discussed.

Key words: straw return to soil; decomposition; soil fertility; production efficiency; allelopathy