

# 不同土地利用方式下片麻岩坡面养分流失规律的研究

张佳琪<sup>1</sup>, 王 红<sup>2,3,4</sup>, 张瑞芳<sup>2,3,4</sup>, 朱子龙<sup>1</sup>, 周大迈<sup>2,3,4</sup>

(1. 河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071000; 2. 河北农业大学 河北省山区研究所, 河北 保定 071000;  
3. 国家北方山区农业工程技术研究中心, 河北 保定 071001; 4. 河北省山区农业工程技术研究中心, 河北 保定 071001)

**摘 要:**通过室内模拟人工降雨试验,研究不同土地利用方式片麻岩坡面水土流失和养分流失特征。结果表明:谷子地、草地坡面产沙量产流量远小于裸地产沙产流量;不同土地利用方式片麻岩坡面产流产沙变化过程不同,草地、谷子地达到稳定产流的时间滞后于裸地。3 种土地利用方式坡面养分流失随时间的变化过程基本相同,降雨起始各种养分浓度较高,随着时间的持续,养分流失浓度趋于稳定。不同土地利用方式下片麻岩坡面养分流失量表现为钾流失总量>氮流失总量>磷流失总量,养分流失总量与产沙产流之间有着极显著的正相关性,裸地养分流失量最大,其次是谷子地,草地的养分流失量最小,但是径流中硝态氮含量和泥沙总磷量谷子地流失量最大,裸地次之,草地最小。3 种土地利用方式片麻岩坡面磷钾流失主要是泥沙态养分,氮素流失主要以溶解态氮为主或者二者共同作用。

**关键词:**片麻岩;水土流失;径流;养分流失量;土地利用方式

中图分类号:S157.1;S153

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)05-0122-04

## Study on the Law of Nutrient Loss of Different Land Use Patterns in Sloping Gneiss Area

ZHANG Jia-qi<sup>1</sup>, WANG Hong<sup>2,3,4</sup>, ZHANG Rui-fang<sup>2,3,4</sup>, ZHU Zi-long<sup>1</sup>, ZHOU Da-mai<sup>2,3,4</sup>

(1. College of Resources and Environment Science, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China; 2. Agricultural University of Hebei Mountainous Area Research Institute, Baoding, Hebei 071000, China;  
3. National Engineering Research Center for Agricultural in Northern Mountainous Areas, Baoding, Hebei 071000, China;  
4. Agricultural Engineering Technology Research Center of Mountain in Hebei Province, Baoding, Hebei 071000, China)

**Abstract:** Indoor rainfall experiment was conducted to evaluate the effects of land use patterns on the surface soil and nutrient loss in gneiss area. Results showed that runoff and sediment yield of millet land, grassland were far less than those of the bared; the rates of runoff and sediment yields were different among different land uses. Meanwhile, the stable runoff time of millet land and grassland lagged in the bare land. The process of nutrient loss was basically same in the three kinds of land use types; at the beginning nutrient concentration was higher, nutrient concentration tends to be stable over time. The nutrient loss is significantly positively correlated to the cumulative runoff and sediment yield. The amounts of nutrient loss under in the three kinds of land use types represented the cumulative loss order of potassium>nitrogen>phosphorus. In addition, the nutrient loss of bare land was the largest, followed by millet land and grassland, except nitrate nitrogen concentration in the runoff and the phosphorus concentration in the sediment, of which were the largest in millet land, followed in the bare land. Nutrient losses from gneiss area are mainly in the form of sediment combination state especially for phosphorus and potassium, N loss is mainly in dissolved nitrogen or both dissolved nitrogen and sediment-associated nitrogen.

**Key words:** gneiss; soil and water loss; runoff; amount of nutrient loss; different land use patterns

收稿日期:2014-03-12

修回日期:2014-04-27

资助项目:河北省科技厅资助项目(11227102D);河北省自然科学基金资助项目(C2009000565)

作者简介:张佳琪(1988—),女,河北遵化人,硕士研究生,研究方向:植物营养生态。E-mail:zhangjiaqi0517@sina.cn

通信作者:周大迈(1957—),男,河北安平人,博士生导师,研究员,主要从事山区生态治理、土壤改良方面的研究。E-mail:hnkt@hebau.edu.cn

近年来很多专家通过长期监测和室内模拟试验对水土流失规律和机理进行了大量研究<sup>[1-2]</sup>。自 20 世纪末,土壤侵蚀引起的养分流失现象受到国内外学者的关注,有研究表明径流和侵蚀被认为农业生态系统养分流失的重要途径<sup>[3]</sup>。养分流失过程是一个复杂的物理化学过程,涉及的影响因素众多<sup>[4-5]</sup>。针对降雨、地形、土壤性质和植被覆盖与管理因子等多方面分析土壤侵蚀与养分流失特征,但多集中在水土流失严重区域<sup>[6-8]</sup>,对于片麻岩山区研究很少。河北省太行山区土壤主要由花岗岩片麻岩、砂质岩和石灰岩等风化形成,土壤结构不良,石砾含量大且多属粗骨土,土壤侵蚀现象严重<sup>[9]</sup>。本试验通过室内人工模拟降雨,研究不同土地利用方式下片麻岩土壤水土流失和养分流失规律,对于该区域坡耕地治理问题具有重要的理论依据和实践意义。

表 1 降雨前不同利用方式土壤基本理化性质

土地利用 方式	土壤含 水率/%	土壤容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	地表覆 盖度/%	全氮含量/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全磷含量/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全钾含量/ (g·kg <sup>-1</sup> )
裸地	9.6	1.70	0	5.36	0.83	110.25
谷子地	9.5	1.41	80	2.58	0.79	65.23
草地	9.0	1.30	100	1.89	0.49	52.21

1.2 试验方法

试验采用室内人工模拟降雨的方法,在河北农业大学北方山区农业工程技术研究中心降雨大厅进行,所采用的降雨设备为喷射型仿真降雨设备(QYJY-503),降雨高度 11 m,效降雨面积约 144 m<sup>2</sup>,降雨均匀度达到 90% 以上。试验设计土槽坡度为 5°,降雨强度设计为 80 mm/h。每个处理重复三次,降雨开始记录产流时间,产流后开始计时,降雨历时 60 min,连续采集径流段的径流泥沙样,每次采样时间为 10 min。降雨结束后测量径流总体积,并用滤纸将径流分离为水样和泥沙。测量泥沙风干后的重量,并分别对其中的养分含量进行测定。谷子和草地于 2013 年 6 月 15 日进行播种,谷子品种为晋谷 29 号,按 20 cm 行距条播,株距为 6 cm,由于小区长 1.5 m,谷子实行合理密植。为达到水土保持效果草籽选用杂草,按照野外原状草地进行撒播,覆盖度达到 100%,不施用肥料。谷子播种前按推荐施肥量施肥:N 为 120 kg/hm<sup>2</sup>,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为 120 kg/hm<sup>2</sup>,K<sub>2</sub>O 为 45 kg/hm<sup>2</sup>,翻耕同时进行施肥,7 月 11 日追施尿素 N 为 8 kg/hm<sup>2</sup>,8 月 25 日进行降雨,此时谷子覆盖度最大为 80%。裸地和谷子地同时施用等量基肥。8 月 26 日测定水样中养分含量,一周后测定泥沙中养分含量。水样中的总氮采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法,总磷采用钼酸铵分光光度法,溶解态钾采用火焰光度法。泥沙中

1 试验材料与方法

1.1 供试土壤

试验用土为片麻岩新成土,土壤类型为褐土性土,取自河北唐县片麻岩山区。取土时将土壤分为 0—30 cm 和 30—50 cm 两层,并按顺序填装进土槽。填土时不进行过筛操作,所用土槽规格为 1.5 m×0.5 m×0.5 m。在填土过程中,为了使填土均一旦容重接近自然坡面,采用容重随机实测法,为保证试验的土壤前期含水条件一致,控制在 7%~10%,首先进行 30 mm/h 小雨强湿润降雨,至产生地表径流时即停止降雨,湿润降雨 6 h 后进行正式试验。降雨前于坡面的坡脚、坡腰、坡顶三处随机取土样,测定土壤基础理化性质,不同土地利用方式下土壤的物理性质见表 1。

的全氮采用半微量凯氏法,全磷采用 NaOH 熔融—钼锑抗比色法,全钾采用 NaOH 熔融—火焰光度法。每次试验结束后,深翻 20 cm 土壤并部分回填新土。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式下坡面产流产沙特征

片麻岩坡面为超渗产流,降水量大于植物截留量、填注量、雨期蒸发量及下渗量等的总和时,多余出来的水量产生了地面径流。通过试验得出不同土地利用方式产沙产流存在差异,产流时间表现为谷子地<裸地<草地,草地产流时间是裸地的 3.7 倍,是谷子地的 4.7 倍。这是因为产流时间与土壤理化性质和地表状况等因素有关,地表覆盖减弱了侵蚀性降雨对地表的直接拍打和冲刷<sup>[10]</sup>。由表 2 看出,三种不同土地类型中裸地的产流量、径流系数、产沙模数和土壤流失率均最大,草地最小。与裸地相比,草地有效减少了 50% 的径流损失和 78% 泥沙流失量;谷子地减少了 13% 的泥沙流失和 13% 的径流损失。原状草地其冠层覆盖度和地表覆盖度都很大,能有效地减少侵蚀性降雨造成的径流和泥沙的损失。裸地和谷子地径流系数均超过 90%,片麻岩土壤裸地径流系数达到 0.98,裸地产沙模数达到 237.32 g/m<sup>2</sup>,说明片麻岩山坡地原始植被遭到破坏后,水土流失现象非常严重,急需治理,而谷子地径流系数 0.92,产沙模

数 206.28 g/m<sup>2</sup>, 同样说明片麻岩风化形成的山坡地土壤, 从水土保持的角度出发, 不应只进行简单的农作物种植。将片麻岩不同土地利用方式下侵蚀产沙(X)与径流量(Y)拟合成回归方程:  $Y = 5.7705e^{91.877x}$ ,  $R^2 = 0.99$ 。由此得出, 片麻岩坡面不同土地利用方式下产沙量与产流量存在极显著的正相关性, 产沙量越大, 产流量越大, 水和土流失需要同等重视。

表 2 不同利用方式产沙产流情况

土地利用 类型	产流 时间/s	产流 量/m <sup>3</sup>	径流 系数	土壤 流失率	产沙模数/ (g·m <sup>-2</sup> )
裸地	303	0.030	0.98	1	237.32
谷子地	410	0.020	0.70	0.61	144.94
草地	1121	0.013	0.43	0.22	51.67

2.2 不同土地利用方式下片麻岩坡面养分流失特征

2.2.1 坡面养分流失量 径流是造成养分流失的动力, 径流和泥沙是养分的载体。由表 3 看出, 在雨强为 80 mm/h 时, 片麻岩不同土地利用方式氮磷钾养

表 3 不同利用方式下养分流失情况

土地利用 类型	钾流失量/ mg	磷流失量/ mg	氮流失量/ mg	泥沙态钾/钾流 失总量/%	泥沙态磷/磷流 失总量/%	泥沙态氮/氮流 失总量/%
裸地	9599.28	29.05	491.47	98.02	82.00	71.37
谷子地	3282.79	29.14	164.23	97.11	91.83	47.55
草地	875.33	6.87	58.83	92.54	89.37	23.08

2.2.2 径流中氮素养分变化规律 由图 1 可以看出, 不同土地利用方式氮流失程度不同, 但是养分变化规律基本相同。在整场降雨过程中, 裸地溶解态氮浓度始终高于其他两种利用方式, 但是不同利用方式下坡面在降雨初期氮浓度均较高, 随着降雨的持续, 溶解在径流中氮浓度不断降低, 直到降雨结束时趋于稳定, 谷子地和草地溶解态氮浓度均稳定在 3.00 mg/L, 上下波动 0.1 mg/L, 裸地直到降雨结束氮浓度仍在下降, 但是下降幅度明显降低。由于产流到达峰值后坡面形成均匀的径流<sup>[14]</sup>, 同时大部分养分在降雨初期随径流冲刷被粒径较小的细颗粒和水样带走<sup>[15]</sup>, 大量粗骨粒沉积在坡面表面, 使得降雨后期各养分浓度基本稳定。谷子地流量是草地的 2.15 倍, 谷子地氮素流失总量是草地的 2.79 倍, 但是谷子地的溶解态氮浓度却是最低的。表 3 得出养分流失量与产流产沙呈正相关, 但是养分浓度与养分本身性质、土壤性质等因素有关, 与土壤侵蚀情况没有相关性。径流中不同养分形态流失规律不同, 铵态氮浓度变化规律与溶解态氮相似, 3 种利用方式铵态氮浓度呈降低趋势, 裸地浓度高于草地, 谷子地铵态氮浓度最低。3 种土地利用方式下硝态氮浓度随降雨时间增加呈下降趋势, 但是由图 1 看出, 谷子地流失的硝

分流失总量存在很大差异, 裸地养分流失总量最大, 谷子地次之, 草地养分流失量最小; 各养分流失量之间磷素流失量最少, 钾素流失量最大; 径流带走的泥沙对养分的富集是养分流失的主要因素, 尤其是磷和钾的流失, 不同土地利用情况下泥沙态磷钾占总流失量的比例均在 85% 以上。谷子地氮素流失主要是溶解态氮和泥沙态氮共存, 氮素由于自身活性较大, 极易迁移; 草地氮素主要随地表径流以溶解态氮流失, 裸地以泥沙态氮为主。有研究表明养分流失量与产沙产流存在着密切的关系<sup>[11-13]</sup>, 将片麻岩不同土地利用方式下侵蚀产沙(X)与氮、磷、钾流失量(Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, Y<sub>3</sub>)拟合呈线性方程:  $Y_1 = 33.278e^{0.0262x}$ ,  $R^2 = 0.85$ ;  $Y_2 = 4.6353e^{0.0219x}$ ,  $R^2 = 0.97$ ;  $Y_3 = 459.62e^{0.0305x}$ ,  $R^3 = 0.91$ 。由此看出, 3 种土地利用方式下, 坡面氮磷钾养分流失量与产沙量之间同样具有显著的正相关性。片麻岩坡面产沙量产流量越大, 养分流失总量越大。

态氮浓度最高, 裸地次之, 草地最低, 坡耕地硝酸盐流失严重, 由于谷子地氮素含量高于其他两种方式, 氮素自身迁移能力较强。由图 1 得出, 不同利用方式径流氮流失主要以硝态氮形态流失, 谷子地和草地中铵态氮流失量所占比例较小, 裸地氮素流失以铵态氮和硝态氮共同存在。

2.2.3 泥沙中养分变化特征 由图 2 看出, 不同土地利用方式下, 泥沙对氮磷钾大量元素的富集程度均不同, 草地流失的泥沙氮磷钾负荷量均最少且基本保持稳定, 谷子地次之, 裸地泥沙的养分富集量最多。但是养分变化规律基本一致, 随着降雨历时增加, 泥沙负荷养分的能力逐渐减弱。在不同处理中泥沙富集磷表现为谷子地>裸地>草地, 在整场降雨中谷子地泥沙中磷损失量为 27.05 mg, 裸地为 23.82 mg, 草地流失的泥沙态磷仅为 6.14 mg。磷易被土壤固定, 迁移能力弱, 导致泥沙带走的磷较低, 泥沙中磷富集量最小。由于谷子从土壤中吸收养分, 根系对磷截获促使土壤磷迁移能力增强, 径流扰动地表时谷子地流失磷量高于裸地和草地。草地泥沙中有效磷含量为 0.18 mg, 谷子地有效磷含量 1.07 mg, 裸地泥沙有效磷负荷量为 2.23 mg, 由此看出, 相较于有效态磷, 泥沙中有机态磷更易于流失。

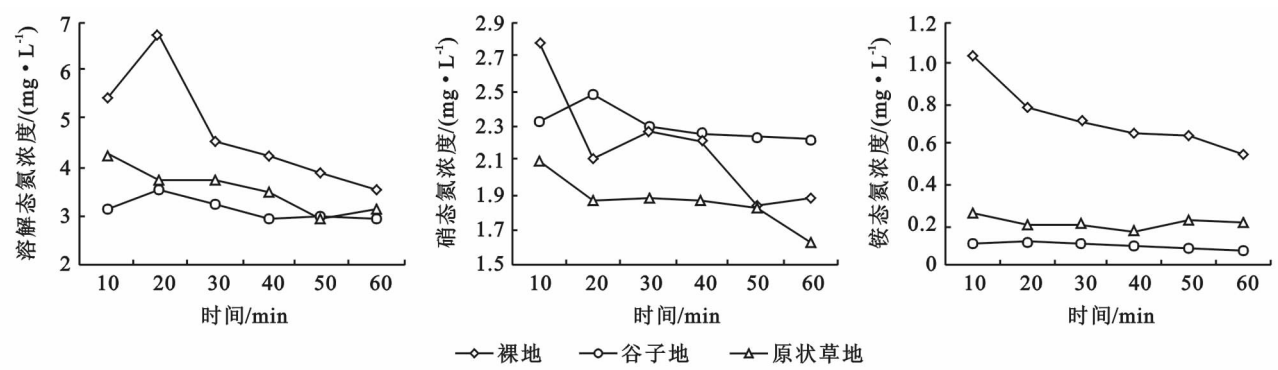


图1 不同土地利用方式径流中氮流失规律

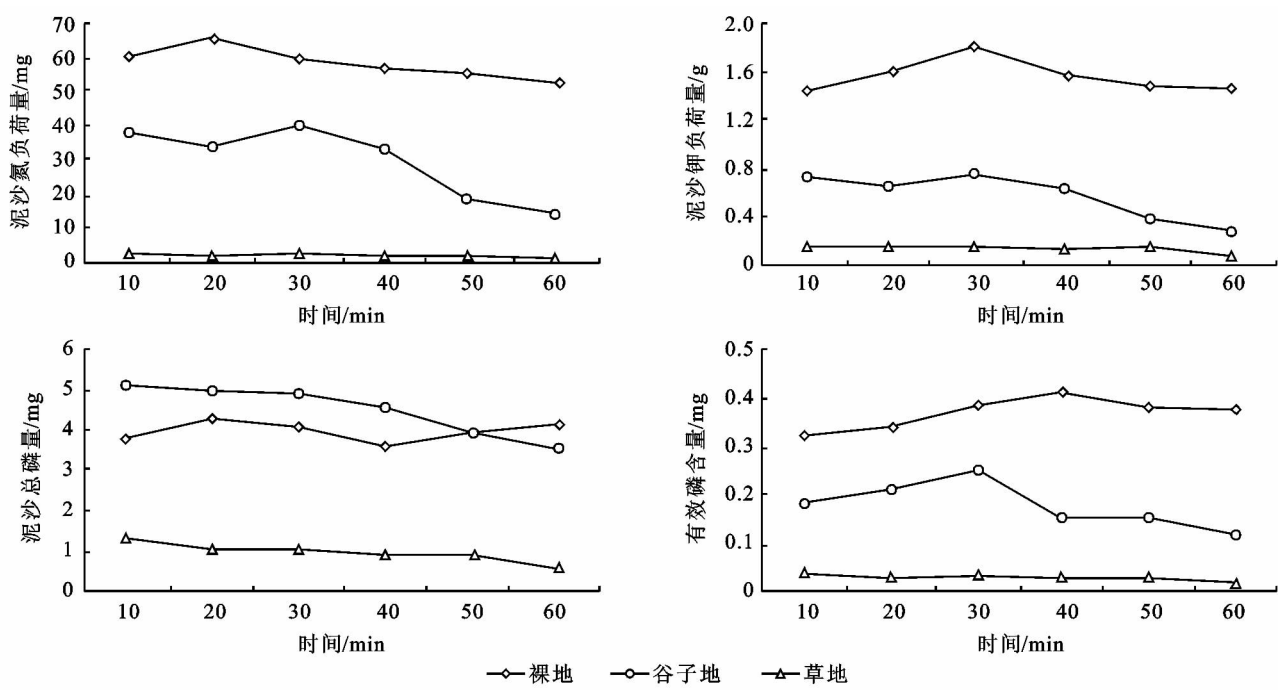


图2 不同土地利用方式泥沙中养分流失规律

### 3 结论

(1) 三种不同土地利用方式中裸地的产流量、径流系数、产沙模数和土壤流失率均最大,坡耕地(谷子)次之,草地远远小于裸地和坡耕地,原状草地对于水土保持效果最为明显。

(2) 片麻岩土壤养分流失总量与产沙量和产流量存在极为显著的正相关性。

(3) 三种不同土地利用方式氮磷钾养分流失规律基本相同,降雨初期养分浓度较大,随着降雨的持续,养分流失量逐渐降低。片麻岩土壤钾流失总量>氮流失总量>磷流失总量;除了泥沙中总磷和径流中硝酸盐这两种养分谷子地流失量大于裸地外,各种养分类型和养分不同形态养分流失量均表现出裸地流失量>谷子地>草地。片麻岩坡面磷钾流失主要以泥沙态为主;氮素流失由溶解态氮和泥沙态氮共同作用,草地氮素流失主要是溶解态氮为主。泥沙中磷以有效态形式流失很少,有机磷更易流失。

#### 参考文献:

[1] 张金池,庄家尧,林杰.不同土地利用类型土壤侵蚀量的坡度效应[J].中国水土保持科学,2004,2(3):6-9.

[2] 林超文,陈一兵,黄晶晶,等.不同耕作方式和雨强对紫色土养分流失的影响[J].中国农业科学,2007,40(10):2241-2249.

[3] Hugus V B, Chantal G O, Fabienne T, et al. Impact of terrestrial sewage sludge disposal on dissolved and particulate phosphorus in surface runoff[J]. Hydrological Sciences Journal,2003,48(2):221-233.

[4] 王全九,张江辉.黄土区土壤溶质径流迁移过程影响因素浅析[J].西北水资源与水工程,1999,10(1):9-13.

[5] 江韬,邓丽莉,魏世强,等.聚丙烯酰胺与强化剂联用对土-水界面磷素迁移的影响[J].土壤学报,2010,47(3):473-482.

[6] 王辉,王全九,邵明安.PAM对黄土坡地水分养分迁移特性影响的室内模拟试验(简报)[J].农业工程学报,2008,24(6):85-88.

条件下,土壤盐分通常表聚在 0—20 cm 土层。喷灌施肥条件下,0—20 cm 土层土壤盐分含量通常都高于 20—50 cm 和 50—80 cm 土层,盐分表聚时最高含量可达 2.11 g/kg。

参考文献:

[1] 胡毓骥. 中国农业科学院科技代表团访问以色列考察报告[J]. 灌溉排水,1995,14(1):52-59.

[2] 逢焕成. 我国节水灌溉技术现状与发展趋势分析[J]. 中国土壤与肥料,2006(5):1-6.

[3] Li J, Kawano H. Sprinkler water utilization efficiency [J]. Journal of International Rainwater Catchment Systems,1997,3(1):41-51.

[4] 刘海军,龚时宏,王广兴. 喷灌条件下冬小麦生长及耗水规律的研究[J]. 灌溉排水,2000,19(1):26-29.

[5] Stern J, Bresler E. Nonuniform sprinkler irrigation and crop yield[J]. Irrigation Science,1983,4(1):17-29.

[6] Allaire-Leung S E, Wu L, Mitchell J P, et al. Nitrate leaching and soil nitrate content as affected by irrigation uniformity in a carrot field[J]. Agricultural Water Management,2001,48(1):37-50.

[7] Pang X P, Letey J, Wu L. Irrigation quantity and uniformity and nitrogen application effects on crop yield and nitrogen leaching[J]. Soil Science Society of America Journal,1997,61(1):257-261.

[8] Li J. Modeling crop yield as affected by uniformity of sprinkler irrigation system[J]. Agricultural Water Management,1998,38(2):135-146.

[9] Steiner J L, Kanemasu E T, Clark R N. Spray losses and partitioning of water under a center pivot sprinkler system[J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers,1983,26(4):1128-1134.

[10] Conley D J, Paerl H W, Howarth R W, et al. Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus [J].

Science,2009,323(5917):1014-1015.

[11] 杨淑静,张爱平,杨正礼,等. 宁夏灌区农业非点源污染负荷估算方法初探[J]. 中国农业科学,2009,42(11):3947-3955.

[12] 宁夏回族自治区水文水资源勘测局. 宁夏回族自治区水资源公报[M]. 银川:宁夏回族自治区水利厅,2011.

[13] 任福聪,张彦茹. 不同配方肥对春玉米产量及农艺性状的影响[J]. 宁夏农林科技,2012,53(5):8-10.

[14] 武鹏,曹国军,耿玉辉,等. 不同施钾量对春玉米产量及钾素吸收积累的影响[J]. 安徽农业科学,2012,40(6):3324-3326.

[15] 谢佳贵,韩晓日,王立春,等. 不同施氮模式对春玉米产量、养分吸收及氮肥利用率的影响[J]. 玉米科学,2013,21(2):135-138.

[16] 彭畅,刘晓斌,尹彩侠,等. 不同形态氮肥及其运筹对春玉米产量和农艺性状的影响[J]. 核农学报,2013,27(4):509-514.

[17] 王圣毅,成华伟,李丽. 滴灌条件下不同栽培密度对春玉米产量的影响研究[J]. 农业科技通讯,2013(5):54-57.

[18] 陈海军,邹德堂,巩双印,等. 氮磷对极早熟春玉米产量和农艺性状的影响[J]. 黑龙江农业科学,2011(8):32-34.

[19] 李银科,刘世增,刘虎俊,等. 石羊河流域中下游沙漠—河岸过渡带土壤特征研究[J]. 水土保持研究,2012,19(6):29-35.

[20] Saffigna P G, Tanner C B, Keeney D R. Non-uniform infiltration under pot at o canopies caused by interception, stemflow, and hilling [J]. Agron J., 1976, 68: 337-342.

[21] 姚宝林,叶含春,孙三民,等. 红枣滴灌条件下灌水水质对土壤盐分分布的影响研究[J]. 水土保持研究,2011,18(2):218-221.

[22] 许尔琪,张红旗,许咏梅. 伊犁新垦区土壤盐分垂直分异特征研究[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(7):71-77.

(上接第 125 页)

[7] 王辉,王全九,邵明安. 表层土壤容重对黄土坡面养分随径流迁移的影响[J]. 水土保持学报,2007,21(3):10-13,18.

[8] 李进鹏,王飞,穆兴民,等. 延河流域土地利用变化对其生态服务价值的影响[J]. 水土保持研究,2010,17(3):110-114.

[9] 徐学华,张金柱,张慧,等. 太行山片麻岩区植被恢复过程中物种多样性与土壤水分效益分析[J]. 水土保持学报,2007,21(2):133-136,174.

[10] 刘承,王玉宽,傅斌,等. 紫色土不同土地利用方式下降雨入渗试验研究[J]. 水土保持研究,2009,16(3):20-23.

[11] 王亮. 人工模拟降雨条件下紫色土养分流失研究[M]. 重庆:西南大学,2009.

[12] 赵伟,杨培岭,李海山,等. 呼伦湖流域 3 种利用方式草场水土及氮磷流失特征[J]. 农业工程学报,2011,27(9):220-225.

[13] 付伟章,史衍玺. 模拟降雨条件下肥料品种与施肥方式对氮素径流流失的影响[J]. 水土保持学报,2013,27(3):14-17.

[14] 张会茹,郑粉莉,耿晓东. 地面坡度对红壤坡面土壤侵蚀过程的影响研究[J]. 水土保持研究,2009,16(4):52-54,59.

[15] 黄满湘,章申,张国梁,等. 北京地区农田氮素养分随地表径流流失机理[J]. 地理学报,2003,58(1):147-154.