

耕作侵蚀对农田坡地景观影响的研究进展

聂小军^{1,2}, 徐小涛³

(1. 河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000; 2. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 3. 河南农业大学 林学院, 郑州 450002)

摘要: 耕作侵蚀是农田坡地景观一种重要的土壤侵蚀过程。随着农业生产实践的强化, 耕作侵蚀对农业环境的不利影响已经引起了全球关注。该文综述了近年来耕作侵蚀对坡地景观地形、土壤质量、土壤碳库及作物产量影响的研究成果, 结合中国土壤侵蚀严重的西部地区探讨了耕作侵蚀引起的坡地景观格局、能流、物流变化及其对水体的危害, 分析了耕作侵蚀对坡地景观影响的研究中存在的问题并提出了相应的展望。

关键词: 耕作侵蚀; 景观生态学; 地形演化; 土壤质量变异; 作物减产

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)05-0254-07

Research Progress in Tillage Erosion Effects on Agricultural Sloping Landscape

NIE Xiao-jun^{1,2}, XU Xiao-tao³

(1. School of Surveying & Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China; 3. School of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Tillage erosion is one of the major soil erosion processes in agricultural sloping landscape. With the development of intense agriculture practice, the adverse impacts of tillage erosion on agricultural environment have been paid worldwide attention. In this paper, tillage erosion effects on sloping landform, soil quality, soil carbon pool, and crop production are summarized. As consequences of the effects, the changes of the spatial pattern, the flows of energy and material in agricultural sloping landscape and their harm to water body are discussed taking serious soil erosion regions in west China as cases. In the end, the main problems about the current researches on tillage erosion influences on agricultural sloping landscapes are analyzed and corresponding research trends are proposed.

Key words: tillage erosion; landscape ecology; landform evolution; variation in soil quality; crop reduction

耕作侵蚀是指在坡地景观内, 由于农耕工具牵引力和土体重力作用而引起的耕作位移使土壤发生向下坡运动或向上坡运动(依赖于耕作方向), 导致净余土壤向下坡方向传输、堆积, 重新分配^[1-2]。从土壤侵蚀学的角度来看, 耕作侵蚀属于土壤侵蚀的范畴, 是一种在外营力的作用(农耕工具牵引力和土体重力作用), 土壤及其母质被破坏、剥蚀、搬运和沉积的典型人为加速侵蚀。从景观生态学的角度来看, 耕作侵蚀是一种人为干扰(锄耕活动)景观的结果, 影响农田坡地景观格局、能流、物流等过程。长期以来, 在土壤侵蚀研究领域, 水蚀引起的水土流失一直是人们关注的

重点, 这使得耕作引起的土壤侵蚀问题很少被注意。直到 20 世纪 80 年代后, 随着¹³⁷Cs 技术在土壤侵蚀领域的成熟利用, 传统的“标准”水蚀预测不能解释一些坡地土壤再分布格局时, 耕作侵蚀问题才被关注。随之, 耕作侵蚀研究在世界各大洲被迅速开展, 如今已成为欧美国家在土壤侵蚀研究领域研究的一个热点。

耕作侵蚀是坡地景观一种重要的土壤侵蚀过程。国内外的一些研究表明: 坡地耕作侵蚀与水蚀速率是同一数量级的, 有时还高于水蚀速率^[3-7]。Richter 报道了陡坡耕作导致的土壤损失比径流引起的土壤损

收稿日期: 2010-06-19

资助项目: 国家自然科学基金项目(40771027); 河南理工大学博士基金项目(B2010-47)

作者简介: 聂小军(1977-), 男, 山西省曲沃人, 博士, 副教授, 主要从事土地管理、土壤质量与水土保持研究。E-mail: niexj2005@126.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

失高出6倍^[4]。耕作侵蚀造成的土壤流失主要发生在复合坡的凸坡、线性坡的坡顶位置。利用¹³⁷Cs示踪技术研究表明,在凸坡位置的土壤流失量的70%~100%是直接由耕作侵蚀引起的^[3,8]。Zhang等^[9]发现,在川中丘陵区的线性坡上耕作侵蚀造成顶坡位置土壤变薄,厚度为11~17 cm,仅为坡底土壤厚度的30%左右。另外,相对于水蚀对景观地貌切割、土壤物质流失的大尺度影响效应,耕作侵蚀仅表现为对坡地景观土壤再分布的小尺度影响效应。然而,这种小尺度景观效应对人类社会的可持续发展有着至关重要的意义,它涉及到全球粮食安全、气候变暖等大尺度事件。本文就国内外耕作侵蚀研究的成果,综述了耕作侵蚀对坡地景观地貌、土壤质量、土壤碳库及作物产量影响的研究现状,展望了未来耕作侵蚀研究亟待解决的问题。

1 耕作侵蚀对坡地形的影响

耕作侵蚀对坡地景观地形的演化起着关键的作用^[10-12]。Govers等^[10]运用一维斜坡演化模型对比利时Huldenberg地区复合坡地长期(140 a)变化的研究表明:单从水蚀角度模拟预测坡地变化并不能很好地达到与坡地现状的吻合;但如果附加考虑耕作侵蚀因素,预测出来的地貌因子与现实观察到的地形因子相关性很好。这个结果说明长期耕作侵蚀明显地影响到了坡地景观地形的变化。耕作侵蚀对地形变化影响的结果还会使得坡地在上、下坡位置形成土壤零流量边界,结果导致上坡边界表现为净侵蚀而下坡边界表现为净堆积。Zhang等^[13]在川中丘陵区执行的强烈耕作模拟试验表明,强烈耕作导致陡坡耕地坡顶土壤母质层以上的 ≤ 30 cm的土壤全部损失,5次和15次耕作后,土壤全部损失的耕地面积分别达到坡耕地总面积的4.77%与10%。Papendick和Miller^[11]报道了耕作侵蚀使得美国华盛顿一坡地下坡的土壤堆积层高达3~4 m。在上、下坡边界设置有植物篱的斜坡上,长期的耕作侵蚀会使上坡逐年侵蚀,海拔降低,而下坡逐年堆积,海拔升高,结果导致原来的斜坡地形演化为水平台地^[14]。Dercon等^[15]沿袭Govers等提出的一维斜坡演化模型,模拟了植物篱带间梯坡在耕作侵蚀作用下的地形演化,结果表明:20 a的耕作侵蚀就会导致梯坡地形发生明显的变化,梯坡向水平梯田的演化能在50 a左右的时间内完成,梯坡地貌的演化随其自身坡度的增大而加速。

耕作侵蚀对地形演化的影响会使坡地景观破碎化,具体表现为斑块数目增加,连通度降低,异质性增大。从复合坡角度来看,长期耕作侵蚀导致凸坡位置

土壤严重损失,凹坡位置厚的堆积层。凸坡位置,土壤损失使得下伏母质、基岩裸露,变为没有生产力的荒地,于是原来各处均有生产力的复合坡演化成荒地相间的坡地。从线性坡来说,长期耕作侵蚀首先导致坡顶土壤完全损失,接着耕作侵蚀沿向下坡方向延伸,结果原来的线性坡变成上凹下凸的复合坡,可耕种坡地面积减少。在中国的川中丘陵区,线性坡地的这种演化非常普遍。耕作侵蚀引起的坡地演化会增大水蚀的风险性。因为耕作侵蚀区母质、基岩的裸露会使降雨难以入渗,因而极易形成地表径流,加剧下坡土壤水蚀。也有研究认为耕作侵蚀使梯坡演化到水平梯田能大大地降低水蚀的风险^[14],这种坡地演化降低水蚀风险的前提是梯坡土壤厚度大且坡地上下边界必须有好的水土保持措施。对于我国西南四川盆地丘陵区与云、贵喀斯特山区大量的梯坡,由于土壤厚度浅,水土保持措施差,强烈耕作导致的坡地貌演化造成的水蚀风险是极其严重的。

2 耕作侵蚀对土壤质量的影响

2.1 耕作侵蚀对土壤理化特性的影响

耕作侵蚀对坡地景观物流的影响主要是通过侵蚀引起的土壤再分布格局来改变土壤质量的空间变异性。耕作侵蚀引起的土壤再分布格局是:复合坡上,土壤从坡凸部流失,而在凹部沉积;线性坡上,土壤从坡地中上部流失,在下部堆积。国内外研究表明,耕作侵蚀导致的土壤再分布格局致使坡地侵蚀区土层变薄,有机物质及土壤养分含量减少,理化性质总体上变差(如:质地变粗、低肥力或高酸性的亚表层土壤暴露);而在堆积区,土层变厚,有机物质及土壤养分含量增加,理化性质总体上好。

2.1.1 国外研究现状 da Silva等^[16]报道了长期的耕作侵蚀改变坡耕地土壤厚度,进而引起土壤保水性、有机质含量降低。Kosmas等^[17]通过物理示踪法研究了希腊雅典附近的坡地耕作侵蚀与土壤属性的关系,结果表明:耕作侵蚀是造成土壤属性空间变异的主要原因。凸坡位置,土层薄(< 25 cm),土壤质地以沙粒、砾石为主,有效水储量低;凹坡位置,土层厚(< 70 cm),土壤质地以黏粒、砾石为主,有效水储量大。Quine & Zhang^[18]调查了英国德沃坡耕地的侵蚀格局、土壤属性变异,结果表明:耕作侵蚀与碳、氮、磷、无机磷、沙粒、粉粒在坡面上的分布格局一致,而水蚀与这些土壤属性在坡面上分布不一致。据此,推断耕作侵蚀是造成土壤质量空间变异的主要原因。另外,他们对未来40 a耕作侵蚀状况模拟的结果表明土壤属性将逐渐呈现高度空间变异性,极有可能造

成严重的作物减产。Alba 等^[19]报道: 耕作侵蚀引起的土壤再分布改变了坡耕地侵蚀区、堆积区最初的土壤剖面结构; 凸坡、上坡位置, 土壤剖面不完整, 而在凹坡、下坡位置, 原来完整的剖面被来自于上坡处的土壤填埋, 结果出现剖面土层倒置。Papiernik 等^[20-21]对美国明尼苏达州侵蚀草原坡耕地的土壤属性变化进行的研究表明: 耕作侵蚀导致肩坡土壤剖面层次不完整, 剖面厚度浅, 有机碳含量、总氮、有效磷含量低, 无机碳含量、pH、土壤强度高; 而在沉积区, 耕作侵蚀导致土壤 A 层变厚, 有机碳含量升高, 无机碳含量、pH 值降低。Heckrath 等^[22]对丹麦日德兰半岛北部侵蚀坡耕地土壤属性变异的研究表明: 耕作侵蚀导致肩坡部位的土壤剖面厚度下降, 脚坡、趾坡部位土壤剖面厚度增加, 土壤有机碳、磷含量沿向下坡方向不断增加; 耕作位移速率与剖面有机碳、磷含量以及土壤 A 层厚度显著相关。

耕作侵蚀对坡地土壤质量空间变异性的影响会因与其它侵蚀方式的相互耦合变得更为强烈。Schumacher 等^[23]发现, 耕作侵蚀与水蚀耦合作用对土壤理化特性空间变异、总生产力降低的贡献大于单独任何一种侵蚀。Heckrath 等^[22]表明, 耕作侵蚀影响丘陵景观有机碳动力学过程, 增大了水蚀引起的养分流失风险, 坡面养分异质性增大。

耕作侵蚀对坡地土壤质量的改变还会影响景观生物物理过程。Poesen 等^[24]调查了西班牙 Guadalupe 流域陡坡耕地表土层砾石分布格局, 结果表明: 耕作侵蚀改变了坡面砾石分布格局, 从而改变了坡地景观水文学过程。典型的情况是, 砾石含量高的山顶、窄谷底由于土壤紧实度低, 蒸发弱, 渗透性好等原因大大削弱径流侵蚀, 从而降低坡面流损失。另外, 在景观内土壤重新分配过程中, 耕作侵蚀使得侵蚀坡位的营养物质如碳、氮等被流失耗尽, 而在堆积坡位发生营养物质的富集, 这种组合作用对诸如温室气体的产生和释放等生物物理过程具有重要的影响。

2.1.2 国内研究现状 黄土高原及四川盆地是我国目前开展耕作侵蚀研究的主要地区。在黄土高原地区, Li 等^[25-26]研究了耕作侵蚀对土壤质量的变异, 结果表明: 耕作侵蚀控制短坡梯田、陡坡耕地有机质、氮、磷养分的空间分布; 耕作侵蚀对陡坡耕地有机质、氮、磷的影响能用相邻坡度的变化来评价, 并建立了土壤质量-地形回归方程($y = ax + b$, 其中: y 为土壤养分因子有机质、氮、磷; x 为相邻坡度的变化; a , b 为系数)。Li 等^[27]又通过连续进行 50 次耕作模拟了耕作侵蚀对近 50 a 来陡坡土壤质量的改变, 结果表明: 强烈耕作导致的土壤再分布最先引起陡坡耕地的

地形演化, 景观破碎化, 进而造成土壤物理、养分属性变化。土壤物理、养分属性的变化主要表现为, 坡耕地上坡土壤容重变大, 中坡容重降低; 土壤有机质、有效态养分氮、磷在上、中坡位置含量降低, 在下坡位置增加。强烈耕作引起的土壤侵蚀对下坡有机质、速效态养分含量在短期内的增加效果异常明显。王占礼和邵明安^[28]通过地形测量、¹³⁷Cs 示踪、土壤性质分析及重复耕作的方法研究了黄土地坡耕作侵蚀对土壤养分的影响, 结果表明: 全氮、碱解氮及有机质含量随投影坡长的变化可用抛物线描述, 有效磷及速效钾的变化可用幂函数描述; 全氮、碱解氮、速效钾含量与耕作侵蚀的关系可用线性方程描述, 有效磷含量的关系可用三次多项式描述; 耕作侵蚀对全氮、碱解氮、有效磷及速效钾含量的贡献率分别为 16.47%、2.69%、48.85% 及 15.30%; 由于耕作侵蚀, 15 a 内碱解氮、速效钾、有机质及阳离子代换量的含量将在耕作侵蚀区呈减少趋势, 在耕作沉积区呈增加趋势。贾科利等^[29]研究分析黄土高原北部坡耕地土壤侵蚀对土壤性质影响结果表明, 山坡中、上部为土壤侵蚀最强烈地带, 坡顶侵蚀较弱; 土壤全氮、碱解氮、速效钾与水蚀和耕作侵蚀间呈线性相关关系, 而土壤有机质、速效磷和阳离子代换量则与水蚀和耕作侵蚀无显著相关性。在四川盆地, 葛方龙等^[30]利用¹³⁷Cs 示踪技术, 结合土壤理化分析, 研究了川中丘陵区紫色土坡耕地土壤侵蚀所引起的土壤再分配对养分空间变异性的影响, 结果表明: 强烈的耕作导致坡上部发生最为严重的土壤侵蚀, 有机质和养分贫瘠。Ni 等^[31]研究了川中丘陵区土壤侵蚀对坡耕地土壤化学属性磷、钾、CaCO₃ 的影响, 结果表明梯坡上土壤化学属性的空间变异归因于耕作侵蚀。Zhang 等^[13]报道: 强烈耕作导致陡坡耕地坡顶土壤有机碳、有效磷完全损失, 15 次耕作导致坡底土壤有机碳、有效磷含量分别增加高达 214.09%、221.51%, 结果导致坡耕地土壤有机碳、有效磷明显的空间变异。

综上, 耕作侵蚀增大了土壤质量的空间变异性, 影响着土壤景观水文学、生物学等过程, 加剧了水蚀的风险性。土壤质量空间变异性增大会降低土壤生产力, 提高农业投入, 降低化肥、农药的有效利用率, 加剧地表水的污染。地处黄河、长江上游的黄土高原、云贵高原、四川盆地耕作侵蚀对土壤质量、地表水质的威胁应该引起足够的重视。

2.2 耕作侵蚀对土壤碳库的影响

土壤碳库动态变化不仅关乎到土壤质量的好坏, 也关乎到全球碳循环的问题。水蚀对土壤碳库影响如何是目前土壤侵蚀学科领域研究的热点, 但作为坡

地景观人为外界干扰方式的主要侵蚀过程——耕作侵蚀——对土壤碳库影响的研究才刚刚起步。Reicosky 等^[32]在美国俄亥俄州坡地景观进行的耕作侵蚀试验表明:耕作侵蚀导致的土壤再分布格局使得表土有机碳在侵蚀区最低(5.1 gC/kg),堆积区最高(19.6 gC/kg)。有机碳动力学过程造成土壤CO₂损失,最终减小了土壤碳库。Zhang 等^[7]对川中丘陵区长、短坡上的有机碳分布格局进行的研究表明,耕作侵蚀控制着短坡土壤有机碳的动力学过程,从而产生了不同于长坡水蚀导致的有机碳分布格局:耕作侵蚀导致上坡有机碳含量降低,而在下坡造成的有机碳含量增幅比水蚀大得多。由此可见,耕作侵蚀影响土壤碳库的再分布格局,加大了侵蚀区以及耕作侵蚀发生过程中的土壤碳库损失和堆积区土壤碳库累积。耕作侵蚀引起的土壤碳库变化可能影响着与全球碳循环有关的气候事件。

3 耕作侵蚀对作物产量的影响

耕作侵蚀对坡地景观能流的影响主要表现为作物产量方面。Lobb^[33]发现,加拿大农作物产量40%~50%的降低与凸面景观位置严重的耕作侵蚀相关。由耕作侵蚀导致的这种损失在集约型农业耕作地区每年达几千万美元。Tsara 等^[34]报道,长期耕作侵蚀导致上坡小麦生物量减产26%。Heckrath 等^[22]发现,大麦产量与耕作侵蚀速率、耕作位移显著相关。Marques da Silva 等^[35]建立了耕作侵蚀速率(x)与作物产量(y)间的回归方程: $y = -133.42x^2 + 15.664x + 15.64$ ($R^2 = 0.9914$; $p = 0.95$),从这个方程可以看出,随着耕作侵蚀速率的增加,作物产量降低。无论如何,耕作侵蚀对作物产量的影响主要是通过改变土壤厚度、水分持有能力、养分含量等土壤质量的空间分布格局来实现的。da Silva 等^[16]发现,长期的耕作侵蚀加大了希腊山区坡地土壤厚度、水分、养分的空间变异性,最终造成凹坡位置的干草产量高出凸坡位置的7倍左右。Kosmas 等^[17]报道,耕作侵蚀导致的土壤厚度、水分分布格局与小麦生物量一致,土壤厚度与小麦生物量呈对数相关。Stewart 等^[36]发现,耕作侵蚀造成的凸坡水分缺失是小麦减产的主要原因,小麦产量正相关于水分持有能力。Papiernik 等^[20]研究认为,耕作侵蚀造成的土壤厚度变化是决定作物产量变异的关键因子。以上研究表明,耕作侵蚀造成了侵蚀区作物产量的减产,侵蚀区作物产量明显低于沉积区,但这并不意味着沉积区作物增产。Quine 和 Zhang^[18]发现,在养分含量极高的沉积区,往往会因水渍、杂草丛生等原因致使作物产量减产。

耕作侵蚀引起的作物减产已经成为一个全球性的问题,尤其是人地矛盾突出的地区,例如中国的西南地区。在川中丘陵区,坡耕地地块短小、陡坡居多,土壤多为石灰紫色正常新成土且富含蒙脱石、伊利石等胀缩性黏土矿物,保水性差,因此推行等高耕作、免耕等减小侵蚀的耕作方式难度、强度很大,截至目前农民仍以传统的顺坡耕作为主。加之,当地人口稠密、人地矛盾突出,强烈的耕作导致的土壤侵蚀严重影响着当地的农业粮食生产。最为常见的作物减产出现在侵蚀严重的梯坡地上坡,因为这里土壤厚度受耕作侵蚀影响变薄、水分亏缺严重、养分瘠薄。Nie 等^[37]报道:5次、15次强烈耕作后,坡耕地土壤厚度与小麦籽粒产量呈对数相关,侵蚀区小麦籽粒产量仅为堆积区的50%左右;侵蚀区土壤厚度损失导致的作物产量减产明显大于堆积区土壤厚度增加导致的作物产量增产,结果造成坡耕地作物平均产量降低。Zhang 等^[9]调查发现,耕作侵蚀造成斜坡顶部作物(小麦、玉米、甘薯)产量仅仅是坡底的50%甚至更少。坡耕地作物减产,增加了农民的生产投入,造成能流受阻,能量输入输出不平衡。

4 展望

耕作侵蚀作为对景观的一种外界干扰影响着坡地景观格局、能流、物流等过程。尽管目前国内外大量的研究从地貌演化、土壤质量变异、作物产量方面探讨了耕作侵蚀对不同景观过程的影响,使得人们对其有了一定的重视,但由于耕作侵蚀研究起步较晚,研究方法、内容的不足,人们还需要进一步探索其对坡地景观的影响,以便采取科学有效的对策控制其危害性。

(1) 建立耕作侵蚀对地貌演化影响的预测模型。目前,耕作侵蚀对地貌演化影响的预测主要是运用Govers 等提出的一维斜坡演化模型,这个模型仅能大体上反映坡地貌的变化。它的局限性在于这个模型套用了一个固定的耕作传输速率 k ,并没有考虑到 k 是随坡度、坡曲率变化而变化。因此为了较准确地预测耕作侵蚀对坡地貌演化的影响应该建立一个考虑 k 随坡度、坡曲率变化的预测模型。

(2) 探索耕作侵蚀对土壤微生物特性的影响。现有关于侵蚀坡耕地土壤质量的研究很少重视土壤微生物特性的变化,这对于全面了解侵蚀土壤质量退化机制来说是极其不够的。土壤微生物系统作为土壤生态系统的重要组成部分,直接参与土壤中有有机物质的分解、腐殖质的形成、土壤养分转化和循环等各个生化过程。土壤微生物系统的好坏直接影响土壤肥

力、土壤质量以及植物的生产量。土壤微生物系统对于外界干扰是极其敏感的, 诸如耕作侵蚀的扰动、土壤理化性质的变化都可能明显影响微生物系统的平衡, 破坏微生物系统的结构与功能, 最终造成土壤质量下降与作物减产。明确耕作侵蚀对土壤微生物特性的影响还能启发我们从生物学的角度对侵蚀土壤进行修复。

(3) 进一步研究耕作侵蚀对土壤碳库的影响。尽管耕作侵蚀影响土壤碳库的再分布格局, 增加了在其发生过程中的土壤碳库损失, 但是还存在着许多不确定性。耕作侵蚀对土壤碳库的影响可以分为 3 部分: 侵蚀区土壤碳库的变化、堆积区土壤碳库的变化、侵蚀过程土壤碳库的变化。侵蚀区, 耕作侵蚀引起的土壤损失无疑造成了土壤碳库的净输出, 但侵蚀土壤低的净初级生产力又会使得有机质矿化率变低, 相对于没有发生耕作侵蚀前高净初级生产力、高有机质矿化率的土壤来说, 耕作侵蚀又表现为土壤碳库的净输入。堆积区, 耕作侵蚀引起的土壤堆积导致土壤碳库的净输入, 但堆积土壤可能因为净初级生产力、有机质矿化率变高, 从而使得耕作侵蚀对土壤碳库的影响表现为净输出。侵蚀区、堆积区土壤碳库的净输入、净输出之间的比较将需要定量的研究数据, 通过数据的比较才能准确地确定耕作侵蚀对土壤碳库的影响。然而, 目前还没有这方面的研究。另外, 现阶段开展土壤侵蚀对土壤碳库影响的研究都是从有机碳的角度来开展的, 还没有人从土壤微生物生物量碳的角度来探讨土壤侵蚀对土壤碳库的影响。在土壤微生物系统中, 土壤微生物生物量碳的变化关乎着土壤碳库损失和全球碳循环过程, 是全球碳循环中最为活跃的部分。从土壤微生物生物量碳的角度来探讨耕作侵蚀对土壤碳库的影响或许更有意义。

(4) 从多学科角度研究耕作侵蚀对作物产量影响的机理。现有的有关耕作侵蚀对作物产量影响的研究多数是土壤侵蚀的角度直接建立耕作侵蚀状况与作物产量的关系, 为数不多的研究从耕作侵蚀导致的土壤质量变异来探讨作物产量的变化。以上这些研究均忽视了耕作侵蚀引起的土壤再分布格局对作物生长过程的影响, 例如: 耕作侵蚀造成的土壤厚度变薄可能会影响作物根系在不同生长阶段的发育; 耕作侵蚀造成的土壤水分亏缺可能会影响作物不同生长阶段对土壤有效水的利用; 耕作侵蚀造成的土壤养分损失可能会影响作物在生殖阶段吸收土壤养分进而转化为果实的生理活动。因此, 我们今后还应该结合农作学的知识来探讨耕作侵蚀对作物产量的影响, 以便于在作物不同的生长阶段采取对策防止作物减产。

(5) 研制减小耕作侵蚀的农耕工具。耕作工具是土壤发生位移, 导致土壤再分布的一个重要因素, 而耕作侵蚀引起的坡地地貌演化、土壤质量变异及作物减产归根结底都源自其产生的土壤再分布。已有研究表明, 非机械化工具较机械化工具造成的耕作侵蚀更为严重^[23, 38], 因此革新现有农耕工具不仅能够减少土壤侵蚀, 而且也能有效防止坡地地貌演化、土壤质量变异及作物减产, 这一点对于非机械化农耕区来说更有现实意义。在中国的川中丘陵区, 当地农民经过长期耕作实践, 已研制出了有效防止耕作侵蚀的锄耕工具(图 1), 这种工具对于其它非机械化农耕区的耕作实践具有一定的借鉴意义。

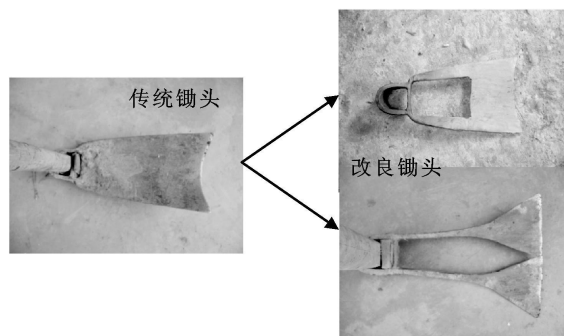


图 1 川中丘陵区锄耕工具的改良

(6) 进一步研究耕作侵蚀对水蚀影响的机理。尽管耕作侵蚀、水蚀二者发生的机理不同(前者是对土壤颗粒的一种整体性搬运, 而后者是对土壤颗粒的一种分选性搬运), 在坡耕地上发生的部位不同, 但耕作侵蚀对水蚀有一定的影响。研究表明, 耕作侵蚀对水蚀具有输送物质的作用机制, 将土壤输送到地表径流汇聚的区域(诸如细沟和集水地带), 从而加速了土壤水蚀^[23, 39-42]。然而, 耕作侵蚀对水蚀影响的机理并非仅此。耕作侵蚀通过改变侵蚀区土壤物理特性、影响坡面水文学过程或许是对水蚀作用的另外一种机制。Poesen 等^[24]表明, 耕作侵蚀由于改变了坡面砾石分布格局, 使得砾石含量高的山顶、窄谷底土壤紧实度变低、蒸发变弱、渗透性变好, 从而削弱了径流侵蚀。这个结果并不适用于所有的农田坡地景观, 特别是一些坡地土壤厚度薄的地区, 例如中国的西南地区。耕作侵蚀对侵蚀区土壤物理性质、水文学过程的改变极可能是加速水蚀风险的一个重要原因。因此, 我们应该从不同的农田坡地景观角度来开展这方面的机制研究, 不能一概而论。开展耕作侵蚀对水蚀影响机理的研究, 能够更好地解释坡耕地景观地貌演化、土壤质量空间变异增大、作物减产等原因。

参考文献:

[1] Lindstrom M J, Nelson W W, Schumacher T E, Quan-

- tifying tillage erosion rates due to moldboard plowing [J]. *Soil & Tillage Research*, 1992, 24: 243-246.
- [2] Govers G, Lobb D A, Quine T A. Tillage erosion and tillage translocation[J]. *Soil & Tillage Research*, 1999, 51: 167-357.
- [3] Lobb D A, Kachanoski R G, Miller M H. Tillage translocation and tillage erosion on shoulder slope landscape positions measured using ^{137}Cs as a tracer[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 1995, 75: 211-218.
- [4] Richter G. Soil erosion by ploughing operations in vineyards on steep slopes[C]//*Proceedings of the Second International Symposium on Tillage Erosion and Tillage Translocation*. Leuven, Belgium, 1999.
- [5] 王占礼, 邵明安, 雷廷武. 黄土区耕作侵蚀及其对总土壤侵蚀贡献的空间格局[J]. *生态学报*, 2003, 23(7): 1328-1335.
- [6] 苏正安, 张建辉, 周维. 川中丘陵区耕作侵蚀对土壤侵蚀贡献的定量研究[J]. *山地学报(增刊)*, 2006(24): 64-70.
- [7] Zhang J H, Quine T A, Ni S J, et al. Stocks and dynamics of SOC in relation to soil redistribution by water and tillage erosion[J]. *Global Change Biology*, 2006, 12: 1834-1841.
- [8] Lobb D A, Kachanoski R G. Modelling tillage erosion on the topographically complex landscapes of southwestern Ontario[J]. *Soil & Tillage Research*, 1999, 51: 261-277.
- [9] Zhang J H, Lobb D A, Li Y, et al. Assessment for tillage translocation and tillage erosion by hoeing on the steep land in hilly areas of Sichuan, China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2004, 75: 99-107.
- [10] Govers G, Vandaele K, Desmet P J J, et al. The role of tillage in soil redistribution on hillslopes[J]. *European Journal of Soil Science*, 1994, 45: 469-478.
- [11] Papendick R I, Miller D E. Conservation tillage in the Pacific Northwest[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1977, 32: 49-56.
- [12] Govers G, Lobb D, Quine T A. Tillage erosion and translocation: emergence of a new paradigm in soil erosion research[J]. *Soil & Tillage Research*, 1999, 51: 167-174.
- [13] Zhang J H, Nie X J, Su Z A. Soil profiles properties in relation to soil redistribution by intense tillage in a Regosol on a steep hillslope[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2008, 72(6): 1767-1773.
- [14] Dabney S M, Liu Z, Lane M, et al. Landscape benchmarking from tillage erosion between grass hedge[J]. *Soil & Tillage Research*, 1999, 51: 219-231.
- [15] Dercon G, Govers G, Poesen J, et al. Animal-powered tillage erosion assessment in the southern Andes region of Ecuador[J]. *Geomorphology*, 2007, 87: 4-15.
- [16] da Silva J, Rafael M, Soares J M C N. Soil tillage and soil quality[C]//*Proceedings of the Second International Symposium on Tillage Erosion and Tillage Translocation*. Leuven, Belgium, 1999.
- [17] Kosmas C, Gerontidis S, Marathanou M, et al. The effects of tillage displaced soil on soil properties and wheat biomass[J]. *Soil & Tillage Research*, 2001, 58: 31-44.
- [18] Quine T A, Zhang Y. An investigation of spatial variation in soil erosion, soil properties, and crop production within an agricultural field in Devon, United Kingdom[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 57: 55-65.
- [19] De Alba S, Lindstrom M J, Schumacher T E, et al. Soil landscape evolution due to soil redistribution by tillage: a new conceptual model of soil catena evolution in agricultural landscape[J]. *Catena*, 2004, 58: 77-100.
- [20] Papiernik S K, Lindstrom M J, Schumacher J A, et al. Variation in soil properties and crop yield across an eroded prairie landscape[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 60: 388-395.
- [21] Papiernik S K, Lindstrom M J, Schumacher T E, et al. Characterization of soil profiles in a landscape affected by long-term tillage[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 93: 335-345.
- [22] Heckrath G, Djurhuus J, Quine T A, et al. Tillage erosion and its effect on soil properties and crop yield in Denmark[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2005, 34: 312-323.
- [23] Schumacher T E, Lindstrom M J, Schumacher J A, et al. Modeling spatial variation in productivity due to tillage and water erosion[J]. *Soil & Tillage Research*, 1999, 51: 331-339.
- [24] Poesen J, van Wesemael B, Govers G, et al. Patterns of rock fragment cover generated by tillage erosion[J]. *Geomorphology*, 1997, 18: 183-197.
- [25] Li Y, Lindstrom M J, Zhang J H. Spatial variability patterns of soil redistribution and soil quality on two contrasting hillslopes[J]. *Acta Geologica Hispanica*, 2000, 35: 261-270.
- [26] Li Y, Lindstrom M J. Evaluating soil quality-soil redistribution relationship on terraces and steep hillslope[J]. *Soil Sci. Am. J.*, 2001, 65(5): 1500-1508.
- [27] Li Y, Tian G, Lindstrom M J, et al. Variation of surface soil quality parameters by intense-donkey-drawn tillage on steep slope[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68: 907-913.
- [28] 王占礼, 邵明安. 黄土坡地耕作侵蚀对坡地土壤养分影

- 响的研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 1-5.
- [29] 贾科利, 常庆瑞, 王占礼, 等. 陕北坡耕地土壤侵蚀对土壤性质的影响研究[J]. 2006, 14(1): 96-99.
- [30] 葛方龙, 张建辉, 苏正安, 等. 坡耕地紫色土养分空间变异对土壤侵蚀的响应[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 459-464.
- [31] Ni S J, Zhang J H. Variation of chemical properties as affected by soil erosion on hillslopes and terraces[J]. *European Journal of Soil Science*, 2007, 58: 1285-1292.
- [32] Reicosky D C, Lindstrom M J, Schumacher T E, et al. Tillage-induced CO₂ loss across an eroded landscape [J]. *Soil & Tillage Research*, 2005, 81: 183-194.
- [33] Lobb D A. Soil erosion processes on shoulder slope landscape positions [D]. Guelph: University of Guelph, 1991.
- [34] Tsara M, Gerontidis S, Marathanou M, et al. The long-term effect of tillage on soil displacement of hilly areas used for growing wheat in Greece[J]. *Soil Use and Management*, 2001, 17: 113-120.
- [35] Marques da Silva J R, Alexandre C. Soil carbonation processes as evidence of tillage-induced erosion [J]. *Soil & Tillage Research*, 2004, 78: 217-224.
- [36] Stewart C M, McBratney A B, Skerritt J H. Site specific durum wheat quality and its relationship to soil properties in a single field in Northern New South Wales[J]. *Precision Agriculture*, 2002, 3: 155-168.
- [37] Nie X J, Zhang J H, Su Z A. Intensive tillage effects on wheat production on a steep hillslope in the Sichuan Basin, China[C]. *ESiAT*, 2009: 635-638.
- [38] Quine T A, Walling D E, Chakela Q K, et al. Rates and patterns of tillage and water erosion on terraces and contour strips: evidence from caesium-137 measurements [J]. *Catena*, 1999, 36: 115-142.
- [39] Quine T A, Desmet P J J, Govers G, et al. A comparison of the roles of tillage and water erosion in landform development and sediment export on agricultural land near Leuven, Belgium [C]// *Variability in Stream Erosion and Sediment Transport*. IAHS Publ. No. 224, 1994: 77-86.
- [40] Govers G, Quine T A, Desmet P J J. The relative contribution of soil tillage and overland flow erosion to soil redistribution on agricultural land [J]. *Earth Surface Processes*, 1996, 21: 929-946.
- [41] Lobb D A, Kachanoski R G. Modelling tillage translocation using step, liner plateau and exponential functions [J]. *Soil & Tillage Research*, 1999, 51: 317-330.
- [42] Quine T A, Walling D E, Chakela Q K, et al. Rates and patterns of tillage and water erosion on terraces and contour strips: evidence from caesium-137 measurements [J]. *Catena*, 1999, 36: 115-142.

(上接第 253 页)

(3) 库区坡面有效的水土保持栽植模式应该是: 在坡顶, 以封山育林为主; 确出于需要, 应选择耐贫瘠、生长快、根系发达、固土能力强的先锋树种; 在坡面, 应根据坡向、坡度、土壤等条件, 垄沟结合, 辅以坡改梯等配套工程措施, 种植附加值较高的经济作物。

参考文献:

- [1] 黎华寿, 蔡庆. 水土保持工程植物运用图解[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [2] 陈伟烈, 江明喜, 赵常明, 等. 三峡库区谷地的植物与植被[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [3] 卢立霞. 三峡库区岸生植物根系固土效应分析[D]. 重庆: 西南大学[D], 2006.
- [4] 吴震. 坡面水土流失力学机理与模型研究[D]. 大连: 辽宁工程技术大学, 2007.
- [5] 傅涛. 三峡库区坡面水土流失机理与预测评价建模[D]. 重庆: 西南大学, 2002.
- [6] 姜志强. 植被根系固土机理及护坡稳定性研究[D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [7] 曹志平. 土壤生态学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [8] 张力霆. 土力学与地基基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [9] 程龙飞, 孙树林, 裴洪军. 香根草- 铰链式混凝土块护岸系统机理分析[J]. *岩土工程学报*, 2005, 27(5): 562-566