

土壤水分在提高氮肥肥效中作用机制*

王喜庆¹ 李生秀² 高亚军²

(1 西北农业大学基础科学系, 2 资源与环境科学系, 陕西杨陵 712100)

摘 要 采用室内模拟、盆栽、微区和田间试验相结合的方法, 系统研究了土壤水分在提高氮肥肥效中的作用机制。结果表明: ①在一定土壤水分含量范围内, 随土壤含水量增加 NH_4^+-N 硝化速率增加; ②在根系不干扰土体养分的情况下, 较高的土壤含水量可加快肥料氮向根系迁移; ③良好的土壤水分有利于植物吸收氮素; ④水分能促使氮素向籽粒转移, 改善籽粒对茎叶的比值, 从而增加了玉米的经济学产量, 最终反映为土壤水分增高可提高氮肥的增产效果。

关键词 土壤水分, 氮肥肥效, 春玉米

中图分类号 S152.75, S143.1

氮肥是作物生产的“肥料三要素”之一。提高氮肥肥效, 不仅可减少含氮物质对环境的污染, 更重要的是提高作物产量, 减少生产消耗。土壤水分是保证氮肥充分发挥作用的重要因子, 对氮肥在土壤中转转化、迁移(质流与扩散), 作物吸收及经济利用均有较大影响。土壤水分对氮肥的作用虽有大量报道^[1~5], 但缺乏系统的研究。近年来, 在国家“八五”攻关项目资助下, 我们对这一问题进行了系统研究。

1 材料与方法

1.1 试验地点和材料

试验地点的基本情况业已报道^[6], 供试土壤的基本性质如表1, 供试作物为陕8410玉米。

表1 供试土壤的基本性质

土壤	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	NH_4^+-N ($\mu\text{g/g}$)	NO_3^--N ($\mu\text{g/g}$)	有效 P ($\mu\text{g/g}$)
澄城县玉米地	0.070	0.0056	2.02	7.95	6.80
杨陵盆栽土	0.128	0.0111	9.95	17.45	10.65
培养试验土	0.168	0.0098	24.80	30.50	35.10

1.2 试验设计

采用室内模拟、盆栽、微区和田间试验相结合的方法。

1.2.1 室内模拟试验 土壤采自西北农业大学农一站(表1)。试验设不施和施0.10 gN/kg 土的氯化铵、尿素和碳酸氢铵4个处理, 水分设12%, 15%, 18%, 21%, 24%, 27% 6个水平, 2次重复。肥料按方案要求与土壤混匀, 水分低于21%的处理分别喷雾状水调节至相应水分后, 装入烧杯, 水分高者则将干土装入烧杯, 用重量法加水。每杯装土25.0 g, 烧杯上覆一层扎小孔的塑料农膜, 防止水分蒸发, 保持正常通气。处理好后置于26℃培养箱

收稿日期: 1996-06-03

* 国家“八五”科技攻关资助项目

中培养,于1,3,6,11和17 d 按方案分批取出土壤,分析 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 含量。试验前测定几种肥料的回收率。

1.2.2 盆栽试验 土壤采自陕西杨陵杜寨(表1)。试验设施0,0.15,0.30 gN/kg±3种施氮量;14%,17%,20%,23%,26%等5个水分,共15个处理,4次重复。均施磷肥(0.20 g $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$ 土)作底肥。试验用瓦氏盆(20 cm×20 cm),每盆装干土7.5 kg,用重量法灌水。试验设辅助盆,分期收割玉米以估计不同时间的玉米生长量,确定加水数量。玉米成熟后齐地收获,晒干称重,分析植株全氮。

1.2.3 田间微区试验 施氮(75 kg/hm²)方法设混施和深施两种,不灌和补充灌水60 mm,120 mm 3个水平(于7月22日,8月14日,8月26日灌水,每次0,20,40 mm),限根20 mm和40 cm 两种根系处理方式,构成完全方案共18个处理。田间采用裂区排列,水分作为主处理,限根深浅作为副处理,施氮方法在副处理内随机排列。限根者播前将土壤按原层次装入尼龙袋内,袋内播种;微区面积1.98 m²(1.1 m×1.8 m),区内种植6株玉米,株行距均为60 cm,按每公顷750 kg 施过磷酸钙作为肥底,处理前翻入耕层,试验于1992年4月15日至9月6日进行。收前选2株玉米在距植株13.26 cm处,每5 cm 一层采取土壤样品,直到40 cm。土样风干后,分析 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 含量。

1.2.4 大田试验 设不灌和补充灌水150 mm,两个处理,每公顷施氮量为0,37.5,75,112.5和150 kg 5个水平,共10个处理,3次重复;小区面积20 m²(3 m×6.67 m)。水分作主区,施氮量作副区,在主区内随机排列。生育期灌水3次(6月18日,7月22日,8月14日),每次50 mm,人工定量灌溉,试验时间同上。

1.3 室内分析

土壤、植物样品的分析除 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 采用1 mol/L KCl 浸取^[7],连续流动分析仪分析外,均采用常规方法^[8]。

2 结果与分析

2.1 土壤水分对肥料氮转化的影响

土壤水分状况影响着土壤中不同位点的可给态养分的转化速率,从试验结果得知,培养3 d 后,肥料中的 NH_4^+-N 在土壤中累积较高。由于第3天的底物(NH_4^+-N)浓度较高,根据这一浓度计算含水量(%)与硝化速率的关系时,可得到相对可靠的结果。在计算时,硝化速率由第3天测得的 NO_3^--N 浓度除以时间(3 d)而得。经回归,不同肥料的硝化速率($\mu\text{g}/\text{g}\cdot\text{d}$)与含水量(%)均有直线关系,方程如下:

碳酸氢铵

$$Y = -10.07 + 78.13X \quad r = 0.9733^{**}$$

尿素

$$Y = -5.61 + 63.00X \quad r = 0.8918^{**}$$

氯化铵

$$Y = -4.62 + 46.09X \quad r = 0.8825^{**}$$

Y 是硝化速率($\mu\text{g}/\text{g}\cdot\text{d}$),X 是含水量(%)。方程的回归系数表示水分含量每增长1%对硝化速率的贡献。显然,在试验的水分范围内,水分含量越高,硝化速率越快,肥料中的

NH_4^+-N 就越易转化为 NO_3^--N 。土壤水分状况由于影响土壤中 O_2 的分压,从而影响着土壤中肩负 NH_4^+-N 向 NO_3^--N 转化的硝化细菌的数目和活性,因此适宜的土壤水分能加速 NH_4^+-N 向 NO_3^--N 的转化^[1,5],这不仅有利于作物吸收^[1],而且也有利于降低 NH_4^+-N 肥的气态挥发。

2.2 土壤水分对肥料氮迁移的影响

水分是氮肥的溶剂,可以促使氮素化肥在土壤中的迁移,特别是向根系迁移,从而加强作物对氮素的吸收利用。把根系生长限制在尼龙袋内的土壤内,而避免其干扰袋外土壤养分移动的情况下,不灌与灌水后距玉米植株不同距离 NO_3^--N 分布的情况提供了这方面的证据。测定表明(表2),限制根系在40 cm 高的土柱内生长,不灌水时,距植株26 cm 处, NO_3^--N 浓度为8.07 $\mu\text{g/g}$,而距13 cm 处的浓度为6.12 $\mu\text{g/g}$,浓度差为1.95 $\mu\text{g/g}$;灌水90 mm 后,两种距离的相应浓度为4.77和4.11 $\mu\text{g/g}$,浓度差为0.66 $\mu\text{g/g}$,趋于消失。限制根系在20 cm 高的土柱内生长也有类似结果。显然,在不灌水情况下,距植物较远部位的 NO_3^--N ,不容易向根部迁移而相对富集;灌水以后,远处的 NO_3^--N 随水向根部移动,使距植株远近不同部位土壤中的 NO_3^--N 趋于平衡。氮肥由土体向根系的迁移和累积,一方面靠自身浓度梯度形成的扩散,一方面利用植物蒸腾作用形成的质流。土壤水分增加(在一定范围内)不仅有利于氮肥的扩散,同样可改善植物水分状况,增加植物蒸腾能力,加快土体中的质流速度,均有利于土体氮肥向根系迁移和累积。

表2 水分对 NO_3^--N 向根系迁移的影响

表2 水分对 NO ₃ -N 向根系迁移的影响							μg/g
处理	层次 (cm)	不灌水				灌水90 mm	
		距茎26 cm	距茎13 cm	浓度差	浓度差	距茎26 cm	距茎13 cm
40 cm	限根 0—20	6.07	4.32	1.75	6.10	5.06	1.04
	20—40	10.08	7.92	2.16	3.44	3.26	0.18
	平均	8.07	6.12	1.95	4.77	4.11	0.66
限根20 cm	0—20	10.80	5.43	5.37	7.89	8.15	-0.26

注:a.浓度差为距茎26 cm 处的 NO_3^--N 浓度减去距茎13 cm 处的 NO_3^--N 浓度;b.灌水90 mm 为灌水60 mm 与120 mm 的平均值;c.表中数值为两种测氮方法的平均值。

2.3 土壤水分对植物体吸收氮素的影响

盆栽试验表明,一定范围内随着土壤水分增加,作物吸氮量明显增加。土壤含水量为14%,17%,20%,23%和26%时,每公斤土施0.15 g 氮时单株吸氮量分别为0.47,0.57,0.80,1.10和1.05 g。田间试验也表明(表4)每公顷平均施氮93.75 kg,补充灌水150 mm,较不灌水作物多吸氮24.3 kg。由此可见土壤水分状况的改善,能有效地促进植物对肥料氮的吸收利用。

2.4 土壤水分对植物体氮素、干物质分配的影响

水分能促使氮素向籽粒转移,改变籽粒对茎叶的比值,从而增加了玉米的经济学产量,这是水分对氮肥肥效影响的一个突出方面^[9]。补充灌水后,地上部分干物质总量增长53.3%;籽粒产量增长89.2%,占干物质增重的69.7%,茎叶穗轴增重27.9%,占总增重的30.3%。不灌水,茎叶穗轴与籽粒之比为1.40:1,灌水后降低到0.94:1。由于各部分产物的比重不同,氮素在各器官的分布也不同,补充灌水后,籽粒中氮素增多,茎叶和穗轴中显著减少。不灌水时,籽粒氮占吸氮量的59.9%,而茎叶和穗轴氮占40.1%;补充灌水后籽粒中

的氮素提高到67.0%,而茎叶和轴的氮素下降到33.0%。由于灌水,作物总吸氮增长38.3%;籽粒吸氮量增长54.7%,占总吸氮量增长值的85.4%;茎叶穗轴吸氮量增长9.0%,占总吸氮量增长值的14.6%。

这一事实充分证明灌水能促进氮素由茎叶和穗轴等器官向籽粒转运,促进氮素被籽粒充分利用,减少氮素的无效消耗。

2.5 土壤水分对氮肥增产效果的影响

每公顷施氮93.75 kg,不灌水时,籽粒平均增产为922.5 kg,比不施氮增产47.6%;地上部分干物质增量247.5 kg,增长率为34.2%,灌水150 mm,籽粒平均增产3 016.5 kg,增产率为111.2%,每公顷氮素增产38.7 kg;干物质增重3 595.5 kg,增长率为52.0%,每kg氮素平均增重42.1 kg,氮肥利用率也从41.5%升至64.8%。补充灌水显著提高了氮肥增产效果和利用率,籽粒产量平均提高2 551.5 kg,干物质增长3 658.5 kg,氮肥利用率提高23.3%(表3)。

表3 水分对氮肥肥效的影响

施氮量 (kg/hm ²)	不灌水				灌水150 mm			
	籽粒 产量 (kg/hm ²)	干物质 产量 (kg/hm ²)	吸氮量 (kg/hm ²)	氮 肥 利用率 (%)	籽粒 产量 (kg/hm ²)	干物质 产量 (kg/hm ²)	吸氮量 (kg/hm ²)	氮 肥 利用率 (%)
0.0	1936.5	5112.0	39.90		2562.0	6921.0	46.65	
37.5	2377.5	63.01	59.25	51.6	4252.5	8761.5	73.95	72.8
75.0	2874.0	6831.0	72.30	43.2	5505.0	10863.0	100.65	72.0
112.5	3624.0	7678.5	91.05	45.5	5971.5	11193.0	117.30	62.8
150.0	2560.5	6609.0	76.80	25.5	5910.0	11253.0	123.75	51.4
平 均	2859.0	6864.0	75.15	41.5	5410.5	10518.0	103.95	64.8
总平均	2674.5	6507.0	68.25		4840.5	9798.0	92.55	

3 结 论

土壤水分状况对氮肥肥效的影响贯穿于肥料施入土壤至植物吸收利用氮素的整个过程。水分不仅影响着氮肥在土壤中的转化迁移,而且通过影响植物体的代谢过程,影响植物体氮素吸收、运转及分布过程,所有这些最终都会反映在使氮肥的增产作用更加显著。

参 考 文 献

- 1 朱兆良,文启孝编.中国土壤氮素.南京:江苏科学技术出版社,1990
- 2 刘晓楠,张和平.黑龙江地区冬小麦生产中水肥关系的研究.土壤肥料,1991(5):9~12
- 3 张福锁.环境胁迫与植物营养.北京:北京农业大学出版社,1993
- 4 Sharma B D, Kar S, Cheema S S. Yield, water use and nitrogen uptake for different water and N levels in winter wheat, Fertilizer Research, 1990, 22, 119~127
- 5 Tobert H A, Mulvaney R L, vanden Heuvel R M et al. Soil type and moisture regime, effects on fertilizers efficiency calculation methods in a Nitrogen-15 tracer study. Agron. J., 1992, 84, 66~70
- 6 李生秀,李世清,高亚军等.施用氮肥对提高旱地作物利用土壤水分的作用机理和效果.干旱地区农业研究,1994, 12(1):38~46
- 7 Bremner J M. Nitrogen availability. In Black C. A. (ed) methods of soil analysis, part 2 Agronomy 9, Madison Wis, ASA, 1965

- 8 中国科学院南京土壤研究所编. 土壤理化分析. 北京: 科学出版社, 1978
- 9 Foster E F, Pa Ja Rito A, A costa-Gallegos, J. Moisture stress impact on N partitioning N remobilization and N use efficiency in beans. *J. Agri. Science*, 1995, 124, 27~37

Operational Mechanism of Soil Water on Improving Nitrogen Efficiency

Wang Xiqing Li Shengxu Gao Yajun

(*Department of Natural Resources and Environment Protection, Northwestern
Agricultural University, Yanglin, Shaanxi 712100*)

Abstract Incubation experiment, pot experiment, micro-plot experiment and field experiment were conducted in order to study systematically operational mechanism of soil water on improving nitrogen efficiency. The result showed as follows, ① the NH_4^+ -N nitrification rate increased with the soil water content rise in a given range; ② the higher soil water content contributed to the transport of fertilizer-N with out interfering the soil nutrient distribution of root system; ③ sufficient soil water benefited the nutrients uptake by shoots; ④ the soil water condition could improve harvest index, finally the soil water content could result in the increase of N efficiency.

Key words soil water, N efficiency, spring maize