

## 中国保护性耕作试验研究的产量效应分析

谢瑞芝<sup>1</sup>, 李少昆<sup>1</sup>, 金亚征<sup>1,2</sup>, 李小君<sup>1</sup>, 汤秋香<sup>1</sup>, 王克如<sup>1</sup>, 高世菊<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国农业科学院作物科学研究所/国家农作物基因资源与基因改良重大科学工程, 北京 100081; <sup>2</sup>中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100094)

**摘要:**【目的】明确中国目前开展的保护性耕作研究的产量效应以及具体分布情况。【方法】收集公开发表的涉及保护性耕作的研究论文, 对有关数据进行整理和分析。【结果】研究发现, 中国保护性耕作研究具有明显的地域特色: 少耕研究集中在东北地区, 免耕研究集中在长江下游及东南地区, 秸秆处理和综合型措施的研究以西北地区最多。中国保护性耕作的产量研究结果多为增产, 但也有 10.92% 的减产数据见诸于各地的报道, 其中黄淮海、华北平原、西北内陆、青藏高原、黄土高原区的减产概率较高; 少耕和免耕处理的减产概率较高; 小麦减产概率最高, 玉米减产概率最小。不同区域、不同作物对保护性耕作措施的反应不同: 小麦在黄淮海、华北平原及西北地区的减产发生频率较高, 少耕处理的减产概率最大, 但在西南地区的稳产性能较好; 水稻在西南地区减产概率高, 在长江中下游和东南地区的稳产性能较好, 秸秆处理减产概率高, 而免耕稳产性能较好。少、免耕和秸秆处理相结合的综合型保护性耕作措施减产概率很低, 且在所有区域对所有作物的表现相同, 值得重点研究。【结论】保护性耕作是实现农业可持续发展的重要手段, 但保护性耕作措施的选择应因地制宜, 根据生产条件采用最具生产价值的耕作模式。本研究的结果能够为我国保护性耕作的稳产丰产研究和推广应用提供指导。

**关键词:** 保护性耕作; 中国; 产量; 分析

## The Trends of Crop Yield Responses to Conservation Tillage in China

XIE Rui-zhi<sup>1</sup>, LI Shao-kun<sup>1</sup>, JIN Ya-zheng<sup>1,2</sup>, LI Xiao-jun<sup>1</sup>, TANG Qiu-xiang<sup>1</sup>, WANG Ke-ru<sup>1</sup>, GAO Shi-ju<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences/ The National Key Facilities for Crop Genetic Resources and Improvement, NCFRI, Beijing 100081; <sup>2</sup>College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094)

**Abstract:** 【Objective】 Conservation tillage (CT) also can be referred to as resource-efficient/resource effective agriculture. It has become one of the most important measures of sustainable agriculture development, and it is a relatively new concept but widely adopted in China and has considerable benefits. This paper reviewed the historical development and the current situation of conservation tillage research in China, with special reference to their effects on crop yield, especially reduction of output. Many crucial points for successfully adopting conservation tillage systems were emphasized. 【Method】 Research advances in the conservation tillage of China in recent years were reviewed in this paper. Based on papers published, the current research progress on conservation tillage (CT) of crop production in China were summarized and analyzed. All these aspects were reviewed and the detailed information of conservation tillage from China were studied. 【Result】 It was discovered that the characteristics of conservation tillage research in China was distinct: reduced tillage was predominantly in northeast of China, no-tillage was centralized in lower reaches of the Yangtze River and southeast of China, and a large proportion of research in northwest was straw mulching and composition treatment. Most of the reports showed production increased with CT, only 10% showed reduction in output but distributed in all regions of China. There was a high probability reduction of output in Huanghuaihai plain and northwest of China in adoption of conservation tillage, treatment of reduced tillage and no-tillage, wheat had the highest probability than rice and maize when planted with conservation tillage. The responses to CT were different: the wheat yield in Huanghuaihai plain or northwest of China and adopted reduced tillage or no-tillage showed a high probability in decrease of yield, but the yield was stable in southwest of China; rice yield in southwest of China showed more higher probability in decrease of yield, however, the yield in the

收稿日期: 2007-04-13; 接受日期: 2007-06-14

基金项目: 国家科技支撑计划 (2006BA15B03) 和国家科技攻关计划项目 (2004BA520A14-3)

作者简介: 谢瑞芝 (1972-), 女, 河南郑州人, 副研究员, 博士, 研究方向为作物栽培与耕作。Tel: 010-62120623; E-mail: xierzh@mail.caas.net.cn.  
通讯作者李少昆 (1963-), 男, 甘肃张掖人, 研究员, 博士, 研究方向为作物生理生态与信息科学。Tel: 010-68918891; E-mail: lishk@mail.caas.net.cn

middle and lower reaches of the Yangtse Rive and southeast of China was stable, straw mulching showed more higher probability reduction of output. There was a very interesting thing about combination of no-tillage and straw mulching, it is worth to investigate since its effects on crop yield are stable. 【Conclusion】 Conservation tillage is a key technique of sustainable agriculture, and carrying out research of application and extension of conservation tillage in China is of profound significance. It is necessary to strengthen the study of key techniques, to enhance research strength and level for improving and promoting sustainable agriculture, and change the traditional idea of farmers so as to accelerate the application of conservation tillage in China.

Key words: Conservation tillage; China; Crop yield; Analysis

## 0 引言

【研究意义】中国是生态环境脆弱的国家,巨大的人口压力迫使我们不得不面对粮食安全这一现实问题,保护性耕作条件下稳产丰产技术的研究和应用是缓解这个问题的有效措施。【前人研究进展】保护性耕作(conservation tillage, CT)在国际上尚无统一概念。美国对保护性耕作最新定义是“播种后地表残茬覆盖面积在30%以上,免耕或播前进行一次表土耕作,用除草剂控制杂草的耕作方法”<sup>[1]</sup>。我国自20世纪70年代末开始引进、试验、示范和推广少、免耕等保护性耕作技术,先后在全国不同生态类型区进行了多方面的研究,许多成果还在生产上得到了推广应用,取得了明显的生态、经济和社会效益<sup>[2-6]</sup>。高旺盛等将保护性耕作定义为“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”<sup>[7]</sup>。依据这个概念,中国保护性耕作的外延和内涵都得到了扩展。【本研究切入点】中国地域辽阔,各地的生态条件、生产条件千差万别,保护性耕作的研究各具特色,但保护性耕作技术的覆盖面积不大。作物产量不稳定、经济效益不明显是目前中国保护性耕作推广的限制性因素之一,也是中国各地保护性耕作研究亟需解决的问题。本研究通过中国有关保护性耕作的历史研究资料的收集,客观评价中国保护性耕作有关作物生产研究的实际情况。【拟解决的关键问题】通过数据整理和量化分析,明确中国保护性耕作对作物的产量效应,揭示不同保护性耕作措施的产量效益和区域分布特点,为保护性耕作稳产丰产技术的研究以及保护性耕作措施的推广应用提供指导。

## 1 材料与amp;方法

通过《中国知网》(www.cnki.net)收录的数据和提供的搜索引擎,收集1994年至2005年中国公开

发表的与保护性耕作研究相关的研究论文,作为本研究的原始数据,经整理和分析,获得保护性耕作研究的相关数据。

根据国外对保护性耕作的最新定义,将保护性耕作模式归纳为少耕、免耕、秸秆处理和综合性措施等四种类型:秸秆还田量少于30%的少耕、免耕措施为单纯的少耕、免耕处理;传统的犁犁翻耕并且秸秆量超过30%的秸秆覆盖和秸秆直接还田措施为单纯的秸秆处理;秸秆还田量超过30%的少耕、免耕耕作模式为综合型保护性耕作措施。

为方便分析,本研究根据中国生态条件、农业生产模式和保护性耕作研究特点,将中国进行保护性耕作研究的区域划分为以下5个:

区域I,包括黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古,主要种植模式是以玉米、大豆为主的一年一熟制。

区域II,包括山东、河南、河北、北京、天津,主要种植模式是小麦-玉米一年两熟制。

区域III,包括江苏、江西、上海、安徽、浙江、湖南、湖北、福建、广东、广西、上海,以水稻种植为主,一年两(多)熟或两年多熟等多种模式共存。

区域IV,包括四川、重庆、云南、贵州,生态条件特色明显,种植模式多种多样。

区域V,包括山西、陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆、西藏。因生态条件限制,种植模式以一年一熟为主。

## 2 结果与分析

### 2.1 保护性耕作产量数据分布

根据《中国知网》(www.cnki.net)收录的数据,1994到2005年,以少耕、免耕、秸秆覆盖、秸秆还田以及保护性耕作等为题名发表的论文有2246篇。通过逐一甄别,筛选出有详细研究背景、周密试验设计和完整产量数据的研究论文共计141篇,获得751组产量数据,这些研究覆盖中国大陆各省、区,以当地传统耕作模式为对照,保护性耕作处理的作物产量

平均增加 12.51%<sup>[9]</sup>。

在全部产量数据中，I、II、III、IV、V 等 5 个区域的数据量所占比例分别为 19.97%、17.44%、21.17%、14.25%和 27.16%（图 1）；少耕、免耕、秸秆处理以及少免耕结合秸秆处理的综合型保护性耕作措施所占比例分别为 18.77%、26.10%、29.69%和 25.43%（图 2）。

区域 I 的保护性耕作研究以少耕为主，占该区域保护性耕作研究的 54%，占全部少耕研究的 57.45%；区域 II 的研究集中在秸秆处理和综合性措施上，分别占 34.35%和 29.77%；区域 III 的研究集中在免耕技术，占该区域保护性耕作研究的 50.94%，占全部免耕研究的 41.33%；区域 IV 的研究主要是免耕和综合型措施，分别占 40.19%和 32.71%，而少耕研究仅有 4.67%；区域 V 的研究主要是在秸秆处理和综合措施上，分别占该区域保护性耕作研究总量的 34.31%和 42.65%，占秸秆处理和综合性措施研究的 31.40%和 45.55%。

### 2.2 保护性耕作减产数据分布

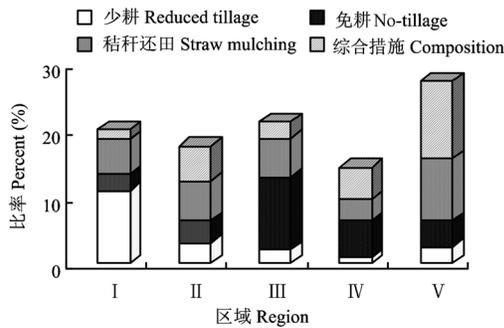


图 1 中国保护性耕作试验研究分布：区域

Fig. 1 The distribution of conservation tillage in China: region

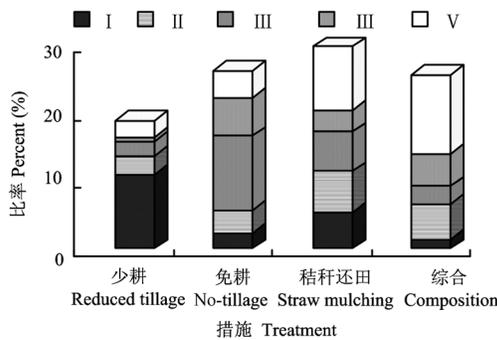


图 2 中国保护性耕作试验研究分布：耕作措施

Fig. 2 The distribution of conservation tillage in China: treatment

本研究整理的研究论文中有 31 篇提供了减产数据，占总论文样本的 21.99%，共有 82 组减产数据，占产量数据的 10.92%。减产数据在 I、II、III、IV、V 5 个区域的数据量分布比例依次为 13.41%、23.17%、15.85%、10.98%和 36.59%（图 3），在少耕、免耕、秸秆处理以及综合措施的分布比例为 29.27%、32.93%、28.05%和 9.76%（图 4）。相比其它耕作措施，免耕减产几率大；相比其它地区，区域 II 和区域 V 的保护性耕作减产概率高。

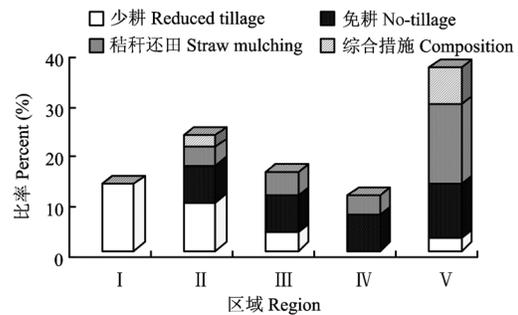


图 3 中国保护性耕作试验研究减产分布：区域

Fig. 3 The distribution of reduction of yield about CT: region

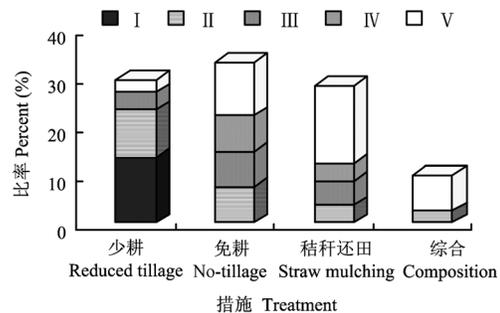


图 4 中国保护性耕作试验研究减产分布：耕作措施

Fig. 4 The distribution of reduction of yield about CT: treatment

区域 I 保护性耕作的减产比例是 5 个区域中最少的，仅少耕处理有减产现象，且减产的概率并不高（13.58%），甚至低于少耕处理的平均减产水平；区域 II 少耕处理减产比例最大，高达 36.36%，免耕处理也有 24%的减产数据，但秸秆处理和综合型的保护性耕作措施的稳产性能比较好，秸秆处理减产比例为 6.67%，而综合型处理则仅有 5.13%，不仅远低于该区域的平均减产水平，也低于总体保护性耕作的减产比例；区域 III 少耕处理减产比例为 20%，免耕处理的减

产概率则仅为 7.41%，是比较适应当地生产条件的保护性耕作措施；区域IV减产概率较小，免耕和秸秆处理的减产概率虽然高于该区域的平均水平，但相比该措施的平均并不突出；区域V的免耕处理减产比例高达 31.03%，是免耕措施减产发生最频繁的地区，秸秆

处理的减产比例虽然略低，也大大超过了该耕作措施的平均减产水平，具有较高的减产概率。综合型保护性耕作措施减产比例最小，远低于其它耕作措施的减产比例，是稳产性能比较高的耕作模式，而且在各个区域的表现相同（表 1）。

表 1 中国保护性耕作研究论文减产比例 (%)

Table 1 The proportion of reduction of yield in China about conservation tillage

区域 Regin	少耕 Reduced tillage	免耕 No-tillage	秸秆处理 Straw mulching	综合 Composition	平均 Mean
I	13.58	-	-	-	7.33
II	36.36	24.00	6.67	5.13	14.50
III	20.00	7.41	9.09	-	8.18
IV	-	13.95	12.50	-	8.41
V	11.11	31.03	18.57	6.90	14.71
平均 Mean	17.02	13.78	10.31	4.19	10.92

2.3 水稻、小麦、玉米产量数据分布

本研究收集的产量数据中，小麦、水稻、玉米等 3 大粮食作物的产量数据为 613 组，占总数据的 81.6%，与其在中国农业生产的主导地位相适应。以当地传统的犁犁翻耕模式为对照，保护性耕作处理的小麦、水稻和玉米平均增产幅度分别是 8.98%、6.23% 和 15.88%<sup>[8]</sup>。

小麦、水稻和玉米提供的数据量占总数据量的比例分别是 33.61%、24.14%和 42.25%，少耕、免耕、秸秆处理以及少免耕结合秸秆处理的综合型保护性耕作措施的比例依次为 17.62%、20.39%、32.46%和 29.53%，3 种作物在 I、II、III、IV、IV 等 5 个区域的分布比例分别为 19.58%、16.80%、22.51%、12.40% 和 28.71%（图 5、6、7）。

小麦的秸秆处理研究较多，占数据量的 35.92%，其它耕作类型分布比较平均；水稻的研究以少耕和综

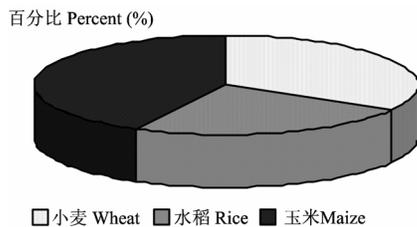


图 5 小麦、水稻、玉米产量数据分布  
Fig. 5 The distribution of corn yield about conservation tillage: wheat, rice and maize

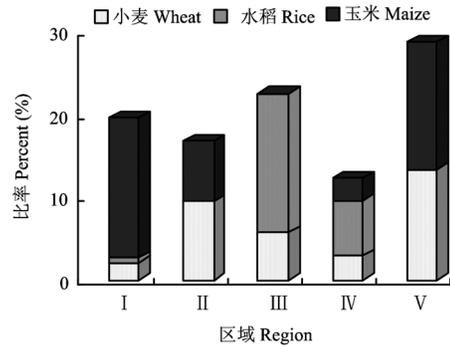


图 6 小麦、水稻、玉米保护性耕作研究分布：区域  
Fig. 6 The distribution of wheat, rice and maize about CT: region

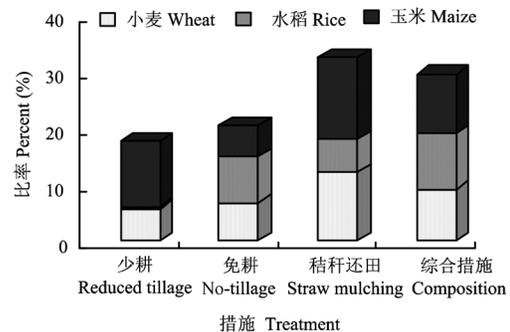


图 7 小麦、水稻、玉米保护性耕作研究分布：耕作措施  
Fig. 7 The distribution of wheat, rice and maize about CT: treatment

合处理为主，分别占数据量的 33.78%和 40.54%；玉米免耕研究比较少，其他耕作方式相对均衡。区域 I 的玉米保护性耕作研究占 85.83%，是所有玉米研究量的 39.77%；区域 II 是小麦-玉米一年两熟区，小麦和玉米研究平分秋色，小麦略占优势。该区域小麦研究占小麦总研究量的 28.15%，但玉米的相应比例则仅为 17.37%；区域 III 以水稻的研究为主，占该地区总研究数据量的 74.64%，占水稻总研究数据量的 69.59%；区域 IV 的研究以水稻为主，占该地区研究总量的 53.95%，小麦和玉米分别占 1/4 左右；而区域 V 也基本是玉米和小麦主导，玉米略占优势。小麦的研究数量占小麦研究总数据量的 39.80%，而玉米的相应比例是 36.29%。这种分布情况也与作物的种植区域和当地的主导种植模式相吻合。

### 2.4 水稻、小麦、玉米减产数据分布

小麦、水稻和玉米提供了 72 组减产数据，占本研究收集的减产数据总量的 87.8%，减产的比例为 11.75%，略高于总数据的减产比例。小麦、水稻和玉米减产数据所占的比例分别为 47.22%、20.83%和 31.94%，少耕、免耕、秸秆处理以及综合措施的减产比例依次为 29.17%、30.56%、30.56%和 9.72%，在 I、II、III、IV、V 等 5 个区域的分布比例依次为 15.28%、26.39%、11.11%、11.11%和 36.11%（图 8、9、10）。

小麦、水稻和玉米 3 种作物的减产比例分别为 16.50%、10.14%和 8.88%，保护性耕作条件下小麦发生减产的概率较高，水稻和玉米的减产比例均低于平均水平，玉米的稳产水平最高。少耕、免耕、秸秆处理和综合措施提供的产量数据中减产数据的比例分别是 19.44%、17.60%、11.06%和 3.87%，I、II、III、IV、V 等 5 个区域的减产数据占提供总数据量的比例分别为 9.17%、18.45%、5.80%、10.53%和 14.77%。

小麦的减产概率最高，而且各种保护性耕作措施

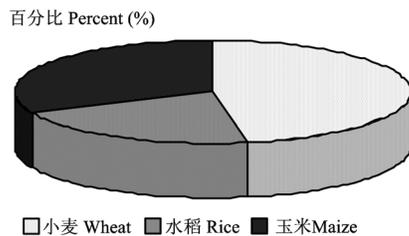


图 8 小麦、水稻、玉米减产数据分布  
Fig. 8 The distribution of reduction of yield about conservation tillage: wheat, rice and maize

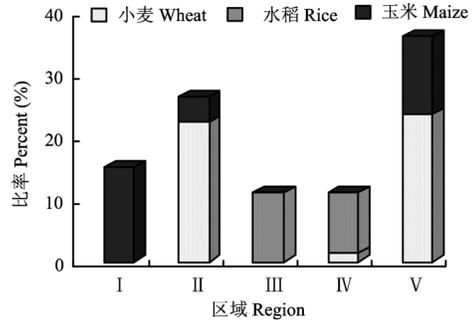


图 9 小麦、水稻、玉米保护性耕作减产分布：区域  
Fig. 9 The region distribution of reduction yield about CT: wheat, rice and maize

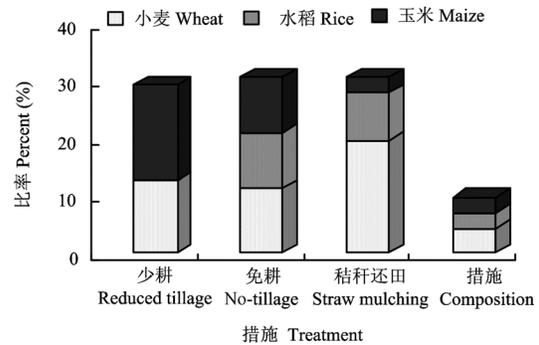


图 10 小麦、水稻、玉米保护性耕作减产分布：耕作措施  
Fig. 10 The treatment distribution of reduction yield about CT: wheat, rice and maize

的减产概率都高，区域 II、V 的减产比例均高于 20%，但在区域 IV 的减产概率则仅为 5.56%，稳产性能较好。水稻在区域 III 的减产概率小，而在区域 IV 的减产概率则高的多，秸秆处理的水稻减产概率较高，不仅高于水稻的平均减产水平，也高于秸秆处理的平均减产水平。在玉米种植区域的减产现象大致相当，但秸秆覆盖处理的减产比例仅为 2.25%，无论是与玉米的平均减产比例（8.88%）还是秸秆处理的平均减产比例（11.06%）相比都有明显差别，是稳产性能最高的耕作模式（表 2）。

特别值得注意的是，3 种作物的少、免耕与秸秆处理相结合的综合型保护性耕作处理的减产概率都非常小，即使是小麦这种减产概率比较高的作物，也仅有 5.36%的减产数据出现，水稻和玉米的减产比例更小，均在 3%左右，远低于该作物的平均减产比例。

表 2 小麦、水稻、玉米保护性耕作减产比例 (%)

Table 2 The proportion of reduction yield about conservation tillage: wheat, rice and maize

	平均 Mean	耕作措施 Treatment				区域 Region				
		少耕	免耕	秸秆处理	综合	I	II	III	IV	V
		Reduced tillage	No-tillage	Straw mulching	Composition					
小麦 Wheat	16.5	25.71	19.51	18.92	5.36	-	27.59	-	5.56	20.73
水稻 Rice	10.14	-	14	16.67	3.33	-	-	7.77	17.07	-
玉米 Maize	8.88	16.9	20.59	2.25	3.08	10.68	6.67	-	-	9.57
平均 Mean	11.75	19.44	17.6	11.06	3.87	9.17	18.45	5.8	10.53	14.77

### 3 讨论

保护性耕作的概念一经推出就受到各方面的推崇, 保护性耕作的研究和应用在世界各地方兴未艾。据 FAO 公布的数据, 1999/2000 年度全世界有 5 800 万公顷的土地进行保护性耕作, 2004/2005 年度的数字是 9 800 万公顷<sup>[9]</sup>。国外的大量研究结果表明, 与传统耕作方式相比, 保护性耕作对作物产量没有明显的影响, 保护性耕作措施还能够增加土壤的有机成分, 增加土壤的湿度, 使土壤在长时间内保持较高的生产水平, 提高土地的使用价值, 被公认为是粮食生产和环境保护协调发展的可持续农业技术<sup>[10-17]</sup>。

虽然多数研究都从正面评价保护性耕作的效益, 但保护性耕作减产的现象也是客观事实<sup>[18-23]</sup>。Rattan 在《Science》的文章虽然极力推崇保护性耕作的生态价值, 也没有回避以少免耕和秸秆还田为主要措施的保护性耕作技术会因排水不畅、土壤板结以及土壤低温等原因造成作物减产的问题<sup>[24]</sup>。任何农业技术的推广都受到技术的限制和经济、政策的制约, 保护性耕作也不例外。调查显示, 目前中国保护性耕作技术推广应用的最大障碍是生产者的认可程度低, 最关键的限制因素是保护性耕作技术的实施造成作物减产, 经济效益不明显。国内外经验表明, 免耕、少耕等保护性耕作的效益与气候、土壤条件等环境条件密切相关, 根据不同区域、不同作物、不同耕作技术存在的问题, 进行有针对性的研究, 才能保证农业生产的可持续发展。

中国自 20 世纪 70 年代开始保护性耕作的研究工作以来, 随着对保护性耕作认识的深入, 目前各地区均有进行保护性耕作研究的报道, 研究涉及的作物和栽培耕作模式也几乎覆盖了中国所有农作物及其耕作方式。但多数研究都是在特定的生态区域针对具体的耕作措施得到的结论<sup>[25-28]</sup>, 综述性的报道也多集中在

保护性耕作的社会、经济和生态效益上<sup>[2-4,29]</sup>, 对中国保护性耕作研究现状的分析还不够深入, 特别是对各地保护性耕作的综合评价还少有报道。

本研究分析的是前人的研究结果, 虽然由于各自研究目的的差异, 具体的研究对象、研究方法和研究结果也存在较大差异, 本研究的结果会受到研究样本选择因素的影响, 但大量的研究样本基本覆盖了中国保护性耕作研究的研究领域, 研究结果基本能够反应中国保护性耕作研究的总体趋势和基本规律, 能够为保护性耕作研究提供参考。

研究中还发现一个有趣的现象, 无论什么区域, 无论任何作物种类, 秸秆处理和少耕、免耕结合的综合型保护性耕作模式的减产概率都很小, 是稳产性能较高的保护性耕作模式, 但对这种保护性耕作模式的研究却比较少, 更没有揭示其内在机理的深层次报道, 是保护性耕作应该进一步深入研究的内容之一。

### 4 结论

研究发现, 保护性耕作研究存在明显的地域特色, 作物的保护性耕作产量效益由于不同作物种类、不同区域、不同耕作措施存在明显差别, 为实现保护性耕作稳产丰产的目标, 各地的保护性耕作研究都应因地制宜, 全面评估不同保护性耕作模式的效益, 明确适应当地生态环境和种植条件的保护性耕作模式, 对主导保护性耕作模式进行重点研究, 为保护性耕作技术的推广应用提供支持。

东北地区农田非生长季节的长时间裸露, 是保护性耕作研究的重点。目前的研究多是以少耕为主, 但缺少规范的技术规程, 生产管理水平的提高。另外, 配套的农机具也是发展保护性耕作的限制性因素之一。例如, 吉林省农业科学院推出的宽窄行留高茬交替休闲技术模式已经比较成熟, 配套农机具也基本定型, 但由于种植模式和配套机具购置的影响, 推广应

用受到限制。

秸秆还田是小麦、玉米一年两熟区域保护性耕作的研究热点, 由于生产季节和作物自身特点, 玉米的保护性耕作显示了较好的社会和经济效益, 小麦秸秆还田免耕种植玉米已经成为该地区玉米的主导生产方式, 但玉米秸秆还田条件下的小麦保护性耕作则存在许多限制性因素。鉴于该区域小麦在农业生产中的重要地位, 尚需进行理论和技术方面的深入研究, 以解决小麦保护性耕作生产中存在的实际问题。

长江中下游及东南地区以水稻为主体, 保护性耕作条件下水稻的产量表现比较稳定, 以免耕抛秧为代表的水稻保护性耕作技术发展迅速, 水稻秸秆还田后的下茬作物生产也比较成功, 但水稻季节利用前茬作物秸秆的研究还需要进一步深入。

西南地区生产条件独特, 其种植模式也以水稻为主, 但保护性耕作条件下水稻的减产现象发生比较频繁, 且所有减产数据全部集中在免耕和秸秆还田处理上。玉米在本区域没有减产数据, 小麦的减产比例也非常低。利用前茬水稻秸秆覆盖进行小麦免耕种植的保护性耕作技术在本区域稳产性能好, 已经大面积推广应用。

西北内陆以及相邻区域生产条件相对比较恶劣, 保护性耕作的研究主要集中在作物秸秆处理和包含秸秆处理的综合型措施, 小麦的减产概率高, 但玉米的稳产性能较好, 小麦的保护性耕作研究是本区域的研究重点。特别应该注意的是, 单纯的免耕处理减产比例非常高, 不适合在本区域应用。

## References

- [1] <http://www.ctic.purdue.edu/ctic/>
- [2] 高焕文, 李问盈, 李洪文. 中国特色保护性耕作技术. 农业工程学报, 2003, 19 (3): 1-4.  
Gao H W, Li W Y, Li H W. Conservation tillage technology with Chinese characteristics. *Transactions of the CSAE*, 2003, 19 (3): 1-4. (in Chinese)
- [3] 师江澜, 刘建忠, 吴发启. 保护性耕作研究进展与评述. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 205-212.  
Shi J L, Liu J Z, Wu F Q. Research advances and comments on conservation tillage. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(3): 205-212. (in Chinese)
- [4] 吴崇友, 金诚谦, 魏佩敏, 夏晓东, 卢晏. 保护性耕作的本质与发展前景. 中国农机化, 2003, (6): 8-11.  
Wu C Y, Jin C Q, Wei P M, Xia X D, Lu Y. Innate characters and

development foreground of conservation tillage. *Chinese Agriculture Mechanization*, 2003, (6): 8-11. (in Chinese)

- [5] 杨学明, 张晓平, 方华军, 梁爱珍, 齐晓宁, 王洋. 北美保护性耕作及对中国的意义. 应用生态学报, 2004, 15: 335-340.  
Yang X M, Zhang X P, Fang H J, Liang A Z, Qi X N, Wang Y. Conservation tillage systems in North America and their significance for China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15: 335-340. (in Chinese)
- [6] 王长生, 王遵义, 苏成贵, 李行, 王晶, 吴光华. 保护性耕作技术的发展现状. 农业机械学报, 2004, (1): 165-169.  
Wang C S, Wang Z Y, Su C G, Li H, Wang J, Wu G H. Development and application of protective farming. *Technique Transactions of the Chinese Society Agricultural Machinery*, 2004, (1): 165-169. (in Chinese)
- [7] 何文清, 赵彩霞, 隋鹏, 高旺盛, 严昌荣. 农牧交错带地区发展保护性耕作的意义与前景. 干旱地区农业研究, 2006, 24(4): 119-122, 128.  
He W Q, Zhao C X, Sui P, Gao W S, Yan C R. Discussion on the applied prospect of conservation tillage in agro-pasture ecotone. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24 (4): 119-122, 128. (in Chinese)
- [8] 谢瑞芝, 李少昆, 李晓君, 金亚征, 王克如, 初震东, 高世菊. 中国保护性耕作研究分析—保护性耕作与作物生产. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1914-1924.  
Xie R Z, Li S k, Li X J, Jin Y Z, Wang K R, Chu Z D, Gao S J. The analysis of conservation tillage in China—conservation tillage and crop production: reviewing the evidence. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(9): 1914-1924. (in Chinese)
- [9] <http://www.fao.org/ag/magazine/>
- [10] 王法宏, 冯波, 王旭清. 国内外免耕技术应用概况. 山东农业科学, 2003, (6): 49-53.  
Wang F H, Feng B, Wang X Q. The development and application of no-tillage reseach at home and abroad. *Shandong Agricultural Sciences*, 2003, (6): 49-53. (in Chinese)
- [11] 彭文英, 张雅彬. 免耕对粮食产量及经济效益的影响评述. 干旱地区农业研究, 2006, 24(4): 114-118.  
Peng W Y, Zhang Y B. Review of impacts of no-tillage on crop yield and economic benefit. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(4): 114-118. (in Chinese)
- [12] Holland J M. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2004, 103: 1-25.
- [13] Wang X B, Cai D X, Hoogmoed W B, Oenema O, Perdok, U D.

- Developments in conservation tillage in rainfed regions of North China. *Soil & Tillage Research*, 2007, 93: 239-250.
- [14] Riley H C F, Bleken M, Abrahamsen S, Bergjord A K, Bakken A K. Effects of alternative tillage systems on soil quality and yield of spring cereals on silty clay loam and sandy loam soils in the cool, wet climate of central Norway. *Soil & Tillage Research*, 2005, 80: 79-93.
- [15] Dam R F, Mehdi B B, Burgess M S E, Madramootoo C A, Mehuys G R, Callum I R. Soil bulk density and crop yield under eleven consecutive years of corn with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. *Soil & Tillage Research*, 2005, 84: 41-53.
- [16] Ekeberg E, Riley H C F. Effects of mouldboard ploughing and direct planting on yield and nutrient uptake of potatoes in Norway. *Soil & Tillage Research*, 1996, 39: 131-142
- [17] Gupta R, Sethi A. A review of resource conserving technologies for sustainable management of the rice-wheat cropping systems of the Indo-Gangetic plains (IGP). *Crop Protection*, 2007, 26: 436-447.
- [18] Su Z Y, Zhang J S, Wu W L, Cai D X, Lv J J, Jiang G H, Huang J, Gao J, Hartmann R, Gabriels D. Effects of conservation tillage practices on winter wheat water-use efficiency and crop yield on the Loess Plateau, China. *Agricultural Water Management*, 2007, 87: 307-314.
- [19] Kirkegaard J A. A review of trends in wheat yield responses to conservation cropping in Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 1995, 35: 835-48
- [20] Uri N D. Perceptions on the use of no-till farming in production agriculture in the United States: an analysis of survey results. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 77: 263-266.
- [21] Govaerts B, Sayre K D, Deckers J. Stable high yields with zero tillage and permanent bed planting? *Field Crops Research*, 2005, 94: 33-42.
- [22] Koch H J, Stockfisch N. Loss of soil organic matter upon ploughing under a loess soil after several years of conservation tillage. *Soil & Tillage Research*, 2006, 86: 73-83.
- [23] Tebrügge F, Düring R A. Reducing tillage intensity- a review of results from a long-term study in Germany. *Soil & Tillage Research*, 1999, 53: 15-28.
- [24] Lal R, Griffin M, Apt J, Lave L, Morgan M G. Managing soil carbon. *Science*, 2004, 304(16): 393.
- [25] 刘冬青, 辛淑荣, 张世贵. 不同覆盖方式对旱地棉田土壤环境及棉花产量的影响. 干旱地区农业研究, 2003, 21(2): 18-21.  
Liu D Q, Xin S R, Zhang S G. Effects of difference mulching on the soil environment and cotton yield of cotton in dry land field. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2003, 21(2): 18-21. (in Chinese)
- [26] 高亚军, 李生秀. 旱地秸秆覆盖条件下作物减产的原因及作用机制分析. 农业工程学报, 2005, 21(7): 15-19.  
Gao Y Y, Li S X. Cause and mechanism of crop yield reduction under straw mulch in dryland. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(7): 15-19. (in Chinese)
- [27] 王甲辰, 刘学军, 张福锁, 吕世华, 曾祥忠, 曹一平. 不同土壤覆盖物对旱作水稻生长和产量的影响. 生态学报, 2002, 22: 922-930.  
Wang J C, Liu X J, Zhang F S, Lu S H, Zeng X Z, Cao Y P. The effect of different soil mulch materials on the growth and yield of rice. *ACTA Ecologica Sinica*, 2002, 22: 922-930. (in Chinese)
- [28] 赵燮京, 吴 箫. 川中丘陵区小麦不同覆盖栽培条件下土壤水分及增产效果研究. 干旱地区农业研究, 2003, 21(1): 66-69.  
Zhao X J, Wu X. The study of soil water and wheat production under different covering methods in the hilly areas of central Sichuan. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2003, 21(1): 66-69. (in Chinese)
- [29] 王小彬, 蔡典雄, 华 璐, Hoogmoed W B, Oenema O, Perdok U D. 土壤保持耕作—全球农业可持续发展优先领域. 中国农业科学, 2006, 39: 741-749.  
Wang X B, Cai D X, Hua L, Hoogmoed W B, Oenema O, Perdok U D. Soil conservation tillage-the highest priority for global sustainable agriculture. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39: 741-749. (in Chinese)

(责任编辑 吴晓丽)