

秸秆培肥土壤对优先流中养分淋失的影响

耿玉辉^{1,2}, 卢文喜¹, 姜亦梅²

(1 吉林大学 环境与资源学院, 吉林 长春 130026; 2 吉林农业大学 资源与环境学院, 吉林 长春 130118)

[摘要] 为了研究秸秆培肥土壤后对优先流中养分淋失的影响,采用原状土柱模拟养分淋溶的方法,对秸秆培肥后土壤中养分淋失的状况进行了研究。结果表明,土壤经秸秆培肥后,淋溶液中氮、磷和钾的累计含量降低,淋失速度和含量也都有不同程度的降低,但对不同养分降低的效果不同,对阳离子养分的保持效果更好一些,未施秸秆处理的 NH_4^+-N 累计含量为秸秆培肥处理的 4.54 倍;而对硝态氮的保持作用最差,未施秸秆处理的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 累计含量为秸秆培肥处理的 2.79 倍。说明秸秆培肥土壤对减少养分淋失和降低地下水污染具有一定作用。

[关键词] 玉米秸秆;优先流;土壤培肥;养分淋失

[中图分类号] S153.6

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)11-0146-05

Effects of soil cornstalk fertilization on nutrient leaching in preferential flow

GENG Yu-hui^{1,2}, LU Wen-xi¹, JIANG Yi-mei²

(1 College of Environment and Resource, Jilin University, Changchun, Jilin 130026, China;

2 College of Resource and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118 China)

Abstract: In order to find the effect of soil cornstalk fertilization on nutrient leaching in preferential flow, nutrient leaching experiment was designed with soil column in size of 0.8 m in depth and 0.15 m in diameter. The results indicated that applying cornstalk into soil had a better effect on decreasing the nutrient leaching. Soil cornstalk fertilization delayed the speed of nutrient leaching, so decreased the amount of leaching water that was only one third of the soil without cornstalk fertilization. The concentration of the leaching water decreased after cornstalk fertilization, and the decreasing of different nutrients varied: $\text{NH}_4^+ - \text{N} > \text{K}^+ > \text{PO}_4^- > \text{NO}_3^-$, but before the end of the leaching experiment, the concentration of leaching water in cornstalk fertilization soil was a little higher than the leaching water of the soil without the application of cornstalk. Thus, soil fertilizing with cornstalk was an effective method for reducing nutrient leaching and the pollution of underground water through decreasing the speed and nutrient concentration in preferential flow.

Key words: cornstalk; preferential flow; soil fertilization; nutrient leaching

土壤中的大孔隙导致了优先流的产生,从而降低了水分和养分的有效性。同时,由于同土壤基质接触的面积小、时间短,使许多污染物来不及降解就

快速向下运移,从而增加了污染地下水的危险性^[1-3]。优先流的研究对于减轻环境污染、提高土壤水分及养分的利用率均具有重要的意义。

收稿日期] 2006-11-03

[基金项目] 国家自然科学基金项目(40001012);吉林省科技厅项目(吉合字第 20000564 号)

[作者简介] 耿玉辉(1973-),男,吉林通化人,讲师,在读博士,主要从事土壤有机培肥及农田水分生态研究。
E-mail: gengyuhui@163.com

国内外对优先流的研究多集中在各种外界自然条件下优先流产生的机理、作用, 以及研究优先流时所采用的各种技术手段上。如优先流在不同空间尺度的变化情况^[4], 降雨和耕作对土壤大孔隙的影响^[5-6], 不同开始和边界条件下土壤结构对溶质运移的影响^[7-9]; 在研究手段上包括采用 X 线计算机成图技术对大孔隙的形状及数量进行研究^[10-12]; 利用核磁技术研究孔隙中水分运动和扩散的三维图像等^[13]。对如何控制优先流, 减少养分流失及减轻环境污染的研究则相对较少。Malone 等^[14]研究了耕作对大孔隙度及农药迁移的影响; Chen 等^[15]研究了不同灌溉方式对减少养分淋溶的影响; 区自清等^[16]研究了冻融交替和干湿交替对大孔隙的影响。

本试验采用原状土柱模拟养分淋溶的方法, 研究秸秆还田培肥土壤后对优先流的影响, 探讨秸秆培肥土壤后对土壤养分流失的影响, 以期减少养分流失、控制面源污染提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试土壤为黑土, 采集于吉林农业大学试验场, 土壤的理化性质见表 1。淋溶试验所用土柱为内径 15.5 cm、高 80 cm 的圆柱体 PVC 管。秸秆物料为粉碎后过孔径 1 mm 筛的玉米秸秆。供试肥料为尿素、磷酸二铵和氯化钾。

表 1 供试土壤的理化性质

Table 1 Physical and chemistry character of the soil

土壤 Soil	有机质/(g · kg ⁻¹) Organic material	全氮/(g · kg ⁻¹) Total N	碱解氮/(mg · kg ⁻¹) Available N	速效磷/(mg · kg ⁻¹) Available P	速效钾/(mg · kg ⁻¹) Available K
未施秸秆 Without cornstalk	12.7	1.7	79.6	15.3	118.8
施用秸秆 Applying cornstalk	18.2	2.2	90.3	21.7	148.1

1.2 试验方法

试验于 2004 年秋天将粉碎的玉米秸秆均匀撒于小区地表, 设未施秸秆和施用秸秆 30 t/hm² (即 3 kg/m²) 两个处理。翻地同时将粉碎的秸秆撒入地里并与土壤充分混合, 土地翻耕深度大约 20 cm。于 2005 年秋天在田间采集原状土柱, 采样深度 60 cm。

采得的土柱底部用纱布包住带回实验室, 在实验室再将土柱底部接一装有沙子的 PVC 管, 沙子已清洗干净, 高度为 5 cm, 沙子与土柱底部紧密接触, 沙子底部垫有滤纸, 两管接口处密封。于室内用蒸馏水自下而上饱和, 饱和后放在土柱淋溶架上固定, 使底部悬空, 淋漓 24 h。施肥时考虑不破坏土壤表面的自然孔隙, 将肥料溶于少量蒸馏水中, 均匀喷撒在土柱的土壤表面, 肥料施用量分别为 N 200 kg/hm², P₂O₅ 100 kg/hm², K₂O 100 kg/hm², 各土柱具体设计见表 2, 将上口封住, 3 d 后开始淋溶试验, 每处理重复 3 次, 结果取平均值。

淋溶试验采用持续淋溶的方法, 以研究养分在雨水充足情况下的淋失过程。在每个土柱持续淋溶蒸馏水, 以不产生水面为准, 每天从早 8:00 淋溶到下午 16:00, 下面用漏斗接一量筒接淋溶液, 每 200 mL 渗漏液为 1 次淋溶待测样。整个淋溶试验持续 1 周。

表 2 土壤中养分淋溶规律土柱试验处理

Table 2 Experiment treatments of soil core on leaching of nutrient in soil

土柱号 Column code	秸秆培肥/(t · hm ⁻²) Cornstalk fertilization	施肥水平/(kg · hm ⁻²) Different fertile levels
CK	无 No	无 No
M0	无 No	200N 100P 100K
M1	30	200N 100P 100K

1.3 测定项目及方法

硝态氮含量测定采用电极法^[17]; 铵态氮含量测定采用靛酚蓝比色法^[17]; 水溶性磷含量测定采用钼锑抗比色法^[17]; 速效钾含量测定采用火焰光度计法^[17]。

2 结果与分析

2.1 秸秆培肥对硝态氮淋失的影响

从图 1 可以看出, 秸秆培肥处理淋溶液中 NO₃⁻-N 的累计含量较未施秸秆处理低, 至淋溶试验结束时, 秸秆培肥处理淋溶液中 NO₃⁻-N 累计含量为 259.4 g/kg, 而未施秸秆处理为 724.6 g/kg, 未施秸秆处理的 NO₃⁻-N 累计含量为秸秆培肥处理的 2.79 倍。由图 2 可以看出, 无论是秸秆培肥处理还是未施秸秆处理, 施肥处理淋溶液中 NO₃⁻-N 含量都远远高于不施肥处理。秸秆培肥处理第 1 次出流液的时间和未施秸秆处理第 3 次出流液的时间相同, 即未施秸秆处理淋溶液已经接到第 3 个 200

mL, 秸秆培肥处理淋溶液才接完第 1 个 200 mL, 说明经过秸秆培肥后, 水分及溶质向下流动的速度减缓。但秸秆培肥处理 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量最高峰出现的时间较未施秸秆处理提前, 说明其减缓的并不是基质的流动速度, 而是优先流的速度和数量, 说明秸秆培肥对减少土壤优先流具有一定作用。到淋溶后期, 未施秸秆处理淋溶液中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量降低较快,

秸秆培肥处理淋溶液中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量降低趋势则相对平缓, 在最后 1 次淋溶液中, 秸秆培肥处理的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量高于未施秸秆处理, 说明秸秆培肥土壤后, 到淋溶后期养分释放较多, 从而增加了土壤溶液中可淋溶 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量。从接收淋溶液总体积来看, 秸秆培肥处理较未施秸秆处理少, 秸秆培肥处理为 11 次, 而未施秸秆处理为 28 次。

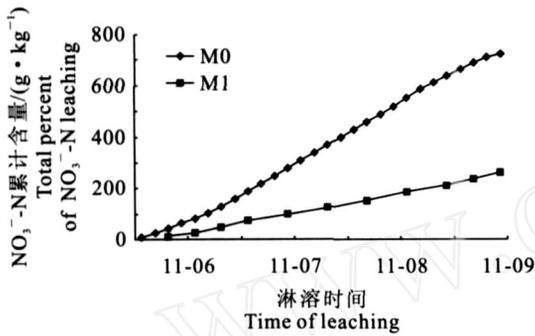


图 1 淋溶液中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的累计含量

Fig. 1 Total percent of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ in leaching water

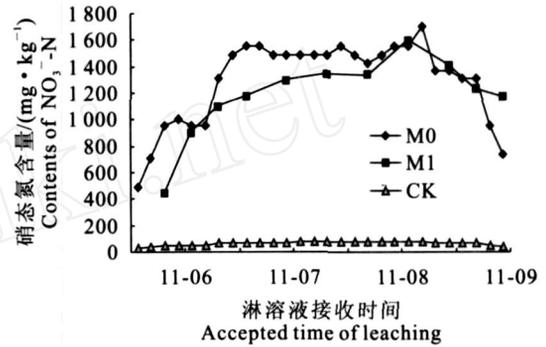


图 2 淋溶液中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量的动态变化

Fig. 2 Dynamic changes of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ in leaching water $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 累计含量都不是很高, 但相差幅度在所有养分中最大, 未施秸秆处理的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 累计含量为秸秆培肥处理的 4.54 倍。

2.2 秸秆培肥对铵态氮淋失的影响

由图 3 可以看出, 至淋溶试验结束时, 秸秆培肥处理淋溶液中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 累计含量为 2.4 g/kg, 而未施秸秆处理为 10.9 g/kg, 虽然两个处理淋溶液中

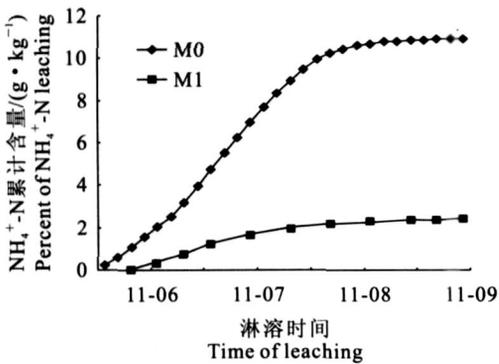


图 3 淋溶液中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的累计含量

Fig. 3 Total percent of $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ in leaching water

由图 4 可以看出, 未施秸秆处理淋溶液中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量的变化曲线与 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋溶曲线有所不同, 其含量峰值达到最高后, 并未保持一定的时间, 而是到达最高后随即下降, 直至 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量为 0 mg/L, 且只有一个峰值。秸秆培肥处理淋溶液中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量较未施秸秆处理低, 其含量约是未施秸秆处理的 1/2, 第 1 次淋溶液中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量较低, 接近 0 mg/L。到淋溶后期, 秸秆培肥与未施秸

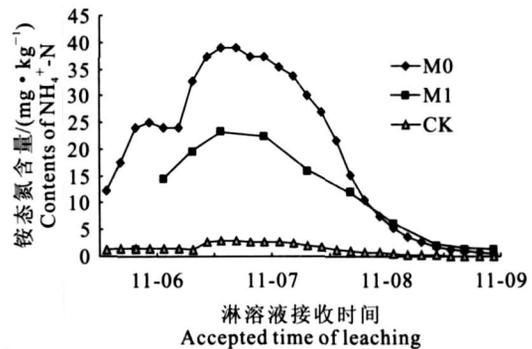


图 4 淋溶液中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量的动态变化

Fig. 4 Dynamic changes of $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ in leaching water 秆处理淋溶液中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量均迅速下降, 逐渐接近 0 mg/L。秸秆培肥和未施秸秆处理淋溶液中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 在时间和含量上的趋势与 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的基本相同, 都是先低, 然后逐渐升高, 最后又降低, 但秸秆培肥处理第 1 次淋溶液中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量偏低, 其数值与不施肥对照差别不大, 说明 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 可能不是肥料淋出的, 而是土壤溶液本身含有的, 如果将第 2 次淋溶液淋出 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的时间作为肥料淋出的时

间,那么 NH_4^+-N 的淋出时间落后于 NO_3^--N 。

未施秸秆处理淋溶液中 NH_4^+-N 含量峰值上升到一定高度后随即下降,直至为 0 mg/L 。也就是说其只有优先流的峰值,而无基质峰,这与土壤对 NH_4^+-N 的强烈吸附有一定关系。而经过秸秆培肥的土壤淋溶液中 NH_4^+-N 含量较未施秸秆处理降低很多,特别是第 1 次的数值明显偏低,说明秸秆培肥后对 NH_4^+-N 的保持作用较 NO_3^--N 更为显著,而且 NH_4^+-N 相对于 NO_3^--N 的淋溶时间有滞后现象。

2.3 秸秆培肥对水溶性磷淋失的影响

由图 5 可以看出,秸秆培肥处理淋溶液中水溶

性磷的累计含量较未施秸秆处理低,至淋溶试验结束时,秸秆培肥处理淋溶液中水溶性磷的累计含量为 138.7 g/kg ,而未施秸秆处理为 436.8 g/kg ,两者相差近 300 g/kg 。由图 6 可知,与未施秸秆处理相比,秸秆培肥处理淋溶液中水溶性磷含量整体偏低,且淋溶液中水溶性磷含量小于未施秸秆处理,说明秸秆培肥减少了水溶性磷的损失。但与氮的淋溶相比,秸秆培肥处理淋溶液中水溶性磷的变化曲线相对平缓,上升幅度和下降幅度均较小。未施秸秆处理淋溶液中水溶性磷含量到淋溶后期则下降很快,到淋溶最后 3 次水溶性磷含量较秸秆培肥处理低。

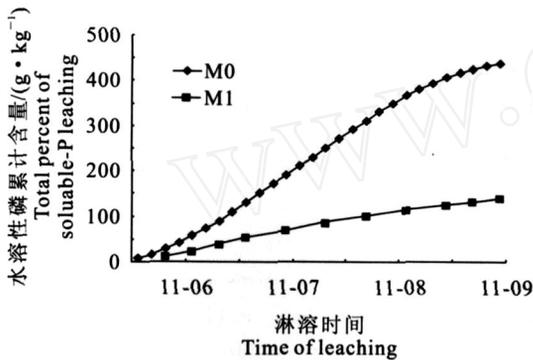


图 5 淋溶液中水溶性磷的累计含量

Fig. 5 Total percent of soluble-P in leaching water

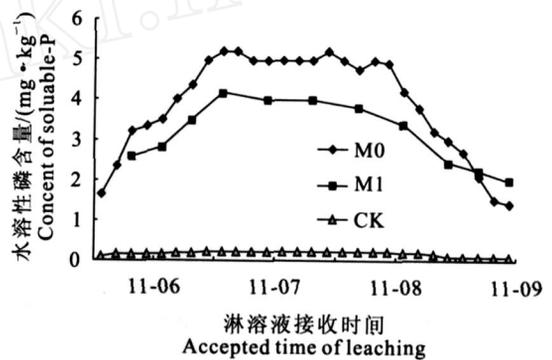


图 6 淋溶液中水溶性磷含量的动态变化

Fig. 6 Dynamic changes of soluble-P in leaching water

2.4 秸秆培肥对钾素淋失的影响

淋溶液中速效钾的累计含量和动态变化见图

7,8。

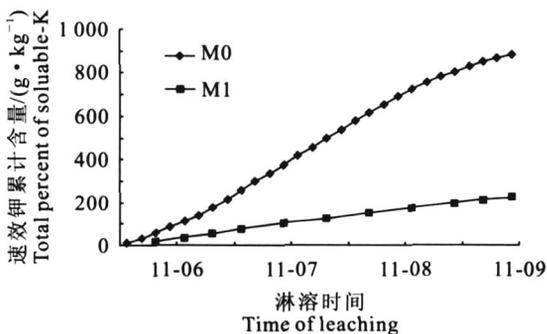


图 7 淋溶液中速效钾的累计含量

Fig. 7 Total percent of soluble-K in leaching water

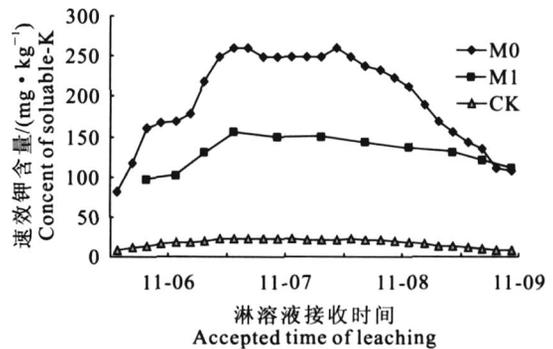


图 8 淋溶液中速效钾的动态变化

Fig. 8 Dynamic changes of soluble-K potassium in leaching water

由图 7 可以看出,秸秆培肥处理淋溶液中速效钾的累计含量为 227.1 g/kg ,而未施秸秆处理为 883.3 g/kg ,两者相差约 600 g/kg 。从图 8 可以看出,与未施秸秆处理相比,秸秆培肥处理淋溶液中速效钾淋溶曲线更平缓,在淋溶初期上升,到达一定数

值后缓慢下降,整体变化不大,说明秸秆培肥能保持淋溶液中钾不流失,而且淋溶液中钾吸附和释放保持平衡,从而使土壤溶液中的速效钾含量较稳定。而未施秸秆处理淋溶液中速效钾含量变化较大,前期含量较低,随着淋溶的进行,淋溶液中速效钾含量

上升到一个较高值,然后再次下降,到最后速效钾含量与秸秆培肥处理基本持平。

3 讨 论

关于有机培肥减少养分淋失的作用已有报道^[18-20],但从本试验结果可以看出,秸秆培肥对减少优势流中养分的淋失同样具有很好的效果。无论是对阴离子养分还是阳离子养分,秸秆培肥处理淋溶液中养分含量与未施秸秆处理相比,均有不同程度降低,这是因为土壤秸秆培肥后,其保肥能力增加,从而使土壤吸附了更多养分的缘故。但到淋溶后期,经过秸秆培肥处理的淋溶液中养分含量降低较为缓慢,而未施秸秆处理降低较快。这可能是因为随着淋溶的进行,土壤溶液中各养分离子含量降低后,土壤基质吸附的养分开始向溶液中释放,而秸秆培肥土壤吸附的养分较多,释放也较多,所以导致后期淋溶液中养分含量反而高于未施秸秆处理。但从总量上看,秸秆培肥土壤中养分淋溶损失还是较少,这是因为其总含量还是较低的,而且淋溶液总体积也较少,所以肥料淋失的总量也就少。这里需要强调的一点是,本试验中淋溶液中各种养分的含量与他人试验^[21]相比都要高出几倍甚至更多,主要原因可能是本试验采用的是原状土柱,因而淋溶液是受土壤基质吸附作用较少的优势流,所以淋溶液中养分含量较高,如淋溶液中钾含量在以往试验中认为其未超过引用水标准^[21],而本试验中其峰值超过了饮用水标准,这与以往研究有所不同。所以对优势流的污染更应该引起注意。

另外,从本研究结果可以看出,土壤经过秸秆培肥后,同样降低了养分向下淋溶的速度,从而推迟了养分到达底部的时间,这可能主要有两方面原因:一是土壤秸秆培肥增加了土壤的保水能力,从而使水流向下流动减缓;二是由于土壤秸秆培肥减少了土壤大孔隙的数量。对于土壤经过秸秆培肥后增强了保水能力的研究已有报道^[22],但对秸秆培肥后对土壤大孔隙数量的影响,目前尚未见报道,这还有待于进一步深入研究。

4 结 论

(1) 秸秆培肥土壤可以降低优先流中各种养分的含量,从而减少养分淋失,但对不同养分降低的幅度不一。

(2) 秸秆培肥土壤可以减缓优先流向下流动的速度,从而使养分淋失的总量减少,延缓和减轻了地下水的污染。

速度,从而使养分淋失的总量减少,延缓和减轻了地下水的污染。

(3) 土壤秸秆培肥后,其保持的养分较多,可释放的养分也较多,所以如果降雨或灌溉足够充分,到淋溶后期其对地下水污染可能性反而增大。

(4) 秸秆培肥对阳离子养分的保持效果要优于对阴离子养分的保持。

致谢:本试验得到了导师卢文喜老师的细心指导,在试验过程中得到姜亦梅老师,研究生张葛的帮助,在此表示衷心的感谢。

[参考文献]

- [1] Bouma J. Influence of soil macroporosity on environmental quality[J]. *Adv Agron*, 1991, 46: 1-37.
- [2] Jarvis S C. Progress in studies of nitrate leaching from grassland soils[J]. *Soil Use and Management*, 2000, 16: 152-156.
- [3] Goulding K W T, Poulton P R, Webster C P, et al. Nitrate leaching from the Broadbalk Wheat Experiment, Rothamsted, U K, as influenced by fertilizer and manure inputs and the weather[J]. *Soil Use and Management*, 2000, 16: 244-250.
- [4] Ohrstrom P, Person M, Albergel J, et al. Field-scale variation of preferential flow as indicated from dye coverage[J]. *Journal of Hydrology*, 2002, 257: 164-173.
- [5] Karunatilake U P, Van Es H M. Rainfall and tillage effects on soil structure after alfalfa conversion to maize on a clay loam soil in New York[J]. *Soil & Tillage Research*, 2002, 67: 135-146.
- [6] Cameira M R, Fernando R M, Pereira L S. Soil macropore dynamics affected by tillage and irrigation for a silty loam alluvial soil in southern Portugal[J]. *Soil & Tillage Research*, 2003, 70: 131-140.
- [7] Allaire S E, Gupta S C, Nieber J, et al. Role of macropore continuity and tortuosity on solute transport in soils: 1. Effects of initial and boundary conditions[J]. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2002, 58: 299-321.
- [8] Morgun N M, Wilding L P, McInnes K J. Soil structural interfaces in some Texas vertisols and their impact on solute transport[J]. *Catena*, 2003, 54: 477-493.
- [9] Hagedorn F, Bundt M. The age of preferential flow paths[J]. *Geoderma*, 2002, 108: 119-132.
- [10] Pierret A, Capowiez Y, Belzunces L, et al. 3D reconstruction and quantification of macropores using X-ray computed tomography and image analysis[J]. *Geoderma*, 2002, 106: 247-271.
- [11] 冯 杰,郝振纯. CT扫描确定土壤大孔隙分布[J]. *水科学进展*, 2002, 13(5): 611-617.

(下转第 155 页)

本试验中发现撂荒地钙积层土壤分形维数大于其他各层,这还有待于进一步深入研究。

[参考文献]

- [1] 魏天兴,朱金兆.黄土区人工林地水分供耗特点与林分生产力研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(4):45-51.
- [2] 韩冰,吴钦孝,赵鸿雁,等.黄土丘陵区油松人工林对土壤水分因子影响的相关分析[J].防护林科技,1998(3):2-5.
- [3] 刘向东,吴钦孝,赵鸿雁.黄土丘陵区人工油松林和山杨林林冠截留作用的研究[J].水土保持通报,1991,11(1):4-7.
- [4] 李勇,徐晓琴.黄土高原油松人工林根系改善土壤物理性质的有效模式[J].林业科学,1993,29(3):193-198.
- [5] 李勇.油松人工林根系对土壤抗冲性的增强效应[J].水土保持学报,1990,4(1):1-5.
- [6] 高甲荣,肖斌.桥山林区油松人工林营养元素分配与积累的研究[J].应用生态学报,2001,12(5):667-671.
- [7] 张万儒.森林土壤分析方法[M].北京:中国标准出版社,1999.
- [8] Turcotte D L. Fractal fragmentation model of soil aggregation[J].J Geography Res,1993,91(12):1921-1926.
- [9] 杨培岭,罗远培,石元春.用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J].科学通报,1993,38(20):1896-1899.
- [10] 黄冠华,詹卫华.土壤颗粒的分形特征及其应用[J].土壤学报,2000,39(4):490-497.
- [11] 刘云鹏,王国栋,张社奇,等.陕西4种土壤粒径分布的分形特征研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2003,31(2):92-94.
- [12] 李德成,李忠佩,Velde B,等.不同利用年限的红壤水稻土孔隙结构差异的图像分析[J].土壤,2002(3):134-137.
- [13] Herrmann K H, Pohlmeier A, Gembris D, et al. Three-dimensional imaging of pore water diffusion and motion in porous media by nuclear magnetic resonance imaging[J]. Journal of Hydrology, 2002, 267: 244-257.
- [14] Malone R W, Logsdon S, Shipitalo M J, et al. Tillage effect on macroporosity and herbicide transport in percolate[J]. Geoderma, 2003, 116: 191-215.
- [15] Chen C C, Roseberg R J, Selker J S. Using microsprinkler irrigation to reduce leaching in a shrink/swell clay soil[J]. Agricultural Water Management, 2002, 54: 159-171.
- [16] 区自清,贾良清,金海燕,等.大孔隙和优先水流及其对污染物在土壤中迁移行为的影响[J].土壤学报,1999,36(3):341-347.
- [17] 劳家桢.土壤农化分析手册[M].北京:农业出版社,1988.
- [18] 刘方春,聂俊华,刘春生,等.不同施肥措施对土壤硝态氮垂直分布的特征影响[J].土壤通报,2005,36(1):50-53.
- [19] 张卫国,牛少莉,宋爱君. HA 有机-无机复混肥中氮磷钾释放效果的测定[J].河北科技师范学院学报,2005,19(2):5-8.
- [20] Hodgkinson R A, Chambers B J, Withers P J A, et al. Phosphorus losses to surface waters following organic manure applications to a drained clay soil[J]. Agricultural Water Management, 2002, 57: 155-173.
- [21] 宋玉芳,任丽萍,许华夏.不同施肥条件下旱田养分淋溶规律试验研究[J].生态学杂志,2001,20(6):20-24.
- [22] 熊国华,林咸永,章永松,等.施用有机肥对蔬菜保护地土壤环境质量影响的研究进展[J].科技通报,2005,21(1):84-90.

(上接第 150 页)