

免耕对粮食产量及经济效益的影响评述

彭文英^{1,2}, 张雅彬¹

(1. 首都经济贸易大学城市学院, 北京 100070; 2. 中国科学院水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 根据国内外有关免耕的试验研究成果, 总结了免耕措施对粮食生产及农田经济效益的影响。对于干旱缺水的我国北方地区, 如果采取合理的作物轮作, 科学的去除杂草方法, 免耕后粮食产量一般还高于传统耕种, 同时, 由于节能、省工、减少操作工序和生产成本等, 免耕的投入产出效益也往往高于传统耕作。

关键词: 免耕; 传统耕作; 粮食产量; 经济效益

中图分类号: S345 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)04-0113-06

20 世纪 30 年代, 频繁的黑风暴在美国摧毁了大面积的良田, 对城市生产和生活产生了很大的影响。20 世纪 90 年代, 我国北方地区的沙尘天气频发, 影响范围深远, 已严重威胁北京的国际都市形象及首都生态环境建设。尽管导致沙尘天气发生的原因很多, 但是, 传统的农业耕作方式和未经保护的耕作土壤是沙尘物质的重要来源。为此, 美国进行了大量的保护性耕作研究和实践, 并逐步大面积实施了免耕措施。之后, 欧洲、南美洲也相继实施了免耕。我国免耕发展相对较缓慢, 在 20 世纪 50 年代、80 年代只有些零星的免耕试验和研究, 90 年代免耕才开始被重视。直到 2002 年, 农业部在我国北方 13 个省(自治区、直辖市)建立保护性耕作示范区, 并启动了北京及其周围地区免耕治沙行动。

免耕(No tillage)是保护性耕作的一种措施, 是指用前作残留物覆盖地表, 在未被犁耕过的土壤上, 利用免耕机具豁开一条窄窄的缝(槽)、沟或条带直接播种, 将耕作减少到只能保证种子发芽即可, 主要用农药来控制杂草和病虫害的耕作技术^[1,2]。国外在免耕实践和研究方面均比较成熟, 为免耕的实施和经济环境效益评价奠定了很好的基础。关于免耕的研究主要集中在免耕技术、免耕的环境效应及免耕的经济效益三个方面。尽管免耕研究在我国已有一定历史, 但是, 一直未能大面积推广实施。其原因主要是对不同区域免耕措施下的养分迁移和水分利用等机理认识不够深入, 尤其是关于免耕对粮食产量及经济收入的影响还有待进一步明确。为了配合免耕措施在我国的推广实施, 本文总结并评述国内外免耕对粮食产量及经济效益的影响, 旨在借鉴国外研究的成果及经验, 系统了解免耕农业与传统农

业的经济效益差异, 为我国免耕示范及其推广提供科学理论依据, 并为相关政策的制定提供理论参考。

1 国外免耕及其对粮食产量和经济效益的影响

1.1 国外免耕概况

免、少耕始于美国, 从 20 世纪 30 年代就开始进行免耕农业, 60 年代以后相继推广。从 2000 年的调查数据来看, 免耕面积最多的是美国, 其次为巴西、阿根廷、加拿大、澳大利亚、巴拉圭。在全世界的免耕农业中, 95%集中在美洲, 其中, 51%集中在北美^[1]。1994 年至 2004 年, 近 10 年间, 美国保护性耕作面积占耕地总面积的比例已由 35%左右增加为 40.7%, 其中, 免耕面积比例已由 13.7%上升为 22.6%, 少耕面积比例上升为 21.5%, 而传统性耕作仅为 37.7%^[3]。免耕技术在加拿大也得到大面积推广。据统计, 2001 年加拿大应用免耕面积占总耕作面积的 63%^[4]。免耕在南美洲发展的很快, 2000 年总共有 44%的免耕面积分布在南美洲, 其中阿根廷免耕面积为 $730 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 墨西哥为 $50 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[1]。1955 年百草枯在英国的发明标志着欧洲现代免耕技术的开端, 英国、西班牙、德国、意大利等国家相继进行免耕试验和实施免耕技术。这些国家在免耕农业方面积累了丰富的经验, 作了大量的相关科学研究, 为我国免耕农业的实施奠定了很好基础。

1.2 国外免耕对粮食产量的影响

表 1 列举了几个国家免耕与传统耕作的粮食产量情况。除阿根廷玉米与牧草轮作外, 免耕对粮食产量几乎没有明显的影响。Hussain 在美国的伊利

收稿日期: 2005-04-20

基金项目: 国家自然科学基金(40571092); 中国科学院知识创新重要项目(KZCX3-SW-421)

作者简介: 彭文英(1967—), 四川乐山人, 博士, 副教授, 主要从事土地资源开发利用和水土保持研究。E-mail: wenyingsi@sohu.com。

诺斯州进行了 8 a 的免耕试验认为,玉米与大豆轮作实施免耕,玉米产量无显著变化,大豆产量可以提高 15%^[6]。加拿大 Campbell 在 1991 年至 1993 年间进行了 3 a 的免耕耕作对小麦产量和土壤质量的影响试验研究,其结果表明,免耕产量比传统耕作低 0.6%,1991 年减产最多为 2.5%,1992 年却增产 3%^[7]。西班牙 Lampurlanés 等通过 5 a 的试验,分别采取深松、少耕和免耕三种耕作方式,结果表明:免耕和少耕的产量水平差距不大,但明显高于深松,可比传统耕作产量增加 7%。并且,免耕有利于土壤的持水能力和根部的生长,使得免耕在降水少的

年份更有利于作物生长^[8]。Aon 等为了评估阿根廷免耕的经济效益,进行了 3 a 玉米和牧草的轮作实验。免耕玉米产量都低于传统耕作,施有 TSP 土壤采用免耕方式的玉米产量显著低于传统耕作,降低了 44.9%,减产最少的是施有 Urea 土壤的玉米产量,比传统耕作低 13.3%。但是,玉米产量的降低却伴随牧草产量的普遍增加。施有 TSP 和 Urea 混合 TSP 土壤种植 20 个月后,免耕牧草产量比传统增产 38%,只施 Urea 或未处理土壤免耕牧草产量比传统增产 27.6%^[9]。

表 1 不同国家免耕与传统耕作的粮食产量情况						
Table 1 Corn yield of no tillage compared with conventional tillage in different countries						
项目 Item	美国 America		加拿大 Canada	阿根廷 Argentina		西班牙 Spain
	玉米—大豆 Maize—Soybean		小麦 Wheat	玉米—牧草 Corn—pasture		大麦 Barley
观测年限 Tested years(a)	8		3	3		5
传统耕作(kg/hm ²) Conventional tillage	玉米 Corn 9800	大豆 Soybean 2550	小麦 Wheat 2151	玉米 Corn 6445	玉米 Corn 5475	大麦 Barley 3371
免耕 No tillage(kg/hm ²)	9810	2900	2138	3553	4747	3608
产量增减*(%) Yield variation	0	+15.0	-0.6	-44.9	-13.3	+7.0

注: * 免耕粮食产量与传统耕作变化所占百分比。
Note : * The percentage of the grain yield variation with no tillage to that with conventional tillage.

美国在免耕方面的研究成果非常突出。Grif-fith 等认为,在有机质含量较低的土壤条件下实施免耕有助于提高粮食产量^[10],Dick 等研究指出,在排水较差的地区,免耕减产较为严重,但玉米大豆轮作和培育大豆新品种可有效控制减产,而在排水良好的土壤上,免耕的增产作用明显^[11],或者等同于传统耕作的产量^[12]。West 等进一步指出,在排水差的土壤区,连续种植玉米,免耕比传统耕作的减产更为厉害^[13],Lund 等认为,同样实施免耕,或者传统耕作,玉米大豆轮作区玉米产量比连续玉米种植的产量高 10%^[14]。根据 Karunatilake 等的研究表明,长期采用少耕和免耕措施对结构良好的粘壤土会有很好的经济效益^[15],但 Hammel 却发现在粘性土壤条件下,免耕的小麦产量比常规低^[16]。Logsdon 则通过在美国西部的大量实验告诉生产者,在黄土上采用垄作或者由传统耕作转换为免耕不用担心土壤容重增大对产量的影响。这是因为黄土在冬天出现冰冻和融化的现象,而粘土层则会有一定的收缩与膨胀,再加上老根系的通路使得土壤产生大孔路径,缩小了土壤容重对产量的影响^[17]。此外,加拿大 Arshad 等的研究表明,耕作

方式对作物的产量在砂粘壤土上没有影响。在比较湿润的年度,免耕比传统耕作的产量要低,然而在干旱的年份,免耕的产量比传统耕作要高。这表明免耕比传统耕作在作物的生长季节有着更好的水分利用效果,在免耕耕作方式中有更多的水分被保留在作物的根部^[18]。而根据 Carter 等的研究结果进一步证明,加拿大的砂壤土施行免耕耕作是一种可行的选择,可以帮助抵消较短的生长季节的限制,采取免耕轮作方式则能够改善土壤条件,保证粮食产量^[19]。Roldán 等在墨西哥中部砂壤土质区进行免耕玉米试验,研究表明,免耕覆盖增加土壤酶、有机 C、微生物 C 以及土壤含水量等,免耕可增加土壤的贮水能力。英国的田间试验表明,在管理较好的情况下,免耕播种小麦可以获得与传统耕翻后播种相同的产量。免耕加上 33%的玉米秸秆以及种植豆类植物将快速改善土壤质量^[20],有利于粮食产量的提高。而 Lopez 等在西班牙东北部也进行了保护性耕作下冬小麦产量和水分利用效率的试验研究,认为免耕措施下,由于早期小麦生长较差,与传统耕作相比粮食减产 53%,这可能是免耕杂草生长较多所致^[21]。

国外大量研究证明,与传统耕作相比,免耕对粮食产量没有太大影响,只要管理得好还能增加粮食产量;在排水条件较好、有机质含量较低及土壤结构良好的地区利于实施免耕;免耕在干旱年份往往较湿润年份比传统耕作更容易保证粮食产量,具有更好的水分利用效率;选择适合的轮作制度对免耕的稳产和增产非常重要。这些研究对我国北方地区免耕农业的发展提供了重要的依据,具有很大的借鉴意义。

表 2 不同耕作方式的玉米产量和经济利润
Table 2 Corn yield and economic return of various tillage modes

项目 Item	玉米—大豆 Corn—soybean							连续玉米 Continuous corn			
观测年限 Tested years(a)	13			15				15			
耕作方式 Tillage mode ^①	NT	RDT	MP	NT	RT	CP	MP	NT	RT	CP	MP
粮食产量 Yield(mg/hm ²)	8.59	9.05	9.04	9.03	8.90	9.23	9.15	7.71	8.07	8.29	8.61
经济盈利 Economic return (\$/hm ²)	189	210	188	175	164	169	138	75	104	102	105
盈利增减(%) ^② Return variation	0.5	11.7	0	26.8	18.8	22.5	0	-28.6	-0.1	-2.9	0

注(Note): ① NT—No tillage; RDT—Reduced tillage; RT—Ridge tillage; CP—Chisel tillage; MP—Moldboard plow.
② 每种耕种方式的经济盈利与传统耕作变化所占百分比。The percentage of the economic return variation of various tillage modes to that of conventional tillage.

Sijtsma 等在加拿大东部地区进行了不同耕作方式对投入产出的影响研究,其结果证明,土豆—大麦—牧草轮作,保护性耕作可以比传统翻耕提高经济效益 44%,大麦—大豆轮作,免耕比传统耕作提高经济效益 40%^[23]。德国 1966 年开始研究免耕技术,Giessen 大学进行了连续 18 a 的免耕定位研究后认为,与传统的耕翻作业相比,由于免耕技术减少了机械动力消耗,降低了生产成本,并能获得与传统耕翻作业相同的产量^[5]。西班牙试验结果也表明,免耕减少燃料消耗,降低生产成本,还可以相对增加土壤湿度。Kelly 用 EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator)模型来模拟评估免耕农业作物产量,认为免耕农业比传统农业具有更好的净效益^[24]。

因此,由于免耕节能、省工,降低生产成本,如果采用适宜的轮作制度,并能获得与传统耕作相同甚至更高的粮食产量,所以,从投入产出来看,免耕将提高经济利润。

2 中国免耕农业的经济效益

中国免耕相对起步较晚,还很少有真正意义上的免耕。但多年来已有学者探讨耕作技术对土壤环境和粮食产量等的影响,并进行了相关试验,为我国现阶段免耕等保护性耕作措施的推广奠定了一定的基础。我国于 20 世纪 50 年代引进免耕技术概念,

1.3 免耕的投入产出效益

表 2 美国免耕农业的观测及试验结果表明,在排水条件较差的粉壤土进行玉米和大豆不同耕作方式的种植,13 a 平均来看,免耕与传统耕作的经济利润几乎相当,免耕经济利润比少耕减少了 11.11%。在中等排水的壤土条件下,玉米大豆轮作,15 年平均来看,免耕玉米的经济利润高 26.8%;而连续种植玉米,免耕玉米的经济利润降低了 28.6%^[22]。

60~70 年代,江苏等地试验了套播免耕麦和稻茬免耕麦^[25]。80 年代在南方进行了水田自然免耕技术。从 1983 年起,农业部把免耕法列入全国农业重点推广项目,自 2002 年启动保护性耕作示范推广项目,启动了免耕治沙行动。

2.1 不同地区免耕试验地的粮食产量

从我国不同地区不同立地条件的免耕试验结果来看,免耕粮食产量基本等同或大于传统耕作(表 3)。河北省壤质潮土区,免耕方式由于残茬覆盖使地表温度在玉米拔节期低于传统耕作,有利于玉米根系的生长,产量最大提高了 11.8%;在小麦苗期地表温度略高于传统耕作,有利于小麦的生长,产量最大提高 9.7%^[26]。豫西黄土地区水土流失严重,土壤肥力、耕性较差,粮食产量较低。而保护性耕作可以改良土壤耕性,改善土壤物理化学性状,提高土壤微生物及土壤酶的活性,使冬小麦田间群体适中,产量构成要素协调。高留茬深松冬小麦较传统耕作增产 20.1%,免耕可以增产 11.5%^[27]。四川省白鳊泥田水稻土免耕冬小麦和水稻比传统耕作增产 9%左右^[28]。黄土高原旱坡地免耕冬小麦产量略低于传统耕作^[29]。另外,山西省旱塬地碳酸盐褐土免耕覆盖玉米秸秆 4 500 kg/km² 以上的处理产量最高,比传统耕作增产 22.15%~25.65%。主要是因为免耕使土壤水分利用效率显著提高,土壤容重减

小,有机质、全 N、速效磷以及各种酶等土壤养分均有不同幅度增加,改善了土壤生态环境,提高了旱塬地农田的保水保肥能力和抗旱能力,有利于农作物产量的增加^[30]。

此外,董百舒在江苏省南北部各地区的试验结果表明,少耕、免耕平均可增产 10% 以上^[31];韩思明在陕西省的研究得出免耕覆盖小麦产量增幅

7.5%~18.1%^[32];王德轩等在黄土高原的试验结果表明,硬茬免耕播种下冬小麦产量均高于深翻地块^[33];张志国研究表明免耕措施玉米的平均产量略高于犁耕^[34];晋凡生在山西省的研究表明,旱塬地玉米农田免耕覆盖 4 500 kg/hm² 以上比传统耕作增产 22.15%~25.65%^[35]。

表 3 不同地区免耕试验地的粮食产量(kg/hm ²)						
Table 3 Corn yield of no tillage compared with that of conventional tillage in different sites						
项目 Item	河北省 Hebei province		豫西地区 Yuxi region	旱坡地 Sloping dryland	四川省 Sichuan province	
	玉米 Maize	冬小麦 Winter wheat	冬小麦 Winter wheat	冬小麦 Winter wheat	冬小麦 Winter wheat	水稻 Rice
免耕 No tillage	9930	4820	4365.7	3982	3578	8331
传统耕作 Conventional tillage	8880	4440	3915.1	4070	3286	
免耕增减 Yield variation(%)	11.8	9.7	11.5	-2.2	8.9	9.4

2.2 不同耕作方式对粮食产量的影响

不同耕作方式对粮食产量也有影响。刘立晶等在河北省壤质潮土区进行了较为系统的不同耕作体系试验^[26]。种植制度为一年两熟的夏玉米—冬小麦轮作,田间处理分为不同覆盖方式、不同耕作方式,其试验结果如表 4。无论是玉米还是小麦,免耕的粮食产量均高于其它耕作方式。免耕玉米比翻耕增产 11.8%,深松比翻耕产量低 8.1%。如果在前茬深松全覆盖播种玉米的基础上实施免耕冬小麦,冬小麦的产量最高,比传统两茬翻耕增产近 10%。前茬免耕全覆盖播种玉米基础上,免耕小麦产量比传统两茬翻耕增加 8.6%,翻耕小麦增产不到 5%。这主要是因为免耕残茬覆盖使地表温度在小麦苗期略高于传统耕作,在玉米拔节期却较低,利于作物生长。

王昌全等在四川省进行了不同免耕方式试验,

即单免和双免两种方式的试验(表 5)^[28]。单免指一年中只在小春时免耕,而双免是指一年两季均不翻耕。试验地采用水旱轮作,种植制度为一年稻麦两熟。表 5 是 1992~1999 年不同免耕方式小麦和水稻的产量情况。免耕处理的小麦和水稻产量均比传统翻耕处理高,而双免耕作产量又比单免略高。双免小麦产量比传统翻耕处理高 292 kg/hm²,产量增幅为 8.9%,单免小麦产量比传统高 8.4%;双免水稻平均产量比传统翻耕增产 715 kg/hm²,产量增幅达 9.4%,单免水稻高 7.2%。

表 4 不同耕作方式下玉米—小麦轮作产量(kg/hm ²)				
Table 4 Yield of maize-wheat rotation under different tillage modes				
作物 Corp	免耕 No tillage	深松 Subsoiling	翻耕 Onventional tillage	
玉米 Maize	9930	8160	8880	
小麦 Wheat	4820	4340	4440	

表 5 1992~1999 年不同免耕方式小麦和水稻轮作的平均产量						
Table 5 Average yield of wheat-rice rotation under no tillage from 1992 to 1999						
项目 Item	双免耕 All no tillage		单免耕 Single no tillage		传统翻耕 Conventional tillage	
	小麦 Wheat	水稻 Rice	小麦 Wheat	水稻 Rice	小麦 Wheat	水稻 Rice
产量 Yield(kg/hm ²)	3578	8331	3561	8166	3286	7616
免耕产量增幅(%) Yield increase under no tillage	8.9	9.4	8.4	7.2	0	0

2.3 免耕的经济效益

与传统耕作技术比,保护性耕作技术可以获得一定的经济效益。表 6 是姚宇卿等在豫西旱地进行冬小麦保护性耕作试验结果^[27],结果表明,免耕覆盖技术与深松覆盖技术相比,虽较深松覆盖投入少

75 元/hm²,但产量效益却降低了 360 元/hm²,最终净效益仍比深松覆盖技术低 285 元/hm²,在高留茬深松下种植冬小麦降低生产成本 22.2%,经济效益提高 35.8%。免耕覆盖与传统耕作相比,由于免耕投入较少,比传统耕作投入低 375 元/hm²,免耕产

值比传统耕作增加 13.4%,故经济效益提高了 27.4%。

王小彬等在黄土高原旱坡地进行了不同耕作措施冬小麦的试验^[29],试验结果可以看出采用保护性耕作措施经济效益最大,其中得益于保护性耕作措施在节能、省工、减少操作工序和成本等方面,与传统耕作相比显示出极大的优越性。在保护性耕作措施中,免耕经济效益最显著,比传统耕作增加 2.5 倍,其次,深松比传统耕作增加近 2 倍,少耕增加 80%。旱坡地土壤水分是农业生产的最大限制性因子,土壤侵蚀严重,土壤养分含量低,而免耕却可以减轻这些问题,因此,免耕在旱坡地上是适宜的。

表 6 保护性耕作的经济效益分析

耕作方式 Tillage system	产量 Yield (kg/hm ²)	产值 Production value (元/hm ²)	投入 Input (元/hm ²)	净效益 Economic benefit (元/hm ²)	净增值 Benefit difference (元/hm ²)
一次深耕 Subsoiling	4020.2	4824	1200	3624	276
免耕覆盖 No tillage	4365.7	5328	975	4265	915
深松覆盖 Subsoiling +mulching	4665.4	5981	1050	4548	1200
传统耕作 Conventional tillage	3915.1	4698	1350	3348	0

3 结 语

保护性耕作措施在土地荒漠化防治中具有重要作用,免耕覆盖是很好地减少地表起沙的一种保护性耕作措施。国外较多国家采取了免耕方式,免耕耕种在美国黑风暴的防治中起了巨大作用,在保护耕地免遭风蚀和水蚀中具有不可替代的作用。国内免耕还处于试验和试点阶段,还没有真正大面积实施。通过借鉴国外的经验,针对我国北方地区生态和环境问题,免耕将会是干旱及侵蚀严重地区农业生产的重要选择。

但是,免耕还有许多问题亟待研究,如除草剂的施放及其对环境的影响问题,免耕对土壤质量影响的定量评价问题,如何最大限度地保证免耕的粮食产量问题。关于免耕耕种对粮食产量及经济效益的影响可以总结为以下几个方面:

1) 一般来说,免耕对粮食产量不会有太大的影响。免耕覆盖可以在小麦生长初期增高地表温度,可以在玉米拔苗期降低温度,并可以增加土壤有机

质含量,提高土壤肥力,从而有利于小麦和玉米的生长,使粮食产量增加。在排水条件较好、土壤结构良好、有机质含量较低的地区实施免耕会增加粮食产量,可以提高经济效益。在干旱年份,免耕粮食产量一般比传统耕作高,而在湿润的年份却往往比传统耕作低。合理的轮作有利于免耕的稳产和增产。

2) 由于免耕节能、省工、减少操作工序和生产成本等,免耕往往比传统耕作有更少的投入,使免耕的投入产出效益是保护性耕作措施中最高的。如果管理合理,免耕粮食产量也不会低于传统耕作,而使免耕的经济效益往往高于传统耕作。

3) 我国北方地区干旱缺水,免耕覆盖将有助于提高粮食产量,小麦—玉米轮作更利于免耕粮食产量的增加,鉴于其防治土地沙化、抑制地表起沙的生态和环境效应,免耕耕种将是我国北方地区农业生产和生态环境建设中的一种选择。

4) 在我国实施免耕,除了免耕的环境效应外,还需要进行系统的免耕农业生产研究,选择适宜的作物轮作制度,分析我国北方旱地地区免耕的土壤适宜性,以及病虫害、杂草的控制。

参 考 文 献:

[1] 杨学明,张晓平,方华军,等. 北美保护性耕作及对中国的意义[J]. 应用生态学报, 2004, 15(2): 335—340.

[2] Phillips R E, Phillips S H. No-Tillage Agriculture Principles and Practices[M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc, 1984.

[3] Conservation Technology Information Center, Indiana. Conservation Tillage Adoption in the U.S [EB/OL]. [http://www.ctic.purdue.edu/Core4/CT/CT Survey/National Data.html](http://www.ctic.purdue.edu/Core4/CT/CT%20Survey/National%20Data.html), 2004.

[4] 王延好,张肇鲲. 保护性耕作在加拿大的研究及现状[J]. 安徽农学通报, 2004, 10(2): 5—6.

[5] 王法宏,冯 波,王旭清. 国内外免耕技术应用概况[J]. 山东农业科学, 2003, (6): 49—53.

[6] Hussain I, Olson K R, Ebelhar S A. Impacts of tillage and no-till on production of maize and soybean on an eroded Illinois silt loam soil[J]. Soil & Tillage Research, 1999, 52: 37—49.

[7] Campbell C A, Thomas A G, Biederbeck V O, et al. Converting from no-tillage to pre-seeding tillage: Influence on weeds, spring wheat grain yields and soil quality[J]. Soil & Tillage Research, 1998, 46: 175—185.

[8] Lampurlanes J, Angas P, Cantero-Martinez C. Root growth soil water content and yield of barley under different tillage systems on two soils in semiarid conditions[J]. Field Crops Research, 2001, 69: 27—40.

[9] Aon M A, Sarena D E, Burgos J L, et al. (Micro)biological, chemical and physical properties of soils subjected to conventional or no-till management: an assessment of their quality status[J]. Soil & Tillage Research, 2001, 60: 173—186.

- [10] Griffith D R, Kladvik E J, Mannering J V, et al. Long-term tillage and rotation effects on corn growth and yield on high and low organic matter, poorly drained soil[J]. *Agron J*, 1988, 80: 599—605.
- [11] Dick W A, McCoy E L, Edwards W M, et al. Continuous application of no-tillage to Ohio soils[J]. *Agron J*, 1991, 83: 65—73.
- [12] 籍增顺. 国外免耕农业研究[J]. *山西农业科学*, 1994, 22(3): 63—68.
- [13] West T D, Griffith D R, Steinhardt G C, et al. Effect of tillage and rotation on agronomic performances of corn and soybean; twenty-year study on dark silty loam soil[J]. *J Prod Agric*, 1996, 9: 241—248.
- [14] Lund M G, Carter P R, Oplinger E S. Tillage and crop rotation affect corn, soybean, and winter wheat yields[J]. *J Prod Agric*, 1993, 6: 207—213.
- [15] Karunatilake U, van Es H M, Schindlbeck R R. Soil and maize response to plow and no-tillage after alfalfa-to-maize conversion on a clay loam soil in New York[J]. *Soil & Tillage Research*, 2003, 55: 31—42.
- [16] Hammel J E. Long term tillage and crop rotation effect on winter wheat production in northern Idaho[J]. *Agron J*, 1995, 87: 16—22.
- [17] Logsdon S D, Karlen D L. Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage[J]. *Soil & Tillage Research*, 2004, 78: 143—144.
- [18] Arshad M A, Franzluebbers A J, Azooz R H. Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in north-western Canada[J]. *Soil & Tillage Research*, 1999, 53: 41—47.
- [19] Carter M R, Sanderson J B, Ivany J A, et al. Influence of rotation and tillage on forage maize productivity, weed species, and soil quality of a fine sandy loam in the cool-humid climate of Atlantic Canada[J]. *Soil & Tillage Research*, 2002, 67: 85—98.
- [20] Roldan A, Caravaca F, Hernandez M T, et al. No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico) [J]. *Soil & Tillage Research*, 2003, 72: 65—73.
- [21] Lopez M V, Arrue J L, Sanchez-Giron V. A comparison between seasonal changes in soil water storage and penetration resistance under conventional and conservation tillage systems in Aragon[J]. *Soil & Tillage Research*, 1996, 37: 251—271.
- [22] Mahdi M, Al-Kaise, Xinhua Yin. Stepwise time response of corn yield and economic return to no tillage[J]. *Soil & Tillage Research*, 2004, 78: 91—101.
- [23] Sijtsma C H, Campbell A J, McLaughlin N B, et al. Comparative tillage costs for crop rotation utilizing minimum tillage on a farm scale[J]. *Soil & Tillage Research*, 1998, 49: 223—231.
- [24] Kelly T C, Yao Chilu, Teasdale J. Economic-environment tradeoffs among alternative crops rotations[J]. *Agriculture ecosystems and environment*, 1996, 60: 17—28.
- [25] 侯光炯. 水田自然免耕技术综合研究报告[A]. 侯光炯. 土壤学会论文选集[C]. 成都: 四川科学技术出版社, 1990. 377—393.
- [26] 刘立晶, 高焕文, 李洪文. 玉米-小麦一年两熟保护性耕作体系试验研究[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(3): 70—73.
- [27] 姚宇卿, 吕军杰, 王育红, 等. 保持耕作对豫西旱地冬小麦产量及效益的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2002, 20(4): 42—44.
- [28] 王昌全, 魏成明, 李廷强, 等. 不同免耕方式对作物产量和土壤理化性状的影响[J]. *四川农业大学学报*, 2001, 19(2): 152—155.
- [29] 王小彬, 蔡典雄, 金 珂, 等. 旱坡地麦田夏闲期耕作措施对土壤水分有效性的影响[J]. *中国农业科学*, 2003, 36(9): 1044—1049.
- [30] 晋凡生, 张宝林. 免耕覆盖玉米秸秆对旱地土壤环境的影响[J]. *生态农业研究*, 2000, 8(3): 47—50.
- [31] 董百舒, 贡伯兴, 朱宗武. 江苏少、免耕种麦的研究[J]. *中国农业科学*, 1987, (1): 46—52.
- [32] 韩思明, 杨春峰, 史俊通, 等. 旱地残茬覆盖耕作法的研究[J]. *干旱地区农业研究*, 1988, (3): 1—12.
- [33] 王德轩, 梁银丽, 刘冠军, 等. 不同耕作措施对保持水土、提高土壤水分利用率和转化率的效应[J]. *水土保持通报*, 1989, (1): 41—44.
- [34] 张志国, 徐 琪, Blevins R L. 长期秸秆覆盖免耕对土壤某些理化性质及玉米产量的影响[J]. *土壤学报*, 1998, 35(3): 384—391.
- [35] 晋凡生, 张宝林. 免耕覆盖玉米秸秆对旱地土壤环境的影响[J]. *生态农业研究*, 2000, 8(3): 47—50.

Review of impacts of no-tillage on crop yield and economic benefit

PENG Wen-ying^{1,2}, ZHANG Ya-bin¹

(1. School of City, Capital University of Economics and Business, Beijing 100070, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: On the base of evaluation of previous research achievements on no-tillage, the paper summarizes the influences of no-tillage technology on crop yields and economic benefit. The results show that in the arid area of North China, if the rotation systems of different crops and the scientific weeding method are adopted, no-tillage technology could increase grain yield, and the output benefit of no-tillage is higher than that of conventional tillage.

Keywords: no-tillage; conventional tillage; crop yield; economic benefit