

防沙型农业的内涵、关键技术与研究展望

潘志华^{1,3} 潘学标^{1,3} 妥德宝^{2,3} 赵沛义^{2,3} 安萍莉^{1,3} 郑大玮^{1,3}

(1. 中国农业大学 资源与环境学院,北京 100193;

2. 内蒙古农牧业科学院 资源环境与检测技术研究所,呼和浩特 010031;

3. 农业部农牧交错带生态环境重点野外科学观测试验站,内蒙古 武川 011700)

摘要 为建设防沙型农业生产技术体系,有效防治农田风蚀是北方农牧交错带农业可持续发展的迫切需要,笔者论述了防沙型旱地农业产生的背景与意义,探讨了防沙型旱地农业技术的原理、内涵与实现途径,总结了近20年来中国北方半干旱地区防沙型农业技术研究进展,并对防沙型农业的发展未来进行展望。防沙型旱地农业是实现生态保护与生产发展双赢的有效途径,对北方半干旱地区农业可持续发展具有重要意义。

关键词 防沙型农业; 内涵; 关键技术; 研究展望

中图分类号 S 157

文章编号 1007-4333(2014)02-0201-06

文献标志码 A

Connotation, key technologies and research prospect of the sand-against dry-land farming

PAN Zhi-hua^{1,3}, PAN Xue-biao^{1,3}, TUO De-bao^{2,3}, ZHAO Pei-yi^{2,3},
AN Ping-li^{1,3}, ZHENG Da-wei^{1,3}

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Institute of Resource Environment and Detection Technology, Inner Mongolia Academy of Agricultural & Animal Husbandry Sciences, Huhhot 010031, China;

3. Key Ecology and Environment Experimental Station for Field Scientific Observation in Huhhot, Ministry of Agriculture, Wuchuan 011700, China)

Abstract In the northern semi-arid regions, agricultural production has intensified the soil wind erosion, which has greatly affected the agricultural sustainable development. It is urgent to study the sand-against agricultural production technologies to prevent and reduce the field wind erosion. In this paper, the background and significance of developing the sand-against dry-land farming were discussed, the principle, the connotation and the approach to realize were analyzed, and the research progress in the sand-against dry-land farming technologies in the northern semi-arid regions in recent 20 years has been summarized. Meanwhile, the future of the sand-against dry-land farming development was put forward. The study result shows that the sand-against dry-land farming is very important and effective to achieve the ecological protection and production development simultaneously, and it is significant to promote the agricultural sustainable development.

Key words sand-against farming; connotation; key technologies; future prospect

1 防沙型农业的产生背景与意义

土壤风蚀沙化是全球性土地退化的主要原因

之一,也是世界上许多国家和地区的主要环境问题之一。全球极易发生土壤风蚀的地区包括:北非、近东、中亚、东南亚部分地区、西伯利亚平原、

收稿日期: 2013-07-14

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAD09B02); 国家自然科学基金项目(41271110,41371232); 国家重大科学研究计划“973”项目(2012CB956204)

第一作者: 潘志华,教授,博士,主要从事全球气候变化与旱地农业、生态恢复与重建研究,E-mail:panzhihua@cau.edu.cn

澳大利亚、南美洲南部以及北美洲的干旱、半干旱地区,全球陆地面积的1/4受到沙漠化的威胁^[1]。我国受土壤风蚀及土地沙漠化影响的面积占国土总面积的1/2以上^[2],主要分布于北方,尤以半干旱地区的旱作农田最为严重^[3],长时期的农业生产加剧了土壤风蚀,农业可持续发展受到了严重威胁。

由于生态环境脆弱,耕作技术简单粗放,尤其是在冬春季节,农田无植被覆盖、地表裸露、土壤干燥,造成了严重的农田土壤风蚀。特别是20世纪90年代以来,马铃薯、花生等作物在该地区的种植面积不断扩大,大幅度增加了秋翻地,加剧了裸露农田的风蚀。风蚀吹走农田表土,使土壤粗化、贫瘠,耕层变浅,导致农田生产力下降。以内蒙古阴山北麓为例,马铃薯当前已成为种植面积最大的作物,播种面积从20世纪90年代初占有所有作物播种面积的15%提高到目前的50%以上。考虑到马铃薯是当地高

产高效的优势作物,不能不顾民生简单地禁止种植。针对此类地区农业生产加剧风蚀问题的产生,研究防沙型农业生产技术是促进此类地区生态社会经济可持续发展的迫切需要。

2 防沙型农业技术原理、内涵与实现途径

土壤风蚀是指在风力的作用下使表层土壤中细颗粒和营养物质的吹蚀、搬运和沉积的过程^[4]。

农田风蚀是风力与土壤质地、土壤结构、土壤湿度、地表覆盖和地表粗糙度等多个因素综合作用的结果,主要决定于地表土壤物理性质、风速、地表覆盖及粗糙度状况等因素^[5]。因此,基于降低风速、增加土壤湿度及土壤团聚性、提高地表覆盖与粗糙度的技术措施都能有效防治风蚀。防沙型农业是在风蚀沙化区以降低风速、保土、保水为目标,以减少传统翻耕和以作物残茬、秸秆覆盖为主要手段的新型农业技术体系(图1)。

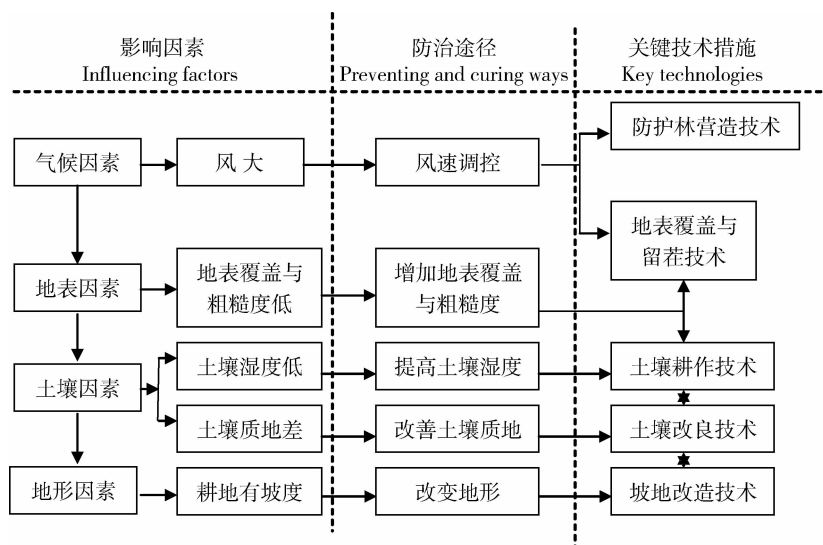


图1 防沙型农业技术原理与实现途径

Fig.1 Principle and preventing and protecting approach of the sand-against agriculture

研究表明,沙化扩大的成因中,94.5%是人为活动不当,其中由于过度农垦而导致土地退化的占沙漠化土地面积的25.4%,由于过度放牧的占28.3%,由于过度樵采的占31.8%,水资源利用不当及工矿建设破坏植被所引起的占9%^[6]。因此控制人类不合理的生产行为,增强基质的抗蚀性,为土壤的稳定性创造良好条件是防治风蚀沙化的基本途径。基于影响风蚀的因素,特别基于人为能够改变的因素,控制风蚀的主要途径有:1)通过增大下垫面

粗糙度来减小直接作用于土壤颗粒上的风力。主要措施有营造防护林、作物留茬与作物覆盖等;2)改善土壤物理性质,限制土壤颗粒运动。主要措施有土壤改良、土壤耕作等。土壤改良包括使用土壤稳定剂粘附土壤颗粒,保护地表不易侵蚀,提高土壤团聚性;土壤耕作技术包括免耕技术、深松耕技术等。3)改变地形。主要指坡耕地改造技术。等高耕作种植技术是以坡地改造为主要特征的综合技术。

3 防沙型农业关键技术

20世纪90年代以来,随着生态环境问题的日趋严重,农田风蚀问题开始受到人们的关注与重视。国家实施“九五计划”以来,在安排区域治理与旱地农业的科技项目中专门安排了农业稳定发展、防沙型农业技术和聚水保土技术等专题,防沙型农业关键技术研究得到了长足发展。

3.1 地表覆盖与留茬技术

冬春季土壤裸露,风蚀严重是目前半干旱地区最严重的环境问题之一,如何能有效地增加土壤覆盖,降低土壤裸露程度是半干旱地区环境恢复与重建的主攻方向,地表覆盖与留茬技术是解决该问题的针对性措施。

早在20世纪60年代初,国外关于农田风蚀的研究就已明确,着生于土壤里的作物残茬可以有效降低风蚀,其地表稳定覆盖度是控制风蚀的重要参数或主要准则^[7]。在风蚀过程中,地表植被覆盖可以通过覆盖部分地表面、分解风力以及阻挡输沙等多种途径形成对风蚀地表土壤的保护^[8-9],加强植被覆盖是防御风蚀输沙的有效措施^[9-13]。秸秆覆盖和留茬能有效降低土壤风蚀速率,秸秆覆盖量为4 210 kg/hm²时土壤风蚀速率最小,比裸露土壤减少62.8%^[14]。

“九五”以来,中国农业大学、内蒙古农牧科学院等单位在内蒙古自治区研究并推广了一项新技术——带状间作与秋后留茬技术,即通过不同种作物之间、作物与草类之间或灌木与牧草之间按带状进行间作,秋季收获时条播作物或草类留茬,以保护穴播作物翻耕地的耕作技术,如马铃薯与春小麦进行间作,收获时春小麦留高茬,马铃薯地翻耕;次年轮作后,原来的留茬地变成耕翻地,而原来的耕翻地用于留茬,也有利于保持地力。由于留茬地内残茬和秸秆覆盖物的存在增大了地表的粗糙度,起到了立式屏障作用,加大了风的阻力,同时也减小了土壤的裸露度,达到了减轻风蚀的效果^[15-18]。研究表明,小麦与马铃薯间作地的小麦留茬后,由于残茬对风的阻挡作用,近茬处和茬内风速降低了33%~68%。翻耕地由于受到留茬带的保护,近地面风速也明显下降,带宽3.6~8.4 m时风速较裸地下降31.0%~43.2%。只要带宽控制在8.4 m以下,留茬带间作的裸露带地面风速也可以降低30%以上。玉米留茬与豆类带状间作,留茬带的近地面风速为

2.1~4.9 m/s时,比裸地平均降低54.7%,带宽3.6~8.4 m风速较裸地下降14.5%~38.2%。只要带宽控制在6.0 m以下,近地面风速就可降低30%以上。随着风速的降低,土壤风蚀量显著下降。据中国农业大学武川实验站的连续观测,留茬地能比裸地减少51.0%~86.7%的土壤风蚀量。麦类留茬与马铃薯带状间作轮作,留茬带的风蚀量降低84.1%~88.7%,平均为86.0%,间作3.6~8.4 m宽裸露带风蚀量降低51.5%~68.3%。油菜留茬与马铃薯带状间作轮作,留茬带风蚀量降低75.7%~82.4%,平均为79.0%,间作3.6~8.4 m宽裸露带风蚀量降低50.0%~65.5%。玉米留茬与豆类带状间作轮作,留茬带风蚀量降低68.5%~78.4%,平均74.4%,间作3.6~8.4 m宽裸露带风蚀量也降低了42.4%~50.4%。研究表明,带状留茬的防蚀作用,只要带宽控制在8.4 m以下,密植作物残茬对间作裸地的保护作用能减轻风蚀量50%~68.3%;稀植作物玉米残茬可减轻间作裸地带风蚀量42.4%~60.4%。

研究表明,农田风蚀量是风速、留茬高度、植被盖度等因素综合作用的结果^[19],不同风速下土壤风蚀量随作物残茬盖度的增加呈指数规律减少,40%以上残茬盖度可明显提高土壤颗粒起动风速并减少风蚀量,当风速为14~18 m/s时,地表作物残茬盖度为60%~80%具有较好的抗风蚀效果^[20-21],当风速在6 m/s,留茬带茬高为30 cm、覆盖度为45%时,对风蚀物的拦截率可达到98.7%^[22]。在距地表高度50 cm以下时,有残茬覆盖的农田近地表风速低于没有覆盖农田的2.5~10倍^[23]。研究指出,要有效防治农田土壤风蚀,农田应具有50%以上的植被盖度和30 cm以上的留茬高度^[24-25],麦薯带状间作是一种既可以保护间作翻耕带,又能满足地区种植结构要求的防风抗蚀的种植方式^[24],当留茬带宽度达到5.25 m以后,具有更加显著的抗风蚀效果^[26]。

3.2 坡耕地改造技术

由于北方半干旱地区农业耕地中有相当大的部分是坡耕地,且传统的种植方式为顺坡种植,导致水土流失严重。坡地改造成梯田(坡改梯)是传统的坡地改造技术,对减少风蚀、水蚀,增加粮食生产起到了很好的作用。“七五”以来,中国农业大学等单位研究并逐渐推广了一项新技术——等高耕作种植技术。

等高耕作种植技术是治理丘陵坡地水土流失最有效的农业综合新技术,是半干旱地区丘陵旱坡地农田基本建设的有效措施。建设等高田是利用秋收后土壤尚未完全封冻时,等高等距筑埂建成坡式梯田,以后逐年定向耕翻并在每带上侧重点施有机肥,经过3~5年可逐步演变成水平梯田,是半干旱区丘陵地带适应气候、土壤与社会经济条件的基本农田建设主要形式。等高田把原来的跑水跑土跑肥的“三跑田”变成了“三保田”,并具有巨大的增产效应,变粗放掠夺式经营为耕地保养式经营,是生态恢复与重建的重要措施。研究发现,在有径流产生的降水条件下(降水量 >10 mm时),降水量每增加10 mm,等高耕作种植农田0~20 cm土层的蓄水量比顺坡种植田多2.4 mm^[27]。在保水的同时能够有效保土。据武川实验站1997年的观测数据,等高田至少可以保持841.0 t/(km²·a)的土壤不被雨水冲走。等高田由于土埂对风的阻挡作用和阶梯分布,使地表粗糙度加大,从而增大了风前进方向上的阻力,降低了风速,具有明显的减轻风蚀效应。据比较,离地10 cm处,等高田比顺坡地能降低风速30%左右。保水、保土的结果能够有效保肥。等高田的建成年限越长有效养分含量高于坡地的规律越明显。2年等高田20~30 cm有机质含量比顺坡地高出30%左右,碱解氮高出17%左右,有效磷含量高32%左右。“三保”的结果,增产效果明显。观测表明,在6°~9°的坡地上建设等高田,第1年的春小麦增产幅度为20.7%~25.5%,平均为23.1%;第2年的增产幅度为37.9%~40.4%,平均为39.2%;第3年的增产幅度为43.1~48.4%,平均为41.2%。

3.3 土壤改良技术

土壤湿度、土壤质地、土壤结构等是影响土壤风蚀的重要因素。土壤湿度小、土壤质地偏砂性、土壤沙粒含量高,则土壤易发生风蚀。为此,增加土壤湿度、改良土壤质地等途径能够有效预防土壤风蚀。土壤改良技术包括:1)通过施用天然土壤改良剂(如腐殖酸类、纤维素类、沼渣等)和人工土壤改良剂(如聚乙烯醇、聚丙烯腈等)来促进土壤团粒的形成,改良土壤结构,提高肥力和固定表土,保护土壤耕层,防治风蚀。2)施肥技术。多施农家肥,是改善土壤质地,增加土粒团聚性的有效途径。3)培肥技术。种植豆科绿肥作物在促进农牧副业中起着十分积极的作用,它能够实现培肥土壤、改良土壤、改善生态

环境等重要功效。

研究表明,土壤风蚀量随着土壤湿度的增加而减少^[28]。灌溉是提高土壤湿度的最显著措施。但由于北方半干旱地区常常缺少灌溉条件,导致农田土壤水分只能通过农艺、工程等途径提高,而变得较为困难。

微生物和腐殖酸都能够改变土壤物理性质,可作为抗风蚀的材料有效利用。腐殖酸是土壤颗粒团聚成为团粒结构最重要的原材料,腐殖酸类肥料能改良土壤,促进土壤水稳性团聚体形成,增大土壤粒径,同时协调了土壤水肥气热的状况,对改良过粘或过砂的低产土壤效果更好。刘晓光等^[29]在通过风洞实验研究微生物(接种根瘤菌)处理下和施用腐殖酸肥处理下抗风蚀效应时得出,通过接种根瘤菌和施用腐殖酸肥料,不但能增加土壤肥力,而且能够改良土壤结构,抗风蚀效果明显,且技术易于推广。

使用土壤结构改良剂、微生物技术和保护性耕作等农艺措施,改善土壤物理结构,增强土壤保水蓄水能力和土粒团聚性,同时提高产量和增强抗风蚀能力,是今后研发和应用的趋势。

3.4 土壤耕作技术

科学的土壤耕作能够增加土壤湿度,改善土壤质地,有效防治风蚀。

连年深翻,虽有松动土层和翻埋杂草、残茬等作用,但往往会散失大量水分,并对土壤结构有不良影响。深松耕作技术能够实现不翻转土壤疏松耕层,达到保蓄水分的目的。20世纪90年代后,我国积极研究和推广深松耕技术。试验表明,相对传统翻耕地,深松作业能使0~30 cm土层容重降低0.1 t/m³左右,提高0~50 cm土层含水率10.9%左右,0~2 m土层含水率11.2%左右^[30],增加产量5.7%~11.3%^[31]。河北坝上地区不同类型耕地土壤风蚀及其影响因素的野外观测结果表明,风蚀强度由秋翻地到春翻地和留茬地明显降低。其中在秋翻地,随着土壤不可蚀性颗粒的增加,风蚀量减少,但因土壤富含粗砂和砾石,易导致土壤粗化、土地生产力下降;在春翻地和留茬地,随土垄高度(犁沟深度)和作物残体盖度的增加,风蚀量显著减少。据此认为,在农田防护林体系仍不完善的河北坝上高原农垦区,应采作留茬深耕等耕作措施,以有效地控制土壤风蚀,减轻风蚀危害^[32]。

免耕少耕技术在20世纪90年代以来,在我国得到不断发展。据中国农业大学在内蒙古武川实验

区的研究表明,免耕和少耕不仅可简化耕作环节,提高劳动生产率,同时还具有一系列的生态效益。免耕少耕技术能够有效解决马铃薯茬地的保墒问题。马铃薯属晚秋作物,在收获后至封冻前多年平均降水量只有 18 mm 左右,仅为年降水量的 5% 左右。传统的耕作习惯是在马铃薯收获后实行秋耕翻,造成 0~50 cm 土层土壤储水量比麦茬地低 20% 左右,形成干茬,不利于第 2 年春播。对马铃薯茬采用秋季少耕的保护性耕作技术具有明显的保水、保土和增产效应。1997—1998 年间的观测表明,经过一个冬春季,通过免耕技术蓄积的水分比平耕翻要多 9.1 mm,第 2 年的春小麦产量增加 4.4 kg/hm²。

研究表明,在覆盖和耕作两因素中,覆盖对减小风蚀的作用最大,地表耕作的作用次之^[33]。翻耕地的风蚀强度大于任何留茬地的风蚀强度^[21]。

4 防沙型农业技术发展趋势与研究展望

4.1 防沙型农业技术发展趋势

实践证明,近 20 年来我国农业防沙技术从区域实际情况出发,兼顾生态、社会、经济效益,对半干旱地区生态环境改善具有非常重要的作用。

从生态环境的严酷性角度讲,北方半干旱地区环境条件恶劣,不宜大面积从事农业生产活动,但考虑到该地区及我国的人口状况,在保护好该地区环境条件的前提下适当从事农业生产活动是国家与地方的共同需求。目前半干旱地区的现状是一方面粮食需求较大,另一方面环境退化严重。为了生存,人们以开垦草原牺牲环境作为代价生产较多的粮食。这种状况已经严重影响到该地区社会经济的可持续发展。这样下去,现有的粮食水平将不能维持,人们的生存将受到威胁。因此必须协调好粮食生产与环境保护这 2 个关键性问题。从这种意义上讲,防沙型农业技术体系是解决以上问题的关键性过渡措施。一方面,它们能够显著地降低土壤侵蚀,保护环境;另一方面,它们一定程度上还能够增加粮食供应。随着科学技术的不断发展,粮食单产水平的不断提高,逐步减少该地区的耕地数量是该地区的发展方向。

4.2 研究展望

20 世纪初以来,国内外有关土壤风蚀的研究取得了很大进展,已由最初的感性认识上升到理性认识(定量研究),在风蚀动力学、风蚀影响因子、风蚀测定、预报与评估模型、土壤风蚀强度分级以及风蚀

防治技术等多个角度进行了大量的卓有成效的研究工作^[33-34]。但系统回顾我国土壤风蚀的研究,综合治理土壤风蚀的思路和手段还不够全面,在植树造林、草原建设的同时忽略了农田保护,把土壤风蚀研究与农田耕作制度的研究结合起来,将是以后研究的重要方向。从改变传统的农田耕作制度,立足于对水、风等农业生产条件的全面关注,研发符合半干旱区农业生产实际的防沙型旱地农业生产技术对防治农田土壤风蚀具有极为重要的理论与实际意义。

随着农田防沙研究的加强,防沙型农业理论与技术体系日趋完善。但由于研究时间相对较短,有待研究的方面还很多。当前,农田防沙研究要重点关注以下几个方面:

1)开展气候变化对半干旱地区农田土壤风蚀的影响研究。当前,全球气候正在发生以变暖为主要特征的显著变化,中国北方半干旱地区气候变暖趋势更为显著^[35-36]。温度、降水等因素的变化对半干旱地区农田土壤水分及风沙运移规律有着重要影响。开展气候变化对半干旱地区农田土壤风蚀的影响规律研究对未来防治农田土壤风蚀沙化具有重要意义。

2)加强作物耗水特征与规律研究是防治风蚀的重要基础。随着半干旱地区气候的暖干化,降水量持续减少,干旱对农业的威胁越来越大^[36]。长时期种植高耗水作物会致使土壤水分下降,也是加剧土壤沙化的一个重要原因。调整种植作物品种,根据耗水规律安排作物品种将是未来的种植方向。

3)走精种高产道路,退还生态条件不好的坡耕地是半干旱地区可持续发展的重要方向。今后的发展方向将是选择那些立地条件好、适合耕种的耕地进行精种,把立地条件差的坡耕地还草还林。这对区域生态环境的改善具有重要作用。

4)加强防沙型农业技术体系集成研究。经过多年的研究,防沙型农业技术发展很快,受到了当地群众的欢迎,得到了当地政府的大面积推广。考虑到当地作物种植的多样性,需要进一步开展多种形式的带状间作与留茬技术体系研究。特别要结合区域农业的发展方向,逐步推行灌草与作物带状间作研究,推进区域生态环境不断改善。进一步加强农田保墒技术与农艺防沙也是防沙型农业技术体系的重要内容。加强防沙型旱地农业技术集成研究,不断提高风蚀沙化的预防与治理能力,是半干旱地区农业可持续发展的根本要求与发展方向。

参 考 文 献

- [1] UNEP. Managing fragile ecosystem: Combating desertification and drought [A]. Agenda 21, Chapter 12. Desertification Control Bulletin, 1993: 122
- [2] 陈渭南, 董光荣, 董治宝. 中国北方土壤风蚀问题研究的进展与趋势[J]. 地球科学进展, 1994, 9(5): 6-12
- [3] 董治宝, 董光荣, 陈广庭. 以北方旱作农田为重点开展我国的土壤风蚀研究[J]. 干旱区资源与环境, 1996, 10(2): 31-37
- [4] 朱朝云, 丁国栋, 杨明远. 风沙物理学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992
- [5] 臧英, 高焕文. 国外农田风蚀发生机理与防治技术的研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 195-198
- [6] 王涛, 朱震达. 中国北方沙漠化的若干问题[J]. 第四纪研究, 2001, 21(1): 56-65
- [7] Chepil W S, Woodruff N P. The Physics of Wind Erosion and Its Control[M]. New York: Academic Press Inc, 1963: 211-302
- [8] Van de Ven T A M, Fryrear D W, Spaan W P. Vegetation characteristics and soil loss by wind[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1989, 44: 347-349
- [9] Wolfe S A, Nickling W G. The protective role of sparse vegetation in wind erosion [J]. Progress in Physical Geography, 1993, 17: 50-68
- [10] Siddoway F H, Chepil W S, Armbrust D V. Effect of kind, amount, and placement of residue on wind erosion control[J]. Transactions of the ASAE, 1965, 8: 327-331
- [11] Gibbens R P, Tromble J M, Hennessy J T. Soil movement in mesquite dunelands and former grasslands of southern New Mexico from 1933 to 1980[J]. Journal of Range Management, 1983, 36: 145-148
- [12] Brazel A J, Nickling W G. Dust storms and their relation to moisture in the Sonoran-Mojave desert region of the South-Western United States [J]. Journal of Environmental Management, 1987, 24: 279-291
- [13] Higgitt D. Soil erosion and soil problems [J]. Progress in Physical Geography, 1993, 17: 461-472
- [14] 范清成, 王飞, 穆兴民, 等. 保护性耕作对土壤风蚀的影响[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(3): 1-5
- [15] 赵举, 郑大玮, 妥德宝, 等. 阴山北麓农牧交错带带状留茬间作轮作防风蚀技术研究[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(2): 5-9
- [16] 妥德宝, 段玉, 赵沛义, 等. 带状留茬间作对防治干旱地区农田风蚀沙化的生态效应[J]. 华北农学报, 2002, 17(4): 63-67
- [17] 郑大玮, 王砚田, 潘学标, 等. 农牧交错带综合治理及生态保护型农业技术体系与模式研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(4): 55-61
- [18] 赵沛义, 妥德宝, 郑大玮, 等. 带状留茬间作减轻旱作农田土壤风蚀的生态效应研究[J]. 中国农学通报, 2007, 23(10): 171-174
- [19] 孙悦超, 麻硕士, 陈智, 等. 保护性耕作农田抗风蚀效应多因素回归分析[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 151-155
- [20] 赵永来, 陈智, 孙悦超, 等. 作物残茬覆盖对农田土壤风蚀的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(1): 84-87
- [21] 康玉梅, 常春平, 王仁德, 等. 农田耕作方式与土壤风蚀强度关系的风洞模拟实验[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(3): 93-98
- [22] 韩亚雄, 赵满全, 陈智, 等. 带状间作留茬地表农田抗风蚀效应试验研究[J]. 农机化研究, 2010(6): 162-164
- [23] 赵永来, 麻硕士, 陈智, 等. 保护性耕作农田对近地表风速阻挡效果分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 33-38
- [24] 陈智, 麻硕士, 范贵生, 等. 麦薯带状间作农地地表土壤抗风蚀效应研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 51-54
- [25] 孙悦超, 麻硕士, 陈智, 等. 植被盖度和残茬高度对保护性耕作农田防风蚀效果的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 156-159
- [26] 赵永来, 陈智, 孙悦超, 等. 作物残茬覆盖农田地表土壤抗风蚀效应试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 38-42, 37
- [27] 王砚田, 妥德宝, 刘国忠, 等. 高耕作种植新技术的研究[J]. 华北农学报, 1998, 13(旱作农业专辑): 1-6
- [28] 海春兴, 刘宝元, 赵焯. 土壤湿度和植被盖度对土壤风蚀的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(8): 1057-1058
- [29] 刘晓光, 郑大玮, 潘志华, 等. 接种根瘤菌和腐殖酸肥处理下的土壤风蚀效应分析[J]. 水土保持学报, 2006, 20(1): 68-71, 90
- [30] 高焕文, 李洪文. 旱地深松试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 1995, 13(4): 126-133
- [31] 孟庆秋, 谢佳贵, 胡会军, 等. 土壤深松对玉米产量及其构成因素的影响[J]. 吉林农业科学, 2000, 25(2): 25-28
- [32] 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[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(1): 10-16
- [33] 臧英, 高焕文, 周建忠. 保护性耕作对农田土壤风蚀影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 56-60
- [34] 杨秀春, 严平, 刘连友. 土壤风蚀研究进展与评述[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 147-153
- [35] 姚玉璧, 肖国举, 王润元, 等. 近 50 年来西北半干旱区气候变化特征[J]. 干旱区地理, 2009, 32(2): 159-165
- [36] 刘亚南, 潘志华, 李超, 等. 近 50 年北方农牧交错带气候月季变化和空间分布规律[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(4): 96-102

责任编辑: 苏燕