

基于土壤质量的保护性农业技术及其政策取向*

张金鑫¹, 穆兴民², 王飞², Peter R. Hobbs³, 刘玉兰¹

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100;

3. Department of Crops and Soil Sciences, 609 Bradfield Hall, Cornell University, N Y 14580)

摘要:与保护性耕作不同,保护性农业是世界农业发展史上一次全新的思想革命。本文总结分析了保护性农业的概念及其特点,结合国内外土壤质量研究的发展,阐述了保护性农业与土壤质量研究新进展,并提出我国保护性农业的发展方向。

关键词:保护性农业; 保护性耕作; 土壤质量; 可持续发展

中图分类号: F301.21

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)01-0264-05

Technology and Policy Orientation of Conservation Agriculture Based on Soil Quality

ZHANG Jin-xin¹, MU Xing-min², WANG Fei², Peter R. hobbs³, LIU Yu-lan¹

(1. College of Resource and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Department of Crops and Soil Sciences, 609 Bradfield Hall, Cornell University, Ithaca, N Y 14850, USA.)

Abstract: Other than conservation tillage, conservation agriculture is a new idealistic revolution in the development history of world agriculture. This paper summarized the concept and characteristics of conservation agriculture, expounded the newest study progresses in conservation agriculture and soil quality, according to the development of studies on soil quality both at home and abroad, and proposed the development orientation of conservation agriculture in China.

Key words: conservation agriculture; conservation tillage; soil quality; sustainable development

农业的可持续发展是当今社会可持续发展的基础,而土壤资源又是农业可持续发展最根本的物质基础。土壤质量作为表征土壤状况的综合体,对可持续农业的影响也最直接、最广泛、最深刻。然而长期以来,传统翻耕的农业方式破坏了农田土壤结构、加剧了水土流失、造成了土壤质量下降、生态环境恶化、资源短缺、干旱威胁严重,使人口-资源-环境的矛盾日益尖锐,并对农业可持续发展造成严重威胁。因此,实现粮食安全和环境保护“双赢”的保护性农业成为我国现代农业可持续发展的必然选择。保护性农业以提高土壤质量、保护生态环境为节本增效的前提,为农业的可持续发展提供保障,既遵循生态依存规律,又符合资源循环利用,使经济效益、生态效益和社会效益达到有机统一,符合现代农业

发展的本质要求。本文着重介绍保护性农业在国内外的的发展以及对农田土壤质量的影响,为我国保护性农业的可持续发展提供理论依据和宏观指导。

1 保护性农业的特征

1.1 保护性农业的概念

保护性农业从发展初期的以少耕、免耕为主的保护性耕作,经过多年的试验推广和完善,逐步发展成为保护性农业综合技术体系。从狭义上讲,“保护性农业是以最小的对土壤的结构、成分和天然的生物多样性的破坏,实现土壤的最小侵蚀与退化和最小的水污染而采取的土壤管理实践”^[1-2];而广义的保护性农业概念是:“基于实现农业可持续发展前提

* 收稿日期: 2008-11-15

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划“水土保持耕作关键技术(2006BAD09B04)”专题; Challenge Program on Water and Food “Conservation Agriculture Yellow River Drylands(CN288)”; 欧盟项目(DESIRE_037046)

作者简介: 张金鑫(1982-), 女, 内蒙古通辽人, 硕士研究生, 主要从事水土保持耕作及粮食安全研究。E-mail: zhang_jin_xin@163.com

通信作者: 穆兴民(1961-), 男, 陕西华阴人, 博士、研究员、博导, 从事生态水文、水土保持等方面研究。E-mail: xmmu@ms.iswc.ac.cn

下出现的新的农业耕作制度和技术体系,它的主要目标是通过可对利用的土地、水和生物资源,结合外部投入进行综合管理,以保护、改善并有效利用自然资源,从而实现经济、生态、社会意义上的可持续发展的农业生产^[3-4]”。整体而言,保护性农业的指导思想是以保护环境、提高土壤质量、实现农业可持续发展为前提,最有效地利用和节约资源,提高农业系统生产力和利润率,改善农产品质量,发展农业生产。可见,保护性耕作等是保护性农业理论发展的初级阶段,二者相互联系,保护性农业是一种理念,而保护性耕作是实现保护性农业的主要技术措施。

1.2 保护性农业的技术组成

免耕、覆盖和轮作是保护性农业理论的主要技术构成,是区别于其他农业耕作体系的特质^[4]。长期的秸秆覆盖使农田土壤表层避免风吹雨淋的侵蚀,且覆盖秸秆的腐解形成丰富的土壤养分,改善土壤结构,提高土壤质量。免耕保持土层与土壤孔隙结构的稳定性,维持土壤生物多样性,节约耕作成本,保护农田环境。轮作降低病虫害发生的危险,通过作物根系实现对不同土层的生物耕作与土壤有效利用,提高土壤肥力,增加作物产量。

1.3 保护性农业发展现状

1935年美国发生震惊世界的“黑风暴”事件被认为是保护性农业的起源。20世纪40年代美国土壤保持局提出了少耕和免耕保护性耕作法^[5]。试验表明:免耕对土壤水分利用率比传统耕作多24%,而土壤流失仅为后者的14%^[6];20世纪50-70年代,保护性农业的发展迈入机械化免耕技术与保护性植被覆盖技术发展阶段。澳大利亚研究表明:秸秆残茬覆盖的农田比裸露农田减少径流40%,土壤侵蚀降低90%;20世纪80年代以来,随着耕作机械的改进、除草剂的使用及种植结构调整,以秸秆覆盖和免耕为中心的保护性农业有了空前的发展。保护性农业已成为美国、巴西等国家的主体耕作技术^[7]。世界上许多国家和组织正在加强这项技术的研究与推广。如西非、尼日利亚国际热带农业研究所对免耕技术进行了广泛的研究;拉丁美洲成立了推广保护性农业措施的组织,使免耕得到迅速发展^[8];1999年,比利时等11个国家成立了欧洲保护性农业联盟,旨在推广保护性农业技术的民间协作和科学研究。2001年,联合国粮农组织和欧洲保护性农业联盟在马德里召开了首届“世界保护性农业大会”,对保护性农业在全世界的推广起到了积极的作用。截至2005年,全世界实施保护性农业技术措施的面积已达 9.8×10^8 hm²,约占全球旱地面积的1/2。其中,美国和巴西的保护性农业耕作面积约占全世界的50%^[9]。

我国从20世纪50年代才进行免耕、覆盖等单项耕作技术的试验;1970年代大规模引进、试验、推广以少免耕为核心的旱地保护性农业技术,并研制出第一代免耕播种机;80年代以来,保护性农业技术的发展突飞猛进,在其应用过程中取得了明显的生态、经济和社会效益,为我国大面积推广保护性农业奠定了基础^[10]。1999年,农业部成立了保护性耕作研究中心,将保护性农业研究列入“十五”国家科技攻关计划,2004年,科技部将“粮食主产区保护性耕作技术关键研究与示范”列为“粮食丰产工程”项目的重点课题,有力地促进了我国保护性农业的发展^[11]。2002年农业部启动了河北等8个省(市、区)保护性耕作示范工程,选择建立了38个项目县进行保护性农业技术示范与推广,2003年扩大至北方13个省(市、区),2004年保护性农业示范工程已增至90个项目县。截至2006年,我国北方15省(市、区)已建成167个保护性农业示范县,示范推广面积达135.8万hm²^[12]。

3 保护性农业与土壤质量演变的关系

土壤在农业生态系统中具有非常重要的地位,是所有环境要素中物质和能量迁移转化最复杂、最活跃的場所。20世纪90年代初土壤质量的概念才被明确提出来^[13]。目前国际上比较通用的土壤质量概念是:在生态系统边界内保持作物生产力、维持环境质量、促进动植物健康的能力^[14]。中国土壤学界认为土壤质量的内涵主要包括三个方面:土壤肥力质量——土壤提供植物养分和生产生物物质的能力,是保障粮食生产的根本;土壤环境质量——土壤容纳、吸收和降解各种环境污染物质的能力;土壤健康质量——土壤影响和促进人类和动物健康的能力。简言之,土壤质量是土壤肥力质量、土壤环境质量和土壤健康质量三个既相对独立而又有机联系的组分之综合集成,土壤质量是土壤在一定的生态系统内支持生物生产能力、净化环境能力和促进动物、植物及人类健康能力的集中体现,是现代土壤学研究的核心。土壤生产力是土壤质量的核心,基础是土壤肥力^[15]。

20世纪30年代美国的“黑风暴”事件敲响了土壤质量退化的警钟,意识到土壤对人类生存和发展的重要性及土壤退化的严峻现实,才得以使人们开始重视农业耕作技术与土壤质量退化关系的研究。经过70多年的科学实践研究,以保护农业生产环境和实现农业可持续发展为目标,通过免耕、覆盖和轮作等技术相互组合,提高土壤质量和农产品质量的保护性农业技术体系逐渐成熟,各国农业工作者已经接受并开始推广和应用此项技术。

3.1 保护性农业对土壤物理性状的影响

长期的秸秆覆盖改善了土壤结构,增加了地表的糙度,增强土壤通气透水的功能,提高农田水分利用效率,从而增强抗旱能力。与裸地相比,秸秆覆盖使土壤容重降低 1.86%~3.73%,土壤总孔隙度增加 2.88%~5.76%^[16]。Fabrizzi 指出:免耕地的土壤容重较高,但其均值却低于影响作物生长的极限^[17]。罗珠珠研究表明:免耕的土壤表层容重显著大于翻耕,但随着时间的推移,连续免耕 2~3 a 后,土壤容重开始维持稳定不再持续上升^[18]。在半干旱地区,免耕覆盖使土壤表层的容重比翻耕降低 9.35%,水稳性团聚体增加 104.5%,土壤总孔隙度增加 13.80%^[19]。赵玉清试验表明:无论是粮田轮作还是棉田轮作土壤容重均比连作小^[20]。土壤容重的降低和土壤团聚体的增加,标志着土壤供养分的能力增加,有利于土壤水分和土壤空气的消长平衡,增大土壤对环境水、热变化的缓冲能力,为植物、微生物的生命活动创造良好的生境。

免耕覆盖能改善土壤结构,使土壤孔隙分布均匀,纵剖面连续性管状孔隙增多,有利于土壤的水流运动^[21]。刘跃平连续 6 a 的试验表明:玉米整秸秆覆盖比传统耕作蒸发量降低 32%,降水利用率提高 43%^[22]。周会成研究表明:麦豆谷轮作比连作小麦三年的水分利用率提高 0.054 kg/mm,马铃薯-糜(子)-豆轮作的水分利用率比三年连作小麦增加 0.16 kg/mm^[23]。Howard 指出:轮作与免耕相结合使土壤形成一个更广阔的根系渠道和大孔隙的网络,增加水分的入渗,提高水分的利用率^[24]。加拿大长期试验表明,在 11 年中有 7 年免耕覆盖处理下 150 cm 土壤层的可用水含量比传统耕作高^[25]。秸秆覆盖可有效地防止土壤水分的棵间蒸发,且保水能力随着覆盖量的增加而增大^[26]。实践表明,保护性农业措施可以有效地保持土壤水分,提高水分利用率,防止土壤水蚀、风蚀的发生,促进农业的可持续发展。

保护性农业利用作物秸秆覆盖农田,有助于调节地温,促进植物根系生长。在温带地区,地表覆盖使早春地表温度降低 2~10℃,地下 10 cm 地温降低 0.1~1.5℃^[27]。山西省临汾小麦免耕覆盖的地温要比传统耕作低 1℃,寿阳地区玉米免耕覆盖的地温要比不覆盖低 1~2℃^[17]。Fabrizzi 指出:地表秸秆覆盖在春天时土温较低与该地区年平均温度相似,土温在夏天比传统耕作要低^[17]。其实,从种子生根发芽后,一直到生长中前期,主要是作物根系发育期,此时的适当低温有利于根系深扎,起到蹲苗的作用。

3.2 保护性农业对土壤化学性状的影响

长期的保护性农业实践证明,覆盖在地表的作

物秸秆不但可以有效地改善土壤结构,而且随秸秆的分解而逐渐提高了土壤有机质及 N、P、K 等养分的含量,并影响近地表层土壤的酸碱度和氧化还原状况,这些因素的改变影响了土壤肥力性质、供肥状况和肥料中养分的去向和利用。Alvarez R. 研究发现,免耕比传统翻耕固碳量增加了 20%,其中在 0-5 cm 土层,免耕处理的土壤有机碳含量比传统处理高 42%~50%^[28]。Vagen 认为,免耕覆盖可使有机质的积累率从 0.1 mg/(hm²·a) 提高到 0.36 mg/(hm²·a)^[29]。长期的覆盖与免耕相结合有利于土壤有机质积累,使有机质在短期内矿化释放氮,维持和提高土壤碳氮比^[30]。孙海国连续六年实验得出,随着土壤免耕年限的增加,土壤有机质、全氮、速效磷和速效钾的含量逐渐增加,其中土壤有机质和全氮分别平均每年增加 0.099%和 0.05%;土壤速效磷和速效钾的含量与传统翻耕相比,分别提高 29.7%和 4.7%。速效磷和速效钾的增加与土壤有机质含量的提高以及由此导致的 pH 值下降显著相关,且呈显著性的线性关系;并指出覆盖在地表的秸秆对表土养分的富集有明显的促进作用^[31]。连续 5 a 秸秆还田免耕后,土壤的有机质、全氮、全磷、全钾、速效磷、速效钾等含量分别平均提高了 51.85%, 28.23%, 17.53%, 10.77%, 44.9%和 31.9%^[32],而且统计分析得出土壤有机质与全氮含量呈极显著正相关关系,土壤有机质与速效磷、速效氮有显著正相关性,随秸秆覆盖量的增加,土壤养分增加量也越大^[16]。根据不同作物的根系深浅和伸展范围不同,轮作可以均衡地利用土壤养分,提高土壤肥力,从而提高作物的产量和品质^[33]。党廷辉指出:轮作中增加豆科作物比例将明显地改善土壤养分状况,与小麦连作相比,苜蓿-小麦轮作显著提高土壤有机质等养分含量^[34]。土壤养分的高低受保护性农业耕作的长短、作物栽培方式的影响,长期连续免耕与轮作配合有利于土壤化学过程向肥力提高的方向发展。

3.3 保护性农业对土壤生物性状的影响

土壤中的生物是维持土壤质量的重要组成部分,土壤生物学性质能敏感地反映出土壤质量健康的变化,是土壤质量评价不可缺少的指标。土壤微生物量已经普遍用于评估地下微生物的活动,并且被认为是植物养分的源。Arshad 研究表明:免耕覆盖比传统耕作增加 7%~36%的土壤微生物量^[35]。高云超指出:免耕可提高土壤表层细菌总数、放线菌数和棒状细菌数量,特别是能使芽孢杆菌数量增加几倍^[36]。陈蓓研究表明:小麦-豌豆轮作序列土壤微生物数量免耕比翻耕增加 14.9%,豌豆-小麦轮作序列增加了 38.4%。小麦-豌豆轮作序列覆盖秸秆使细菌增加 56.7%,真菌增加 12.5%,放线菌

减少 28.2%。豌豆 - 小麦轮作序列覆盖秸秆使细菌增加 48.3%, 而真菌和放线菌数量都有所减少^[37]。顾爱星研究表明: 秸秆覆盖量与固氮菌、好气性纤维素菌、嫌气性纤维素菌的数量均成显著相关关系^[38]。与传统耕作相比, 保护性技术措施使土壤中的微生物特别是蚯蚓的数量显著增加。付增光研究表明: 保护性农业措施可使农田 15 cm 深土层内蚯蚓的数量增加 23 ~ 36 条/ m²^[39]。秸秆覆盖为土壤中的节肢动物和微生物提供食物和能量, 使更多的土壤动物群共存, 促进生物土壤耕作, 优化农田生态环境, 实现农业的可持续发展。

土壤酶活性反映了土壤中各种生物化学过程的强度和方向。由于土壤酶与土壤生态之间关系密切, 对土壤管理快速反应的特点, 可以作为农田土壤质量潜在的、敏感的指示性物质, 有助于促进对农田生态系统可持续发展的管理^[40]。Bergstrom 研究表明, 免耕处理的碱性磷酸酶、脲酶、脱氢酶、B - 葡萄糖苷酶活性分别比传统翻耕提高 1.74%, 2.12%, 2.32% 和 1.43%^[41]。旱地玉米采取免耕留茬和免耕留茬覆盖的两种处理方式, 与传统耕作相比, 过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶的活性分别增加 5.6%, 28.9%, 13.9%, 21.4% 和 35.9%, 37.0%^[42]。李春霞研究表明: 与翻耕相比, 免耕覆盖处理的土壤过氧化氢酶、磷酸酶、转化酶活性均显著高于传统耕作, 改善了土壤质量^[43]。保护性农业在提高农田土壤质量的同时, 还能减少农田水蚀和风蚀、减少空气污染、降低耕作成本、控制病虫害、提高作物产量、增加农民收入等。

4 发展我国保护性农业的政策措施

据粮农组织出版的《世界农业: 走向 2015/2030 年》所阐述的专家观点, 未来 10 ~ 20 a 中保护性农业的发展对农业可持续发展将产生积极的促进作用。发展保护性农业是发展循环经济、保护生态环境的重要措施, 我国保护性农业的发展已势在必行。我国保护性农业的研究必须从国情出发, 建立适合我国粮食生产的保护性农业技术体系和模式, 为我国农业的可持续发展和全面建设小康社会提供坚实的保障。

4.1 完善和创新保护性农业技术体系和配套技术

针对不同类型的退化土壤, 保护性农业加强水土保持型生态农业技术、水肥耦合调控技术、盐碱土壤改良技术的集成与试验示范研究等方面的工作^[44]。开展保护性农业区划与保护性农业配套技术的研究, 形成具有区域特色的保护性农业技术体系^[5]。加强高效环保型病虫害防治技术、秸秆快速腐解还田技术和配套栽培技术的研究, 走农机与

农艺技术措施相结合的综合农业技术体系。加快开发适合我国丘陵山区地块小、农田分散、农民购买力低等特点的多功能系列机具, 不断完善保护性农业技术体系。

4.2 政府给予政策和资金的支持

各级政府应加大建立保护性农业技术示范区力度, 坚持长期开展多层次、全方位、广视角的示范与宣传, 提高广大农民对保护性农业的认识。免费提供保护性农业的技术指导与服务。对购买保护性机械的农民给予一定的补贴, 减免燃油税收, 加强机械维修人员的免费培训等优惠政策, 促进保护性农业的大规模应用。

4.3 借鉴先进经验, 加强交流与合作

加强与国外专家的交流与合作, 借鉴国外先进的技术和管理经验。通过举办保护性农业专题培训班、召开技术研讨会等形式, 建立多国间的信息交流与合作机制, 促进我国保护性农业的健康发展。

参考文献:

- [1] 张功耀. 农业科技新概念: 保护性农业[J]. 未来与发展, 2002(5): 48-49.
- [2] Rabah Lahmar. Adoption of conservation agriculture in Europe Lessons of the KASSA project[J]. Land Use Policy. 2008(1): 1-7.
- [3] Duncan Knowler, Ben Bradshaw. Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research[J]. Food Policy, 2007, 32: 25-48.
- [4] 滕希群. 保护性农业的起源、发展及对策建议[J]. 山东经济战略研究, 2006(8): 43-45.
- [5] 张海林, 高旺盛, 陈阜, 等. 保护性耕作研究现状、发展趋势及对策[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(1): 16-20.
- [6] 许剑平, 徐涛, 谢宇峰. 国外少免耕法的发展研究[J]. 农机化研究, 2005(1): 25-27.
- [7] 高焕文. 保护性耕作技术与机具[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 15-16.
- [8] 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.
- [9] 焦点问题: 保护性农业[EB/OL]. <http://www.fao.org/AG/zh/magazine/0110sp.htm>
- [10] 王长生, 王遵义, 苏成贵, 等. 保护性耕作技术的发展现状[J]. 农业机械学报, 2004, 35(1): 167-139.
- [11] 李安宁, 范学民, 吴传云, 等. 保护性耕作现状及发展趋势[J]. 农业机械学报, 2006, 37(10): 177-180.
- [12] 2006.“三农”工作农业机械化发展取得新成就[EB/OL]. <http://www.gov.cn/ztlz/2006-01/01content-145118.htm>.

- [13] 曹慧,孙辉,杨浩,等. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J]. 应用与环境生物学报,2003,9(1):105-109.
- [14] Doran J W, Parkin T B. Defining and assessing soil quality[C]//Doran J W, Coleman D C, Bezdicek D F, et al. Defining soil Quality for a Sustainable Environment. Madison USA: SSSA Spec. publ., 1994:3-21.
- [15] 曹志洪. 解译土壤质量演变规律,确保土壤资源持续利用[J]. 科技前沿与学术论文,2001,23(3):28-32.
- [16] 吴婕,朱钟麟,郑家国,等. 秸秆覆盖还田对土壤理化性质及作物产量的影响[J]. 西南农业学报,2006,9(2):192-195.
- [17] Fabrizzi K P, Garcia F O, Costa J L, et al. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina [J]. Soil & Tillage Research,2005,81:57-69.
- [18] 罗珠珠,黄高宝,张国盛. 保护性耕作对黄土高原旱地表土容重和水分入渗的影响[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(4):7-11.
- [19] 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(增刊):158-163.
- [20] 赵玉清. 不同轮作对农田生态因素演变与效益影响的研究[J]. 河北农业科学,1996(3):27-29.
- [21] William F. Schillinger. Minimum and delayed conservation tillage for wheat-fallow farming[J]. Soil Sci Soc. Am. J.,2001,65:1203-1209.
- [22] 刘跃平,刘太平,刘文平,等. 玉米整秸秆覆盖的集水增产作用[J]. 中国水土保持,2003(4):32-33.
- [23] 周会成,韩仕峰. 半干旱偏旱地区合理轮作农田水分效应的研究[J]. 水土保持通报,1990,10(6):11-14.
- [24] Howard R J. Cultural control of plant diseases: a historical perspective [J]. Canadian Journal Plant Pathology,1996,18:145-150.
- [25] 张治,乔治·克莱顿·韦恩·林德沃尔. 保护性耕作对加拿大西部地区土壤质量的影响[J]. 农村牧区机械化,2006(2):47-48.
- [26] 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):41-44.
- [27] Swanson S P, Wilhelm W W. Planting date and residue rate effects on growth partitioning and yield of corn[J]. Agron.J. 1996,88:205-210.
- [28] Alvarez R ,D áz R. A ,Barbero N, et al. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems [J]. Soil & Tillage Research, 1995,33:17-28.
- [29] Vagen T G,Lal R,Singh B R. Soil carbon sequestration in Sub-Saharan Africa:A review[J]. Land Degradation & Development,2005,16:53-71.
- [30] Campbell C A, McConkey B G, Zentner R P, et al. Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic C and N in a clay soil in South-Western Saskatchewan[J]. Soil Sci,1996,76:395-401.
- [31] 孙海国,Francis J ,Larney. 保护性耕作和植物残体对土壤养分状况的影响[J]. 生态农业研究,1997,5(1):47-51.
- [32] 严洁,邓良基,黄剑. 保护性耕作对土壤理化性质和作物产量的影响[J]. 中国农机化,2005(2):31-34.
- [33] Anthony M W, Graeme J B, Corrine W M, et al. Managing legume leys, residues and fertilizers to enhance the sustainability of wheat yields and nutrient balance 2. Soil physical fertility and carbon[J]. Soil & Tillage Research,2000,54:77-89.
- [34] 党廷辉. 黄土旱塬区轮作培肥试验研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(3):44-47.
- [35] Alvarez C R, Alvarez R. Short term effects of tillage systems on active soil microbial biomass [J]. Biol. Fert. Soils,2000,31:157-161.
- [36] 高云超,朱文珊,陈文新. 秸秆覆盖免耕对土壤细菌群落区系的影响[J]. 生态科学,2000,19(3):27-32.
- [37] 陈蓓. 保护性耕作对土壤微生物量的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2004.
- [38] 顾爱星,张艳,石书兵,等. 秸秆覆盖法对土壤微生物区系的影响[J]. 新疆农业大学学报 2005,28(4):64-68.
- [39] 付增光. 渭北旱地小麦机械化保护性耕作体系研究[D]. 陕西杨陵:西北农林科技大学,2004.
- [40] Bandick A K,Dick R P. Field management effects on soil enzyme activities [J]. Soil Biol. Biochem, 1999,31:1471-1479.
- [41] Bergstrom D W, Monreal C M, King D J. Sensitivity of soil enzyme activities to conservation practices[J]. Soil Sci. Soc. Am. J.,1998,62:1286-1295.
- [42] 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.
- [43] 李春霞,陈阜,王俊忠,等. 不同耕作措施对土壤酶活性的影响[J]. 土壤通报. 2007,38(3):601-603.
- [44] 张桃林,潘剑君,赵其国. 土壤质量研究进展与方向[J]. 土壤,1999(1):1-7.