

草地资源
与利用

黄土丘陵区基于土壤水分平衡的 草地建设策略

魏永胜¹, 梁宗锁^{1,2}, 武永军¹, 山 仑²

(1. 西北农林科技大学生命科学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘要:通过对黄土丘陵区草地的生态功能与经济功能的分析,认为草地建设是黄土丘陵区生态与经济建设的切入点,而水分是黄土丘陵区生态及经济建设的限制因子,维持黄土丘陵区水分平衡不仅是生态建设及经济发展的关键环节,而且是退耕还林(草)后的农业生产所必需的。并提出黄土丘陵区基于水分平衡的草地建设策略。

关键词:黄土丘陵; 土壤水分平衡; 草地建设

中图分类号: S812.8

文献标识码: A

文章编号: 1001-0629(2006)10-0001-07

黄土高原地区是我国黄河中游与海河上游陕、甘、宁、晋、豫和内蒙古等省(区)间广大地面上沉积有厚层黄土的高地,东起太行山,西至乌鞘岭,南达秦岭,北止阴山,地界 33°43′~41°16′N, 100°54′~114°33′E,面积约 63 万 km²。其中草地面积达 20 47 万 km²,占黄土高原的 32.6%^[1-3]。黄土丘陵区位于这一地区中部,海拔多在 1 000 m 以上,主要由晋西、陕北和陇西盆地组成^[4],地貌类型主要有梁、峁及其派生小地形组成。黄土丘陵区是黄土高原上一个资源性缺水比较严重的半干旱地区,也是黄河流域水土流失最严重的地区,多数地方年侵蚀量超过 5 000 t/km²^[5],部分地区可达 14 000 t/km²^[6]。正是因为黄土高原是我国水土流失最为严重的地区,因此也成为西部大开发中生态环境建设重点实施区域之一。1999 年朱镕基总理视察陕北时提出的“退耕还林(草),封山绿化,个体承包,以粮代赈”措施切中了黄土高原水土流失严重地区的要害问题,也是这一地区实现山川秀美和可持续发展的必由之路^[7,8]。

黄土高原的贫困与水土流失问题是并生的,仅进行水土流失治理,而没有注意到水土流失和治理水土背后的人的需求与行为,忽视当地经济利益,很难达到治理目的^[9]。李凤民等通过对半干旱黄土高原区域生态系统特点及生态系统退化关键驱动力的分析认为,该区地带性植被极度退化,土壤严重恶化,治理难度大,可持续发展受到严重威胁。在不同时期,农民的利益始终是土地

利用格局和生态系统演化、退化的关键驱动力。并认为提高作物产量和经济效益,解决农民的需求是具有可操作性的途径^[10]。因此,在进行生态建设的同时,进行农业结构的调整,开展草地建设,大力发展畜牧业,成为许多学者的共识^[10-12]。但如何在黄土丘陵区正确开展人工草地建设是值得关注的问题。如草种的选择、种植的方式以及人工草地建设的科学依据等问题都没有明确的结论。导致目前人工草地建设中出现了许多不符合科学规律和经济规律的措施,进一步加剧区域生态环境的恶化。如部分地区土壤干层的出现。

基于上述事实,从生态学上最小限制因子理论及植物生理代谢规律出发,开展了“黄土丘陵区基于土壤水分平衡的草地建设”研究。

1 草地在黄土丘陵区生态及经济建设中的重要性

1.1 黄土丘陵区草地的生态功能

我国有近 4 亿 hm² 草地,占国土面积的 40%,占世界草原面积的 13%,作为我国面积最大的土地类型和重要的可更新资源,不仅是畜牧业发展的物质基础,而且对维护生态平衡、保护人类赖以生存的生态

* 收稿日期: 2005-09-24

基金项目: 国家自然科学基金(90302005); 中科院知识创新项目(KZCX01-6)

作者简介: 魏永胜(1970),男,天津人,副教授,在读博士生, E-mail: WYsh70@126.com。

环境、促进国民经济与社会发展起着重要作用。而在黄土高原年平均降水量 550 mm 以下的森林草原地带和草原地带, 草地是地带性的主要植被类型。因此, 草地建设是半干旱黄土丘陵区生态农业建设的重要组成部分^[13]。

大量研究结果表明, 林草植被的水土保持效益明显优于农作物^[14-17]。李凤民等^[10]研究表明人工草地的环境效益明显, 可大幅度减少水土流失, 提高降水利用率。农田的年水土流失 2 308~8 741 t/km², 人工林水土流失 283~481 t/km², 而人工苜蓿 *Medicago sativa* 草地水土流失 0~446 t/km²。其原因是草地与乔灌植物相比, 草本植被与土壤侵蚀关系最大的不是截留量的多少, 而是减少雨滴动能和溅蚀量的多少。由于下落的雨滴在打击地表时把动量传递给了土壤, 产生的分裂力量使土壤颗粒分离飞溅, 在溅蚀过程中, 雨滴动量越高, 撞击分裂力就越大, 被溅出的土粒数量也越多。草本植被由于紧贴地表, 可以有效拦截高速落下的雨滴, 减少雨滴数量、滴溅能量和溅蚀量, 尤其是当降雨强度大时, 这种作用最为明显^[18]。

草地对拦蓄径流和阻止土壤侵蚀的作用与林地基本类同^[9]。在消减径流能量和分散径流的同时, 还增加了地表糙率, 延缓了地表径流的流速和产流时间, 又由于根在生长过程中在土壤中挤出通道, 在其衰老或死亡后收缩留出空隙, 在土壤中产生了较多空隙, 使地表径流能顺着根土接触面和这些通道、空隙渗入土壤, 有助于持续保持土壤的孔隙系统, 加强土壤透水性, 增加了土壤渗透能力和雨水入渗的机会和时间, 减少了地表产流量。因而, 草本植被能够更直接地保护表土不受侵蚀, 具有控制土壤流失的潜能^[18]。赵焕胤等^[20]对内蒙古黄土区林地、牧草地和裸露地径流量 4 年实测资料的对比分析, 得出三者的年径流系数分别是 3.0%, 4.0% 和 18.2%, 说明草地对径流的调控拦蓄作用明显。马三宝^[21]的研究也表明在黄土丘陵区不同草地与裸露地相比, 可使径流量减少 1/2~2/3。

刘国彬等研究表明^[15], 退耕坡地草地植被在自然演替过程中, 土壤抗冲性得到强化。在空间

上, 随着根系发育在土壤剖面垂直方向土壤抗冲性有所增强; 在时间上, 随着植被演替土壤抗冲性逐渐增加。演替 20 年草地抗冲性提高了 10 倍。但人工草地与天然草地强化抗冲性机制不同, 前者靠丰富的根系固结土壤, 后者通过改善土壤结构、创造良好的土体构型实现。群落组成逐渐复杂, 地上、地下部植物生物量逐渐增加, 且地下部生物增加量大于地上部。同时植物毛根具有强大抗拉能力和弹性, 根系缠绕、固结土壤, 通过网络串连作用、根土粘结作用及根系生物化学作用, 改善土体构型。张建军等^[17]以晋西黄土区刺槐林地、油松 *Pinus tabulaeformis* 林地、农地、草地、道路边坡为研究对象, 用野外实地放水冲刷的方法, 以地表径流含沙量为指标, 研究了不同植被条件下土壤的抗冲性。结果表明, 在相同的流量条件下, 油松林地、刺槐林地、草地的土壤抗冲性比较接近, 含沙量为 3.40~4.16 g/L。

草地的水土保持作用还表现在增加土壤入渗量、推迟产流时间及有效截留等方面。白红英等^[22]研究表明, 天然草地基本上不发生径流和土壤流失; 天然草被破坏开垦后, 土壤入渗量减少了 50%~60%, 径流量增加 1 273~3 050 m³/km², 产沙量增加 500~1 700 t/km²。其原因是草被一旦破坏, 雨滴直接打击地表, 细小的颗粒下渗, 很快堵塞了土壤孔隙, 造成雨水下渗受阻, 入渗速度减慢, 产流时间提前。同时, 研究也表明草地的地上部分吸水量占降水量的 15.5%, 天然草地上地形、降雨因子对土壤侵蚀的影响甚微。天然草地入渗速度为开垦后的 1.66 倍, 入渗量是开垦地的 2.5 倍。

草地盖度与其水土保持中的作用有着密切关系。焦菊英等^[23, 24]认为, 流域或区域水土保持减水减沙效益的高低取决于草地的盖度和面积。当植被盖度分别达到 63.4%, 71.1%, 77.3% 和 82.6% 的临界值时, 就可抵御平均十年一遇的暴雨的冲刷。而在降水量 400 mm 左右的条件下, 加之黄土土层深厚, 苜蓿、草木樨 *Melilotus officinalis*、沙打旺 *Astragalus adsurgens*、红豆草 *Onobrychis viciaefolia*、披碱草 *Elymus dahuricus*、老芒麦 *E. sibiricus* 等多年生或二、三年生豆

科,禾本科牧草生长十分旺盛^[25],盖度可达80%以上^[26]。熊运卓等^[27]的统计资料表明,在不同降雨水平年份下,随着草地覆盖度的增加,径流量呈指数下降趋势。

此外,草地在防止水土流失和防风蚀沙化方面起着林地无法替代的作用。在山西平顺、北京门头沟、河北平山等地,由于这些地区土层瘠薄,人工油松林、侧柏 *Platycladus orientalis* 林、刺槐林,在大雨或暴雨条件下,发生明显的水土流失,而保存较好的灌木与草本植被地带则没有水土流失,这是由于草本植物致密而庞大的根系可以固结土壤,防止侵蚀,因其根系直径大都 ≤ 1 mm,而 ≤ 1 mm的根系具有较强大的固结土壤、防止侵蚀的能力^[28]。

因此在黄土丘陵区积极开展草地建设,是保护土壤、恢复生态的一项根本性措施。但由于草地的不合理开发,草地退化或大面积减少,加重了水土流失,而且使区域气候失调、旱灾频繁,农业生产处于徘徊不前的境地^[29]。

如自50年代以来,在自然因素和人为因素的综合作用下,我国草地资源遭受到了空前的破坏,已有90%的草地存在着不同程度的退化,严重退化面积达480万 hm^2 之多^[30],中等程度以上的退化草场达130万 km^2 ,每年退化速度发展为1.3~2.0万 km^2 ,天然草原植被盖度降低到20%~35%,草场生产能力较50年代普遍下降30%~50%,草地群落退化,优良牧草减少,杂草、不可食草类增多,天然草原载畜能力下降了约30%,阻碍了畜牧业的稳定发展。草地生态环境形势十分严峻^[14,30]。此外,由于草地植被的破坏还造成严重的生态灾难,如目前草地“三化”(退化、沙化和盐化)问题日趋严重,而退化是沙化和盐化的前导,形成恶性循环,导致生态平衡大范围破坏,使水土流失加重,沙尘暴频频发生,强度逐年加大。现已证明沙尘暴的产生与干旱半干旱草原区生态环境恶化是密切相关的,如历史上美国和俄罗斯发生黑风暴主要都是因为半干旱草原地区草地植被的破坏造成的^[28]。而这一生态过程是人类活动可干预的,使得草地植被的生态作用显得尤为重要^[31]。

1.2 黄土丘陵区草地的经济功能 草地不仅具有良好的水土保持功能,在干旱及半干旱区也有着重要的经济功能。

人工草地(包含天然草原上的人工草地和农田轮作中的人工草地)建设可显著提高草地生产力,获得高经济效益,天然草原上每建成1%的人工草地,就可以提高天然草原整体生产力的4%,当人工草地面积达到10%时,天然草地生产力将提高1倍^[11]。甘肃农业大学研究得出,在甘肃定西实验区作物的等价产量(即以蛋白质、脂肪、碳水化合物换算的量)为4~6 t/hm^2 左右,而人工种植的首蓿、红豆草则达9~12 t/hm^2 ,而且后者的产量变异系数低,稳定性高,归还率高,有利于养地^[32]。王喜君的分析结果表明,人工种草纯收入为1815.3元/ hm^2 ,如果与粮食作物相比较,扣除种粮725.85元/ hm^2 纯收入的机会成本,则增收72.63元/ hm^2 。退耕还草和因此引起的副业收入的增加,可使人均增收282元,效果非常明显^[33]。李凤民等^[10]认为在半干旱黄土高原区优化产业结构的方面,首蓿具有良好的发展优势,其水热资源利用率、水分利用效率、生产力与农作物(特别是春小麦 *Triticum aestivum*)相比占有显著优势。首蓿粗蛋白含量一般在18%以上,任何其它旱地作物均无法相比,对提高土壤肥力,实现土地的可持续利用意义重大。以紫花首蓿单产5250 kg/hm^2 计,固氮能力每年约180 kg/hm^2 ,大概相当于每公顷增施450余 kg 尿素。同时,从生产力形成来看,人工草地还具有明显的生长优势:草地可以跟随降水情况随时进行自我调节,何时有水何时长,遇到干旱不死亡,充分利用降水资源,适应本地区多变的半干旱环境特点。作物就不同,它要求一定时间内形成籽粒基础(繁殖器官),然后逐渐加强籽粒的形成过程,即生殖生长过程,其中的任何一个环节出问题,全年的产量就要受到严重影响,甚至会出现年内降水总量不低,作物却绝收的局面。梁一民等^[34]研究结果表明,在以45%的入射太阳总辐射为基础计算时,与坡耕地相比,改良草地和人工沙打旺草地的光能利用率和能量产投比均比较高。

1.3 草地建设是黄土丘陵区生态与经济建设的切入点 经济与生态效益是统一在一个整体之中,不可分离。良好的经济效益是建立在优化的生态效益之上的,如只顾一时眼前利用,搞掠夺式、破坏型的经济效益,生态效益很快就会给予相应甚至更大的报复,经济不仅上不去,反会很快猛跌下来。也不能只注重生态建设,而忽视当地经济利益^[35]。如黄土高原水土治理工作进行了几十年,取得了举世瞩目的成绩。但由于在进行生态建设的同时,忽视经济发展。导致边治理边破坏的现象严重,进入黄河的泥沙并未明显减少,一直徘徊在 16 亿 t 左右^[9]。因此,在黄土丘陵区进行生态建设的同时,人们也在寻求发展区域经济,以发展经济来保持生态建设的持久性。

由于草地不仅具有良好的水土保持功能,同时在干旱及半干旱区有着重要的经济功能。使草地建设成为黄土后期生态建设与经济建设的切入点。因此,我国曾在 80 年代初提出了“立草为业,发展草业,草业先行”的科学论断,对我国草地建设起到一定的推动作用^[25,36]。1997 年江泽民总书记提出“再造一个山川秀美的西北地区”的宏伟目标后,全社会进入一个生态建设及西部大开发的热潮。在保护好现有天然草地的同时大力发展人工草地,成为我国西部地区草地产业发展的近期(“十五”期间)目标^[37],其具体指标是使人工草地要在现有基础上增加 40%,到 2005 年达到 1 750 万 hm^2 。

在明确了黄土丘陵区草地建设是该区生态与经济建设的切入点之后。选择何种草、如何种植就成为必须解决的科学和实践问题。而草种和种植方式的选择,则应建立在区域生态与经济建设的限制因素分析及牧草的生理特性研究的基础之上。

2 黄土丘陵区水分与生态及经济建设的关系

2.1 水分是黄土丘陵区生态及经济建设的限制因子 在黄土丘陵区,水分是植物生产的主导因子,对环境而言,降水及土壤贮水的改变会

使环境的全部生态关系发生变化,而对该区的植被来说,水分的变化会明显影响植物生长发育。在该区,水分不仅是主导因子,而且是限制因子。根据布来克曼的最小因子限制律可知,在黄土高原区光、热条件优越、土层深厚条件下,只有水分成为植物生长的限制因子。刘巽浩^[32]认为,在西北干旱半干旱地区,水、肥主要矛盾在不同时期和不同生产力水平下有不同表现,但随着生产力水平的不断提高,水分的限制在该地区将逐渐显现得更为突出。因此,水分不仅制约着黄土高原区植物生物量的大小,而且左右植物的分布格局。许多学者的研究均表明,降水或土壤水均影响着地上部和地下部生物量的积累,也就是说整个群落的生物量大小主要取决于降水量的大小^[38-40]。水分除制约植物的生物量以外,还影响植物在黄土高原的分布格局。如黄土高原半湿润区处于森林地带,而半干旱区为典型草原地带,干旱区则为草原化荒漠地带。

2.2 维持黄土丘陵区水分平衡是生态建设及经济发展的关键环节 从发生学的层次来说,动物生产是以植物生产为依据的;植物生产又是以环境因素为依据的。环境是初始因素。在一定环境的基础上,发生与之相关的植物生产系统,在植物生产系统前提下,发生与之相适应的动物生产系统。但草原生产作为农业生物系统的一部分,受到人为干预,在大多数情况下,或轻或重地违背了这一发生学规律,造成难以估计的恶果,加重了这一生态脆弱地带的生态危机。尽管植物生产系统与动物生产系统之间的相悖群,内容众多,关系复杂。但实质上可以归为三个方面,即系统的时间相悖、系统的空间相悖和系统的种间相悖。其中时间相悖居于主导地位。这是由于植物生产系统与动物生产系统二者的节律相差悬殊所致^[41]。因此,在黄土丘陵区生态与经济建设,畜牧业是建立在草业的基础之上的,而草地建设又是建立在环境基础上的,在这些环境因素中,水又成为最重要的基础,也是最难解决的问题。所以,在黄土丘陵区开展生态与经济建设时,应从水出发,走一条“以水定草,以草定牧”的建设之路。

根据物质循环与再生原理,在黄土高原生态建设及经济发展中应注重物质的归还。水既是资源又是自然环境的主要组成因子,在可持续发展中它兼有资源与环境的双重作用,是国民经济中“资源的资源”。在水资源的使用中应坚持可持续发展的公平与效率原则^[42]。因此,在水分是生产和生态建设限制因子的地区,任何措施都应基于水分条件进行考虑。尽管人们注意到了水分在黄土高原生态中的限制作用,注重提高水分利用系数^[43],但在实际生产及建设过程中,更多地注重矿质养分的循环,而忽视区域水分平衡。因此在过去的实践和研究中过分强调了对水分(尤其是土壤深层水分)的充分利用,而忽视了土壤水分平衡问题,在人工草地建设中选择了根系发达抗旱性强的多年生牧草,并追求高产量,结果造成了对土壤水分的过度利用,导致土壤干层的出现。如20世纪70—80年代,黄土高原地区大面积种植沙打旺,在发展畜牧业、缓解天然植被不足的压力方面发挥了重要的作用。但是,由于未对沙打旺群落的高产及时采取措施加以限制和调节,结果因耗水过多导致土壤干化、群落衰退、产量急剧下降,造成了不良的后果^[44]。李凤民等^[45]曾指出,水分是干旱地区提高第一性生产力的限制因子,在干旱草原区研究草地水分利用和平衡是保证畜牧业发展的重要课题。那么,在西部大开发全面展开的今天,维持黄土丘陵区水分平衡则是生态建设及经济发展的关键环节,是当前迫切需要研究和解决的问题。柴发熹认为无论是还林还是还草,首先要有水分作保障^[46]。

2.3 维持足够的土壤水分对于退耕还林(草)后的农业生产是必需的 根据生物与环境协同进化原理,环境可选择和影响生物,生物也对环境进行着能动适应,反作用于环境,改变的环境又对生物产生生态作用。在生态建设中,关键是在人为干预下使这一相互影响能进入良性循环。因此,从维持区域水分平衡角度出发,选择适宜牧草品种并进行合理组合,在进行生产的同时恢复土壤水分,改善区域水环境是非常有益的。因为,尽管退耕还林(草)是当前西部生态建设的重要措施,然而结合过去生态建设的经验及我国

农村发展的实际情况,在退耕还林草后,旱地农业的重新恢复仍是必需的。国外已开始对储备地上种植小麦、棉花的管理措施进行了研究^[47,48]。尽管这与退耕还林草后的土地有所不同,但这种永久以纯粹的生态环境保护为目标的做法是不现实的,最终还是要进行一定的农业生产,只是管理措施应重新研究、制定。如,1955年黄土高原统计上报耕地为1 081.8万 hm^2 ,按照“根治黄河水害和开发黄河水利的综合规划”,到1967年,退耕陡坡耕地73.34万 hm^2 。可是到1985年不但没有退耕,耕地面积反而增加了410.67万 hm^2 ,达到1 493.07万 hm^2 ,约增加38%^[49]。这表明,只进行保护不进行建设是无法实现生态建设的目的。所以,单纯讲退耕还林(草)是非常消极的做法,它不可能真正达到“再造一个山川秀丽的西部”的目的,而只能是目前的一种应急策略^[50]。因此,要将生态建设作为一个产业来做,那么,对于土壤水的持续性利用就是必须研究的问题。但不管如何,为了退耕还林草后的旱地农业的重新恢复,对维持土壤水分及养分进行研究是非常重要的。这些事实告诉我们,生态建设必须与农村经济发展、产业结构调整相结合,将人工草地纳入轮作体制或当成一种产业来发展。而这些,都是建立在对水分在草地建设中的作用及对牧草抗旱适应性及水分利用特征的科学认识的基础之上。因此,有必要从草地退化中的水分因素分析入手,开展对黄土高原常用牧草的抗旱适应性及水分利用特性进行研究,为黄土丘陵区草地建设提供科学的依据。

3 基于水分平衡的草地建设策略

从上述分析可知,在黄土丘陵区生态与经济建设,草地有着举足轻重的地位。而当我国草地退化严重,普遍认为草地退化原因主要是超载过牧。因此,基于这一认识制定的退化草地治理及退牧还草工作的一个基本原则就是“以草定畜”。如我国于2003年启动实施退牧还草工程的总体思路是:进一步完善草原家庭承包责任制,把草场生产经营、保护与建设的责任落实到户。按照以草定畜的要求,严格控制载畜量。实行草场围栏封育,禁牧、休牧、划区轮牧,适当建设人工草

地和饲草料基地,大力推行舍饲圈养。优化畜草产业结构,恢复草原植被,实现畜牧业的可持续发展,确保农牧民的长远生计。其核心就是“以草定畜,实现畜牧业的可持续发展”。但在黄土丘陵区,决定草地生产力主要是水、肥 2 个因素,而对我国现有草地来说施肥是可以人工控制的,而水分则难以实现草地灌溉。因此,在水分是生产和生态建设限制因子的地区,任何措施都应基于水分条件进行考虑。草地建设更应如此,必须走“以水定草,以草定畜”路线,根据区域水分平衡原则来确定种植的种类、密度及所要求的产量,再定载畜量。这也就要求,在牧草引种育种上强调“节水型”牧草的研究,引进或培育“水分利用高效率、低耗水”的牧草。维持区域土壤水平衡,以达到农牧业的可持续发展。

参考文献:

- [1] 朱显谟. 试论黄土高原的生态环境与“土壤水库”——重塑黄土地的理论依据[J]. 第四纪研究, 2000, 20(6): 514-520
- [2] 杨文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [3] 程积民. 黄土高原草地资源与建设[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1993
- [4] 山仑, 邓西平, 康绍忠. 我国半干旱地区农业用水现状及发展方向[J]. 水利学报, 2002, (9): 29-33
- [5] 彭祥林, 贾恒义, 穆兴民, 等. 黄土高原草地土壤生态[M]. 西安: 世界图书出版公司, 1997.
- [6] 卢宗凡, 张兴昌, 苏敏, 等. 黄土高原人工草地的土壤水分动态及水土保持效益研究[J]. 干旱区资源与环境, 1995, (1): 40-49
- [7] 杨荣金, 傅伯杰, 刘国华, 等. 黄土丘陵沟壑区生态环境建设中的水问题——以延河流域为例[J]. 环境科学, 2004, 25(2): 37-42
- [8] 山仑. 怎样实现退耕还林还草[J]. 林业科学, 2000, 36(5): 5-7.
- [9] 周德翼, 杨海娟. 论黄土高原治理的激励机制[J]. 生态经济, 2001, 109(12): 23-26
- [10] 李凤民, 徐进章, 孙国钧. 半干旱黄土高原退化生态系统的修复与生态农业发展[J]. 生态学报, 2003, 23(9): 1901-1909
- [11] 任继周. 西北地区建立草地农业系统时机已成熟[N]. 中国绿色时报, 2002-10-08. 第7版.
- [12] 石元春. 走出治沙与退耕误区[N]. 科技日报, 2002-02-25. 第8版.
- [13] 李代琼, 梁一民, 刘国彬, 等. 半干旱黄土丘陵区多元化草地建设技术研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23(7): 1258-1265
- [14] 何京丽. 北方典型草原水土保持生态修复技术[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 299-301.
- [15] 刘国彬. 黄土高原草地土壤抗冲性及其机理研究[J]. 水土保持学报, 1998, 4(1): 94-97.
- [16] ZHANG Yan, LIU Bao yuan, ZHANG Qing chun, et al. Effect of different vegetation types on soil erosion by water [J]. Acta Botanica Sinica, 2003, 45(10): 72-77.
- [17] 张建军, 张宝颖, 毕华兴, 等. 黄土区不同植被条件下的土壤抗冲性[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(6): 29-33
- [18] 李勉, 姚文艺, 李占斌. 黄土高原草本植被水土保持作用研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, (1): 75-81
- [19] 唐克丽. 黄河流域的侵蚀与径流泥沙变化[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 114-117
- [20] 赵焕胤, 朱劲伟, 王维华. 林带和牧草地径流的研究[J]. 水土保持学报, 1994, 8(2): 56-61.
- [21] 马三宝, 郑妍, 马彦喜. 黄土丘陵区水土流失特征与还林还草措施研究[J]. 水土保持研究, 2002, 9(3): 55-57
- [22] 白红英, 唐克丽, 张科利, 等. 草地开垦人为加速侵蚀的人工降雨试验研究[J]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, 1993, 17: 87-93
- [23] 焦菊英, 王万忠, 李靖. 黄土高原林草水土保持有效盖度分析[J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 608-612
- [24] 焦菊英, 王万忠. 人工草地在黄土高原水土保持中的减水减沙效益与有效盖度[J]. 草地学报, 2001, 9(3): 176-182
- [25] 邹厚远, 关秀琦, 韩蕊莲, 等. 关于黄土高原植物恢复的生态学依据探讨[J]. 水土保持学报, 1995, 9(4): 1-4
- [26] 汪有科, 刘宝元, 焦菊英, 等. 恢复黄土高原林草植被及盖度的前景[J]. 水土保持通报, 1992, 12(2): 55-60
- [27] 熊运阜, 王宏兴, 白志刚, 等. 梯田、林地、草地减水减沙效益指标初探[J]. 中国水土保持, 1996, (8):

- 10 14.
- [28] 陈佐忠. 森林·草地·沙尘暴[J]. 草业科学, 2005, 22(1): 23-25
- [29] 许小梅. 陇东黄土高原半干旱区生态环境现状与治理对策[J]. 甘肃农业科技, 2005, (1): 19-21
- [30] 张智山, 刘天明. 我国草原资源可持续发展的限制因素与对策[J]. 中国草地, 2001, 23(5): 62-67
- [31] 陈佐忠. 沙尘暴的发生与草地生态治理[J]. 中国草地, 2001, 23(3): 73-74
- [32] 刘翼浩. 对我国西北半干旱地区农业若干规律性问题的探讨[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(1): 1-8
- [33] 王喜君. 对退耕还草与生态经济型小流域建设问题的探讨[J]. 草业科学, 2004, 21(8): 59-62
- [34] 梁一民, 李代琼, 刘国彬, 等. 黄土丘陵区提高草地生态经济效益的途径[J]. 水土保持研究, 1996, 3(2): 111-115
- [35] 李正民, 舒惠玲, 樊水根, 等. 红壤岗地上种草经济与生态效益研究[J]. 四川草原, 1996, (4): 9-14
- [36] 张玉发, 王庆锁, 苏加楷. 试论中国苜蓿产业化[J]. 中国草地, 2000, (1): 64-69
- [37] 孟有达, 刘天明. 西部开发中草地产业的发展[J]. 中国草地, 2000, (6): 63-67
- [38] 陈佐忠. 锡林河流域地形与气候概况[A]. 草原生态系统研究[M]. 第3集. 北京: 科学出版社, 1988: 12-22
- [39] 陈有君, 李立民, 李给良, 等. 大针茅草原生物量动态与土壤贮水量关系模型[J]. 内蒙古农牧学院学报, 1993, 14(4): 1-6
- [40] 杨特, 李永宏, 燕玲. 羊草草原主要种群地上生物量与水热条件定量关系初探[A]. 草原生态系统研究[M]. 第1集. 北京: 科学出版社, 1985: 24-37
- [41] 任继周, 朱兴运. 中国河西走廊草地农业的基本格局和它的系统相悖——草原退化的机理初探[J]. 草业学报, 1995, 4(1): 69-80
- [42] 李雪松. 论水资源可持续利用的公平与效率[J]. 生态经济, 2001, 109(12): 13-19
- [43] 马志广, 陈敏. 草地改良理论、方法与趋势[J]. 中国草地, 1994, (4): 63-66
- [44] 杨维西. 试论我国北方地区人工植被的土壤干化问题[J]. 林业科学, 1996, 32(1): 78-85
- [45] 李凤民, 张振万. 宁夏盐池长芒草草原和苜蓿人工草地水分利用研究[J]. 植物生态学与草地植物学学报, 1991, 15(4): 319-329
- [46] 柴发熹. 退耕后的还林和还草[J]. 草业科学, 2001, 18(4): 36-38
- [47] Paul W. Unger Conversion of Conservation Reserve Program (CRP) Grassland for Dryland Crops in a Semiarid Region[J]. Agronomy Journal, 1999, 91(5): 753-760
- [48] Thanh H Dao, James H Stiegler, Banks J C, et al. Post Contract Grassland Management and Winter Wheat Production on Former CRP Fields in the Southern Great Plains[J]. Agronomy Journal, 2000, 92(6): 1109-1117
- [49] 周佩华. 略述黄土高原水土保持的减沙效益问题[J]. 水土保持通报, 1991, 11(2): 1-3
- [50] 张文松, 郝宏兰, 李曙光, 等. 西部生态环境开发与我国经济的可持续发展[J]. 中国软科学, 2000, 120(12): 13-18

Strategy of soil moisture budget based pasture establishment in Loess Plateau

WEI Yong-Sheng¹, LIANG Zong-Suo^{1,2}, WU Yong-Jun¹, SHAN Lun²

(1. College of Life Science, Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shanxi 712100; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science, Yangling, Shanxi 712100)

Abstract: The ecological and economical functions of pasture in loess plateau were analyzed. Pasture establishment was considered as a key step in ecological and economical construction in this area. On the other hand, water was the limiting factor and crucial for ecological and economical construction, and necessary for agricultural production after conversing cropland to forest and pasture. The strategy for pasture establishment based on soil moisture balance was also presented.

Key words: Loess Plateau; soil moisture budget; pasture establishment