

# 黄土高原保护性耕作技术研究现状及展望\*

李卫<sup>1</sup>, 薛彩霞<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西杨凌, 712100;

2. 西北农林科技大学经济管理学院, 陕西杨凌, 712100)

**摘要:**黄土高原是我国水土流失最严重和沙尘暴多发的地区之一, 保护性耕作技术因其良好的生态环境效益而在黄土高原得以推广。黄土高原自 20 世纪 90 年代从国外引进保护性耕作技术, 至今已形成具有区域特色的保护性耕作体系。本文从田间试验和农户调研两方面梳理黄土高原保护性耕作技术的研究文献, 剖析存在的问题, 提出黄土高原推广应用保护性耕作技术的发展路径, 并就今后的研究方向进行展望。

**关键词:**保护性耕作技术, 研究现状, 黄土高原

**中图分类号:**S23 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-5553 (2016) 12-0203-07

李卫, 薛彩霞. 黄土高原保护性耕作技术研究现状及展望[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(12): 203~209

Li Wei, Xue Caixia. Research status and prospect of conservation tillage in Loess Plateau [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(12): 203~209

## 0 引言

保护性耕作技术(Conservation Tillage)是美国在遭遇严重水土流失和风沙危害后, 逐渐发展起来的一种新型的环境友好型土壤耕作模式。它是以秸秆覆盖地表、少免耕播种、深松及病虫草害综合控制为主要内容的现代耕作技术体系, 该技术的采用不仅具有改善土壤结构、增加土壤有机质、蓄水保墒、节本增收、提高农田生产力等作用<sup>[1-3]</sup>, 而且具有减少温室气体排放、降低能源消耗和抑制耕地退化等环境效益<sup>[4-8]</sup>。黄土高原是我国水土流失最严重的地区, 也是沙尘暴的多发地区之一, 因保护性耕作具有“少动土”、“少裸露”的特性, 因而可以有效地防治水土流失和保持土壤水分, 这从根本上保证了该技术在黄土高原地区的应用。因此, 梳理现有文献的研究进展, 探讨今后黄土高原保护性耕作技术的发展路径与发展方向, 为建立与黄土高原种植制度相匹配、生态经济社会相适应的耕作技术具有重要意义。

## 1 保护性耕作技术的起源与发展

20 世纪初, 美国大力开垦平原, 作物产量大幅提

高, 但由于频繁使用铧式犁翻耕土地, 造成了土壤过于疏松, 再加上气候干旱, 引发了 1934 年举世震惊的“黑风暴”(Dust bowl), “黑风暴”之后, 人们开始审视土壤耕作制度。1935 年, 美国成立土壤保护局, 开始推广残茬覆盖耕作法, 保护性耕作技术由此而生。保护性耕作技术经过 80 多年的研究与发展, 大体经历了以下三个阶段: 第一阶段是 20 世纪 30~40 年代, 美国提出了少免耕和深松的技术, 并研制和推广不翻土的农机具。第二阶段是 20 世纪 50~70 年代, 澳大利亚、加拿大、前苏联等国家相继加入保护性耕作试验的行列, 机械化免耕和秸秆覆盖技术得到大力发展, 许多研究证实, 保护性耕作对减少土壤侵蚀有显著效果, 但也出现了保护性耕作使得作物减产的例子, 导致其技术推广缓慢。第三阶段是 20 世纪 80 年代以来, 随着保护性耕作机械的改进, 种植结构的调整以及除草剂的使用, 保护性耕作技术日渐趋于成熟, 已从单项技术上升为多项技术的集成与综合应用, 其核心技术包括土壤处理、覆盖技术、机械配套、除草技术和种植制度等。目前, 保护性耕作技术在全球已得到普遍认可, 尤其在干旱半干旱地区得到广泛应用, 11% 以上的世界耕地都采用了该技术<sup>[9]</sup>。

收稿日期: 2016 年 10 月 12 日 修回日期: 2016 年 10 月 31 日

\* 基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目(15YJC630062); 陕西省农业科技创新与攻关项目(2016NY-010); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2452016079); 西北农林科技大学博士科研启动经费(201501011174)

第一作者: 李卫, 男, 1977 年生, 山东淄博人, 博士, 讲师, 研究方向为保护性耕作技术与装备。E-mail: liweizibo@163.com

通讯作者: 薛彩霞, 女, 1980 年生, 山西闻喜人, 博士, 副教授, 研究方向为林业经济理论与政策。E-mail: xiaoxueacc@126.com

中国保护性耕作技术始于20世纪60年代在黑龙江山营农场开展的免耕种植<sup>[10]</sup>,之后有部分高校和农业科学院开始了少免耕和秸秆覆盖的单项技术试验研究,由于受到保护性耕作技术发展水平与机具以及社会经济发展水平的制约,保护性耕作技术推广应用面积较小。20世纪90年代以来,伴随着农业技术的进步,西北旱区、华北灌溉两熟区、东北一熟旱作区、南方稻麦两熟及双季稻区均进行了符合当地保护性耕作技术的实验。1992年,中国农业大学、山西省农机局与澳大利亚昆士兰大学合作,在临汾市尧都区进行黄土高原典型代表地区“旱地小麦保护性耕作试验区”,1995年,该项目通过澳大利亚国际农业研究中心和农业部的验收。为加强保护性耕作体系的研究,1999年农业部成立保护性耕作研究中心。20世纪末,我国基本形成了以保水保土、增产增收、保护环境为目标,以中小型农机具为实施手段的中国特色保护性耕作体系<sup>[11]</sup>。2002年,农业部和财政部启动保护性耕作项目,在北京、河北、山西、陕西、甘肃、辽宁和内蒙古等8省(市、区)首次建立了38个保护性耕作示范县,之后逐年增加,截至“十一五”末全国已建立256个国家级保护性耕作示范县。目前,我国实施保护性耕作的区域包括北方15省(市、区)和苏北、皖北,形成了东北平原垄作、东北西部风沙干旱、西北绿洲农业、西北黄土高原、黄淮海两茬平作和华北长城沿线六个保护性耕作类型,“十二五”期间,全国实施保护性耕作的农业面积已达11333.33km<sup>2</sup>,保护性耕作技术在保障国家粮食安全、生态安全方面发挥了积极作用<sup>[9]</sup>。

## 2 黄土高原保护性耕作技术的研究现状

现有文献对黄土高原保护性耕作技术的研究主要是从田间试验和农户调查数据两个层面进行的。首先,运用田间试验的方法,比较传统耕作技术与保护性耕作技术的应用效果;其次,农户是保护性耕作技术主要的最终采纳主体。学者通过对黄土高原不同区域的农户进行问卷调查,运用描述统计和数理模型分析农户对保护性耕作技术的采纳行为与采纳效果。

### 2.1 运用田间试验分析保护性耕作技术应用效果的研究

学者在黄土高原不同地区进行的田间试验对各种保护性耕作技术(如免耕、秸秆覆盖、免耕+秸秆覆盖、深松、深松+秸秆覆盖等)与传统耕作的效果进行对比研究,主要包括以下方面:一是保护性耕作技术的生态效益及其综合效益,研究表明保护性耕作不仅提高了黄土高原的地表覆盖,减少约33.9%~67.4%的土壤流失量<sup>[12]</sup>,对抑制土壤侵蚀效果明显,而且减少了温室气体

的排放<sup>[13,14]</sup>。学者对其综合效益的研究,尽管采用的方法不同,但对“保护性耕作技术的综合效益优于传统耕作技术”已形成共识。原君静等人建立投影寻踪技术的综合效益模型,对山西寿阳试验区研究发现,深松碎秆和免耕碎秆的作物产量、作业成本、有机质、有效磷、节约劳动力等综合效益高于传统耕作<sup>[15]</sup>;牟丽明则运用能值分析黄土高原丘陵区小麦和豌豆的产出能值,发现免耕和秸秆覆盖可以实现了生态经济效益的最优<sup>[16]</sup>。二是保护性耕作技术对土壤物理特性影响的研究,学者从土壤结构、温度、养分、微生物、有机碳、水分等方面对比研究各种保护性耕作方式与传统耕作方式上的差异,研究表明保护性耕作不仅使得土壤的通透性变好<sup>[17]</sup>,而且提高了土壤的碳库储量、氮、磷、钾的含量与土壤微生物的数量及其酶活性<sup>[17-20]</sup>;不仅可以提高土壤温度和防止表层水分蒸发,而且可以稳定土壤温度和调节水量供需<sup>[21,22]</sup>。三是保护性耕作技术对作物产量影响的研究,学者通过对秸秆覆盖、免耕、深松的各种田间试验均表明“保护性耕作可以增加作物产量”<sup>[16,21,23,24]</sup>,尤其是在干旱年份效果更明显,但同一措施对作物增产的效果表现出区域的差异性<sup>[13]</sup>。四是对保护性耕作技术杂草发生规律的影响,田间试验结论因作物种植制度而异,对一年一熟春玉米田而言,保护性耕作和传统耕作的农田杂草不存在种类的差异,主要差别在于前者杂草的生物量更大<sup>[25]</sup>;而对于冬小麦—箭筈豌豆—玉米轮作田而言,免耕与秸秆覆盖在某些的作物生长期起到抑制某些杂草发生、改变杂草密度的作用,作物轮作对杂草具有防治作用<sup>[26]</sup>。

### 2.2 农户对保护性耕作技术采纳行为的研究

农户是保护性耕作技术的主要采用主体,因此,农户采纳保护性耕作技术的行为是学者们的又一关注的热点。学者基于宁夏、河南、山西等省份的实地调查,发现采用保护性耕作技术的农户依然很少,而且采用农户大部分只是采用其中的一项,多为免耕播种或秸秆还田技术,规范采用整套保护性耕作技术体系的农户几乎为零<sup>[27-30]</sup>;农户对保护性耕作技术持肯定态度,但户主个人特征、家庭特征(粮食商品化程度)、政府支持政策、对技术的评价以及外部环境(劳动力的机会成本、灌溉条件、保护性耕作项目的实施均会影响保护性耕作技术的采用。2002年中央政府设立专项资金支持保护性耕作的实验和示范,且技术采用是保护性耕作技术补贴的首要目标<sup>[31]</sup>,因此,政策补贴效果也是学者的关注点。现形成两种观点,其一是是否补贴与技术采用在统计上显著相关,政府补贴促进了农户技术的采用<sup>[27,31,32]</sup>,其二是补贴政策对提高技术采用有一定的促进作用,但政策效果不显著<sup>[33]</sup>。补贴对农户

而言,不仅具有收入效应,而且具有增加劳动投入的替代效应,乔金杰等人对山西等省份农户的保护性耕作补贴政策的非农劳动力供给效应进行研究发现,补贴对农户的非农劳动力供给具有负向效应,但这种效应具有异质性,在农业劳动报酬较低的情况下,这种效应扭曲了农户的增收目标<sup>[31]</sup>。

### 2.3 农户采纳保护性耕作技术效果的研究

保护性耕作技术具有节支增产增效的效果<sup>[34]</sup>,学者对农户采纳保护性耕作技术的效果主要是从经济效益方面即“增产”和“节支”两个方面进行的。“增产”主要体现在作物单产上,关于农户采用保护性耕作技术对作物单产影响已形成三种观点:一是保护性耕作对作物单产有正面影响<sup>[35-38]</sup>;二是保护性耕作技术对作物单产有负面效应<sup>[39-41]</sup>;三是保护性耕作与作物单产之间关系不明显<sup>[42-44]</sup>。其原因是保护性耕作技术与作物单产之间的关系较为复杂,受到土壤特征、气候条件、种植模式和生产者特征等多种因素的影响<sup>[43]</sup>。“节支”体现在劳动力投入和农资投入上,学者对采用保护性耕作技术可以节约劳动投入已达成共识<sup>[31,38,44]</sup>,但保护性耕作技术对肥料投入的影响则因采用技术的多少而不同,如只采用少耕抛秧技术的农户肥料投入成本较高,但同时采用少耕抛秧技术和秸秆覆盖技术的农户肥料投入成本却较低,其原因是秸秆中包含大量的氮磷钾等营养元素,降低了农户对肥料投入的需求<sup>[38]</sup>。保护性耕作技术对农机作业成本和农药投入的影响,形成了两种截然相反的观点:赵旭强等人等认为保护性耕作技术由于减少了作业环节,节省了农机动力成本或农机作业服务费用<sup>[32]</sup>;蔡荣等人则认为采用秸秆覆盖技术的农户机械动力成本有所增加,其原因在于秸秆在覆盖前需要进行机械切割<sup>[38]</sup>。保护性耕作对农药支出的影响的两种观点:一是采用保护性耕作技术之后,病虫害增多,因而增加了农药的支出<sup>[32]</sup>;另一观点则认为采用传统耕作技术与保护性耕作技术的两类农户在农药支出上不存在明显的差异<sup>[38]</sup>。

### 2.4 保护性耕作技术发展中存在的问题

1) 尚有部分省、市(县)未提出保护性耕作技术的实施的规范与标准。黄土高原农业生产条件差异较大,尤其是地貌、田块大小、种植制度、传统种植习惯等,为此,各省或市(县)出台符合当地农业生产的保护性耕作技术实施规范或技术指导是一项重要推广的措施,但目前尚有部分省、市(县)保护性耕作技术仍处于试验研究阶段,对于农户的采用则还未出台相应的实施方案,这将严重影响保护性耕作技术的大规模规范性推广。

2) 农户采用保护性耕作技术整套体系的较少。保护性耕作技术体系保护秸秆覆盖技术、少免耕播种技术、深松技术和病虫害综合控制技术,而目前黄土高原采用

保护性耕作技术的农户大部分是仅选择其中的一项或两项技术,多为秸秆覆盖(还田)或(和)少免耕播种,而对深松技术的采用尤为少。保护性耕作技术体系的几种技术是相辅相成的,只要整套体系采用才能发挥保护性耕作技术的良好的生态效益和经济效益。

3) 配套农机具和技术推广体系不完善。保护性耕作技术是以机械化为载体的,黄土高原农户对秸秆覆盖、旋耕应用较多,机械化免耕播种、深松耕留茬等应用较少,其原因是秸秆还田机和旋耕机的生产工艺和应用推广发展较快,因此,需加强保护性耕作免耕播种、深松等专用农机具的研发和推广;而与技术配套的相关信息、政策、服务等保障体系也非常薄弱,严重制约着保护性耕作技术在黄土高原的进一步推广普及。

## 3 黄土高原保护性耕作技术发展对策与研究展望

### 3.1 发展对策

目前,具有黄土高原区域特色保护性耕作技术体系已基本形成,为推动黄土高原保护性耕作技术更为系统而广泛地应用,发挥其在粮食安全及生态环境保护方面的作用,需切实加强以下几方面的工作。

1) 提升保护性耕作技术的科技支撑能力。经过多年研究探索,黄土高原区保护性耕作技术模式已基本成熟,配套农机具已基本形成系列,并已得到初步推广应用,但仍存在农户使用技术模式不规范、农机不能满足农艺要求、农机生产工艺落后、配套农机具保障能力弱等问题,因此,需要提升保护性耕作技术在农业机械与农业技术上的科技支撑能力,提高农户采用保护性耕作技术的应用效果。

2) 探索引导农户采用保护性耕作技术的有效方式。保护性耕作技术是一种新型的农业耕作技术,而农户接受新技术需要一个过程。国外相关实践表明,一般需要5~7年的实验和示范,农场主才能将保护性耕作技术自觉应用有实践中。黄土高原农户受教育程度整体上低于国外农场主,在推广示范过程中,一方面要按照“实验—示范—推广”的步骤,发挥保护性耕作示范区的示范作用,使得农户认识到保护性耕作技术的切实的经济效益,增加农户采用保护性耕作技术的意愿;另一方面要通过多渠道对农户进行引导和培训,使掌握农户采用保护性耕作技术的操作规程。

3) 提升农技和农机推广部门保护性耕作技术的服务能力。农机与农艺技术公共服务是农户采用保护性耕作技术的重要保障,农艺解决保护性耕作条件下土壤、水、肥、病虫害变化规律的问题,负责提出保护性耕作技术条件下、高产、优质的种植模式;而农机解决

免耕和秸秆地表覆盖下的如何进行机械化作业的问题,只有农艺与农机相结合才能有效促进保护性耕作技术的推广与应用。黄土高原区基层的农机和农技推广部门服务能力建设滞后,因此,需提升农技和农机推广部门保护性耕作技术的服务能力,为保护性耕作技术的大面积推广搭建平台。

4) 预防和解决化学药剂使用可能带来的污染问题。传统耕作中的深翻是解决病虫害的一种有效手段,但应用保护性耕作技术后,不仅深翻不容使用,而且作物秸秆为病虫害和杂草提供了寄居和栖息地,病虫害的发生强度增加,而化学防治技术的大量使用势必导致土壤和地下水的污染。因此,保护性耕作技术的广泛应用和推广必须提前预防和解决化学药剂使用可能带来的污染问题。

### 3.2 研究展望

现有文献从不同角度对黄土高原农户保护性耕作技术进行了研究,从已有文献看,还可以在以下几方面进行进一步探索。

1) 保护性耕作技术是多项技术的集成和综合应用,现有文献中田间试验的相关研究,大多集中于秸秆覆盖地表、少免耕播种、深松中的一种或两种技术,关于相应的病虫害防治研究较少,而免耕和秸秆覆盖对杂草的影响复杂多变<sup>[26]</sup>,病虫害防治技术研究农户实践需求相脱节,因此,与秸秆覆盖、免耕技术相配套的病虫害的防治策略的亟待加强,以满足农户实践需求。

2) 经济效益是农户采用新技术的主要诱因。现有田间试验数据和农户调查数据对保护性耕作的作业成本、农药和化肥的投入以及作物单产的影响存在差异。其原因可能一是农户规范采用保护性耕作技术体系的较少,二是农户对保护性耕作技术体系的采用选择存在异质性。因此,使农户系统且规范地掌握并应用保护性耕作技术体系是农业推广部门亟待解决的题。

3) 农户对保护性耕作各技术采纳行为选择的不同必然导致采纳效果的差异。现有文献对农户采纳保护性耕作技术效果的研究也主要是选择某一或两项技术作为保护性耕作技术的代表,缺乏对农户采纳保护性耕作整套技术体系效果的评价;所采用的方法主要是描述性统计对比分析采用农户和未采用农户在投入要素和作物单产方面的差异,缺乏对农户采用保护性耕作技术应用效果的计量分析。此外,保护性耕作技术是实现高产高效的技术体系<sup>[34]</sup>,现有文献对农户采用保护性耕作技术的效果评价主要集中在作物产量上,需要从经济效益和技术效率视角对农户采纳保护

性耕作技术效果的进行探索。

4) 保护性耕作不是万能的,已有研究表明,长期使用保护性耕作技术会造成土壤有机质上层增加下层减少等问题<sup>[45]</sup>,所以保护性耕作与传统耕作需配合使用,即使用轮耕技术,来解决长期保护性耕作的负面作用。但目前对于两者如何交替使用,如轮耕的周期、土壤的免耕、翻耕、深松等措施的配合,还没有科学的实验依据。

5) 现有研究对保护性耕作的生态环境效益已达成共识,但保护性耕作后土壤渗透性变好,大孔隙增多,而对于病虫害的控制依赖于除草剂的大量使用,势必会对造成地下水中农药和硝酸盐污染的增加,进而对环境会造成潜在的威胁。因此,在环境和劳动力成本上升的双重压力下,急需找到控制病虫害高效且较为环境友好型的替代方式。

### 参 考 文 献

- [1] Riley H. Grain yields and soil properties on loam soil after three decades with conservation tillage in southeast Norway [J]. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 2014, 64(3): 185~202.
- [2] Zhang S, Chen X, Jia S, et al. The potential mechanism of long-term conservation tillage effects on maize yield in the black soil of Northeast China [J]. *Soil and Tillage Research*, 2015, 154: 84~90.
- [3] Tamburini G, De Simone S, Sigura M, et al. Conservation tillage mitigates the negative effect of landscape simplification on biological control [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2016, 53(1): 233~241.
- [4] Astebro T. Sunk costs and the depth and probability of technology adoption [J]. *The Journal of Industrial Economics*, 2004, 52(3): 381~399.
- [5] 高焕文, 李洪文, 李问盈. 保护性耕作的发展[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(9): 43~48.  
Gao Huanwen, Li Hongwen, Li Wenying. Development of conservation tillage [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2008, 39(9): 43~48.
- [6] Tellez-Rio A, Garcia-Marco S, Navas M, et al. N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions from a fallow-wheat rotation with low N input in conservation and conventional tillage under a Mediterranean agroecosystem [J]. *Science of the Total Environment*, 2015, 508: 85~94.
- [7] Jia S, Zhang X, Chen X, et al. Long-term conservation tillage influences the soil microbial community and its contribution to soil CO<sub>2</sub> emissions in a Mollisol in Northeast China [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2016, 16(1): 1~12.
- [8] Tan C, Cao X, Yuan S, et al. Effects of long-term conservation tillage on soil nutrients in sloping fields in regions characterized by water and wind erosion [J]. *Scientific re-*

- ports, 2015, 154(12): 84~90.
- [9] 高旺盛. 中国保护性耕作制[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011.
- [10] 高焕文. 保护性耕作技术与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [11] 高焕文, 李问盈, 李洪文. 中国特色保护性耕作技术[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 1~4.  
Gao Huanwen, Li Wenying, Li Hongwen. Conservation tillage technology with Chinese characteristics [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(3): 1~4.
- [12] 陈源泉, 隋鹏, 高旺盛, 等. 中国主要农业区保护性耕作模式技术特征量化分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(18): 1~7.  
Chen Yuanquan, Sui Peng, Gao Wangsheng, et al. Quantitative analysis on technological characteristics of different conservation tillage patterns in major agricultural regions of China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(18): 1~7.
- [13] 孔维萍, 成自勇, 张芮, 等. 保护性耕作在黄土高原的应用和发展[J]. 干旱区研究, 2015, 32(2): 240~250.  
Kong Weiping; Cheng Ziyong; Zhang Rui, et al. Application and development of conservation tillage techniques in the Loess Plateau [J]. Arid Zone Research, 2015, 32(2): 240~250.
- [14] 段翠清, 张仁陟, 蔡立群, 等. 保护性耕作对黄土高原旱地春小麦成熟期农田温室气体通量日变化的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(21): 35~40.  
Duan Cuiqing, Zhang Renzhi, Cai Liqun, et al. Effects of conservation tillage on daily dynamics of greenhouse gases flux from spring wheat during mature stage in dry land of the Loess Plateau [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(21): 35~40.
- [15] 原君静, 李洪文. 基于投影寻踪技术的保护性耕作效益评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 175~179.  
Yuan Junjing, Li Hongwen. Benefit evaluation of conservation tillage based on projection pursuit [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(4): 175~179.
- [16] 牟丽明, 刘军秀, 刘慧娟, 等. 保护性耕作下小麦和豌豆投入产出能值分析[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(1): 153~158.  
Mou Liming, Liu Junxiu, Liu Huijuan, et al. Emergy analyses of wheat and pea production under conservation tillage [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33(1): 153~158.
- [17] 张仁陟, 黄高宝, 蔡立群, 等. 几种保护性耕作措施在黄土高原旱作农田的实践[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(1): 61~69.  
Zhang Renzhi, Huang Gaobao, Cai Liqun, et al. Dry farmland practice involving multi-conservation tillage measures in the Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(1): 61~69.
- [18] 杨倩, 张清平, 蒋海亮, 等. 保护性耕作对黄土旱塬玉米土壤呼吸及微生物数量的影响[J]. 草业科学, 2012, 29(12), 1810~1815.  
Yang Qian, Zhang Qingping, Jiang Hailiang. Effects of conservation tillage on soil respiration and microorganism amount in maize rhizosphere soil in Loess Plateau [J]. Pratacultural Science, 2012, 29(12), 1810~1815.
- [19] 李景, 吴会军, 武雪萍, 等. 15年保护性耕作对黄土坡耕地区土壤及团聚体固碳效应的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(23): 4690~4697.  
Li Jing, Wu Huijun, Wu Xueping, et al. Effects of 15-Year conservation tillage on soil and aggregate organic carbon sequestration in the loess hilly region of China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(23): 4690~4697.
- [20] 张婧, 张仁陟, 左小安. 保护性耕作对黄土高原农田土壤理化性质的影响[J]. 中国沙漠, 2016, 36(1): 137~143.  
Zhang Jing, Zhang Renzhi, Zuo Xiaolan. Effects of conservation tillage on physical and chemical characteristics under a pea-wheat rotation system in the Loess Plateau [J]. Journal of Desert Research, 2016, 36(1): 137~143.
- [21] 雷金银, 吴发启, 王健, 等. 保护性耕作对土壤特性及玉米产量的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 40~45.  
Lei Jinyin, Wu Faqi, Wang Jian, et al. Effects of conservation tillage on soil physical properties and corn yield [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(10): 40~45.
- [22] 武均, 蔡立群, 罗珠珠, 等. 保护性耕作对陇中黄土高原雨养农田土壤物理性状的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(2): 112~117.  
Wu Jun, Cai Liqun, Luo Zhuzhu, et al. Effects of conservation tillage on soil physical properties of rainfed field of the Loess Plateau in Central of Gansu [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28(2): 112~117.
- [23] 何进, 李洪文, 高焕文. 中国北方保护性耕作条件下深松效应与经济效益研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 62~67.  
He Jin, Li Hongwen, Gao Huanwen. Subsoiling effect and economic benefit under conservation tillage mode in Northern China [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(10): 62~67.
- [24] 李俊红, 吕军杰, 丁志强, 等. 保护性耕作冬小麦产量及土壤水分变化研究[J]. 土壤通报, 2014, 45(6): 1343~1348.  
Li Junhong, Lv Junjie, Ding Zhiqiang, et al. Study of conservation tillage on winter wheat yield and soil moisture [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2014, 45(6): 1343~1348.
- [25] 马志卿, 江志利, 刘月仙, 等. 渭北旱塬保护性耕作春玉米田杂草发生及防除[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(5): 76~81.  
Ma Zhiqing, Jiang Zhili, Liu Yuexian, et al. Study on weed occurren and control in conservational tillage for spring maize in Weibei dry plateau [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(5): 76~81.
- [26] 赵玉信, 陆皎云, 杨惠敏. 保护性耕作对陇东黄土高原轮作田杂草的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(4): 1223~1230.  
Zhao Yuxin, Lu Jiaoyun, Yang Huimin. Effect of conser-

- vation tillage on weeds in a rotation system on the Loess Plateau of eastern Gansu, Northwest China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(4): 1223~1230.
- [27] 曹光乔, 张宗毅. 农户采纳保护性耕作技术影响因素研究[J]. *农业经济问题*, 2008, (8): 69~74.
- [28] 王金霞, 张丽娟, 黄季焜, 等. 黄河流域保护性耕作技术的采用: 影响因素的实证研究[J]. *资源科学*, 2009, 31(4): 641~647.  
Wang Jinxia, Zhang Lijuan, Huang Jikun, et al. The adoption of conservation agricultural technology in the yellow river basin: empirical research on the influential factors [J]. *Resources Science*, 2009, 31(4): 641~647.
- [29] 张二朋, 赵鑫, 魏燕华, 等. 保护性耕作技术推广过程中农民的认知现状及存在的问题[J]. *中国农业科技导报*, 2014, 16(12): 166~173.  
Zhang Erpeng, Zhao Xin, Wei Yanhua, et al. Farmers' perception and problems of conservation tillage extension [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2014, 16(12): 166~173.
- [30] Wang J, Huang J, Zhang L, et al. Why is China's Blue Revolution so "Blue"? The determinants of conservation tillage in China [J]. *Journal of soil and water conservation*, 2010, 65(2): 113~129.
- [31] 乔金杰, 穆月英, 赵旭强. 保护性耕作补贴政策非农劳动力供给效应——以山西和河北省为例[J]. *中国人口科学*, 2014, (5): 107~116, 128.  
Qiao Jinjie, Mu Yueying, Zhao Xuqiang. Off-farm labour supply effect of conservation tillage subsidy policy: the cases of shanxi and hebei provinces [J]. *Chinese Journal of Population Science*, 2014, (5): 107~116, 128.
- [32] 赵旭强, 穆月英, 陈阜. 保护性耕作技术经济效益及其补贴政策的总体评价——来自山西省农户问卷调查的分析[J]. *经济问题*, 2012, (2): 74~77.  
Zhao Xuqiang, Mu Yueying, Chen Fu. The overall evaluation of the economic benefits of conservation tillage technology and its subsidy policy: an analysis of the questionnaire survey of farmers in Shanxi Province [J]. *On Economic Problems*, 2012, (2): 74~77.
- [33] 钱加荣, 穆月英, 陈阜, 等. 我国农业技术补贴政策及其实施效果研究——以秸秆还田补贴为例[J]. *中国农业大学学报*, 2011, 16(2): 165~171.  
Qian Jiarong, Mu Yueying, Chen Fu, et al. Analysis on China's agricultural technology subsidy policy and its effect of implementation: a case of returning straw subsidy [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2011, 16(2): 165~171.
- [34] 高焕文, 何明, 尚书旗, 等. 保护性耕作高产高效体系[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(6) 35~38.  
Gao Huanwen, He Ming, Shang Shuqi, et al. High yield and benefit system for conservation tillage [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(6): 35~38.
- [35] Sarwar M N, Goheer M A. Adoption and impact of zero tillage technology for wheat in rice-wheat system—water and cost saving technology. A case study from Pakistan (Punjab) [C]//*International Forum on Water Environmental Governance in Asia*. 2007.
- [36] Rockström J, Kaumbutho P, Mwalley J, et al. Conservation farming strategies in East and Southern Africa: yields and rain water productivity from on-farm action research [J]. *Soil and Tillage Research*, 2009, 103(1): 23~32.
- [37] 汤秋香, 谢瑞芝, 章建新, 等. 典型生态区保护性耕作主体模式及影响农户采用的因子分析[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(2): 469~477.  
Tang Qiuxiang, Xie Ruizhi, Zhang Jianxin, et al. The main mode of conservation tillage in typical ecological areas and the factors influencing the adoption of farm households [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(2): 469~477.
- [38] 蔡荣, 蔡书凯. 保护性耕作技术采用对作物单产影响的实证分析——基于安徽水稻种植户的调查数据[J]. *资源科学*, 2012, 34(9): 1705~1711.  
Cai rong, Cai Shukai. The adoption of conservation agricultural technology and the impact on crop yields based on rice farms in Anhui Province [J]. *Resources Science*, 2012, 34(9): 1705~1711.
- [39] Wallace R W, Bellinder R R. Potato (*Solanum tuberosum*) yields and weed populations in conventional and reduced tillage systems [J]. *Weed Technology*, 1989: 590~595.
- [40] Lankoski J, Ollikainen M, Uusitalo P. No-till technology: benefits to farmers and the environment? Theoretical analysis and application to Finnish agriculture [J]. *European Review of Agricultural Economics*, 2006, 33(2): 193~221.
- [41] Naudin K, Gozé E, Balarabe O, et al. Impact of no tillage and mulching practices on cotton production in North Cameroon: a multi-locational on-farm assessment [J]. *Soil and tillage research*, 2010, 108(1): 68~76.
- [42] Hartzog, D, Adams, J. Relationship between soil-test P and K and yield response of runner peanuts to fertilizer commun [J]. *Soil Sci. Plant Anal.* 1988, 19(14): 1645~1653.
- [43] Mooney, S., Williams, J. Private and public values of soil carbon management [A]. In: Mooney, S. *Soil Carbon Management: Economic Environmental and Societal Benefits* [C]// Florida: CRC Press, 2007.
- [44] 王金霞, 张丽娟. 保护性耕作技术对农业生产的影响: 黄河流域的实证研究[J]. *管理评论*, 2010, 22(6): 77~84, 60.  
Wang Jinxia, Zhang Lijuan. Impacts of conservation tillage on agriculture: empirical research in the Yellow River Basin [J]. *Management Review*, 2010, 22(6): 77~84, 60.
- [45] Reicosky D C. Conservation tillage is not conservation agriculture [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2015, 70(5): 103A~108A.

## Research status and prospect of conservation tillage in Loess Plateau

Li Wei<sup>1</sup>, Xue Caixia<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, 712100, China;

2. College of Economics and Management, Northwest A&F University, Yangling, 712100, China)

**Abstract:** Loess Plateau is one of the regions that has serious soil erosion and dust storms in China, therefore conservation tillage has been popularized and formed as a system with regional characteristics in Loess Plateau, because of its ecological benefits since 1990s, when the technology imported from abroad. Literature about conservation tillage technology is reviewed from two aspects, field experiments and household interview, thus, the existing problems are discussed. The development path for the extension of conservation tillage technology and future research direction are proposed.

**Keywords:** conservation tillage technology; reserch status; Loess Plateau

(上接第 192 页)

[13] 洪嘉振, 尤超蓝. 刚柔耦合系统动力学研究进展[J]. 动力学与控制学报, 2004, 2(2): 1~6.

Hong Jiazhen, You Chaolan. Advances in dynamics of rigid-flexible coupling system [J]. Journal of Dynamics and Control, 2004, 2(2): 1~6.

[14] 严宏志, 朱翰成, 叶辉. 4 自由度机器人刚柔耦合仿真及

结构改进[J]. 机械设计, 2015, 32(3): 56~61.

Yan Hongzhi, Zhu Hancheng, Ye Hui. Simulation and structural improvement of rigid-flexible coupled 4-DOF robot [J]. Journal of Machine Design, 2015, 32(3): 56~61.

[15] Chen Z S, Liu M, Kong M X, et al. Modal analysis of high-speed parallel manipulator with flexible links [J]. Applied Mechanics & Materials, 2016, 826: 8~14.

## Kinematics simulation research on rigid-flexible coupling of high-speed and heavy-load palletizing robot

Rui Zhiyuan<sup>1,2</sup>, Lu Shihui<sup>1,2</sup>, Guo Junfeng<sup>1,2</sup>, Wang Xi<sup>1</sup>, Lu Wang<sup>1,2</sup>

(1. School of Mechanical and Electronic Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, 730050, China

2. Key Laboratory of Digital Manufacturing Technology and Application, Ministry of Education and Lanzhou University of Technology, Lanzhou, 730050, China)

**Abstract:** Robot with high performance, high speed and heavy load is increasingly strong needed with the high efficient development of metallurgy, petrochemical and other industries. As faster speed and higher stability is required by robots, the analysis of robot's motion state in whole working process is particularly important. High-speed and heavy-load palletizing robot was regarded as the research object which is used for aluminum ingot of high speed continuous casting production line. Robot's 3D model was established by using SolidWorks software, taking robot's forearm as flexible body, robot's base, waist, arm and other parts as rigid body, thus the rigid-flexible coupling model was set up. Motion process in a work cycle was analyzed in ADAMS and images of displacement, velocity and accelerations at the end of the wrist were obtained by post-processing and compared with rigid body kinematics simulation results. Results show that flexible deformation of the forearm pole had a greater influence on the movement precision of end performer. Rigid-flexible coupling method is more intuitive, and can accurately simulate the actual working conditions of the palletizing robot.

**Keywords:** high-speed and heavy-load; palletizing robot; ADAMS; rigid-flexible coupling; kinematics simulation