

限域供应 NO_3^- 对玉米根系形态及其吸收的影响*

何 华¹, 康绍忠², 曹红霞²

(1 中国科学院水利部水土保持研究所; 2 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 用 PVC 管进行土柱栽培试验, 研究了限域供应 NO_3^- 对玉米根重、根系密度大小和分布的影响及玉米根系形态对 NO_3^- 吸收的影响, 并讨论了限域供应 NO_3^- 与侧根萌发、伸长的关系。结果表明, 土表下灌施 NO_3^- 能促进根系在土壤中下层的分布, 显著增加根系密度及其在土壤中层分布; 根系密度与 NO_3^- 吸收量关系密切, 相关系数 (R^2) 为 0.9506。限域供应 NO_3^- 能够刺激侧根萌发伸长和增加根系密度。

[关键词] 限域供应 NO_3^- ; 玉米根系; 根系形态; NO_3^- 吸收

[中图分类号] S513.062

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-2782(2002)01-0005-04

作物根系在土壤中的构型不仅与土壤水分环境密切相关, 而且与土壤养分的空间分布有关。土壤养分的分布影响作物根系的分布, 作物根系的分布状况反过来又影响土壤养分的吸收利用, 从而改变着土壤养分的分布, 两者为互动关系。

尽管已有很多局部施肥对作物根系生长发育影响的试验研究报告^[1-3], 但有关限域供应 NO_3^- 对作物根系生长分布的研究还较少; 虽已有一些关于作物吸收 NO_3^- 的试验研究, 但有关 NO_3^- 吸收与根系形态特征的研究极少; 并且 NO_3^- 吸收数量的多少与其淋溶数量, 造成地下水污染程度密切相关。因此, 研究限域供应 NO_3^- 与作物根系大小分布及作物根系形态与 NO_3^- 的吸收关系, 具有十分重要的意义。

1 材料与方法

以夏玉米(陕单9号)为供试材料。试验在遮雨棚中进行。土柱管为高67cm、口径11cm的聚乙烯管(PVC管)。为便于采样, 土柱管在装土前纵向均分为二后, 用防水胶布紧密粘合; 自上而下在20, 30, 40cm处打对口孔, 中穿一口径为1cm的L型PVC细管, 细管在土壤部分的中点有孔径为1.0mm的滴孔, 通过此孔补充水肥。土壤过筛后, 按田间顺序装管。播前灌水至田间持水量的75%。

NO_3^- 供应区域设表面灌施 NO_3^- , 即土表直接灌水施肥(D₀); 20cm深度灌水施肥(D₂₀); 30cm深

度灌水施肥(D₃₀); 40cm深度灌水施肥(D₄₀)4个处理。后3个处理为土表下灌施 NO_3^- 处理。各处理灌水施肥量相同, 4次重复。补充水量由各生育时期最佳土壤含水量与实测含水量确定。在拔节-孕穗期追施 KNO_3 2.465g, 分3次溶于水中进行灌施。每一处理均设裸土对照, 重复3次; 其水肥供应部位、时期和数量与相应的有作物生长的处理一致。

1999-06-07播种, 幼苗长至3叶, 每柱定植1株。试验结束后, 取植株样在80℃下烘干称重, 分层测定根系重量、根系密度。不同土层 NO_3^- 吸收量按下式进行计算:

各土层 NO_3^- 变化量 = 各层的吸收量 + 迁移量 + 转化量 = 各层的吸收量 + (裸土对照相应土层 NO_3^- 变化量)。

各层 NO_3^- 吸收量 = 各土层 NO_3^- 变化量 - (裸土对照相应土层 NO_3^- 变化量)。

此公式虽然比较粗略, 但大体可以反映出作物从不同土层吸收的 NO_3^- 量。

2 结果与分析

2.1 NO_3^- 限域供应对玉米根系形态的影响

在表面灌施 NO_3^- 条件下, 养分与水分主要分布于土壤耕层, 因而这一土层的根系多而且密集; 而土表下灌施 NO_3^- , 养分与水分主要分布在灌施 NO_3^- 深度上下。因此, 灌施 NO_3^- 深度附近的根系比表面灌施 NO_3^- 同样深度的根系多, 这主要反映在

* [收稿日期] 2001-02-20

[基金项目] 国家杰出青年科学基金项目(49725102)和西北农林科技大学科研专项基金项目

[作者简介] 何 华(1971-), 女, 甘肃临泽人, 助理研究员, 博士, 主要从事节水灌溉条件下水分-养分-产量关系的研究。

玉米的根系密度与各土层根重占总根重的比例上, 详见表 1。

表 1 不同灌施 NO_3^- 深度与玉米根系形态

Table 1 Corn root morphology of localized supply of nitrate

处理 Treatment	总量/g Total	各层根重所占百分数/% Root weight			根系密度/($\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$) Root length density distribution		
		0~ 20 cm	20~ 40 cm	40~ 67 cm	0~ 20 cm	20~ 40 cm	40~ 67 cm
D ₀	16.88 A	73.16 a	20.62 B	6.22 C	1.450 A	0.585 B	0.427 b
D ₂₀	11.07 B	67.70 b	23.45 A	8.85 B	0.932 B	1.251 A	0.361 c
D ₃₀	10.64 B	63.62 b	25.56 A	9.77 B	0.939 B	1.299 A	0.445 b
D ₄₀	10.49 B	62.67 b	25.45 A	1.88 A	0.943 B	0.621 B	0.476 a

由表 1 可见, 表面灌施 NO_3^- 处理的玉米根系, 在 0~ 20 cm 土层中的密度最大, 与土表下灌施 NO_3^- 处理的差异达极显著水平, 分别是 20~ 40 cm、40~ 67 cm 土层中根系密度的 2.48 和 3.40 倍; 比 20, 30, 40 cm 灌施 NO_3^- 处理表土中的根系密度分别高 55.58%, 54.42% 和 53.76%。20 和 30 cm 灌施 NO_3^- 处理的根系密度最大值均出现在 20~ 40 cm 土层, 并且较表面灌施 NO_3^- 处理的表层最大根系密度低, 但比其同土层的根系密度高 113.85% 和 87.86%。40 cm 灌施 NO_3^- 处理在中层的根系密度远远低于 20 和 30 cm 处理, 但仍比表面灌施 NO_3^- 高 6.15%, 且在下层(40~ 67 cm)中的根系密度却大于其他处理。

由表 1 还可看出, 不同深度灌施 NO_3^- 对玉米根重分布的影响远没有对根系密度分布的影响大。同时从 20, 30, 40 cm 灌施 NO_3^- 处理的中层(20~ 40 cm)根重与根系密度的关系来看, 中层的根重较小, 但根系密度却较高。小的根重产生大的根系密度, 只有一个原因可以对此进行合理的解释, 即中层产生了大量纤细的侧根。这种纤细侧根重量轻, 但总长却非常可观, 因此虽然根重较小, 但根系密度却较大。

植物根系的发展很大程度上取决于土壤中矿质养分的有效性与分布(空间有效性)^[4]。当根系处于某种养分局部供应的环境时, 其可塑性非常明显; 使得根系产生主动摄取养分的反应, 即在养分富集区侧根的生长得到促进而剧增^[5]。这种现象在许多植物种类中都有着不同程度的反应, 这对植物个体与邻近个体竞争有限养分的能力具有相当重要的意义。

2.2 玉米根系形态与 NO_3^- 的吸收

由于 20, 30, 40 cm 不同深度灌施 NO_3^- 处理导致中层土壤(20~ 40 cm)中的根系密度较表面灌施 NO_3^- 处理大幅度增加, 从而导致玉米根系在土壤中的分布发生改变。这种改变对灌施 NO_3^- 不同深度

土层周围养分高浓度区 NO_3^- 的吸收有很大影响(图 1)。

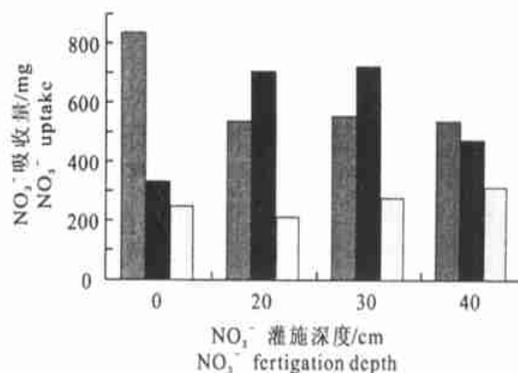


图 1 限域供应 NO_3^- 对各土层 NO_3^- 吸收的影响

Fig. 1 Effect of localized supply of nitrate on NO_3^- uptake

□ 0~20 cm; ■ 20~40 cm; ▨ 40~67 cm

根重与根系密度的变化和 NO_3^- 吸收数量的多少存在相似的关系。根重大, 根系密度高, NO_3^- 吸收数量也大; 反之, 则数量小。20, 30, 40 cm 灌施 NO_3^- 处理在土壤中层吸收的 NO_3^- 数量均比表面灌施 NO_3^- 处理高, 分别增加 110.9%, 117.6% 和 41.55%; 30, 40 cm 灌施 NO_3^- 处理在土壤下层(40~ 67 cm)的吸收数量比表面灌施 NO_3^- 处理高 14.1%, 30.4%。说明 NO_3^- 的吸收数量与土表下灌施 NO_3^- 处理的根系密度分布相一致, 均在灌施深度附近数量大; 同时也说明局部供给 NO_3^- 形成的高浓度区刺激了侧根的生长发育, 侧根的形成引起这一部分的根系密度大幅度提高, 吸收面积急剧增加, 从而使 NO_3^- 和其他养分的吸收也相应增加。

根的两个形态参数根重与根系密度对 NO_3^- 的吸收均有影响, 但作用大小却不同(图 2, 图 3)。由图 2, 图 3 可以看出, 不同土层 NO_3^- 吸收量与根重的相关系数仅为 0.705 1, 而与根系密度的相关系数则高达 0.950 6, 两者密切相关。说明根系密度的变化规律能够更好地阐释作物根系对 NO_3^- 的吸收。这

与过去的试验研究^[6,7]结果相似。

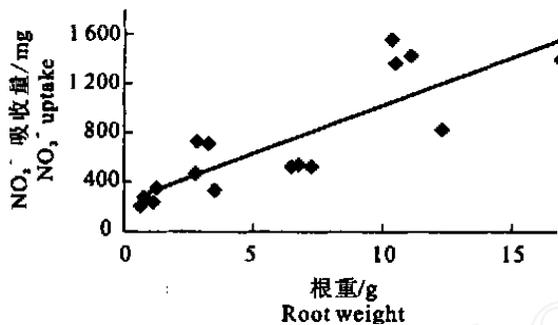


图 2 根重与 NO_3^- 吸收的关系

Fig 2 Relation of root weight and NO_3^- uptake

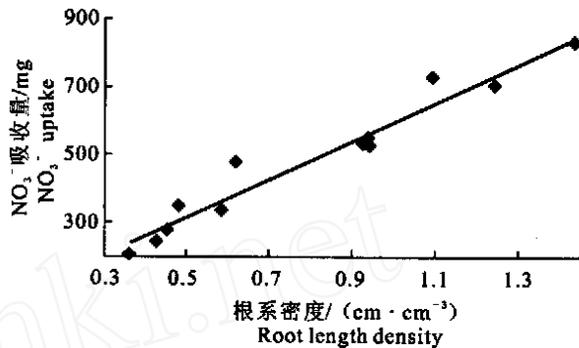


图 3 根系密度与 NO_3^- 吸收的关系

Fig 3 Relation of root length density and NO_3^- uptake

3 讨 论

从前面的分析可知, 不同深度灌施 NO_3^- (20, 30, 40 cm) 的处理, 其土壤中层 (20~ 40 cm) 的根重与根系密度呈现根重较小而根系密度却较高的规律, 对此只有一个理由可以进行合理的解释: 20~ 40 cm 中层产生了大量纤细的侧根, 这些纤细侧根的重量虽小, 但总长却非常可观, 因此导致了较小根重产生较大根系密度的结果。

关于养分与根系萌发侧根的经典试验, 是以大麦 (*Hordeum vulgare*) 为供试作物的^[8-10]。Drew 和他的同事发现, 局部供给 NO_3^- 、 NH_4^+ 或无机磷时,

养分富集区域刺激侧根的萌发和伸长。目前较一致的观点是, 这种激发效应与各离子的营养特性有着直接或间接的关系。例如, NO_3^- 在其吸收部位被同化, 导致植物激素的增加, 植物激素则促进此区域侧根的生长^[11,12]。

可以认为, 本试验土壤中层玉米根系表现出的规律, 即较小根重产生较大根系密度以及根系密度与 NO_3^- 吸收量的密切关系, 是由于 NO_3^- 在其富集区刺激作物侧根的萌发, 并促进其伸长, 从而对植物根系在土壤中的分布与构型产生重大影响, 并通过根系的形态学特征影响着根系对不同土壤层次中养分和水分的吸收利用。

[参考文献]

- [1] 张喜英, 韩润娥, 袁小良. 局部施磷对小麦根系生长和分布的影响[J]. 土壤肥料, 1993, (5): 38
- [2] 庞 欣, 张福锁, 李春俭. 部分根系供磷对黄瓜根系和幼苗生长及根系酸性磷酸酶活性影响[J]. 植物生理学报, 2000, 26(2): 153- 158
- [3] 王同朝, 李凤民, 王 俊, 等. 分层供水施磷对春小麦、光合性能、同化产物流向和水分利用效率的影响[J]. 植物生态学报, 1999, 23(2): 177- 185
- [4] Zhang H M, Brian G F. Regulation of arabidopsis root development by nitrate availability[J]. J Exp Bot, 2000, 51(342): 51- 59
- [5] Leyser O, Fitter A. Roots are branching out in patches[J]. Trends in Plant Science, 1998, 3: 203- 204
- [6] Wiesler F, Horst W J. Root growth and nitrate utilization of maize cultivars under field conditions[J]. Plant Soil, 1994, 163: 267- 277
- [7] Robinson D, Linehan D J, Gordon D C. Capture of nitrate from soil by wheat in relation to root length, nitrogen inflow and availability [J]. New Phytol, 1994, 128: 297- 305
- [8] Drew M C. Nutrient supply and the growing the seminal root system in barley I. The effect of nitrate concentration on the growth of axes and laterals[J]. J Exp Bot, 1973, 46: 1189- 1202
- [9] Drew M C, Saker L R. Nutrient supply and the growing the seminal root system in barley II. Localized compensatory increases in lateral root growth and rates of nitrate uptake when nitrate supply is restricted to only part of the root system [J]. J Exp Bot, 1975, 26: 79- 90
- [10] Drew M C, Saker L R. Nutrient supply and the growth of the seminal root system in barley III. Compensatory increase in growth of lateral root and in rates of phosphate uptake in response to localized supply of phosphate[J]. J Exp Bot, 1978, 29: 435- 451
- [11] Granato T C, Raper J C D. Proliferation of maize (*Zea mays* L.) roots in response to localized supply of nitrate[J]. J Exp Bot, 1989, 40: 263- 275
- [12] Sattelmacher B, Gerendas J, Thomas K, et al. Interaction between root growth and mineral nutrition[J]. Environmental and Experimental Botany, 1993, 33: 63- 73

Effect of localized supply of nitrate on corn root morphology and NO_3^- uptakeHE Hua¹, KANG Shao-zhong², CAO Hong-xia²

(1 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In this paper, experimental results of the influence of localized supply of nitrate on corn root weight, root length density (RLD) and their distribution, and the relation of root morphology and NO_3^- uptake are presented. The relation of localized supply of nitrate and the sprouting and elongation of lateral roots is discussed also. The results show, the localized supply of nitrate at 20, 30, 40 cm respectively has strengthened the distribution of roots in deeper soil, and greatly raised RLD and its distribution in subsoil. RLD was related to NO_3^- uptake closely and $R^2 = 0.9503$. Localized supply of nitrate stimulated lateral root growth, RLD increased quickly, and caused NO_3^- to be absorbed sufficiently.

Key words: localized supply of nitrate; corn root system; root morphology; NO_3^- uptake

· 简 讯 ·

“土壤-植物系统水动力学研究”获 2001 年中国科学院自然科学一等奖

由中国科学院、水利部、西北农林科技大学水土保持研究所邵明安、康绍忠、上官周平、梁银丽、黄明斌 5 位专家共同完成的“土壤-植物系统水动力学研究”项目,将水分资源的有效转化、高效利用与生产力提高三者融为一体进行了研究。这是一个具有鲜明的综合性和交叉性的学科生长点,涉及到作物—根系—土壤间的水分关系和作物产量形成过程的各个环节,及土壤学、农学和植物学研究中最薄弱的环节部分——土-根系统中水热溶质运移过程等若干国际上的学科前沿,是土壤学、生态学、地学、植物学等学科共同面临的难题。

该研究取得的成果有: (1) 建立了推求土壤导水参数的积分法,这在理论上首次获得了有关参数的解析表达式,在实验上大大简化了传统方法的测定程序,且有较高的测定精度,并得到同行的认可。(2) 建立了土壤水分运动的广义相似理论和溶质迁移的边界层理论,不仅拓展了传统理论,而且开辟了新的学科生长点。(3) 建立了具有较高精度和较广适应性的作物根系吸水模式和 SPAC 水分传输的动力学模型,并提出了我国第一个土壤水分有效性的动力学模式,揭示了黄土区土壤水分有效性的基本特征。(4) 发现作物在水分胁迫条件下产生的根系收缩和土-根界面行为强弱与其抗旱性有密切的关系,并提出用作物土-根界面行为指标评估其抗旱性的新观点。(5) 发现表征小麦幼苗早发的生物学特性和选择早发的最佳方法,提出渗透调节维持光合的主要途径是气孔调节和光合机构调节。(6) 首次提出了“控制性作物根系分区交替灌溉”的新方法,使传统研究有限水量在作物生育期内的最优分配,转向研究土壤根区空间调节刺激作物根系微生态系统的功能上来,为旱区提供了新的节水途径。

该课题组共发表关于上述研究成果的学术论文 109 篇,其中 SCI 收录 36 篇, CSD 收录 45 篇,出版学术专著 4 部,被 10 多个国家和国内 100 多个单位的专家、教授采用或引用达 196 次。美、英、澳 7 所大学的 8 位知名科学家,在《SSAJ》上对该研究提出的土壤水分广义相似解发表了专门评述,认为广义相似解对有关数值分析、解的结构方面有重要价值;广义相似解更具普遍性。美国 Pennell 等 6 位科学家在《Water Environment Research》中对该研究提供的土壤导水特性的积分方法给予了评述和肯定,并指出积分方法用瞬态流法代替了传统的平衡法。国际著名农业水管理专家,《Agricultural Water Management》杂志主编 Clothier B E 教授,在评价该研究提出的控制性根系分区交替灌溉新方法时认为“有直接的应用目标,是十分有意义和富有创新性的研究”。中国科学院地理研究所及清华大学、华北水利水电学院的专家应用本成果中所提出的作物根系吸水模式,模拟华北平原雄县等地的田间水分动态,不仅取得了很好的模拟结果,而且证明在实用性上明显优于国际上通用的 Novak 等模型;清华大学及中国水利水电科学研究院等单位的专家认为,该成果所提出的作物棵间蒸发与叶面蒸腾分摊系数计算公式明显优于 Richie, Burnett 和 Childs 等建立的模式。该研究成果获得 2001 年中国科学院自然科学一等奖。

(温晓平 供稿)