

膜孔灌肥液自由入渗硝态氮运移特性试验研究

穆红文¹, 费良军¹, 雷雁斌²

(1. 西安理工大学水资源研究所, 陕西 西安 710048; 2. 陕西省水利厅, 陕西 西安 710048)

摘 要: 以 KNO_3 为入渗溶液, 模拟研究了硝态氮在膜孔灌肥液自由入渗条件下的运移过程。结果表明, 在湿润峰运移的范围内, 沿着膜孔水平方向和垂直方向, 硝态氮前锋运移速率受土壤含水量的影响较大, 并随着土壤含水量的增加而增加; 硝态氮前锋运移速率与运移距离有很好的相关性, 并随着运移距离的增加呈幂函数衰减变化。硝态氮前锋浓度随着运移距离的增加而升高, 其变化趋势呈指数曲线关系, 且在湿润锋(土壤干湿交界)面上达到最大值; 硝态氮前锋浓度随土壤含水量的增加呈幂函数递减, 两者的相关系数也达到了极显著水平。

关键词: 硝态氮; 运移速率; 运移浓度; 土壤含水量

中图分类号: S152.7⁺² **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)02-0063-05

土壤中硝态氮被认为是农田土壤环境中造成地下水污染最重要的污染源之一, 其在土壤中的运移行为, 已成为环境科学和土壤学研究中的热点问题^[1]。膜孔灌溉是适合我国国情、具有广阔应用前景的节水灌溉新技术^[2], 结合膜孔灌溉这种节水灌溉技术进行施肥, 有利于减少硝态氮淋失, 对于提高氮肥利用率, 预防潜在的环境污染具有重要的意义。国内学者费良军、缴锡云、吴军虎和李发文等人对膜孔灌溉条件下土壤水分运动和分布规律的研究已有一定的进展^[3~5], 且主要是针对清水膜孔灌入渗的土壤水分运移特性、影响因素及数学模型等方面开展的试验研究, 直至目前尚未见到国外有关方面的研究报道。在农田氮素运移方面的研究, 国内外学者多集中在畦灌、滴灌、喷灌等灌溉方式, 但对膜孔灌条件下土壤中氮素运移的研究还不多见。

膜孔灌自由入渗条件下硝态氮运移特性是膜孔灌施肥技术研究的基础。硝态氮在土壤中很少被吸持, 主要以离子的形式存在于土壤溶液中, 它的运移速率直接受到土壤水分含量、土壤的物理性质和水流运动速度的影响。本研究在西安理工大学试验场用土室内盆试进行了膜孔灌肥液自由入渗试验, 讨论了供试土壤含水量以及运移距离与硝态氮的运移关系, 探讨了膜孔灌肥液自由入渗条件下硝态氮的运移规律, 为农田膜孔灌水肥管理提供了科学依据。

1 试验条件与方法

本试验利用自行研制的膜孔点源入渗装置(如

图 1 所示), 在室内进行单膜孔点源充分供肥液的入渗试验。试验土箱采用 10 mm 厚的有机玻璃板制作, 为使试验过程膜孔为自由入渗, 试验土箱尺寸长×宽×高为 24 cm×24 cm×30 cm; 为了便于观测湿润锋的运移过程, 入渗点源采用 1/4 膜孔面积的方形水室, 直径为 6 cm, 并置于土箱的一角。

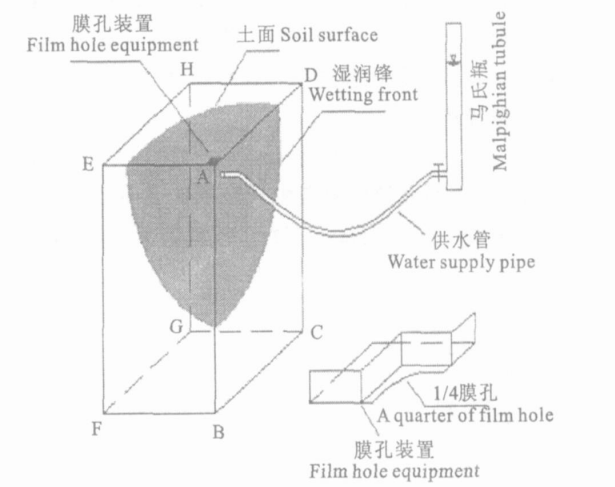


图 1 膜孔自由入渗装置

Fig. 1 Equipment for film hole free infiltration

试验土样为壤土, 其颗粒级配组成见表 1, 土壤容重为 1.30 g/cm^3 , 饱和体积含水量为 $0.47 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, 初始硝态氮浓度为 102 mg/L 。土样经风干、过孔径 2 mm 筛, 初始重量含水量为 10%, 按预定容重分层(5 cm 厚)装入土箱, 肥液浓度为 600 mg/L 的硝酸钾溶液作为入渗溶液, 用马氏瓶进行自动供液, 进行膜孔灌硝态氮肥液入渗试验。在试验中, 观测

收稿日期: 2006-06-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50579064)

作者简介: 穆红文(1980—), 男, 甘肃永昌人, 硕士, 主要从事农业水资源利用研究。E-mail: hongwenmu@163.com。

湿润锋在水平方向和垂直方向的运移距离和时间,当硝态氮水平运移湿润锋分别到达 2、4、6、8、10、12、14 cm 时,停止试验,立即在土壤剖面沿水平和

垂直两个方向按布设的取土点取样,每个取土点 4 个样品,其中 2 个样品测定土壤水分含量,2 个样品测定硝态氮浓度。

表 1 试验土样的颗粒级配组成
Table 1 Grain composition of soil for experiment

粒径(mm) Diameter of particle	<1.00	<0.5	<0.25	<0.10	<0.05	<0.025	<0.01	<0.005	<0.002	<0.001
含量 Content (%)	99.60	99.20	98.87	98.60	89.15	56.58	28.02	11.34	2.88	0.90

2 试验结果分析

2.1 硝态氮前锋运移速率与运移距离的关系

图 2、图 3 分别表示在膜孔灌肥液自由入渗条件下硝态氮前锋在水平方向和垂直方向的运移速率与运移距离的关系曲线。

可以看出,土壤中硝态氮前锋在垂直方向的运移速率较水平方向的运移速率大,但运移规律基本一致,在两个方向上,硝态氮前锋运移速率均随运移距离的增加而减小,在表层土壤(0~5 cm)变化较大;随运移距离的增加,硝态氮前锋运移速率变缓,并逐渐趋于稳定。分析表明,硝态氮前锋在水平方向和垂直方向的运移速率与运移距离之间均可用负幂函数描述,即

$$V = kx^{-\alpha} \tag{1}$$

式中, V 为膜孔灌肥液自由入渗条件下硝态氮前锋运移速率 (cm/min); x 为硝态氮前锋运移距离

(cm); k, α 为拟合参数。

图 2、图 3 中的实线为膜孔灌肥液自由入渗条件下硝态氮前锋水平和垂直运移速率的试验拟合曲线,其拟合方程分别为:

水平方向: $V = 0.6504x^{-1.278} \quad R^2 = 0.9658 \tag{2}$

垂直方向: $V = 2.2729x^{-1.634} \quad R^2 = 0.9887 \tag{3}$

相关分析表明,硝态氮前锋运移速率与运移距离之间具有显著的幂函数关系。硝态氮前锋的运移速率随运移距离的增加而减小的主要原因是硝态氮在土壤中运移的主要驱动力为硝态氮的浓度梯度和干湿土壤之间的水势梯度,由于试验周期很短,硝态氮扩散作用的比重较小,运移主要以对流为主,因此在试验过程中,影响硝态氮运移的主要因素是干湿土壤的水势梯度。在试验初始阶段,离膜孔中心越近,干湿土壤之间的水势梯度就越大,硝态氮的运移速率也越大;随运移距离的增加,水势梯度逐渐降低,其水分和硝态氮的运移逐渐趋于稳定。

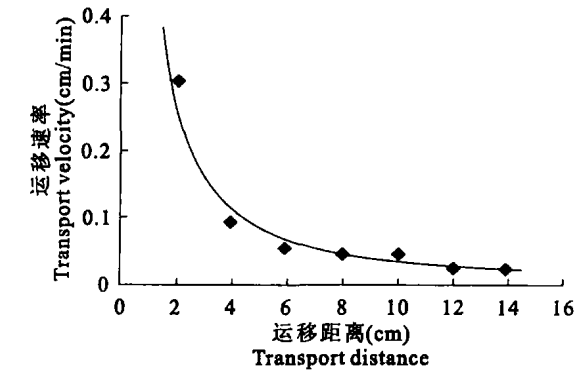


图 2 硝态氮水平运移速率与水平距离的关系
Fig.2 Relationship between transport velocity of nitrate nitrogen and distance in the horizontal direction

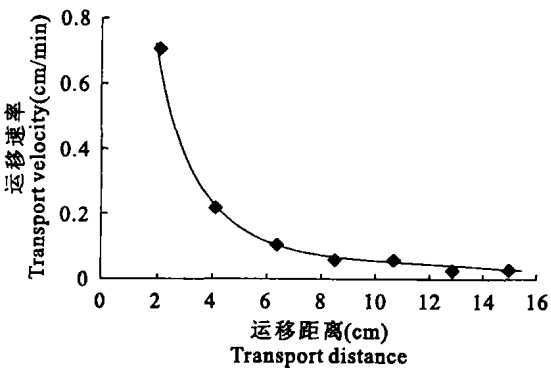


图 3 硝态氮垂直运移速率与垂直距离的关系
Fig.3 Relationship between transport velocity of nitrate nitrogen and distance in the vertical direction

2.2 硝态氮前锋运移速率与土壤含水量的关系

硝态氮前锋在水平方向和垂直方向运移速率与湿润锋处土壤水分含量之间的变化关系曲线分别见图 4 和图 5。

可以看出:在水平方向和垂直方向上,硝态氮前锋运移速率与湿润锋处土壤含水量之间的变化趋势

基本一致。在两个方向上,当土壤体积含水量均大于 $0.4 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 时,硝态氮前锋运移速率随湿润锋处土壤含水量的增加而急剧增加。硝态氮运移的主要驱动力是干湿土壤的水势梯度,随着湿润锋处土壤含水量的减少,硝态氮的运移速率迅速减缓,并逐渐趋于稳定。当土壤含水量相同时,硝态氮垂向运

移速率比水平运移速率均大,这是由于在垂直方向

上存在着重力势的作用。

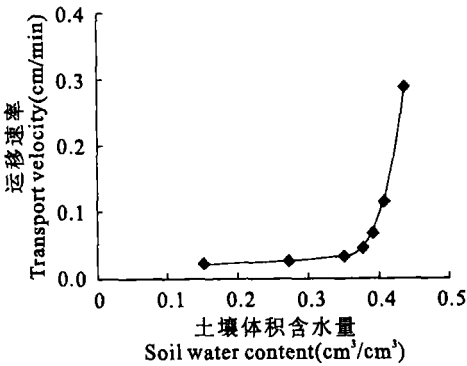


图 4 硝态氮水平方向运移速率与湿润锋处土壤含水量的关系

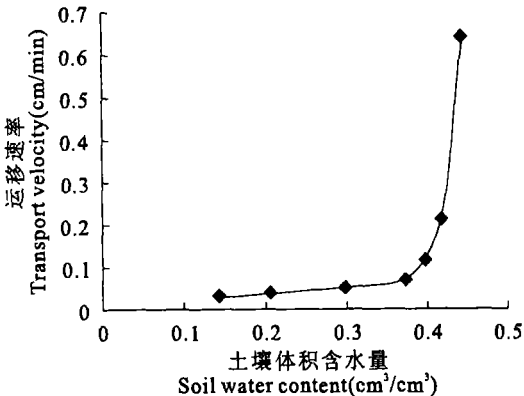


图 5 硝态氮垂直方向运移速率与湿润锋处土壤含水量的关系

Fig. 4 Relationship between transport velocity of nitrate nitrogen and soil water content in the horizontal direction

Fig. 5 Relationship between transport velocity of nitrate nitrogen and soil water content in the vertical direction

2.3 硝态氮前锋浓度与运移距离的关系

图 6、图 7 分别表示膜孔灌肥液自由入渗条件下硝态氮前锋浓度在水平方向和垂直方向与运移距离的关系曲线。

可以看出,在水平方向和垂直方向硝态氮前锋浓度均随运移距离的增加而增加。分析表明,硝态氮前锋浓度在水平方向和垂直方向上与运移距离之间均可用指数函数描述,即

$$C = a e^{bx} \tag{4}$$

式中, C 为膜孔灌肥液自由入渗条件下硝态氮前锋浓度(mg/L); x 为硝态氮前锋运移距离(cm); a, b 为拟合参数。

图 6、图 7 中的实线为膜孔灌肥液自由入渗条件下硝态氮前锋水平和垂直运移距离与前锋硝态氮浓度的拟合曲线,其拟合方程分别为:

水平方向: $C = 128.84 e^{0.0343x} \quad R^2 = 0.9866 \tag{5}$
垂直方向: $C = 128.73 e^{0.0407x} \quad R^2 = 0.9758 \tag{6}$

相关分析表明,硝态氮前锋浓度与运移距离之间具有显著的指数函数关系。硝态氮前锋浓度随运移距离增加而升高的主要原因是由于在本试验过程中硝态氮的运移主要以对流作用为主,土壤胶体表面大量的负电荷对带负电的硝态氮具有排斥作用,硝态氮在随水分运移的过程中具有较强的移动性,不存在浓度损失;同时,在湿润锋不断推进的过程中,肥液对土壤中原来的硝态氮具有一定的淋洗作用,硝态氮逐步被淋洗至远离膜孔中心的土壤剖面中,导致硝态氮随着运移距离的增加其浓度呈指数曲线递增。在干湿交界湿润锋面上,硝态氮的浓度达到最大值。

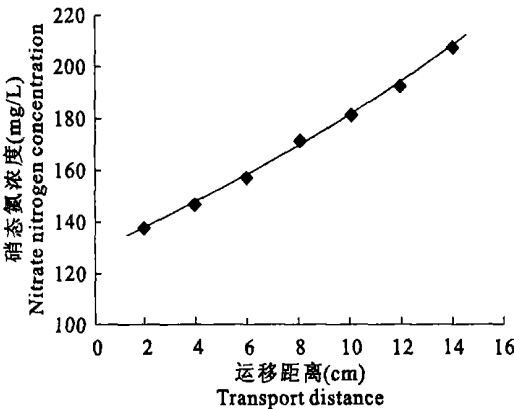


图 6 硝态氮水平前锋浓度与运移距离的关系

Fig. 6 Relationship between nitrate nitrogen concentration at front in horizon direction and transport distance

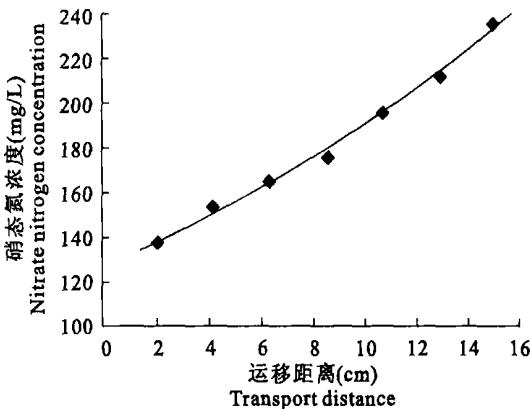


图 7 硝态氮垂直前锋浓度与运移距离的关系

Fig. 7 Relationship between nitrate nitrogen concentration at front in vertical direction and transport distance

2.4 硝态氮前锋浓度与含水量的关系

图 8、图 9 分别表示膜孔灌肥液自由入渗条件下硝态氮前锋浓度在水平方向和垂直方向与土壤含

水量的关系曲线。

可以看出,在水平方向和垂直方向硝态氮前锋浓度均随湿润锋处土壤含水量的增加而减小,分析表明,硝态氮前锋浓度在水平方向和垂直方向上与湿润锋处的土壤含水量的关系均可用幂函数描述,即

$$C = e\theta^f \tag{7}$$

式中, C 为膜孔灌肥液自由入渗条件下硝态氮前锋浓度(mg/L); θ 为土壤体积含水量; e, f 为拟合参数。

图 8、图 9 中的实线为膜孔灌肥液自由入渗条件下硝态氮前锋水平和垂直的土壤含水量与硝态氮前锋浓度的拟合曲线,其拟合方程分别为:

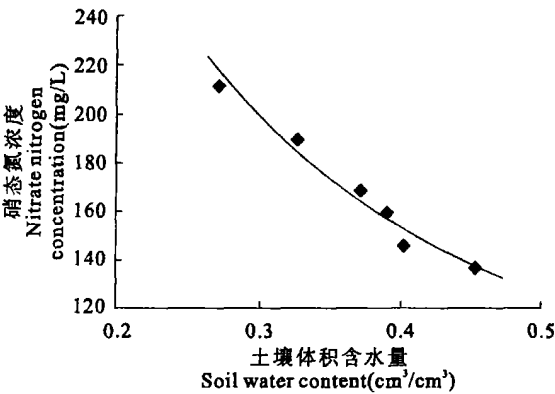


图 8 硝态氮水平前锋浓度与土壤前锋含水量的关系
Fig.8 Relationship between nitrate nitrogen concentration at front and soil water content in the horizontal direction

水平方向: $C = 67.228\theta^{-0.903} \quad R^2 = 0.9658 \tag{8}$
垂直方向: $C = 107.95\theta^{-0.369} \quad R^2 = 0.9887 \tag{9}$

相关分析表明,硝态氮前锋浓度与土壤含水量之间具有显著的幂函数关系。这与邓建才^[6]报道的硝态氮前锋浓度随土壤含水量增加而逐渐减少的结论一致。其主要原因是在膜孔水平方向和垂直方向,土壤的含水量随着距离的增加均呈递减趋势。由硝态氮前锋浓度随运移距离的增加而递增的关系可知,硝态氮浓度随含水量递增而减小,同时,土壤水分对土壤固有的硝态氮具有稀释作用,土壤含水量高,相邻两点的水势梯度小,对硝态氮稀释作用强。

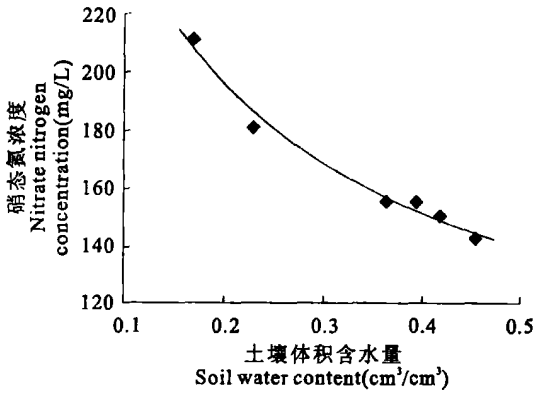


图 9 硝态氮垂直前锋浓度与土壤前锋含水量的关系
Fig.9 Relationship between nitrate nitrogen concentration at front and soil water content in the vertical direction

3 结论

1) 在膜孔灌肥液自由入渗条件下,在膜孔水平方向和垂直方向上,土壤中硝态氮前锋运移速率均随运移距离的增加呈幂函数衰减变化。

2) 在膜孔灌肥液自由入渗条件下,在膜孔水平方向和垂直方向上,土壤中硝态氮前锋运移速率均受土壤含水量的影响,并随前锋土壤含水量的增大而增加。

3) 在膜孔灌肥液自由入渗条件下,在膜孔水平方向和垂直方向上,土壤中硝态氮前锋浓度与运移距离呈指数函数曲线变化,随运移距离的增加而升高,并且在土壤干湿交界处(湿润峰面)达到最大值。

4) 在膜孔灌肥液自由入渗条件下,在膜孔水平方向和垂直方向上,土壤中硝态氮前锋浓度随前锋

土壤含水量的增加而减少,符合幂函数曲线变化趋势。

参考文献:

[1] Chang C, Entz T J. Nitrate leaching losses under repeated cattle feedlot manure applications in Southern Alberta[J]. Environment Quality, 1996, 25(1): 145—153.
[2] 董玉云. 膜孔灌充分供水点源入渗研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(6): 200—203.
[3] 费良军, 李发文, 吴军虎. 膜孔灌单向交汇湿润体特性影响因素[J]. 水利学报, 2003(5): 62—68.
[4] 缴锡云. 膜孔灌溉理论与技术要素试验研究[D]. 西安: 西安理工大学, 1999.
[5] 李发文. 膜孔灌溉交汇入渗特性及其影响因素研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2002.
[6] 邓建才, 陈效民, 柯用春. 土壤水分对土壤中硝态氮水平运移影响[J]. 中国环境科学, 2004, 24(3): 280—284.

(英文摘要下转第 79 页)

口减小平缓,能够保持相对稳定的气孔导度和光合效率,即使在严重水分胁迫下,仍能保持一定大小的气孔开度,尽可能地维持生理代谢平衡,度过干旱逆境。

3) 抗旱大豆品种 A¹ 是在较长期干旱环境中仍能维持水分平衡和正常生长发育的一种大豆生态类型。干旱环境中,这种大豆叶片相对小而厚,被蜡质,着生茸毛,叶脉网状突出,呈现部分旱生植物叶片的结构特征。因此,很有必要进一步研究其持水抗旱机理及意义。

参 考 文 献:

[1] Begg J E. Adaptation of plants to water and hight temperature

stress[M]. New York: John Wiley and Sons, 1980. 295—308.
[2] 关义新,戴俊英. 水分胁迫下植物叶片光合的气孔与非气孔限制[J]. 植物生理学通讯, 1995, 31(4): 293—297.
[3] 杨建昌. 水分胁迫对水稻叶片气孔频率、气孔导度及脱落酸含量的影响[J]. 作物学报, 1995, 21(5): 533—539.
[4] Salisbury F B, Ross C. 北京大学生物系, 华北农业大学农学系译. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 1979. 61—733.
[5] 游明安, 盖钧镒, 马育华, 等. 田间条件下大豆气孔特性的初步研究[J]. 大豆科学, 1992, 11(2): 152—158.
[6] 路贵和. 黄淮海地区不同抗旱类型大豆种质资源气孔特性与抗旱性的研究[J]. 大豆科学, 2000, 2(19): 1—7.
[7] 西北农业大学植物生理生化教研组. 植物生理学实验指导[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1987.

Stomatal character changes of soybean leaves under water stress

GAO Yan-ping¹, FENG Ying², MA Zhi-jun¹, LI Qiang³, ZHANG Xiu-juan³
(1. Istitute of Industrial Crops, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China;
2. Jingyuan Weather Bureau, Jingyuan Gansu 730600, China;
3. Lanzhou Seed Droduction Fram, Lanzhou, Gansu 730083, China)

Abstract: Stomatal characters of leaves on three different drought-resistant soybean cultivars under slight, moderate and heavy water stress were observed by the method of collodion imprinting film. The results showed that stomatal density of soybean leaves increased, stomatal apertura and relative stomatal area per leave area decreased under water stress. The sequence of stomatal density change range of different drought resistant cultivars was: the little drought-resistant cultivars A³>the middle drought-resistant cultivar A²>the strong drought-resistant cultivar A¹. The ability to adjust stomatal open was: the strong drought-resistant cultivar A¹>the middle drought-resistant cultivar A²>the little drought-resistant cultivar A³.

Keywords: Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill); water stress ; drought-resistant cultivars; stomatal characters

(上接第 66 页)

Characteristics of nitrate-N movement under film hole infiltration with fertilizer

MU Hong-wen¹, FEI Liang-jun¹, LEI Yan-bin²
(1. Institute of Water Resource, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;
2. Shanxi Water Conservancy Department, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: With solution for irrigation, the transport processes of nitrate nitrogen under film hole free irrigation with fertilizer was studied. The results showed that the transport velocity of nitrate nitrogen at the front in the wetting body in the horizontal direction and vertical direction was greatly influenced by soil water content and increased with soil water content increase; The transport velocity had a close correlation relationship with transport distance of nitrate nitrogen at the front and decreased with distance as power function. The concentration of nitrate nitrogen at the front increased with the distance, changed as exponential function, and reached to the maximum value at the surface of wet front (the interface of wet and dry soil); the concentration of nitrate nitrogen at the front decreased with soil water content increase as power function; the correlation coefficient between them reached very significant level.

Keywords: nitrate nitrogen; transport velocity; transport concentration; soil water content