第5卷 第17期 2005年9月 科学技术与工程 Vol.5 No.17 Sep.2005
1671-1815(2005)17-1256-04 Science Technology and Engineering © 2005 Sci. Tech. Engng.

· 农业科学

径流与坡面土壤矿质氮素的作用深度研究

张兴昌[1,2] 张亚丽[1,3]

(中国科学院水利部水土保持研究所,黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室[1],杨陵 712100;
西北农林科技大学资源环境学院[2],杨陵 712100;西安理工大学[3],西安 710048)

摘要 利用室内模拟降雨试验,初步探讨了径流与土壤矿质氮素的有效作用深度(Effective Depth of Interaction,EDI),对施肥和不施肥试验分别提出用拐点法和反推法确定EDI。结果表明:①径流与土壤硝态氮EDI明显大于与铵态氮EDI,两者之差为(7~15) cm;②秸杆覆盖可显著增加硝态氮EDI,且覆盖量越大,EDI值越大;③施肥对土壤矿质氮素EDI几乎无影响;④EDI沿坡面分布存在差异,坡面中下部较深,坡上部较浅。

关键词 径流 土壤矿质氮素 作用深度

中图法分类号 S158.2; **文献标识码** A

土壤溶质在侵蚀条件下的流失过程,实际上是土壤溶质和降雨、径流的相互作用过程[1],受到溶解和解吸作用、雨滴击溅作用、径流冲刷作用、溶质紊动扩散作用、土壤入渗能力和地形地貌等诸多因素影响[2]。在一场降雨中,只有土壤表层一定深度以上的溶质才能够参与径流损失,该深度被称为有效混合深度(Effective Depth of Interaction,EDI)[3],即径流与土壤溶质的作用深度。该名词具有明确的物理意义,主要在养分流失模型中应用[4-9],但迄今为止尚未有人在试验中得到验证。

本试验从分析径流与土壤矿质氮素(主要为NH_4^+-N和NO_3^--N)的作用机理着手,通过人工模拟降雨试验,研究降雨过程中矿质氮素流失-入渗的动态变化,提出确定径流与土壤矿质氮素作用深度的确定方法,初步探讨径流与坡面土壤溶质作用的空间分异,为坡面非点源污染模型建立提供了科学依据。

1 研究方法

1.1 供试材料

2005年4月7日收到 国家自然科学基金(90102012、40371076)和黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金(10501-142)资助

第一作者简介:张兴昌(1965—),男,陕西武功人,博士,教授,博士生导师,研究方向:土壤侵蚀环境化学。E-mail:zhangxc@ms.iswc.ac.cn

模拟降雨试验于2003年3月~8月在黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室模拟降雨大厅进行,采用侧喷式自动模拟降雨系统,喷头高度16 m,雨滴降落终速可达到自然雨滴降落速度的98%以上[10]。土槽为长×宽×高=3.8 m×0.3 m×0.6 m的坡度可调式钢槽,下端设集流装置,可定时采集径流样。所用土壤均为黄绵土,采自陕西省安塞县,质地为粉质壤土(表1)。

表1 供试土壤机械组成与质地特征

土壤	机械组成/% (0.05—1) mm	(0.01—0.05) mm	>0.001 mm	质地
Ⅰ	48.7	4.2	1.0	粉壤土
Ⅱ	52.7	4.4	1.0	粉壤土

1.2 试验设计

将供试土壤过5 mm筛,装土时控制含水量10%左右,土壤容重维持在(1.25+0.05) g/cm。雨强率定为1.01 mm/min,降雨时间为90 min,坡度均为15°。试验处理为裸地(不施肥)、裸地(施50 g NH_4NO_3,即43.9 g/m^2 NH_4NO_3,相当于15 350 mg/m^{2}纯N)、250 g麦秸覆盖(不施肥)、250 g麦秸覆盖(施50 g NH_4NO_3)和500 g麦秸覆盖(施50 g NH_4NO_3)。施肥方式:将50 g NH_4NO_3溶于1 L清水中,用喷壶均匀喷在9 kg干土中,充分拌匀后铺在最上面0.6 cm(保持土壤含水量10%、容重

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.25 g/cm)，砸实并保持土面平整。之后在土面上均匀铺上一定量长约 5 cm 的洁净秸秆，喷少许水，使其均匀沉降。降雨前测定原始土壤养分含量，降雨结束后立即在槽内五个等分点处挖剖面，每 1 cm 垂直向下取土至土层湿润锋处。

1.3 样品分析

降雨过程中采集雨水样以备测定雨水养分含量，同时分不同径流时段采集径流样，测定各泥水样的总体积，并取部分上层清液过滤后测定径流中矿质氮含量；剩余泥水样经过澄清、倾水后将泥沙风干称重，测泥沙中矿质氮含量。土壤和泥沙中矿质氮用 2N KCl 溶液浸提(土水比为 1∶5)。土样和水样中的硝态氮用紫外分光光度计测定，铵态氮用连续流动分析仪测定。

2 结果与分析

2.1 径流与土壤矿质氮素作用深度确定方法

研究表明参与径流流失的溶质除了存在于坡面表层易剥蚀土壤层外，还包括下层水土混合体内受到径流浸提溶解的溶质[3-5]。本研究通过分层取土样，研究土壤矿质氮素在坡面的分布，对施肥试验和不施肥试验分别用拐点法和反推法确定 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 的 EDI。界定方法如下。

(1)在未施肥径流试验中，根据质量平衡原理，通过计算土壤矿质氮素流失量与产流前后土壤剖面养分浓度变化量来反推出 EDI，即将与土壤矿质氮素随径流和泥沙流失量(对非纯水模拟试验应扣除雨水养分含量)最为接近的产流前后土壤剖面养分变化量累加值所处的深度作为 EDI。显然，这里未考虑降雨和径流过程中表层养分向土体内入渗的作用，这主要是由于表层养分浓度梯度小，入渗量甚小，可忽略不计。

(2)施肥试验中，把降雨结束后土壤矿质氮素浓度曲线第一个拐点所处的深度作为 EDI，理由如下：①土体水分含量一般控制在 10%左右，降雨前表施硝酸铵，不易在降雨前发生入渗。降雨和径流过程中，表层硝酸铵随降雨和径流水体向土体内入渗，而这种入渗是在径流与表土充分混合下进行，因此 EDI 深度应在降雨结束后水分入渗深度以内；②产流结束后，土体剖面硝态氮含量分布曲线一般有三个拐点(硝态氮浓度急剧变化之处)。第一个拐点是径流与土层养分作用的深度(EDI)。在 EDI 深度内，硝态氮运动方向有两种途径。其一，施入的硝态氮一方面在入渗的同时与径流发生作用，受到径流的冲刷和浸提，向径流水体中释放；其二，在径流与土体作用的同时，在高浓度硝酸铵和薄层径流水位下，势必会发生入渗。第二个拐点出现在硝态氮入渗峰处，在第一和第二个拐点之间，土壤中的硝态氮不受径流的作用，仅受浓度和水势梯度的影响。第三拐点为硝态氮入渗深度，由于土体对硝态氮的吸附和过滤，水分入渗与硝态氮入渗并不同步，水分入渗在先，而硝态氮入渗滞后，本试验也证明了这一点；③产流结束后，土体剖面铵态氮基本滞留在表层水土混合体内，该深度以下土壤铵态氮浓度与原始土壤几乎无任何差异。土体剖面铵态氮含量分布曲线一般有一个拐点，此拐点所处的深度即为水土混合体的深度，即能参与径流损失的 EDI。

需要指出的是本试验用拐点法和反推法确定 EDI 需有一些假设：①供试土壤充分混匀后按照一定的容重分层装入径流槽，即降雨前坡面土壤为均质土壤，假定降雨过程中坡面土壤容重仍保持一致；②本试验降雨时间为 90 min，降雨结束 30 min 内可将样品全部采集完毕，冷藏保存并次日测试，即可不考虑土壤矿质氮素形态转化，即纯物理过程，不发生化学反应。③消除溅蚀的影响，保证均匀冲刷，仅有面蚀，无沟蚀等。另外，由于反推法所算出的是一平均 EDI，即需假定沿坡面 EDI 内溶质均匀分布、完全混合且等距离下渗。

2.2 径流与土壤矿质氮素作用深度确定结果

对不施肥试验和施肥试验用反推法确定硝态氮和铵态氮 EDI。不施肥试验 I(裸地)中硝态氮随径流和泥沙流失量为 3.3 mg(已扣除雨水中硝态氮含量)，各剖面累加养分减少量与之最接近的分别是 3.24、3.35、3.44、3.30 和 3.22 mg。不施肥试验 Ⅱ(250g 秸秆覆盖)中硝态氮随径流和泥沙流失量为 18.5 mg(已扣除雨水中硝态氮含量)，各剖面累加养分减少量与之最接近的分别是 15.89、16.02、14.40、15.24 和 12.89 mg。不施肥试验中，土壤中铵态氮降雨后比降雨前含量反而增加，径流与泥沙中铵态氮之和也小于雨水中铵态氮含量，即土壤铵态氮非但没有参与径流损失，土壤颗粒反而在与雨水、径流的作用中吸附了一部分铵态氮。这也反映

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表2 秸秆覆盖和施肥对土壤矿质氮素EDI影响 /cm

距坡顶距离/cm	0N裸地		施N裸地		0N250 g秸秆		施N250 g秸秆		施N500 g秸秆	
	硝态氮	铵态氮	硝态氮	铵态氮	硝态氮	铵态氮	硝态氮	铵态氮	硝态氮	铵态氮
64	8.5	—	10.5	3.5	16.5	—	15.5	1.5	16.5	3.5
127	9.5	—	10.5	3.5	18.5	—	17.5	2.5	17.5	5.5
190	8.5	—	12.5	3.5	19.5	—	18.5	2.5	20.5	4.5
253	9.5	—	11.5	4.5	18.5	—	17.5	2.5	19.5	5.5
316	8.5	—	10.5	3.5	17.5	—	16.5	2.5	17.5	5.5
平均值	8.9	—	11.1	3.7	18.1	—	17.1	2.5	18.3	4.9

了土壤与降雨、径流作用的另一个方面，即坡面表层土壤对雨水中养分的过滤作用。坡面表层土壤养分与降雨、径流的作用不仅在一定程度上加速了土壤养分的流失，而且也对降雨雨水中养分具有过滤作用。不施肥试验中，裸地和秸秆覆盖处理坡面土壤分别过滤了雨水铵态氮0.3 mg/m^{2}和4.2 mg/m^2。

由表2知，同样地表覆盖处理，施肥与不施肥硝态氮EDI差异不明显，尤其是250 g秸秆覆盖试验两者较接近。原因有二：其一，同种覆盖处理坡面径流的流量与流速相同，不影响径流与土壤溶质的作用强度；其二，施肥导致土壤中肥料浓度梯度和入渗量不同，但对地表径流量和汇流速度无影响。同时也反映了用拐点法和反推法确定EDI有一定的理论依据，所得结论一致。对照施肥试验中不同覆盖处理，发现秸秆覆盖可显著增加硝态氮EDI；且覆盖量越大，EDI值越大。这反映了秸秆覆盖可明显减缓地表汇流速度，增加径流与表层土壤矿质氮素的作用时间，同时显著增加了雨水的入渗，使水土混合体深度增加。同一坡面不同坡位硝态氮和铵态氮EDI大小不都一样，基本都是坡中下部最深，坡顶和坡脚较浅，这是由于地表径流沿坡面向下流量和流速逐渐增大，与土壤溶质的相互作用强度较大，对中下部坡位土壤搬运冲刷较强。径流与土壤硝态氮EDI明显大于与铵态氮EDI，两者之差为7 cm—15 cm。这与野外小流域^{15}N示踪试验研究结果一致，说明反推法和拐点法是一种有效的确定EDI趋势的方法。

3 结论与讨论

从径流与土壤矿质氮素作用机理着手，提出了土壤矿质氮素EDI的确定方法，结果表明秸秆覆盖可显著增加硝态氮EDI；且覆盖量越大，EDI值越大；同种方式施肥对土壤矿质氮素EDI几乎无影响；由于坡面径流侵蚀力在不同坡位存在着空间变化，导致了导致EDI在坡面中下部较深，坡上部较浅。本文用反推法和拐点法确定EDI，获得结论与野外小流域^{15}N示踪试验结果较一致，是两种值得探索的方法，需要在今后的研究中深入、完善、推广。

参 考 文 献

1 张兴昌. 坡地土壤氮素与降雨、径流的相互作用机理及模型. 地理科学进展，2000；19(2)：128—133

2 王全九，邵明安. 黄土区农田溶质径流过程模拟方法分析. 水土保持研究，1999；6(2)：67—71，104

3 王全九. 沈晋. 降雨条件下黄土坡面溶质随地表径流迁移试验研究. 水土保持学报，1993；7(1)：11—17

4 Ahuja L R, Sharpley A N. The depth of rainfall-runoff-soil interactions as determined by 32P. Water Resour Res, 1981；17：967—974

5 Ahuja L R, *et al*. The extent and nature of rainfall-soil interaction in the release of soluble chemicals to runoff. J Environ Qual, 1983；12：34—40

6 Wallach R. The concept of convective mass transfer for predicting of surface runoff pollution by soil surface applied chemicals. Trans ASAE, 1989

7 Wanach R, *et al*. A physically based model for predicting solute transfer from soil solution to rainfall-inwed runoff. Water Resources Research, 1990；26(9)：

8 Wallach R. Transfer of chemical from solution to surface runoff: a diffusion-based soil model. Soil Sci Soc Am J, 1988；(52)：612—618

9 Bouraoui F, Dillaha T A. ANSWERS—2000: runoff and sediment transport model. J Envir Engrg ASCE, 1996；122(6)：493—502.

10 徐锐. 关于天然降雨和人工降雨的功能计算方法. 水土保持通报，1981；(1)：37—39

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Experimental Analyses on the Effective Depth of Interaction of Runoff with Soil Mineral Nitrogen on the Loess Slope

ZHANG Xingchang[1,2], ZHANG Yali[1,3]

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, State Key Lab. of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau[1], Yangling 712100; Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry[2], Yangling, 712100; Xi' an University of Technology[3], Xi'an 710048)

[**Abstract**] According to the result of simulated runoff experiment in laboratory, the effective depth of interaction (EDI) of runoff with soil mineral nitrogen is analyzed and the methods to confirm EDI of fertilization experiments and underutilization ones are proposed. The results are as follows. ①The EDI of runoff with soil NO_3^--N is deeper than that of soil NH_4^+-N, the shortfall is (7～15) cm. ②Straw cover can greatly enhance the EDI of soil NO_3^--N, more cover, deeper the EDI. ③There is no evident influence of one type of fertilization on the EDI of soil mineral nitrogen. ④ It can be concluded that there are different spatial distribution of the EDI, deepest in the middle and lower parts of the slope land, while shallower in the upper parts.

[**Key words**] runoff　　soil mineral nitrogen　　EDI

（上接第 1251 页）

Reconstruction of Gene Regulatory Networks with Multi-time Delay Based on Dynamic Bayesian Networks

CUI Guangzhao[1,2], ZHANG Xuncai[2*], CAO Xianghong[2], DONG Yafei[1], WANG Yanfeng[1]

(Department of Control Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology[1], Wuhan 430074; College of Electrical Information Engineering, Zhengzhou Institute of Light Industry[2], Zhengzhou 450002)

[**Abstract**] One of the major challenges in molecular biology is to understand the precise mechanism by which gene expression is regulated. Reconstruction of regulatory networks is essential to modeling this mechanism. Most research work in constructing gene networks either assumes that there is no time delay in gene expression or that there is a constant time delay. An extended approach for modeling a gene networks with Multi-Time Delay by using a DBNs model is provided. It is more accurate in determining the gene structure as compared to the traditional methods. It is evaluated using time series expression data measured during yeast cell cycle. The results suggest that it is possible to unambiguously determine gene regulatory network with time delays from time series gene expression datasets.

[**Key words**] gene networks　　dynamic Bayesian networks　　microarray data　　time delay

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net