

## 免耕与土壤侵蚀研究进展\*

温美丽 刘宝元 叶芝菡

付金生

(北京师范大学地理与遥感科学学院 北京 100875) (交通部公路科学研究所 北京 100088)

**摘要** 综述了国内外免耕控制土壤侵蚀的机理研究以及对土壤性质的影响,并提出免耕在我国的应用方向。

**关键词** 免耕 土壤侵蚀 研究进展

**Research advance on no-tillage and soil erosion.** WEN Mei-Li, LIU Bao-Yuan, YE Zhi-Han (College of Geographical and Remote Sensing Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China), FU Jin-Sheng (Research Institute of Highway, Ministry of Communications, Beijing 100088, China), *CJEA*, 2006, 14(3): 1~3

**Abstract** The mechanism of controlling soil erosion without tillage outside and inside our country, its effects on soil characteristics and the direction of its application in our country are introduced in this paper.

**Key words** No-tillage, Soil erosion, Research advance

(Received June 10, 2004; revised July 30, 2004)

土壤侵蚀是世界范围的环境问题之一,农地土壤侵蚀因其危害面积大、危及国计民生而成为土壤侵蚀的研究重点。造成土壤侵蚀的内因——自然因素(气候、地形等)很难改变,因而加速土壤侵蚀的主导因子——人为不合理的社会生产活动就成为防治土壤侵蚀研究的重点。长期以来如何利用耕作措施控制农地土壤侵蚀一直是人们关注的焦点。免耕是指在未被犁耕过的土壤上,豁开一条窄缝(槽)、沟或条带直接播种,沟的宽度和深度能保证种子得到覆盖并和土壤接触即可。故在作物生长季或更长一段时间内地表通常被作物残茬等覆盖。免、少耕始于美国。20世纪20年代以后由于大面积开荒,土壤结构遭到严重破坏,风蚀、水蚀加重,持续多年的干旱和多次出现的黑风暴使人们开始反思土壤侵蚀和耕作制度的问题。1935年美国正式成立土壤保护服务机构。我国农业部已于2002年始全面启动保护性耕作示范工程项目,主要内容是保留残茬,免耕播种。目前全国已建立部、省级保护性耕作示范基地、示范点80多个。

### 1 国内外免耕与土壤侵蚀研究现状

#### 1.1 免耕与水蚀

残茬、秸秆或牧草等地表覆盖物可保护地表土壤免受雨滴直接打击,减弱径流冲刷作用,从而减少土壤侵蚀。早在1936年Cook就把植物覆盖作为土壤侵蚀的一个影响因素。Smith在1941年第一次把植被的影响作用引入土壤流失量估算方程,在对植被作用的量化因子中就包括了耕作制度对土壤侵蚀的影响。Wischmeier的通用土壤流失方程(USLE)  $A = RKLSCP$  是以预报农地不同管理措施和耕作方式引起的土壤侵蚀为主的。方程中C指作物管理因子,其影响因素包括耕作历史、作物覆盖、作物残体等。从第一版的USLE到RUSLE, C因子的计算方法有很大改进,但地表覆盖和耕作方式一直是其核心内容之一,且许多情况下地表覆盖状况是惟一重要的侵蚀影响因素。免耕对水蚀的第一阶段有相当大影响。减少耕作可使土壤结构不被过分破坏;残茬或秸秆保留在地面,减少了雨滴击溅能量,避免土壤团聚体分离;残茬还可减少径流速率及其对土壤的搬运;同时还可起到过滤作用,拦截泥沙、土壤颗粒和有机质,从而减少侵蚀量。美国多个州<sup>[10,11]</sup>进行的大量模拟降雨和天然降雨研究表明,与传统耕作相比,免耕可大大降低土壤侵蚀。Blevins<sup>[10]</sup>对玉米的研究表明与常规耕作的侵蚀量  $19.79\text{t}/\text{hm}^2$  相比,免耕仅为  $0.55\text{t}/\text{hm}^2$ 。在控制侵蚀方面,免耕的效果直接与土壤表面的秸秆量有关。Meyer等提出在15%的坡地上,土壤表面  $0.56\text{t}/\text{hm}^2$  的覆盖就可使侵蚀量减少到未覆盖侵蚀量的1/3,覆盖增加到  $4.5\text{t}/\text{hm}^2$  和  $8.96\text{t}/\text{hm}^2$ ,侵蚀量则 < 5%。不同前

\* 国家自然科学基金重点项目(40235056)“东北黑土区土壤侵蚀机理与土地退化预警”部分研究内容

收稿日期:2004-06-10 改回日期:2004-07-30

茬作物留下的残茬数量不同,故对侵蚀、径流的影响也不相同。与豆茬地相比,玉米茬土壤表面留有较多的残茬,因此玉米茬地免耕的径流量和侵蚀量更少些。但覆盖度较覆盖量更为重要,在免耕体系中,为获得较统一的覆盖,有必要粉碎作物秸秆,尤其当轮作中秸秆为惟一覆盖物时。对不同土壤而言,侵蚀物质的大小组成不同,故作物残茬拦截侵蚀物质的效果也受土壤的影响。对易产生结皮的土壤,覆盖拦截下落的雨滴,避免其直接打击地面而造成土壤团聚体的崩解,从而避免产生结皮<sup>[12]</sup>,使土壤可保持较高的入渗能力<sup>[12]</sup>,从而减少径流对土壤的分离,最终减少侵蚀量。Lal<sup>[12]</sup>提出免耕可使径流占降雨的比例减少。免耕对径流的影响在单次降雨间差异极大,但多年平均值免耕略大于传统耕作,且在不同作物间差异不显著<sup>[11]</sup>。有研究<sup>[1]</sup>指出,对重壤至轻粘土,免耕覆盖不深松会增大径流。也有人<sup>[2]</sup>认为免耕不覆盖情况下径流量、侵蚀量均高于传统翻耕。免耕还能减少养分流失,控制径流污染,改善水质。养分流失与施肥时间和降雨时间密切相关。养分流失有径流携带、泥沙携带搬运两种形式。Richardson 和 King<sup>[11]</sup>指出,泥沙携带方式流失的养分与土壤流失量密切相关,以年平均值计算,N 的流失以泥沙携带为主,泥沙携带的 N 免耕小于传统耕作(分别为 0.3kg/hm<sup>2</sup> 和 2.5kg/hm<sup>2</sup>)。径流携带的 N 免耕为传统耕作的 1/2。P 的流失量较小,免耕与传统耕作径流携带的 P 相似;泥沙携带的 P 免耕小于传统耕作(分别为 0.1kg/hm<sup>2</sup> 和 0.9kg/hm<sup>2</sup>)。王兴祥等<sup>[3]</sup>在江西红壤的研究表明,免耕覆盖较传统耕作能显著减少有机质、K、N、P 的有效态和全量的损失。但免耕覆盖随径流流失的速效钾数量最多,认为可能与秸秆覆盖物释放 K 有关。

## 1.2 免耕与风蚀

根据改进后的风蚀预测模型(RWEQ),当风力大于阻力时,不稳定的土壤颗粒就会移动。造成风蚀的气候因素如高温、少雨、大风很难改变,增大阻力成为控制风蚀的主要途径。免耕因土壤扰动较少,保护地表土层结构,增强土壤抗风蚀性,有利于控制风蚀;地表覆盖残茬后土壤表面粗糙度加大,可减少风速,阻止土壤颗粒被风吹走。且免耕保持土壤水分,土壤表面通常较裸露的耕作土壤更加湿润。植被覆盖是保证土壤表面免受风蚀的自然方法。不同土壤质地控制风蚀的最小残茬需要量不同,粗质地所需残茬量更大些(表1)。残茬存在方式对风蚀结果有很大影响。大量田间和室内试验表明,非侵蚀性的作物残茬平铺覆盖

表 1 控制风蚀的作物残茬最小需要量

Tab.1 Minimum amounts of standing stubble required to control wind erosion

残茬类型 Kinds of stubbles	最小用量/kg·hm <sup>-2</sup> Minimum amounts		
	细和中等质地土壤 Fine and moderate soil	砂壤土 Sandy loam soil	壤砂土 Loam sand soil
	站立小麦残茬(30cm)	840	1400
平铺小麦残茬(30cm)	1680	1400	3925
高粱残茬	1680	2800	3925

地面,侵蚀量会减少 98.7%;土表覆盖 30%的残茬,土壤流失比例减少至 0.3。直立作物残茬通过减缓风的部分能量来减小土表风速,与相同数量放于地表的物质相比,直立作物残茬可减少更多的侵蚀量。土壤的风蚀强度用风蚀率表示,指单位时间内的风蚀量(g/min)。董

治宝等<sup>[4]</sup>研究风沙土得到风蚀率与植被盖度的关系为  $E = 830.14 \times (8.20 \times 10^{-5})^{VCR}$ ,其中  $E$  指风蚀率, $VCR$  指植被盖度。风蚀率随植被盖度的减少呈指数增加。在风速 12.7m/s、植被盖度 >60%左右时,风蚀率几乎为零。随植被盖度的减少,风蚀率开始缓慢增加,当植被盖度减少至 20%左右时,风蚀率突然增加。哈斯等<sup>[5]</sup>强调作物残体对风蚀的降低作用极为明显。Sharratt<sup>[13]</sup>发现,与传统耕作土壤相比,免耕含有更多 >0.84mm 对风蚀不敏感的团聚体。

## 1.3 免耕对土壤物理性质的影响

土壤水分。与湿润裸地相比,残茬覆盖可增大水蒸气从土壤向大气的流动阻力,阻碍水气扩散,从而有效抑制蒸发。大量试验<sup>[12]</sup>表明,免耕覆盖与裸露和传统耕作土壤相比,土壤表层含水量显著增加。Mc-Conkey 等<sup>[6]</sup>试验表明,免耕较传统耕作可多提供 5~25cm 的土壤水。据伊朗的试验<sup>[7]</sup>报道,干旱年份免耕方式蓄水明显高于其他方式。晋凡生等<sup>[8]</sup>在山西隰县的研究指出,旱塬地玉米农田免耕覆盖水分利用率提高 2.96kg/mm·hm<sup>2</sup>。春播前 0~200cm 土层速动易效水含量比传统耕作增加 17.02~47.9mm。

土壤容量与孔隙。不同类型土壤、不同气候条件下,容重、孔隙度的试验结论不同。在美国温暖湿润气候条件下,中等质地土壤长期免耕,15cm 土层内土壤容重与传统耕作基本无差异。在非洲尼日利亚<sup>[12]</sup>的研究表明,免耕对土壤容重影响较小,认为是更多的蚯蚓活动和较少的结皮所致。对阿拉斯加的亚北极土壤<sup>[13]</sup>研究发现,5cm 表层内传统耕作与免耕土壤容重没有差别,认为是冻融、干湿交替作用相平衡的结果。对粘性土壤的试验却有相反报道。在伊朗粘性土壤的试验<sup>[7]</sup>表明,0~10cm 土层免耕与传统耕作土壤容重

差异不明显,免耕土壤容重略高。10~20cm 免耕较传统耕作容重显著增大,且大于20~30cm、30~40cm 土层的容重。在明尼苏达州对粘壤土的研究发现,免耕小区土壤容重(7.5~15cm 深度)显著大于传统耕作,较高的容重导致免耕小区表层含有较少的充气孔隙,但免耕处理仍有较多的体积含水量和更多数目的生物通道,30cm 以下土层耕作措施引起的容重、孔隙度的差异不显著。许迪等<sup>[9]</sup>在河北粉砂壤土研究表明,夏玉米各生育期土壤容重均为免耕大于传统耕作;且干容重随时间变化而增大;与传统耕作相比,免耕土壤中大孔隙比例小,而小孔隙体积比例较高;这说明免耕虽增大土壤容重,减少土壤孔隙,却改变土壤孔径分布,使大孔隙减少,小孔隙增加,从而改变了土壤的通气状况。Wienhold 和 Tanaka<sup>[14]</sup>对壤土和粉砂壤土的试验表明,低水压时免耕的入渗率小于传统耕作,高水压时不同耕作处理的入渗率接近,说明耕作不会影响此时的贮水孔隙。但 Triplett 等在粉砂壤土的试验表明,免耕覆盖后土壤入渗能力高于传统犁耕,认为是由于覆盖改变了土壤结构的稳定性。Lal<sup>[12]</sup>认为免耕后土壤入渗能力的提高是土壤蚯蚓数量增多、活动加大所致。这些差异应归因于不同的土壤和气候状况。

土壤团聚体。随耕作的增加,土壤团聚体稳定性将降低。Karlen<sup>[15]</sup>证实免耕后土壤5cm 表层内含有更多水稳性大团聚体(1~4mm)。Azimzadeh 等<sup>[7]</sup>研究表明,干筛和湿筛时,与传统耕作相比,免耕均有更多>1mm的团聚体。免耕后土壤含有更多大团聚体有助于减少风蚀,而水稳性团聚体的增加说明免耕团聚体有更高的蓄水能力,免耕系统有更强的抗水蚀能力。水稳性团聚体是用来评价土壤结构的一个参数,也是土壤抗分散、抗压实的一个理想指标,它影响植株的萌发、水分吸收和土壤侵蚀。Douglas 等研究指出,免耕种植后表层土壤团聚体稳定性的增强是由于有机质的增加。有研究表明,覆盖与免耕分离,则免耕不能提高有机质的含量。免耕覆盖后(0~20cm)土壤有机质高于试验前,而传统耕作则较试验前降低。长期免耕与犁耕相比,0~5mm 表层土壤有机碳显著增加。

## 2 小 结

免耕能控制水蚀,减少养分流失,控制径流污染,改善水质,有效阻止风蚀,在我国广大风蚀区、风水两相侵蚀区具有广泛的应用前景。免耕能减少径流,增加土壤水分,秸秆量多时效果尤其明显。免耕还有助于改善土壤物理性质,增加土壤有机质,可做为退化土壤的保护措施之一。

**致谢** 本文得到北京师范大学资源与环境科学系土壤侵蚀研究小组海春兴、徐春达、王志强、卫海燕、李璐、路炳军和魏欣等同学的大力帮助,谨表谢意!

## 参 考 文 献

- 1 牟积善,何明华. 免耕、覆盖、深松配套技术及耕作模式的研究(之三)——试验结果与分析(对土壤水分、盐分、氧化还原电位的影响). 天津农学院学报,1998,5(4):23~27
- 2 王晓燕,高焕文,李洪文等. 保护性耕作对农田地地表径流与土壤水蚀影响的试验研究. 农业工程学报,2000,16(3):66~69
- 3 王兴祥,张桃林,张 斌. 红壤旱坡地农田生态系统养分循环和平衡. 生态学报,1999,19(3):335~341
- 4 董治宝,陈渭南,李振山等. 风沙土开垦中的风蚀研究. 土壤学报,1997,34(1):74~80
- 5 哈 斯,陈渭南. 耕作方式对土壤风蚀的影响——以河北坝上地区为例. 土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(1):10~16
- 6 McConkey Brian, Lindwall Wayne. Conservation Tillage Systems in Western Canada. 面向二十一世纪的机械化旱作节水农业. 北京:中国农业大学出版社,2000. 142~252
- 7 Azimzadeh M., Koocheki A., Pala M. 旱地条件下耕作和残茬管理对可持续谷物生产的影响. 面向二十一世纪的机械化旱作节水农业. 北京:中国农业大学出版社,2000. 238~252
- 8 晋凡生,张宝林. 旱地玉米农田免耕覆盖的土壤环境效应. 水土保持研究,2000,7(4):60~64
- 9 许 迪,Schmid R., Mermoud A. 夏玉米耕作方式对耕层土壤特性时间变异性的影响. 水土保持学报,2000,14(1):64~87
- 10 Blevins R. L., Frye W. W., Baldwin P. L., et al. Tillage effects on sediment and soluble nutrient losses from a Maury silt loam soil. J. Environ. Qual., 1990,19(4):683~686
- 11 Richardson C. W., King K. W. Erosion and nutrient losses from zero tillage on a clay soil. J. Agri. Engng Res., 1995, 61:81~86
- 12 Lal R. No-tillage effects on soil properties under different crops in Western Nigeria. Soil Sci. Soc. Am. J., 1976, 40(5):762~768
- 13 Sharratt B. S. Tillage and straw management for modifying physical properties of a subarctic soil. Soil and Tillage Research, 1996, 38: 239~250
- 14 Wienhold B. J., Tanaka D. L. Haying, tillage and nitrogen fertilization influences on infiltration rates at a conservation reserve program site. Soil Sci. Soc. Am. J., 2000, 64:379~381
- 15 Karlen D. L., et al. Long-term tillage effect on soil quality. Soil Tillage Research, 1994, 32(4):313~327