

中国玉米秸秆直接还田的现状与发展

吕开宇^{1,2} 仇焕广^{1,3} 白军飞^{1,3} 徐志刚¹

(1. 农业部国家玉米产业技术体系 北京 100081; 2. 中国农业科学院农业经济与发展研究所, 北京 100081; 3. 中国科学院农业政策研究中心 北京 100101)

摘要 推广秸秆还田对于改善土壤条件、促进农业可持续发展意义重大。但与美国等发达国家相比,我国玉米秸秆直接还田比例仍较低,地域差异明显。本文旨在从技术和经济两个方面,掌握玉米秸秆直接还田的现状,理清未来推广的重点和思路。为此,采用实地调查、文献资料查阅和专家访谈等研究方法,首先利用技术参数对我国玉米秸秆的资源总量及其使用结构进行估计,从总体上把握玉米秸秆的资源状况和还田发展水平;其次依据文献和调研信息,从积极和消极两个方面系统分析了玉米秸秆直接还田技术应用的经济环境影响,从技术和经济两个角度分析了现阶段推广该技术面临的主要瓶颈;再次结合美国推广的成功经验,论证了我国未来推广玉米秸秆直接还田技术的可行性,并明确了未来推广的关键;最后从政策、技术、舆论和调研四个方面提出了政策建议。

关键词 玉米秸秆;直接还田;利弊分析;发展瓶颈;驱动分析

中图分类号 F062;F303 文献标识码 文章编号 1002-2104(2013)03-0171-06 doi:10.3969/j.issn.1002-2104.2013.03.027

推广秸秆还田可以有效改善土壤条件、促进农业可持续发展。了解我国玉米秸秆直接还田的现状、趋势、影响和面临的问题,将有利于我国制定更加科学合理的政策,推进玉米秸秆直接还田技术的大面积应用。总体来看,现有关于玉米秸秆直接还田的研究,更多集中在技术领域,而未能将技术和经济结合起来,从推广角度等方面进行综合分析。本文采用实地调查、文献资料查阅和专家访谈等方法,系统地对我国玉米秸秆直接还田现状和趋势、影响效果、制约因素、国际经验等方面进行了分析,理清未来推广的重点和思路,提出未来推广玉米秸秆直接还田的措施建议。

1 我国玉米秸秆资源及还田利用现状

1.1 我国玉米秸秆资源及其分布

在过去20多年,随着我国玉米种植面积不断扩大,玉米秸秆产量也持续增加。2010年我国玉米产量达到17 725万t,以1.25的草谷比系数^[1-3]计算(即每kg玉米可获得1.25 kg秸秆),当年玉米秸秆产量达到22 156万t,约占我国农作物秸秆总产量的28.57%。

我国玉米秸秆分布呈现北方多、南方少的基本布局。

东北区是我国最大的玉米产区,2010年该区玉米产量达5 479万t,玉米秸秆产量6 849万t,占全国31%。华北区是我国第二大玉米产区,2010年该区玉米秸秆产量达6 566万t,占全国近30%。2010年,蒙新区、西南地区、黄土高原区、长江中下游地区、华南区和青藏区玉米秸秆产量分别为2 566万t、2 436万t、2 111万t、1 230万t、381万t和17万t。黑龙江、吉林和山东是我国玉米秸秆产量最大的三个省份,其玉米秸秆产量分别占全国的13.1%、11.3%和10.9%。

1.2 我国玉米秸秆还田与利用现状

从玉米秸秆直接还田比例来看,总体水平较低,且地域差异较大。根据我们的估计,2010年我国约有3 899万t玉米秸秆被直接还田,占玉米秸秆资源总量的17.6%(见表1)。华北地区是我国玉米秸秆直接还田比例最高的地区,约有31%的玉米秸秆被直接还田(河北、吉林两地的调研进一步实证了我们的估计。河北石家庄地区,早在1995年就开始推广秸秆还田技术。目前,绝大多数农户能够将玉米和小麦秸秆全量还田。而吉林公主岭地区,绝大多数农户是将玉米叶在田间焚烧掉,玉米秆收集后放

收稿日期:2012-11-28

作者简介:吕开宇,博士,副研究员,主要研究方向为农村发展和公共政策。

通讯作者:仇焕广,博士,副研究员,主要研究方向为农业区域发展和农产品贸易。

基金项目:国家玉米产业技术体系(编号:nyeytx-02);国家自然科学基金(编号:71073154,70803052);基本科研业务费专项(编号:0052012024)。

在家中用作冬季烧炕取暖、做饭燃料。) 经济发展水平较高的长江中下游地区玉米秸秆直接还田比例为 18% ,也略高于全国平均水平。尽管东北地区是我国最大的玉米产区 ,但该地区玉米秸秆直接还田比例仅为 11.2% ,远低于全国平均水平。玉米秸秆直接还田比例最低的地区是青藏高原区和蒙新区 ,秸秆还田比例不足 10% 。

我国玉米秸秆的利用方式多样 ,主要包括农村生活能源、饲料化利用、作为工业原料、食用菌基料以及秸秆还田等。各地经济发展水平、产业结构不同 ,玉米秸秆利用方式差异很大(表 1)。据 2011 年国家玉米产业体系对全国 100 多个县的问卷调查结果整理估算 ,我国约 29.5% 的玉米秸秆被用于农村生活能源; 每年约有 26.4% 的玉米秸秆被用于牛、羊等食草动物的饲料以及牲畜圈舍铺垫; 约 3.1% 的秸秆用于工业用途(主要加工人造板、一次性餐盒、以及手工艺品等) 和用作食用菌基料 ,近年来 ,用于食用菌栽培的秸秆量不断上升。目前 ,我国玉米秸秆用于生物能源生产的比例还很小 ,随着技术成熟 ,用量可能将上升。

2 玉米秸秆直接还田技术应用的利弊分析

从技术试验和国内外技术应用推广的经验来看 ,玉米

表 1 各地区玉米秸秆资源量及使用结构
Tab.1 Amount and utilization structure of corn stalk resources by region

地区 Region	秸秆资源量 (10 ⁴ t) Corn stalk resource amount	不同利用方式占比(%) Corn stalk utilization structure			
		农村生活能源 Living energy	饲料化 Feed	工业及食 用菌基料 Industrial	秸秆还田 Return to soil
全国	22 155.6	29.5	26.4	3.1	17.6
华北区	6 565.6	25.0	28.8	4.6	30.9
东北区	6 848.6	26.5	22.8	1.6	11.2
黄土高原区	2 110.8	36.7	31.4	2.9	14.5
蒙新区	2 566.4	24.8	33.6	2.2	7.4
青藏区	16.9	39.0	35.9	0.0	5.0
长江中下游区	1 229.9	29.7	17.6	7.8	18.0
西南区	2 436.2	48.7	23.3	2.3	13.6
华南区	381.4	30.3	22.6	2.1	14.5

注: 1. 华北区包括北京、天津、河北、山东、河南; 东北区包括辽宁、吉林和黑龙江; 黄土高原区包括山西、陕西和甘肃; 蒙新区包括内蒙古、宁夏和新疆; 青藏区包括西藏和青海; 长江中下游区包括上海、江苏、浙江、安徽、湖北、湖南、江西; 西南区包括重庆、四川、贵州和云南; 华南区包括福建、广东、广西和海南。

2. 秸秆资源量的计算方法参见文献[3][4]。

资料来源: 玉米产量来自历年《中国统计年鉴》,玉米秸秆的使用结构比例则是作者根据 2011 年国家玉米产业体系对全国 100 多个县的问卷调查结果整理而得。

秸秆直接还田在改进土壤质量和提高作物产量方面都有显著的正面作用 ,但也存在着降低低温、影响播种、加重病害等问题 ,如技术不完善或应用不当 ,也可能造成一些负面影响。

首先 ,玉米秸秆直接还田能够提高土壤质量。在改善土壤肥力方面 ,秸秆还田能够提高土壤有机质含量和活性、改善土壤肥力状况。如与化肥配合施用 ,能够明显地提高土壤氮、磷、钾的含量 ,增加土壤中营养元素的累积 ,提高土壤的供肥能力^[5-7]。保墒节水方面 ,秸秆还田能在强降雨时期延长水分下渗时间、减缓地面径流 ,同时有利于减少田间无效蒸发和损失 ,大幅提高土壤蓄水保墒能力和水分利用效率。增加空隙度方面 ,秸秆还田可以通过影响表层土壤容重 ,为土壤疏松创造条件 ,从而改善土壤通气状况。缓冲低温方面 ,利用秸秆的遮光性 ,使其在温度升高时仍具有降温作用; 利用秸秆对地面逆辐射的阻挡作用 ,使其在温度降低时仍具有保温性。

其次 ,玉米秸秆直接还田能够增加作物的产量。秸秆还田有利于增加土壤养分、改善土壤水分 ,从而直接影响作物的产量。无论是美国的玛洛试验地(Morrow Plots) ,还是德国的帕·劳斯特(Bad Lauchstadt) 土壤肥力试验地都证明 ,秸秆还田配以恰当的条件 ,都能显著提高作物产量^[8-9]。国内华北地区(小麦 - 玉米一年两熟) 和东北地区(玉米一年一熟) 的很多研究结果也表明 ,玉米秸秆直接还田能有效提高作物产量 ,增产幅度与配合措施和参照系有关 ,大致在 1.34% - 30.7%^[5]。

第三 ,如果技术得当 ,玉米秸秆直接还田可产生良好的经济效益。据河南南乐县多年观测总结 ,连续 2 - 3 年实施玉米秸秆直接还田 ,一般能提高单产 20% - 30% 左右 ,具体地 ,南乐县 2010 年亩增加小麦产量 27 kg ,亩增加玉米产量 78.6 kg ,亩增产值 214 元^[10]。此外在秸秆还田的地块上施用化肥 ,可较好地发挥化肥的肥效 ,提高氮肥利用率 10% - 15% ,提高磷肥利用率 20% 左右^[10]。若以还田后耕地每亩可以少施尿素 7.5 kg ,二铵 7.5 kg ,钾肥 5 kg 计算 ,每年每亩可以少投入 100 元^[11]。据我们在石家庄的调研 ,耕地和还田秸秆机械粉碎的费用是每亩 60 元 ,如果秸秆由其他人代收则能获得每亩 70 元的收益 ,因此秸秆直接还田的总成本为每亩 130 元。因此如果按照秸秆还田产生 214 元/亩净收益计算 ,秸秆还田能获取每亩 84 元的净收益。可见 ,即使仅考虑增产效应 ,秸秆还田也能带来一定的经济收益。此外 ,秸秆还田直接杀死了在秸秆中栖息或越冬的害虫 ,降低了虫源基数 ,减轻了害虫危害。如果再考虑农产品质量的积极效果和其他生态、社会效应 ,还田意义更大。

当然 ,玉米秸秆直接还田如技术不完善或应用不当也

可能产生一些负面效应。首先,玉米秸秆腐解过程需要吸收土壤中原有的氮素、磷素和水分,如果土壤底肥不足和干旱,较高的碳氮比在秸秆腐烂过程中就会与作物争肥争水,影响出苗率,不利于培育壮苗和作物生长发育,甚至造成减产^[12-13]。其次,秸秆过长、地温过低、松紧度不当,不仅不利于秸秆腐解,还会影响出苗和作物生长。如果还田秸秆切的不碎或形成丝状纤维,会造成秸秆不易腐烂,播种时拖堆,影响播种质量和出现失墒等问题^[14]。如果玉米秸秆还田不结合深耕或镇压措施,会造成后茬种子不能与土壤紧密接触,影响种子发芽出苗、根系发育和对养分水分的吸收,甚至出现吊根^[10]。第三,秸秆还田使得病原菌重新回到了土壤中,土壤中病原菌的菌源量积累,加重了苗期病害和土传病害的发生。

3 我国玉米秸秆直接还田发展的主要瓶颈

与美国等发达国家相比,我国玉米秸秆直接还田的比例仍较低,且地域差异明显。总体上,当前我国玉米秸秆直接还田仍面临诸多制约因素。

一是配套技术制约。据调查,限制玉米秸秆直接还田的技术几乎涵盖生产诸多环节:机械、育种、栽培、植保等。尽管很多秸秆直接还田技术得到了推广和应用,但仍有一些关键技术有待突破,创新性技术储备更需加强。机械上,除了研发粉碎效果好、损耗率低的收获机械外,需要研发配套的整地、播种机械,逐步实现精量播种、智能控制、综合作业、高效节能等机械化操作;育种上,需要培育穗位整齐、适宜机械化作业的耐密高产抗倒品种;栽培上,需要因地制宜地选择更有效的还田作业流程和技术规范,包括耕作方式、播种技术和水肥管理等,解决秸秆还田出苗率低的问题;植保上,需要解决秸秆还田高升的苗期和土传病害和杂草防治问题。

二是技术推广制约。目前我国基层农技推广体系存在技术缺乏、农机与农艺不配套等诸多问题,秸秆还田主要通过项目示范和行政强制来推广,项目示范往往因在农民前期培训、中期参与、后期效果宣传方面做的不够,致使效果欠佳;而行政强制机制常常因农机和农艺归口管理部门不同,难以协作,且配套机制不健全、设施投入不足而无法真正被农民认同接受。至于近年来实施的保护性耕作补贴政策,操作管理仍有较大改进空间。

三是经济收益权衡。在农户层面,尽管秸秆直接还田能够改善土壤结构、提高产量,但也面临机械投入和病虫害防治的成本增加。在国家层面,尽管秸秆还田能够改善环境减少二氧化碳排放,但技术开发推广等的社会成本较高。同时,保护性耕作抬高了配套成本,竞争性用途增加了玉米秸秆还田的机会成本。此外,推行秸秆直接还田新

技术的门槛较高,如果没有良好的合作机制和配套措施,一般小农很难采纳。如北方垄作区,为达到起垄作业要求,需要使用大马力拖拉机配带秸秆还田机、翻地犁和圆盘耙进行多次作业,成本高。

四是农民认识与传统耕作习惯制约。农民对新技术的关注往往更侧重看得到的经济效益,恰恰秸秆直接还田的经济效益并不直观。调查中发现,提高农民认识仍是一项长期而艰巨的工作。此外,秸秆直接还田技术需要改变传统耕作方式,重新配置机械、土地和劳动力等要素,这对长期形成的传统耕作方式提出了挑战。

五是自然条件与土地制度制约。秸秆腐解需要在合适的土壤水分和地温条件下进行,水分不足或地温过低都将减慢秸秆腐烂速度,影响出苗。但在降雨量大的地区,秸秆覆盖也会造成土壤表层含水量过高。在高纬度地区,春季日照时间较短,秸秆还田还会导致播种前地温回升过慢。此外,一些地区土地流转不开为推广大中型机械设置了障碍。

需要说明,不同地区面临的主要瓶颈不同。东北地区更多面临着生活燃料的竞争性需求,以及缺乏灌溉条件与低温导致的秸秆腐解速度慢等问题;青藏高原区和蒙新区面临着饲养牲畜对秸秆的强烈竞争性需求问题;西南地区面临着秸秆还田引起的局部土壤过涝问题。

4 美国玉米秸秆直接还田情况及经验

玉米是美国农民秸秆还田作物中面积最大的作物,也是还田比例最高的两种作物之一(另一种是大豆)。根据美国农业部 CTIC (Conservation Technology Information Center) 统计,2008 年美国 10 个玉米生产州玉米秸秆还田比例约为 45%,其中爱荷华、伊利诺斯、堪萨斯、内布拉斯加等主产州的比例更是远远超过 50%^[15]。

尽管上世纪 80 年代之前,玉米秸秆被主要用作加工饲料、做大牲畜养殖区铺垫(livestock bedding)等,剩余部分基本上被烧掉。但这种状况在此后发生了变化:80 年代中期开始,联邦政府与玉米主产区州政府联合实施了多项扶持政策,以积极推动保护性耕作(包括免耕、垄耕与旋耕):一是出台相关法案鼓励免耕,如 1985 年的食品安全法案就把鼓励免耕作为一个重要的条款,随后的一些其他涉农法案也都有相关条款;二是补贴农民购买保护性作业的专门机械;三是补贴公司开展适用于保护性耕作的机械开发与育种研究;四是由联邦政府出资开展全国范围内的耕作与植株营养体管理调查;五是政府在保护性耕作及其短期与长期的影响方面投入大量经费开展研究。

受此影响,20 世纪 80 年代中后期开始,越来越多的农民不再选择烧掉,而是把不用的玉米秸秆留在地里。

1985-1995年,美国玉米保护性耕作得到了快速推广。根据CTIC统计,1988年美国10个主要玉米生产州,仅有约20%的玉米生产采用保护性耕作,其中免耕只占7%;但到1995年,41%的玉米种植采用保护性耕作,其中免耕与旋耕各占17%和21%^[15]。此后十几年,该比例没再发生太大变化。保护性耕作方式的大范围推广促进了玉米秸秆直接还田比例的提高。按规定,保护性耕作最少要有30%的秸秆留在田里,而传统的翻犁式耕作方式中秸秆留田比例通常低于15%。

美国经验表明,玉米秸秆还田在推广初期也遇到了很多阻力,但通过政府干预(主要是补贴)关键问题得到了很好解决,玉米秸秆还田得以大面积推广。早期阻力主要在于秸秆还田的滞后长期效益无法满足农民的即期经济目标,而补贴政策弥补了农民的即期收益。连贯长期的技术推广改变了农民对于保护性耕作的认识,实惠最终推动农民自主地采用该项技术。需要注意,美国经验同样表明,自然条件的约束很可能会使秸秆还田在成本收益上并不经济,这类地区可能并不适合开展秸秆还田,除非新技术可以促使成本收益发生逆转。

5 我国玉米秸秆直接还田技术应用推广的驱动因素及关键问题

5.1 我国玉米秸秆直接还田技术应用推广的驱动因素

目前,我国玉米秸秆直接还田试点推广已经有一定规模,技术储备也有一定基础,具备了进一步推广应用的良好基础和物质条件。

(1) 保护环境和增强地力迫切需要加大推广农作物秸秆直接还田。目前,秸秆直接还田面临着环保压力和土肥拉力共同需求。改善农田、农村生态环境和发展可持续农业已经成为改善民生的重要举措。众多食品安全问题需要我国更加重视农产品的质量,积极促进绿色食品的发展。推行秸秆直接还田技术,严禁露天焚烧,在增加土壤有机质、培肥地力的同时,减少了资源的浪费和环境污染,是现代农业生产发展的必然趋势,更是实现中长期国家粮食安全战略的必然选择。

(2) 经过长期摸索和实践,我国玉米秸秆直接还田推广已经储备了较好的技术和经验。秸秆直接还田技术比较成熟,在民间已经实践多年。而且经过多年技术试验研究,该技术很多难点也已被攻克,推广应用较为成熟。石家庄的调研结果表明,该技术已经推广了16年,当地专家和农户对技术本身已没有陌生感。通过多年摸索,很多技术均已较好掌握:通过配合施入氮肥解决秸秆反硝化问题,通过灌溉促进秸秆腐解,通过不同机械和耕作技术解决秸秆还田后土壤松紧度的问题等等。尽管仍有部分技

术亟待解决,如东北的腐解问题,但对于其他大多数地区,剩余更多是如何在类似条件地区展开技术推广。

(3) 现阶段玉米秸秆直接还田推广具有良好的政策环境。在配套设施和技术上,机械和水利是推广还田技术的两项重要条件。之前实施的农机补贴政策,推动了农业生产机械化进程,未来只要政策引导合理,积极作用仍将发挥。2011年“中央一号文件”关注水利问题,也为还田灌溉奠定了良好的政策基础。从现实情况看,病虫害植保和耕作技术等,要么早已实践于农艺生产活动,要么已在试验室有了深入研究。未来工作是将一些更好的试验室成功技术推广到农艺生产实践中去。

5.2 玉米秸秆还田未来技术应用推广关键问题

未来玉米秸秆直接还田技术的推广需要特别注重以下几个关键问题和制约因素。

(1) 推广的区域重点。目前玉米秸秆直接还田技术已在华北大数区域得到推广和应用,而在东北地区,玉米秸秆直接还田的农户比例非常低。未来,既要提高推广地区的应用效果,更要加快未覆盖地区的推广工作。华北地区重点是巩固并扩大还田的耕地比例,适宜地区努力做到不遗漏,也不搞滥竽充数。东北部分地区由于气候原因,侧重做好秸秆堆肥腐解还田;同时加强秸秆直接还田示范基地周围地区的推广,由点到面,由面到片,并优先考虑具备机械和灌溉条件的成熟地区。

(2) 推广的技术方向。推广技术必须充分结合国内资源禀赋,确保持久有效。面对水资源匮乏的挑战,保墒节水型还田技术将是未来的发展方向。如何利用秸秆自身的保墒蓄水作用,并结合适合的耕作方式,将在很大程度上决定该技术能否得到广泛持续应用。具体到区域,华北地区需要优先解决技术推广后的风险问题,如病虫害植保以及还田效率效果等问题;东北地区需要优先解决推广前的瓶颈问题,如秸秆降解速度和机械供应配套等问题。同时,需共同探索耕作方式的积极作用。

(3) 技术推广的主体。秸秆直接还田在起始阶段政府应该是加强秸秆还田的技术推广和宣传,长期还要让农户认识到还田的收益。农户采用还田技术,往往投入时间长,收益小、短期效果不明显、还面临病虫害、出苗率低等风险,如果不具备完善的配套条件和良好的激励措施,农户更愿意采取简单的秸秆处理方式:放火焚烧还田。政府推动还田技术的好处更为清晰:秸秆直接还田能够增强土壤肥力、增加作物产量、改善土壤形状、改善农业生态环境等等。

6 政策建议

为了促进我国玉米产区进一步推进玉米秸秆直接还

田,现阶段可以从政策支持、技术攻关、宏观舆论宣传、和微观调研指导等四个方面着手做好这项工作。

(1) 制订支持政策,建立还田长效机制。明确将秸秆直接还田保护性耕作作为国家粮食安全战略基础保障制度并长期执行。围绕基础技术研究、技术衔接研究和技术推广三个方面,完善秸秆直接还田保护性耕作公共政策支持体系。重点制订并出台机械开发支持政策、秸秆直接还田配套农机具购置补贴政策、东北垄改平补贴政策,探索和建立补贴机制解决秸秆直接还田滞后效应与农民眼前利益之间矛盾,研究公共服务政策解决土地流转不开限制秸秆直接还田推广的问题。

(2) 加强科研攻关,消除推广技术瓶颈。借助国家农业产业体系的力量,整合不同部门和环节资源力量,加大科研攻关。技术上,重点解决秸秆降解速度技术瓶颈,并攻克降解影响出苗、农机和农艺不配套等难题,加快掌握精量播种、智能控制、综合作业、高效节能等机械关键技术,继续探索耕作方式对农业可持续发展的积极作用,高度重视未来保墒节水型还田技术的研究方向。地区上,华北地区重点解决病虫害植保问题,东北地区重点解决降解速度慢与出苗率低问题等。

(3) 做好宣传总结,提高还田推广效果。利用国家农业产业体系平台,系统梳理国内外研究信息,形成客观科学的成果总结;推动政府、学术、企业和农户统一思想,达成共识。通过对比试验,用科学的数据,如土壤有机质含量、作物产量、经济效益对比核算,让农民看到秸秆直接还田的好处。通过现场演示、技术培训、科技下乡等多种方式,转变农民思想观念,使秸秆直接还田成为广大农民的自发行为。

(4) 深入市场调研,了解农户行为需求。及时调研市场玉米秸秆综合利用方式,深入掌握生物制发电技术、秸秆固化成型技术、秸秆热解气化和生物气化技术、纤维素降解生产乙醇等技术应用情况,结合还田比例试验结果,为科学制定还田比例提供决策依据。深入农户,系统科学调查,在结合农户生活用能等基础上,详细了解其还田行为需求,并分析其技术选择和采纳的关键因素,为制定有效的激励政策提供决策依据。

致谢:感谢国家玉米产业技术体系首席科学家张世煌研究员,中国农大陈新平教授、张东兴教授,中国农科院植保所王振营研究员,河南农业大学李潮海教授,宁夏农科院王永宏研究员,黑龙江省农科院张树权研究员,黑龙江省农机研究院孙士明研究员等专家的意见;感谢河北省农科院张文英研究员、杨立华研究员,吉林省农科院王立春研究员、刘武仁研究员为我们调研提供的帮助。

(编辑:张英)

参考文献(References)

- [1]李轶冰,杨改河,楚莉莉,等.中国农村户用沼气主要发酵原料资源量的估算[J].资源科学,2009,31(2):231-237. [Li Yibing, Yang Gaihe, Chu Lili, et al. Estimation of Resource Extent of Dominant Feedstock for Household Biogas in Rural Areas of China [J]. Resources Science, 2009, 31(2): 231-237.]
- [2]Yang Y L, Zhang P D, Zhang W L, et al. Quantitative Appraisal and Potential Analysis for Primary Biomass Resources for Energy Utilization in China [J]. Renewable and Sustainable Energy Review, 2010, 14(14): 3050-3058.
- [3]谢光辉,王晓玉,任兰天.中国作物秸秆资源评估研究现状[J].生物工程学报,2010,26(7):855-863. [Xie Guanghui, Wang Xiaoyu, Ren Lantian. China's Crop Residues Resources Evaluation [J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2010, 26(7): 855-863.]
- [4]蔡亚庆,仇焕广,徐志刚.中国各区域秸秆资源可能资源化利用的潜力分析[J].自然资源学报,2011,26(10):1637-1646. [Cai Yaqing, Qiu Huangang, Xu Zhigang. Evaluation on Potentials of Energy Utilization of Crop Residual Resources in Different Regions of China [J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(10): 1637-1646.]
- [5]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. [Wang Xiaobin, Cai Dianxiong, Zhang Jingqing, et al. Effects of Corn Stover Incorporated in Dry Farmland on Soil Fertility [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2000, 33(4): 54-61.]
- [6]武志杰,张海军,许广山,等.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. [Wu Zhijie, Zhang Haijun, Xu Guangshan, et al. Effect of Returning Corn Straw into Soil on Soil Fertility [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(5): 539-542.]
- [7]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):122-124,130. [Gong Liang, Sun Wentao, Wang Congxiang, et al. Effects of Application Maize Straw on Soil Physical Characteristics and Yield [J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(2): 122-124, 130.]
- [8]陈子明.美国玛洛试验地的种植制度和施肥措施对土壤理化性状和产量的影响[J].土壤学报,1987,24(1):86-93. [Chen Ziming. Effects of Cropping System and Fertilization on the Chemical and Physical Properties of the Soils of Morrow Plots [J]. Acta Pedologica Sinica, 1987, 24(1): 86-93.]
- [9]陈子明.从玛洛试验地的土壤肥力变化和产量提高看培肥土壤的重要性[J].土壤肥料,1987,(4):8-11. [Chen Ziming. To Understand the Importance of Fertilizing Soil from Change of Soil Fertility and Increase of Output in Morrow Plots [J]. Soils and Fertilizers, 1987(4): 8-11.]
- [10]郭永芳.玉米秸秆直接还田中存在的问题及对策探讨[J].中国农技推广,2011,(4):43-44. [Guo Yongfang. Problems of Cornstalk Direct Return Field and its Implication [J]. China Agricultural Technology Extension, 2011, 27(4): 43-44.]

- [11]孙国瑞. 浅议玉米秸秆的综合利用[J]. 农业技术与装备, 2010 (20): 8-9. [Sun Guorui. Discussion on the Comprehensive Utilization of Cornstalk [J]. Agricultural Technology & Equipment, 2010 (20): 8-9.]
- [12]付国占, 李潮海, 王俊忠, 等. 残茬覆盖与耕作方式对土壤性状及夏玉米水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 52-56. [Fu Guozhan, Li Chaohai, Wang Junzhong, et al. Effects of Stubble Mulch and Tillage Managements on Soil Physical Properties and Water Use Efficiency of Summer Maize [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(1): 52-56.]
- [13]孙召靖. 秸秆还田对推广玉米机械化收获的影响[J]. 农业技术与装备, 2011 (5): 57. [Sun Zhaoqing. Impact of Straw Return on the Promotion of Maize Harvest by Machine [J]. Agricultural Technology & Equipment, 2011 (5): 57.]
- [14]赵鑫, 陈长智. 浅析制约吉林市玉米收获机械化的因素及建议[J]. 农业机械, 2010 (7): 94-96. [Zhao Xin, Chen Changzhi. Discussion on Constrain Factors of Maize Harvest Machine in Jinlin City and Implication [J]. Agricultural Machine, 2010 (7): 94-96.]
- [15]CTIC. National Crop Residue Management Survey [EB/OL]. [2011. 11. 24]. <http://www.ctic.purdue.edu/CRM>

Development of Direct Return of Corn Stalk to Soil: Current Status, Driving Forces and Constraints

LV Kai-yu^{1,2} QIU Huan-guang^{1,3} BAI Jun-fei^{1,3} XU Zhi-gang¹

(1. National Maize Industry Technology R D Centre, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China;

2. Institute of Agricultural Economics and Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

3. Center for Chinese Agricultural Policy, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract The direct return of corn stalk to soil can significantly contribute to the improvement of soil fertility and the sustainable development of agriculture. Comparing to the status quo in many developed countries like the U. S., the return rate of corn stalk in China is still at a lower level with obvious regional discrepancy. This paper aims to understand the current status of direct return of corn stalk to soil and to identify the main constrains and strategies for the development of such tillage technology from both the technical and economic perspectives. To achieve these objectives, methods such as field survey, literature review and expert interview were employed. First, the paper estimates the amount and utilization of corn stalk resources in China by using relative technical conversion parameters to understand the potentials and use of corn stalks in China. Second, this paper analyzes the positive and negative effects of practices of direct return of corn stalk to soil on local agricultural production and on environment. The main technological and economic constraints to the extension of such technology are also discussed. Finally, incorporating with successful experiences from the U. S., this paper discusses the feasibility and key constraints to be addressed for extension of direct return of corn stalk to soil in future China. Practical suggestions from the perspective of policy, technology, public environment and survey are provided in the conclusions.

Key words corn stalk; direct return of corn stalk to soil; agricultural technology extension; technical and economic analysis