

模拟降雨条件下豫西南山区农地径流污染物变化规律

王国重¹, 李中原², 屈建钢³, 徐建昭³, 闫东锋⁴

(1. 黄河水文水资源科学研究院, 郑州 450004; 2. 河南省水文水资源局, 郑州 450002;
3. 河南省水土保持监督监测总站, 郑州 450008; 4. 河南农业大学 林学院, 郑州 450002)

摘要:坡耕地和梯田是丹江口水库水源区常见的农地类型,为了减少养分和水土流失、改进农作措施,采用人工模拟降雨方法,研究了不同雨强下这两种用地径流中养分变化规律。结果表明:(1)两种土壤径流中TN,TP,COD随降雨时间均呈波状变化,不同雨强下梯田径流中TN的含量为:3.36 mg/L(0.5 mm/min时),5.18 mg/L(2.5 mm/min时),4.27 mg/L(3.0 mm/min时),坡耕地中相应为2.66 mg/L,4.56 mg/L,4.18 mg/L;不同雨强下梯田径流中TP的含量为:0.81 mg/L(0.5 mm/min时),0.92 mg/L(2.0 mm/min时),1.56 mg/L(2.5 mm/min时),2.53 mg/L(3.0 mm/min时),坡耕地中的值依次为0.59 mg/L,1.03 mg/L,0.62 mg/L,2.04 mg/L。说明梯田中TN,TP的含量要高于坡耕地。(2)不同雨强下梯田径流中COD含量为:303.56 mg/L(1.0 mm/min时),685.16 mg/L(2.0 mm/min时),617.66 mg/L(3.0 mm/min时),坡耕地中则为419.63 mg/L,644.62 mg/L,721.17 mg/L,研究表明坡耕地更易发生有机质的流失。因此,对坡耕地进行梯田化治理可减少养分和水土流失、提高作物产量。

关键词:人工降雨;径流;农地;养分;雨强

中图分类号:X14

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)04-0311-04

Under Artificial Rainfall the Changing Law of Pollutants in Runoff in Farmland in Southwest Mountains of Henan Province

WANG Guozhong¹, LI Zhongyuan², QU Jiangang³, XU Jianzhao³, YAN Dongfeng⁴

(1. Hydrology and water resources of Yellow River scientific research institute, Zhengzhou 450004, China; 2. Hydrology and water resources bureau in He'nan Province, Zhengzhou 450003, China;

3. Soil and water conservation supervision and inspection station in He'nan Province, Zhengzhou 450008, China;

4. Forestry college of Henan agricultural university, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Slope cropland and terrace are common land use types in Danjiangkou reservoir catchment areas and indoor artificial rainfall simulation methods are employed to study nutrients' changing law of the two soils under different rainfall intensities, so as to prevent nutrients, soil and water erosion, improving farming practices. The results are as follows: (1) the nutrients of TN, TP and COD all have wavyly changed in the two kind soils runoff with rainfall time, the TN content are respectively 3.36 mg/L (0.5 mm/min), 5.18 mg/L (2.5 mm/min), 4.27 mg/L (3.0 mm/min) in terrace in different rainfall intensity and the relevant values in hilly land are 2.66 mg/L, 4.56 mg/L, 4.18 mg/L; the TP content are respectively 0.81 mg/L (0.5 mm/min), 0.92 mg/L (2.0 mm/min), 1.56 mg/L (2.5 mm/min), 2.53 mg/L (3.0 mm/min) in terrace in different rainfall intensity and the relevant values in hilly land are 0.59 mg/L, 1.03 mg/L, 0.62 mg/L, 2.04 mg/L, which shows TN and TP content in terrace are higher than the one in hilly land. (2) the COD content are respectively 303.56 mg/L (1.0 mm/min), 685.16 mg/L (2.0 mm/min), 617.66 mg/L (3.0 mm/min) in terrace in different rainfall intensity and the relevant values in hilly land are 419.63 mg/L, 644.62 mg/L, 721.17 mg/L, which indicates it's more likely to happen the loss of organic matter in hilly land. Therefore, terrance engineering to hilly land can reduce nutrients loss, water and soil erosion, increase crop yield.

Keywords: artificial rainfall; runoff; farmland; nutrient; rainfall intensity

研究表明土壤养分流失是水体污染的根源所在^[1]。降雨是引发地表产流、导致土壤养分流失、农业面源污染的主要条件^[2]。农田中的养分流失,不仅影响作物产量,而且使地表水质恶化,影响水资源的可持续利用,进而还会带来一系列的社会问题^[3-6]。农田养分流失主要表现为随径流的流失^[7],目前的研究主要在降雨对某种类型土壤中养分流失的影响、比较不同措施下养分流失特征、雨强和土地利用对特定区域水土流失的影响^[8-10],而将降雨与土地利用方式相结合研究土壤中养分流失或者面源污染的报道就比较少。

丹江口水库水源区是国家级水土流失重点预防区,坡耕地和梯田是该区常见的农地利用类型,由于降雨和人为活动影响,再加上该区地形起伏多变,必然会产生水土流失,流失的土壤中携带有化肥、农药、杀虫剂残留物等污染物,必然会产生严重的面源污染,直接影响丹江口水库水质^[11-12]。人工降雨模拟方法是小尺度土地利用方式下土壤侵蚀研究的常用手段,可以检验天然降雨条件下得出的研究结论,也可以弥补自然降雨短期历时内无法获取研究结果的不足^[13-16]。

本文以河南南阳丹江口水库水源区常见的坡耕地和梯田土壤作为研究对象,使用中国科学研究院水土保持研究所的室内人工模拟降雨设备,研究不同降雨强度下这两种土壤中污染物的输移规律,对该区域的土地利用规划、面源污染防治、水土保持和确保丹江口水库水质都意义重大。

1 研究区概况

研究区位于河南省南阳市西部,涉及西峡、淅川、内乡、邓州4个市(县),属于丹江口水库水源区。北边为海拔1 000 m以上的中山区,山高坡陡;南边为丹江口水库库区及环库丘陵垄岗区,地形破碎;中间属浅山区,沟壑纵横,地形十分复杂。该区域属亚热带季风型大陆性气候,多年平均降雨量为820 mm,降水年内分配不均,60%以上集中于汛期,暴雨集中,强度大,历时短,入渗有限,使得地表径流量较大,再加上山岭起伏,沟壑交错,使得产生水土流失严重。20世纪八十年代以来,该区域以坡改梯、经济林草和坡面蓄排水工程为重点,开展山、水、田、林、路的综合治理,使水土流失得到了一定的控制。

2 材料与方法

2.1 试验装置与材料

本试验装置由人工降雨模拟装置系统、试验土槽、径流泥沙采样系统、径流量测系统等几个部分组成。人工降雨装置由厚度2 mm的钢板制作,装置保

持5°倾斜、总高度为1.6 m。孔径均匀的布水器设在装置的最上方(距地面1.6 m处),用转子流量计来控制雨强。土槽尺寸70×40×20 cm。径流出口尺寸为30 cm×3 cm×3 cm,径流出口处用水盆接流。

降雨强度依次设为0.5,1.0,1.5,2.0,2.5,3.0 mm/min。供试土壤采自研究区的梯田和坡耕地,容重1.2~1.3 g/cm³,总孔隙度:梯田土壤为28.3%~36.6%、坡耕地为25.2%~35.4%。采集方法:分别选择代表性样地,采集耕层(0—20 cm)的土壤,不过筛,保持原状运回实验室。由土壤容重和土槽的容积来计算土壤填充量,每填充2.5 cm,压实一次。在填充上层土料之前,疏松下层土壤表面,以防土层之间出现分层。

2.2 试验过程

人工降雨试验于2012年4月至8月在中国科学院水土保持研究所进行,填装好一种土壤后,设置雨强为某个值,启动模拟降雨装置,等产流时开始计时,每10 min取一次水样和土样。径流流入接盆中后,静置10分钟,取出500 ml、过滤,烘干称量后的土壤值为悬浮泥沙量,盆中剩余的土壤量为推移泥沙量,收集后烘干称重。100分钟后,停止降雨,挖出土壤,装入另一种土壤,在同一雨强下,继续降雨试验。试验过的土壤,置于容器中,自然风干,等待下一个雨强使用。依次测定这2种土壤在不同雨强下的产流产沙规律。

2.3 污染物指标与测试方法

径流中的养分指标包括总氮、总磷、COD,其测定方法:总氮(TN)用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法,总磷(TP)采用钼酸铵分光光度法,COD(化学耗氧量)则用快速消解分光光度法。

3 结果与分析

TN的测试选用了3种雨强:0.5,2.5,3.0 mm/min,TP的采用了4种雨强:0.5,2.0,2.5,3.0 mm/min,COD则是通过3种雨强来研究的:1.0,2.0,3.0 mm/min。

3.1 坡耕地土壤降雨试验结果与分析

土壤中的养分随降雨径流迁移是一个复杂的过程^[17]。降雨初期,雨滴的击溅使表层土壤中的溶质与雨水混合,当下渗能力大于雨强时,雨水就会渗入土壤,部分溶质也会随之向下移动,随着降雨的持续,土壤表层的含水率逐渐增大,土壤的入渗率逐渐减弱,小于等于雨强时,地表开始积水,而后产生径流和土壤侵蚀,养分就随之流失,所以,农田土壤中养分的流失是降雨、入渗、径流和土壤相互作用的过程^[18]。研究区坡耕地土壤中的养分随径流的流失规律见图1。

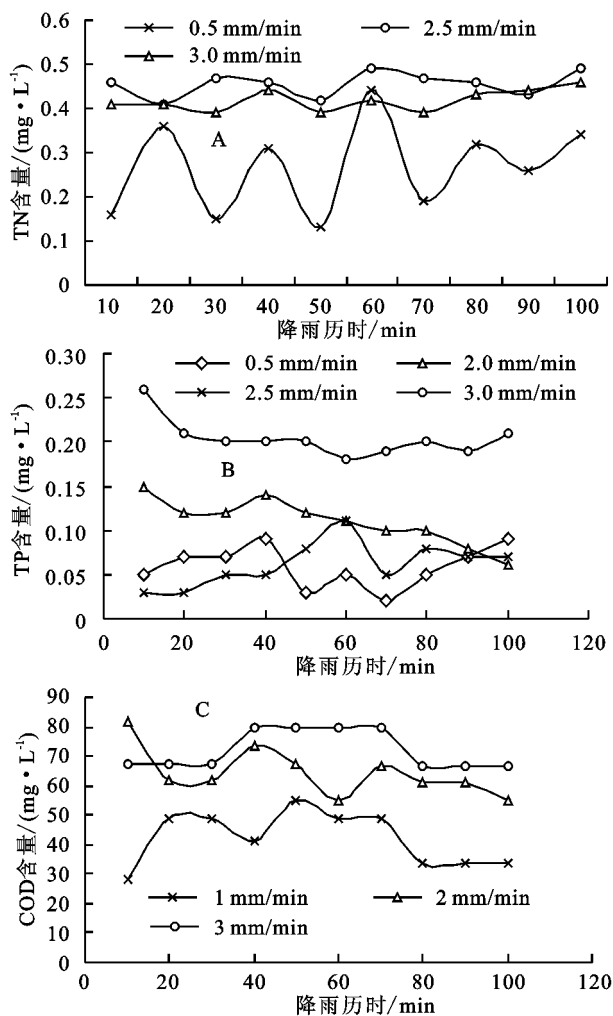


图1 坡耕地土壤径流中各污染物含量随雨强和历时的变化

梁慧敏^[19]认为地表径流中养分含量在产流初期较高,随着降雨的持续逐渐呈下降趋势,图1中则是随降雨历时逐渐趋于稳定。图1A中,坡耕地土壤中总氮随径流变化规律为:雨强较小时,TN随降雨历时呈波状变化,雨强较大时,这种波状变化趋势有所减小。这主要是产流初期,在雨滴溅蚀、径流冲刷、溶质紊动扩散作用下,土壤表层溶质与雨水混合,使得径流中总氮的浓度不断增大,随着产流时间的持续,达到某个峰值后其含量又会出现衰减。因为持续的产流使得坡面的侵蚀状况由溅蚀演变成薄层水流的冲刷,虽然对土壤表层的扰动面积变大,由点状变成了面状,但是其扰动强度则出现减弱,就使得土壤溶液中的溶质进入径流的能力降低,所以径流中养分的含量呈现出先增大后减小的趋势。此外,雨强在2.5 mm/min时TN的累积含量和每10 min的平均含量都最大,并不是在3.0 mm/min时最大,由于地表耕层土壤中溶解态氮含量一定,随着雨强增大到一定范围,径流水量的显著增加使总氮浓度反而减小了。

梁裴裴^[18]等发现颗粒态磷是径流中磷元素的主要存在形态,在雨强较大时尤为明显,图1B中可见一

斑。雨强从0.5 mm/min增加到2.0 mm/min时,径流中TP的含量也在增加,但当雨强达到2.5 mm/min时,TP的含量却有所下降,这是因为土壤中的磷元素除很少一部分处于溶解状态,基本上被土壤吸附^[20-21],当雨强还不足以破坏土壤结构时,溶解态的磷随径流而迁移,被土壤吸附的磷还不会被大量释放出来。雨强达到3.0 mm/min时,TP的含量与其他雨强略有不同,先减小后趋于平稳,径流中TP含量也远远高于其他雨强,这可能是由于高雨强下雨滴对表层土壤的扰动,使表层土壤中吸附的磷元素逐渐减少所致。

COD随降雨时间的变化也近似呈波浪状,雨强越大其累积值和每10 min的平均值也越大,说明坡耕地土壤中有有机物含量较为丰富,雨强越大,雨滴对土壤表面的溅蚀作用也越大,随着降雨的持续径流中的有机物含量不断增加,详见图1C所示。

3.2 梯田土壤降雨试验结果与分析

梯田作为农用地类型的一种,在研究区大量存在,其在不同雨强下随径流的流失情况见图2。

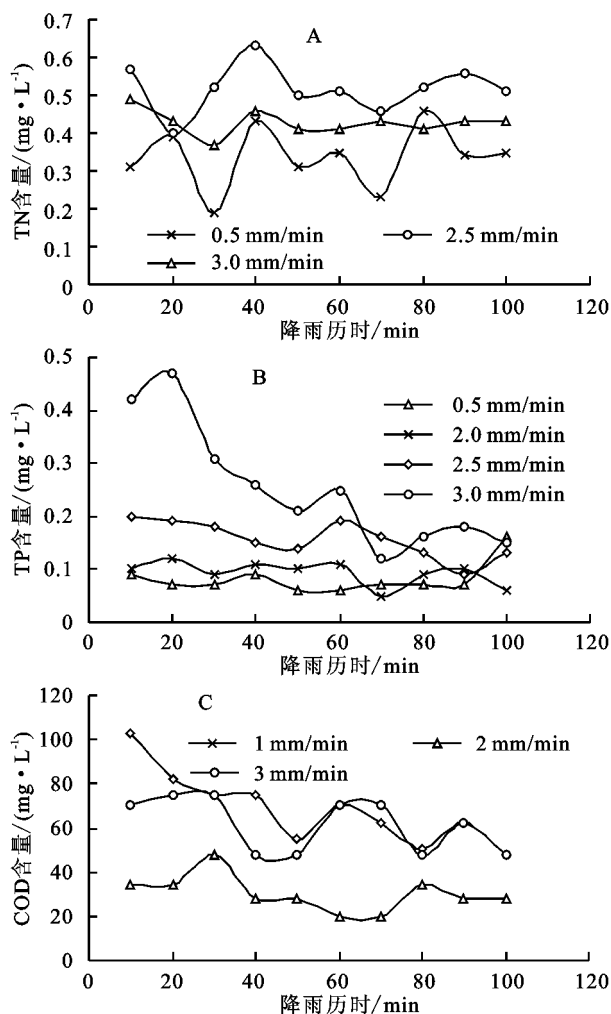


图2 梯田土壤径流中各污染物随雨强和历时的变化

张展羽等^[22]研究了红壤区梯田果园地表径流中的养分流失,认为养分流失主要集中在产流初期,后

期逐渐趋于稳定,图2B和C中这种趋势比较明显。图2A中,梯田土壤径流中TN随降雨时间呈波状变化,雨强在2.5 mm/min时TN的累积含量和每10 min的平均值都最大,3.0 mm/min时次之,0.5 mm/min时最小,这可能是由于坡面水流水层较薄、受雨滴打击影响较大,因而流态较为复杂。径流中TP的含量也呈现波状变化,随着雨强的增加径流中TP的含量也随之增加,雨强为3.0 mm/min时,梯田中TP的累积量和每10 min平均含量都高于其他雨强,这可能是由于雨强的增加使部分土壤颗粒的结构遭到破坏,其中的磷元素被释放到径流中,随着时间的推移,其含量又随之减小,详见图2B。梯田中COD的波状变化规律较坡耕地更为明显,从图2C可见,雨强为2.0 mm/min时,径流中COD的含量最高,这是由于有机质主要是被土壤中的细颗粒所吸附^[23],需要更大的雨强才能破坏其结构。

3.3 坡耕地、梯田径流污染物流失特征比较

比较图1—2,不难发现:(1)两种土壤径流中TN含量的变化规律大致相同,都随降雨历时呈波状变化,都在2.5 mm/min时径流中TN的含量最大,3.0 mm/min时次之,0.5 mm/min时最小;相同降雨时间条件下,梯田土壤中的TN含量要高于坡耕地。(2)相同雨强下,这两种土壤径流中的TP含量都随着降雨时间波状变化,梯田中雨强越大,这种波状变化会不断衰减,而坡耕地中则是趋于稳定;梯田径流中TP的含量随雨强的增加而增加,而坡耕地中雨强达到2.5 mm/min时TP的含量却有所下降;梯田径流中的TP含量总体上要高于坡耕地。(3)坡耕地土壤径流中COD的含量随雨强的增加而增加,而梯田中雨强在2.0 mm/min时,其径流中COD的含量最高;雨强越大,梯田径流中COD含量随着降雨的持续呈不断衰减的波状变化,而坡耕地则是在衰减中最终趋于稳定;坡耕地径流中的COD含量要高于梯田。

4 结论

(1)不同雨强下径流中TN的累积量,梯田中依次为:3.36 mg/L(0.5 mm/min时),5.18 mg/L(2.5 mm/min时),4.27 mg/L(3.0 mm/min时),坡耕地中相应的值依次为2.66 mg/L,4.56 mg/L,4.18 mg/L;不同雨强下径流中TP的累积量,梯田中依次为:0.81 mg/L(0.5 mm/min时),0.92 mg/L(2.0 mm/min时),1.56 mg/L(2.5 mm/min时),2.53 mg/L(3.0 mm/min时),坡耕地中相应的值依次为0.59,1.03,0.62,2.04 mg/L。作为一种水土保持措施能够保持水土和养分流失,这使得其土壤中TN,TP的

含量要高于坡耕地。

(2)COD含量反映了土壤中有机质的多寡,有机质往往被土壤中的细颗粒所吸附,土壤结构遭到破坏后,有机质就会随径流而流失。不同雨强下径流中COD的累积量,梯田中依次为:303.56 mg/L(1.0 mm/min时),685.16 mg/L(2.0 mm/min时),617.66 mg/L(3.0 mm/min时),坡耕地中相应的值依次为419.63 mg/L,644.62 mg/L,721.17 mg/L。由此可知,坡耕地更易发生有机质的流失。

(3)通过上面的分析和比较,可以发现:梯田是治理坡耕地水土流失的有效措施,应按照因地制宜的原则,对研究区的坡耕地进行梯田化治理,以减少养分和水土流失。

参考文献:

- [1] Walther G R, Post E, Convey P, et al. Ecological responses to recent climate change [J]. *Nature*, 2002, 416: 389-395.
- [2] 孟红旗,赵同谦.降雨侵蚀力对河岸滩区耕地土壤养分流失的影响[J]. *水土保持通报*, 2009, 29(1): 28-31.
- [3] 徐红灯,王京刚,席北斗,等.降雨径流时农田沟渠水体中氮、磷迁移转化规律研究[J]. *环境污染与防治*, 2007, 29(1): 18-21.
- [4] Ventura M, Scandellari F, Ventura F, et al. Nitrogen balance and losses through drainage waters in an agricultural watershed of the Po Valley (Italy) [J]. *European Journal of Agronomy*, 2008, 29(2): 108-115.
- [5] Olarewaju O E, Adetunji M T, Adeofun C O, et al. Nitrate and phosphorus loss from agricultural land: Implications for nonpoint pollution [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2009, 85(1): 79-85.
- [6] 焦金平,王少丽,许迪,等.次暴雨下作物植被类型对农田氮磷径流流失的影响[J]. *水利学报*, 2009, 40(3): 296-302.
- [7] 李俊波,华璐,冯琰.坡地土壤养分流失研究概况[J]. *土壤通报*, 2005, 36(5): 753-759.
- [8] 李广,黄高宝.雨强和土地利用方式对黄土丘陵区水土流失的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(11): 85-90.
- [9] 向速林.赣江流域农田地表径流氮磷迁移与流失研究[J]. *生态环境学报*, 2013, 22(7): 1204-1207.
- [10] 黄河仙,谢小立,王凯荣,等.不同覆被下红壤坡地地表径流及其养分流失特征[J]. *生态环境学报*, 2008, 17(4): 1645-1649.
- [11] 白丹,王玮,孙健,等.南水北调中线水源区水土保持生态建设探析[J]. *西北大学学报:自然科学版*, 2010, 40(2): 348-350.
- [12] 尹炜,史志华,雷阿林.丹江口水库水环境问题分析研究[J]. *人民长江*, 2011, 42(13): 90-94.
- [13] 高杨,宋付朋,马富亮,等.模拟降雨条件下3种类型土壤氮磷钾养分流失量的比较[J]. *水土保持学报*, 2011, (2): 15-18.

- tion[J]. Journal Of Geophysical Research: Biogeosciences, 2013,118(1):248-264.
- [24] 徐宗焕,曹春荣,方柏州,等. 福建滨海湿地生态气象监测方法及指标体系研究[J]. 中国农学通报,2010,26(17):292-297.
- [25] Hutchinson M G. A new objective method for spatial interpolation of meteorological variables from irregular networks applied to the estimation of monthly mean solar radiation, temperature, precipitation and windrum [J]. Canberra, Australia:CSIRO, Division of Water Resources, 1989,89(5):95-104.
- [26] Prihodko L, Goward S N. Estimation of air temperature from remotely sensed surface observations [J]. Remote Sensing of Environment, 1997,60(3):335-346.
- [27] Rolland C. Spatial and seasonal variations of air temperature lapse rates in Alpine regions[J]. Journal of Climate, 2003,16(7):125-130.
- [28] 穆少杰,李建龙,周伟,等. 2001—2010 年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系[J]. 生态学报,2013,33(12):3752-3764.
- [29] Mohamed M A A, Babiker I S, Chen Z M, et al. The role of climate variability in the inter-annual variation of terrestrial net primary production(NPP)[J]. Science of the Total Environment, 2004,332(1/3):123-137.
- [30] 吴国伟,赵艳玲,付艳华,等. 复垦矿区土地利用类型变化对植被碳储量的影响[J]. 中国生态农业学报,2015,23(11):1437-1444.
- [31] 孙成明,孙政国,刘涛,等. 基于 MODIS 的中国草地 NPP 综合估算模型生态学报[J]. 生态学报,2015,35(4):1079-1085.
- [32] 张淑杰,张玉书,陈鹏狮,等. 东北三省湿润指数及其干湿界线的变化特征[J]. 2011,29(5):226-232.
- [33] 陈福军,沈彦俊,李倩,等. 中国陆地生态系统近 30 年 NPP 时空变化研究[J]. 地理科学,2011,31(11):1409-1414.
- [34] 毛德华,王宗明,韩信兴,等. 1982—2010 年中国东北三省植被 NPP 时空格局及驱动因子分析[J]. 地理科学,2012,32(9):1106-1111.
- [35] 国志兴,王宗明,张柏,等. 2000—2006 年东北三省植被 NPP 的时空特征及影响因素分析[J]. 资源科学,2008,30(8):1226-1235.
- [36] 李永华,高阳华,韩逢庆,等. 重庆地区年气温与降水量变化特征及对 NPP 的影响[J]. 应用气象学报,2007,18(1):73-79.
- [37] 刘海江,尹思阳,孙聪,等. 2000—2010 年锡林郭勒草原 NPP 时空变化及其气候响应[J]. 草业科学,2015,32(11):1709-1720.
- [38] 魏靖琼,柳小妮,任正超,等. 区域尺度下气候因子的插值优化及其与草地 NPP 的相关性[J]. 草业科学,2012,29(12):1842-2012.
- [39] Wang S Q, Zhou L, Chen J M, et al. Relationships between net primary productivity and stand age for several forest types and their influence on China's carbon balance [J]. Journal of Environmental Management, 2011,92(6):1651-11662.
- [40] 刘洛,徐新良,刘纪远,等. 1990—2010 年中国耕地变化对粮食生产潜力的影响[J]. 地理学报,2014,69(12):1767-1778.
- [41] 王轶虹,王美艳,史学正,等. 2010 年中国农作物净初级生产力及其空间分布格局[J]. 生态学报,2016,36(19):1-11.

~~~~~

(上接第 314 页)

- [14] 王洁,胡少伟,周跃. 人工模拟降雨装置在水土保持方面的应用[J]. 水土保持研究,2005,12(4):188-190,194.
- [15] 李广,黄高宝. 模拟降雨与水土流失试验研究[J]. 农业系统科学与综合研究,2008,24(4):443-445.
- [16] 史银志,雷晓. 基于人工模拟降雨的土壤侵蚀特性试验研究[J]. 石河子大学学报,2008,26(4):487-490.
- [17] 王辉,王全九,邵明安. 人工降雨条件下黄土坡面养分随径流迁移试验[J]. 农业工程学报,2006,22(6):39-44.
- [18] 梁斐斐,蒋先军,袁俊吉,等. 降雨强度对三峡库区坡耕地土壤氮、磷流失主要形态的影响[J]. 水土保持学报,2012,26(4):81-85.
- [19] 苏慧敏. 不同水土保持措施下土壤养分流失的研究[D]. 重庆:西南大学,2012.
- [20] 王晓燕,王一岫,王晓峰. 密云水库小流域土地利用方式与氮磷流失规律[J]. 环境科学研究,2003,16(1):30-36.
- [21] 杨胜天,程红光,步青松,等. 全国土壤侵蚀量估算及其在吸附态氮磷流失量匡算中的应用[J]. 环境科学学报,2006,26(3):366-374.
- [22] 张展羽,张卫,杨洁,等. 不同尺度下梯田果园地表径流养分流失特征分析[J]. 农业工程学报,2012,28(11):105-108.
- [23] 梁爱珍,张晓平,杨学明,等. 土壤细颗粒对有机质的保护能力研究[J]. 土壤通报,2005,36(5):748-752.