

保护性耕作研究现状、发展趋势及对策

张海林 高旺盛 陈阜 朱文珊

(中国农业大学 农学与生物技术学院,北京 100094)

摘要 借鉴国外保护性耕作的概念,根据具体情况,提出了我国保护性耕作的概念。在此基础上,将保护性耕作划分为3种类型,并详细阐述了保护性耕作是通过“少动土”、“少裸露”保持“适度湿润”和“适度粗糙”等土壤状态,达到保土、培肥、节水、增产、增效。系统地总结了国际保护性耕作技术发展的历程,提出了未来国际的发展趋势,并结合我国的实际情况,论述了我国保护性耕作存在的区域匹配差、规范性差、配套技术落后等问题,提出要正确认识保护性耕作,加强联合攻关等发展保护性耕作的对策和建议。

关键词 保护性耕作;区域农业;可持续发展

中图分类号 S34;S157.42

文章编号 1007-4333(2005)01-0016-05

文献标识码 A

Prospects and present situation of conservation tillage

Zhang Hailin, Gao Wangsheng, Chen Fu, Zhu Wenshan

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract Conservation tillage techniques have become the most important measures of sustainable agriculture development. This paper introduces the concept and types of conservation tillage. The principles, advantages and disadvantages of conservation tillage also are discussed in this paper. Through less disturbance and uncovering, conservation tillage can keep soil in a moderate moist and coarse state, which can reduce soil erosion, improve soil fertility, save water, and increase yield and efficiency. This article summarizes the worldwide history of conservation tillage development and also proposes its development trend. Considering China agriculture development, the problems during extending conservation tillage are discussed, which will benefit to protect agriculture environment and agriculture sustainable development.

Key words conservation tillage; regional agriculture; sustainable development

20世纪美国西部和前苏联都发生了大规模“黑风暴”,给农业生产造成了极大的损失。其主要原因是由于不合理的土壤耕作。近年来,在我国北方多次出现沙尘暴天气,给我们敲响了保护和改善生态环境的警钟。研究表明,北方沙尘主要来自沙化土地、裸露地和农田^[1]。保护性耕作(conservation tillage)减少了对土壤的耕作次数,加上地表秸秆残茬,可增加土壤有机质,改善土壤结构,控制水土流失,减少风蚀、水蚀,缓解沙尘危害;故其业已成为防沙减尘的重要技术之一。保护性耕作已经成为国际农业技术发展的重要趋势,如何从我国国情出发,加

快该项技术的发展,对于保护生态环境,发展现代可持续农业具有重大的现实意义。

1 保护性耕作的概念

保护性耕作在国际上尚无统一概念,国外通常以秸秆残茬覆盖度为标准,指在一季作物之后地表留茬覆盖至少30%为保护性耕作,如起垄、带状耕作、覆盖耕作及免耕等;而秸秆残茬覆盖度在15%~30%的耕作方式称为少耕^[2],不属于保护性耕作。

我国地域辽阔,种植制度多样,保护性耕作技术

收稿日期:2004-08-16

基金项目:国家高技术研究发展计划节水重大专项资助项目(2002AA2Z4021-1);北京市农委资助项目(20030201);国家科技重大专项资助项目(2004BA520A14)

作者简介:张海林,博士,副教授,主要从事土壤耕作研究,Email:hailin@cau.edu.cn

类型繁多,保护性耕作的概念并不十分明确,不仅仅是少耕、免耕。同国外保护性耕作的概念相比,我国的概念内涵更广泛。笔者认为,保护性耕作是指通过少耕、免耕、地表微地形改造技术及地表覆盖、合理种植等综合配套措施,从而减少农田土壤侵蚀,保护农田生态环境,并获得生态效益、经济效益及社会效益协调发展的可持续农业技术。其核心技术包括少耕、免耕、缓坡地等高耕作、沟垄耕作、残茬覆盖耕作、秸秆覆盖等农田土壤表面耕作技术及其配套的专用机具等,配套技术包括绿色覆盖种植、作物轮作、带状种植、多作种植、合理密植、沙化草地恢复以及农田防护林建设等。根据对土壤的影响程度可以将保护性耕作技术划分为 3 种类型。

1) 以改变微地形为主:包括等高耕作、沟垄种植、垄作区田、坑田等;

2) 以增加地面覆盖为主:包括等高带状间作、等高带状间轮作、覆盖耕作(包括留茬或残茬覆盖、秸秆覆盖、砂田、地膜覆盖等)等;

3) 以改变土壤物理性状为主:包括少耕(含少耕深松、少耕覆盖)、免耕等。

2 保护性耕作的技术类型、原理及效果

保护性耕作技术通过上述的措施减少耕作,增加地表覆盖度,实现土壤的“少动土”、“少裸露”,达到“适度湿润”和“适度粗糙”等土壤状态,对于改善土壤环境具有多种独特的生态经济作用^[3-5](图 1)。

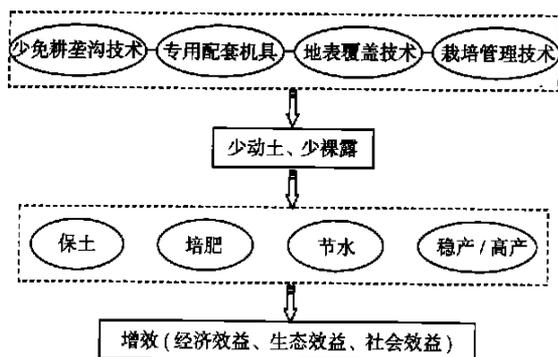


图 1 保护性耕作技术原理及效果图

Fig. 1 The principal and effects of conservation tillage

1) 保土作用。保护性耕作减少了土壤的翻动,加上秸秆覆盖作用,可以有效地控制土壤侵蚀,减少水土流失。众多研究表明,免耕可大大减少土壤侵蚀,甚至可使其为零。Blevins 长期试验结果表明,

与传统翻耕相比,免耕土壤侵蚀量减少 94.15%^[6]。地表覆盖秸秆或作物残茬,增加了地表的粗糙度,阻挡了雨水在地表的流动,增加了雨水向土体的入渗。从我国北方多点试验示范结果看,保护性耕作可以减少地表径流 50%~60%,减少土壤流失 80%左右,减少田间大风扬尘 50%~60%^[7]。

2) 培肥作用。保护性耕作减少了对土壤的扰动,可以保持和改善土壤结构。朱文珊等的研究表明,免耕土壤的孔隙分布较合理,在全生育期内都能保持稳定的土壤孔隙度,且土壤同一孔隙孔径变化小,连续性强,有利于土壤上下层的水流运动和气体交换^[8]。免耕可以显著改善土壤化学性状,土壤有机碳显著提高,同时可提高土壤表层的 N、P 和 K 含量,但下层土壤变化不大^[9-11]。免耕还可增加土壤生物和微生物数量和活性,Edwards 和 Hendrix 等人认为,免耕使土壤中微生物特别是蚯蚓的数量和活性增加,蚯蚓在土体中的翻动可改善土壤结构,其残体可增加土壤有机质含量^[12-13]。

3) 节水作用。由于地表秸秆可以减少太阳对土壤的照射,降低土壤表层温度,秸秆覆盖又阻挡水汽的上升,因此免耕条件下的土壤水分蒸发大大减少。笔者多年研究结果表明,免耕比传统耕作增加土壤蓄水量 10%,减少土壤蒸发约 40%,耗水量减少 15%,水分利用效率提高 10%^[14];李立科的研究表明,采用小麦秸秆全程覆盖耕作技术,可以使自然降水的蓄水率由传统耕作法的 25%~35%,提高到 50%~65%,使土壤增加 60~120 mm 水分^[15]。

4) 增产作用。合理、适宜的保护性耕作措施可以提高作物产量,据中国农业大学保护性耕作研究中心的研究结果,保护性耕作能使玉米增产 4.1%,小麦增产 7.3%,小杂粮增产 11.2%,大豆增产 32%^[16]。张海林等研究表明,在华北平原夏作一季免耕夏玉米产量比传统耕作提高 10%以上^[14];顾克礼等人在江苏稻麦两熟区的研究表明,超高茬麦田套稻产量由于无需秧田,比常规稻作增加种植面积 10%~15%,复种指数提高一成以上,通过合理的水肥运筹,具有较大的增产潜力^[17];杨光立等在湖南双季稻区对稻草免耕覆盖还田栽培晚稻的研究表明,采用该耕作方法每 hm^2 比无草翻耕增产稻谷 948 kg,增产 14.8%,比稻草翻耕田增产 582 kg^[18]。

5) 增效作用。保护性耕作可以减少土壤耕作次数,有些作业一次完成,减少机械动力和燃油消耗成本,降低农民劳动强度,具有省工、省时、节约费用等

特点。以北美洲为例,一个 203 hm² 的农场,免耕可节省 225 h 工作时间,相当于节省 4 周工作时间(以每周 60 h 计);可节省油耗 6 624 L^[19]。李洪文研究认为保护性耕作节本增收总效益在一年一熟地区为 225 元/hm² 以上,一年两熟地区达 945 元/hm² 以上^[16];杨光立认为免耕覆盖每 hm² 可节省 12~15 个工,明显地降低了劳动强度^[18]。另外,保护性耕作由于有大量秸秆还田,增加了土壤有机质,可以减少化肥的使用,既降低了生产成本,又减少了因大量使用化肥所带来的潜在环境威胁,秸秆还田还避免了焚烧所带来的环境污染问题。Lal 最近在 Science 上指出,免耕可以减少温室气体的排放,有利于生态环境的改善^[20-21]。因此,采用保护性耕作技术,可以创造良好的生态环境,最终实现经济、社会和生态效益协调发展。

3 保护性耕作的国际现状与发展趋势

20 世纪 40 年代初,美国开始研究推广免耕技术,当时由于机械及人们观念等限制,发展比较缓慢。随着科学技术的进步,保护性耕作得到了迅速的发展。从国际上来看,保护性耕作大体经历了 3 个阶段。

第 1 阶段是 20 世纪 40 年代开始,主要针对传统的机械化翻耕措施在水蚀和风蚀方面存在的弊端,对土壤耕作农具和耕作方法进行改良,提出少耕、免耕和深松等保护性耕作法。

第 2 阶段是 20 世纪 50 年代以后,机械化免耕技术与保护性植被覆盖技术同步发展。在免耕技术大面积应用的过程中,许多研究证实了各种类型的机械化保护性耕作对减少土壤侵蚀方面有显著效果,但也出现不少因杂草蔓延或者秸秆覆盖造成低温等技术原因使作物严重减产的例子,使得该项技术推广较慢。

第 3 阶段是 20 世纪 80 年代以来,随着耕作机械的改进、除草剂的使用以及作物种植结构调整,保护性耕作的应用得以较快发展,范围也不断扩展。据美国保护科技信息中心(CTIC)的最新资料,美国 2004 年实行免耕、垄作、覆盖耕作和少耕的耕地占全国耕地的 62.2%,而常规耕作面积为 37.7%,传统耕作比例呈下降趋势,免耕比例逐年上升^[22](图 2)。

保护性耕作技术基本上适用于世界各个地区。前苏联、加拿大、澳大利亚等国家已经在半干旱地区

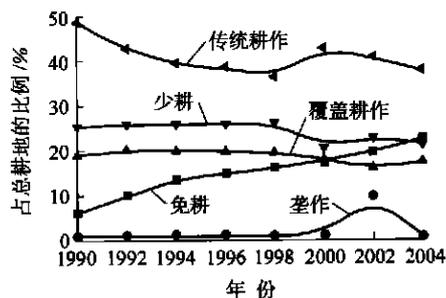


图 2 美国各种耕作面积与占耕地总面积之比 (CTIC, 2004)

Fig. 2 The proportion of different tillage in USA (CTIC, 2004)

广泛推广应用;在西非,尼日利亚国际热带农业研究所对免耕技术所适宜的土壤和作物进行了广泛的研究;1992 年在拉丁美洲成立了旨在推广保护性耕作的组织,使免耕得到迅速发展,到目前已有 140 hm² 的土地实行了免耕种植。据 FAO 最近的研究表明,世界上约有 5 800 万 hm² 的耕地已经实施保护性耕作技术,约占全球旱地的 1/3,主要分布在北美洲和南美洲,巴拉圭有 52% 的开垦土地实施了免耕,阿根廷 32%,巴西 32%。英国、法国、德国、意大利、葡萄牙和西班牙成立了欧洲保护性耕作联盟,对保护性耕作的发展起到了促进作用^[23]。从当前国际上保护性耕作发展状况看,呈现以下变化趋势:

1) 由以研制少免耕机具为主向农艺农机结合并突出农艺措施的方向发展。传统的保护性耕作技术以开发深松、浅松、秸秆粉碎等农具为重点,目前保护性耕作技术在发展农具的基础上重点发展裸露农田覆盖技术、施肥技术、茬口与轮作、品种选择与组合等农艺农机相结合的综合技术。

2) 保护性耕作技术由以生态脆弱区应用为主向更广大农区应用发展。保护性耕作技术起源于生态脆弱区,初期主要是少耕以减少对土层的干扰。至今保护性耕作技术已经大面积推广,通过对农田进行少耕、免耕及秸秆覆盖,减少土壤裸露及土壤侵蚀,达到保持土壤肥力、增加土层蓄水量、增加农民收入的效果。目前 FAO 正在将保护性耕作计划推广到非洲、中亚和印度恒河平原^[23]等地区。

3) 保护性耕作技术由不规范逐步向规范化、标准化方向发展。发达国家的保护性耕作技术与农产品质量安全技术、有机农业技术已形成一体化,进一步提高了对保护性耕作技术的规范化和标准化要求。

4) 由单纯的土壤耕作技术向综合性可持续技术

方向发展。保护性耕作技术已经由当初的少、免耕技术发展成为以保护农田水土、增加农田有机质含量、减少能源消耗、减少土壤污染、抑制土壤盐渍化、受损农田生态系统恢复等领域的保护性技术研究。

近年来,FAO 又提出了保护性农业 (conservation agriculture) 的概念,即在保护环境、提高环境质量的前提下,以保护性耕作为主体,有效地对可利用的土壤、水分及生物资源进行综合管理,实现农业的可持续发展^[23]。

4 我国保护性耕作的发展现状及存在问题

20 世纪 70 年代末期,北京农业大学耕作研究室在国内率先引进和试验免耕技术,并研制出了我国第一代免耕播种机;20 世纪 80 年代,黑龙江等地区开始积极探索半湿润地区大规模机械化深松耕、垄耕等保护性耕作技术并获得成功;自“六五”以来,国家科技部等部门在旱地农业攻关项目、黄土高原综合治理项目、西部专项等方面,加入了有关农田少耕、免耕、覆盖耕作、草田轮作、沟垄种植等方面的研究,并取得了一定成效。西北农林科技大学的坡地水土保持耕作法、小麦秸秆和地膜覆盖耕作、小麦高留茬秸秆全程覆盖耕作,山西省农科院试验成功的旱地玉米免耕整秸秆半覆盖技术,中国农业大学保护性耕作中心研究的夏玉米免耕覆盖以及机械化免耕覆盖技术等取得了一定进展。南方水田少耕、免耕的研究始于 20 世纪 70 年代末期至 80 年代初,西南农业大学等单位针对西南地区冷浸田、烂泥田、深沅田等冬水田存在的问题,变传统的平作为垄作,创造了把种植、养殖和培肥有机结合起来的一种水田半旱式少耕法,明显地改善了此类冬水田的土壤理化性状,收到了增产、增收的效果。近年来,不少地区农民已将小麦播种提早到水稻收割之前,水稻收割后,再行开沟覆土。据不完全统计,我国 20 世纪 90 年代初期以来,各类保护性耕作技术应用面积达 2 000 万 hm^2 。2003 年农业部组织进行了机械化免耕保护性耕作技术示范项目,涉及北方 13 个省市区的 25 个示范点,进行了一定规模的试验和示范推广。保护性耕作目前虽然在我国得到了重视和长足的发展,但是,保护性耕作技术仍有很多问题尚未解决:

1) 缺乏保护性耕作发展区域布局重点的总体规划方案,没有形成适合不同区域耕作制度特点的保护性耕作技术体系。西北及农牧交错带等干旱半干

旱地区,虽然开展保护性耕作技术研究已有多,但由于缺乏区域发展总体战略指导,技术分散,并没有形成先进适用的保护性耕作主导技术和配套体系;我国粮食主产区东北平原、华北平原和长江中下游平原由于多年来连续种植高产作物,重用地、轻养地的掠夺式生产方式使土壤肥力和有机质含量迅速下降,保护性耕作技术薄弱且面积有限。另外,针对不同种植制度高产条件下的保护性耕作研究甚少,部分地区在实施保护性耕作技术后,出现产量下降等现象。

2) 保护性耕作的技术规范性差,限制了大面积推广应用。我国地域辽阔,气候、土壤、经济、社会等差异性较大,作物类型多样,熟制多样,保护性耕作技术种类多且零散。如东北的深松、垄作、少耕和免耕,华北的夏作免耕、麦玉两作全程免耕,长江中下游地区的轻型耕作、少耕和免耕。各项技术规范性差,没有适于不同区域特色的保护性耕作技术标准,技术的可操作性差,配套的栽培管理跟不上,导致保护性耕作技术得不到有效的推广。

3) 保护性耕作尚存在许多配套技术问题有待解决。目前尚未形成与种植制度相适应的土壤耕作体系和轮耕制;缺少适合不同地区、不同种植制度的保护性耕作专用配套机具,已有的机具性能不完善;秸秆覆盖使地表温度较低,特别是早春温度回升较慢,影响作物播种、发芽,幼苗早期生长及作物产量;由于秸秆覆盖难于耕作,当覆盖量达到一定程度时可抑制杂草生长,但同时又影响作物的播种,如何协调二者矛盾是需解决的问题;施肥特别是有机肥如何施用;作物残茬覆盖引起的病虫草害变化、大量使用除草剂和农药造成的环境污染、土壤表面处理技术及与其他农艺技术措施综合配套等问题都急需解决。

5 我国发展保护性耕作的对策及建议

FAO 指出,保护性耕作将成为新的绿色革命的主要技术之一。在我国,保护性耕作技术应如何发展?

1) 正确认识保护性耕作的概念,开展全方位的保护性耕作研究,建立适宜的保护性耕作技术规程。保护性耕作不仅仅是免耕,我国保护性耕作技术类型多样,必须重新认识这些宝贵的财富,通过全方位的研究与推广示范,发挥其保土、保水等作用。针对不同区域的特点进行技术攻关,开展保护性耕作区

划研究,形成具有区域特色的保护性耕作技术体系,建立区域保护性耕作技术规程,如北方农牧交错带防风蚀保护性耕作技术体系,华北平原节水型保护性耕作技术体系等。

2)突出研究重点技术的联合攻关,加强科技、农业、水利等各部门的政策互动和支持。保护性耕作技术所涉及的问题是综合性问题,必须加强联合攻关,各部门形成互动,特别是要真正实现农艺与农机相结合。过去的研究也强调农艺与农机相结合,但往往是农艺、农机“两层皮”,二者并未有机结合起来。农机部门要根据农艺技术的需求改进或创造适合保护性耕作技术特点的机具,使农艺与农机真正成为一体,实现保护性耕作技术的机械化。

3)国家加大投入,给予一定的政策和资金扶持,建立保护性耕作技术示范区。政府必须建立相应的扶持政策,投入一定的资金作为研究推广的经费,国际上有着成功的经验可以学习借鉴;同时,可以在推广保护性耕作技术时,结合各区域特点建立保护性耕作技术示范区,如北方农牧交错带保护性耕作示范区,通过园区的建设与示范,推动保护性耕作技术的推广。

参 考 文 献

- [1] 陈印军,张燕卿,徐斌,等.调整治沙方略-抑制沙尘暴危害[J].中国农业资源与区划,2002,3(4):7-9
- [2] CTIC. Tillage type definitions [EB/OL]. <http://www.ctic.purdue.edu/Core4/CT/Definitions.html>, 2002-11-11
- [3] Cannell R Q, Hawes J D. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates [J]. Soil Tillage Res, 1994, 30:245-282
- [4] Reeves D W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems [J]. Soil Tillage Res, 1997, 43(1-2):131-167
- [5] Arshad M A. Tillage and soil quality, Tillage practices for sustainable agriculture and environmental quality in different agroecosystems[J]. Soil Tillage Res, 1999, 53(1):1-2
- [6] Blevins R L. Tillage effects on sediment and soluble nutrient losses from a Maury silt loam soil [J]. J Environ Qual, 1990, 19(4):683-686
- [7] 赵廷祥.农业保护性耕作与生态环境保护[J].农村牧区机械化,2002(4):7-8
- [8] 朱文珊.地表覆盖种植与节水增产[J].水土保持研究,1996(3):141-145
- [9] Staley T E. Soil microbial biomass and organic component alteration in a no-tillage chrono sequence[J]. Soil Sci Soc Am J, 1988, 52(4):998-1005
- [10] 翟瑞常.耕作对土壤生物C动态变化的影响[J].土壤学报,1996,33(2):201-210
- [11] Balesdent J. Effects of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from ^{13}C abundance in maize fields [J]. J Soil Sci, 1990, 41(4):587-598
- [12] Edwards W M. Role of lumbriens terrestrials burrows on quality of infiltration water [J]. Soil Biol Biochem, 1992, 24(2):1555-1561
- [13] Hendrix P F. A bundance and distribution of earthworm in relation to landscape factors on the Georgia Piedmont [J]. Soil Boil Biochem, 1992, 24(12):1357-1361
- [14] 张海林,陈阜,秦耀东,等.覆盖免耕夏玉米耗水特性的研究 [J].农业工程学报,2002,18(2):36-40
- [15] 李立科.小麦留茬少耕秸秆全程覆盖新技术[J].陕西农业科学,1999(4):40-41
- [16] 新华网.国家将投巨资用于推广保护性耕作 [EB/OL]. http://news.xinhuanet.com/newscenter/2004-04/03/content_1416179.htm,2004-08-15
- [17] 顾克礼,蒋植宝,叶新华.麦秸还田麦田套稻新技术研究 [A].见:刘巽浩,等编.秸秆还田的机理与技术模式[C].北京:中国农业出版社,2001:158-168
- [18] 杨光立,李林,孙玉桃,等.湖南省稻草还田利用现状及利用模式 [A].见:刘巽浩,等编.秸秆还田的机理与技术模式[C].北京:中国农业出版社,2001:169-177
- [19] 杨学明,张晓平,方华军,等.北美保护性耕作及对中国的意义应用[J].生态学报,2004,15(2):335-340
- [20] Lal R, Griffin M, Apt J. Managing soil carbon [J]. Science, 2004, 304(4):393
- [21] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security [J]. Science, 2004, 304(11):1623-1627
- [22] CTIC. Conservation tillage and other tillage types in the United States—1990-2004 [EB/OL]. <http://www.ctic.purdue.edu/ctic/CRM2004/1990-2004data.pdf>, 2004-12/2004-08-15
- [23] FAO. Conservation Agriculture [EB/OL]. <http://www.fao.org/ag/magazine/0110sp.htm>, 2001-10/2004-08-15