

地下滴灌条件下氮肥调控对氮运移规律的影响

郑文生^{1,2}, 孟岩^{1,2}, 李芳花^{1,2}, 王柏^{1,2}, 刘潇^{1,2}

(1. 黑龙江省水利科学研究院, 哈尔滨 150080;

2. 黑龙江省寒区农业节水工程重点实验室, 哈尔滨 150080)

摘要:【目的】研究地下滴灌条件下氮肥调控对土壤中氮素运移及吸收的影响。【方法】采用大田氮肥调控管理试验方法, 试验设置 T1N60(施氮1次, 施氮量为 60 kg/hm²)处理、T1N120(施氮1次, 施氮量为 120 kg/hm²)处理、T1N180(施氮1次, 施氮量为 180 kg/hm²)处理、T3N60(施氮3次, 施氮量为 60 kg/hm²)处理、T3N120(施氮3次, 施氮量为 120 kg/hm²)处理和 T3N180(施氮3次, 施氮量为 180 kg/hm²)处理。研究了不同施氮量(60、120、180 kg/hm²)和施氮次数(1次、3次)对土壤中铵态氮量、硝态氮量和玉米吸氮量的影响。【结果】①在玉米拔节期施氮前后, 相同施氮量不同施氮次数 0~60 cm 土层内铵态氮量和硝态氮量增幅, T1N60 处理分别比 T3N60 处理提高了 16.46% 和 14.75%, T1N120 处理分别比 T3N120 处理提高了 23.23% 和 7.48%, T1N180 处理分别比 T3N180 处理提高了 10.62% 和 10.05%。而抽穗期和灌浆期施氮前后, 1 次施氮处理土壤中铵态氮和硝态氮量增幅低于 3 次施氮处理。②在玉米生育末期 20~40 cm 土层土壤硝态氮残留量, 基本上都是 3 次施氮处理高于 1 次施氮处理, T3N180 处理最高。③ 3 次施氮处理玉米平均吸氮量比 1 次处理提高了 3.76%, 随着施氮量提高可以极显著提高玉米吸氮量, 吸氮量较高处理是 T3N180 处理和 T3N120 处理, 二者之间差异不显著。【结论】分次施氮促进了玉米对氮素的吸收, 有利于氮素储存在玉米根系层内, 建议追施氮素采用 3 次施用, 施氮量 120 kg/hm²。

关键词:地下滴灌; 氮肥调控; 铵态氮; 硝态氮; 运移规律

中图分类号:S274.2

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.gggs.2017.0002

郑文生, 孟岩, 李芳花, 等. 地下滴灌条件下氮肥调控对氮运移规律的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(8): 15-21.

0 引言

我国既是肥料生产大国, 也是肥料消费大国, 其中氮肥用量接近全世界氮肥投放总量的 30%, 但是氮肥利用效率不高始终是我国提高农业生产水平亟待解决的关键问题。我国平均氮肥利用率只有 35%^[1], 水稻及麦类作物氮肥利用率只有 28%~41%^[2]。我国氮肥利用率低主要原因有氮肥投放过高, 投放氮肥种类、施肥方法与施肥时期不当, 投放氮肥与作物栽培技术及灌溉措施不相协调等。地下滴灌是通过埋设于地下的滴灌带均匀、精量将水和养分输送到作物根部土壤附近的灌水方法^[3-5]。近年来, 地下滴灌的研究多集中在地下滴灌技术指标参数^[6-9]对作物产量、品质、耗水规律、水分利用效率等的影响上, 关于滴灌氮肥运移规律研究主要集中于地面滴灌条件下, 刘洋^[10]研究了膜下滴灌水氮调控对氮素运移的规律, 认为随着追氮量的增加, 生育期平均土壤硝态氮量随之增加; 1 次追氮可以大幅增加玉米生育前期土壤氮素量, 分次追氮可以保证玉米生育期平稳供氮能力; 而地下滴灌条件下氮肥调控对氮素运移规律方面研究相对较少^[11]。为此, 利用大田试验, 通过设置不同的施氮量和施氮次数, 揭示地下滴灌氮肥调控的氮运移规律和玉米氮素吸收机理。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

黑龙江省水利科技试验研究中心位于东经 126°46', 北纬 45°22'。属于中温带大陆季风性气候, 冬长夏短, 四季分明, 雨热同季, 光照充足, 全年平均气温在 3~4 °C 之间, 无霜期在 100~160 d, 年降水量多介于

收稿日期: 2017-01-02

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAD12B01); 水利部 948 技术引进项目(201425); 黑龙江省财政厅科研计划项目(201101)

作者简介: 郑文生(1970-), 男, 高级工程师, 研究方向为农业节水理论与技术。E-mail: zhengwensheng@126.com

400~650 mm 之间。每年春季(3—5 月)回暖快、干燥、多大风、蒸发增加和日照时间增长,降水少,易发生春旱,素有“十年九春旱”。在试验地取土测定土壤基础理化性状,土壤类型为黑土,根据国际制土壤质地分类标准,0~60 cm 剖面的土壤均为粉壤土,土壤平均干体积质量为 1.32 g/cm³,平均饱和和质量含水率为 34.58%,田间质量持水率为 27.07%,凋萎系数为 15.04%(质量含水率);速效氮质量分数为 154.4 mg/kg,速效磷质量分数为 40.1 mg/kg,速效质量分数为 376.8 mg/kg,有机质质量分数为 25.07 g/kg,pH 值为 7.27。

1.2 试验设计

根据当地玉米种植经验,施复合肥作为基肥,用尿素进行追肥,各处理基肥量相同,基肥纯氮量为 60.0 kg/hm²,有效磷(P₂O₅)量为 138.0 kg/hm²,有效钾(K₂O)量为 81.0 kg/hm²。供试玉米品种为东福 1 号,于 2013 年 5 月 5 日播种,5 月 25 日定苗开始试验,试验选取追氮次数和追氮量二因素。施氮次数取 1 次(拔节期)和 3 次(拔节期、抽穗期和灌浆期)2 个水平。施纯氮量取 60、120、180 kg/hm²,并进行完全组合设计,共 6 个处理,试验设计见表 1。每个处理 3 次重复,共计 18 个试验小区。采用大垄双行种植方式(图 1),垄距 130 cm,垄上行距 45 cm,株距 30 cm,每个处理的小区面积为长 4 m,宽 2.6 m。为了防止侧渗,小区之间采用 5 mm 厚钢板埋设 1 m 深,玉米种植密度为 50 000 株/hm²,滴灌带埋设于大垄窄行中间,埋深 30 cm,各处理灌水量相同,灌水次数相同。根据土壤墒情和玉米需氮规律在拔节期、抽穗期和灌浆期进行灌溉施氮,每次灌水 15 mm;灌水时间:2013 年拔节期(7 月 11 日)、抽穗期(8 月 2 日)、灌浆期(8 月 20 日);使用 30 L 压差式施氮罐灌水施氮,在施氮罐的进口和出口分别安装精度为 5%的压力表,控制通过施氮罐的压差和系统首部压力,施氮罐出口压力恒定为 0.10 MPa,压差控制在 0.05 MPa 左右。为保证均匀施氮,每次施氮前每个小区先灌入 50 L 清水,系统稳定后进行施氮,最后对系统进行冲洗^[12-13]。

表 1 试验设计

处理	追施氮肥总量/(kg·hm ²)	施氮次数	每次追施氮量/(kg·hm ²)			备注
			拔节期	抽穗期	灌浆期	
T1N60	60	1	60	—	—	随水施氮
T1N120	120	1	120	—	—	随水施氮
T1N180	180	1	180	—	—	随水施氮
T3N60	60	3	20	20	20	随水施氮
T3N120	120	3	40	40	40	随水施氮
T3N180	180	3	60	60	60	随水施氮

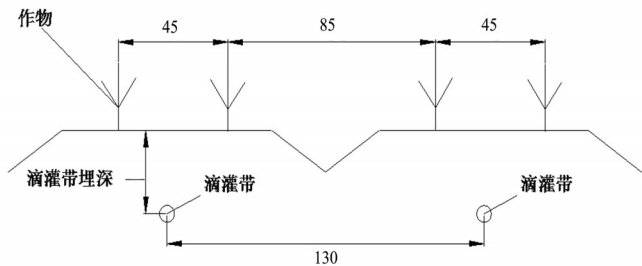


图 1 滴灌管布置示意图(单位:cm)

1.3 观测指标

铵态氮、硝态氮量测定:用土钻取土,取土深度分别为 10、20、30、40、50、60 cm,取土量大于 50 g,将土样放入保鲜袋内,在室内置于阴凉处风干,然后研磨,过 2 mm 的土筛筛取土样,放入自封袋内保存,取 10 g 研磨的土样添加物质的量浓度为 2 mol/L 的 KCl 溶液浸提,再用离子分析仪测定浸提液中硝态氮和铵态氮的质量浓度,最后换算为土壤相应氮素质量分数。

玉米吸氮量^[14]:在玉米收获时,每个处理取 3 株玉米,然后将玉米放置于烘箱中,于 65 ℃ 左右烘干至恒质量,分别称量玉米茎秆和籽粒质量,并分别将玉米茎秆和籽粒样品进行研磨,将研磨样品放入自封袋内保存,用凯氏定氮仪测试玉米茎秆和籽粒中全氮量,计算玉米吸氮量(植株全氮量乘地上部分干物质质量)。

2 结果与分析

2.1 氮肥调控对铵态氮的影响

土壤中的铵态氮可被土壤胶体吸附,也可溶解在土壤溶液中,能直接被植物吸收利用,属于速效性氮。测定不同施氮次数和施氮量条件下,玉米拔节期灌水施氮前后土壤中铵态氮量,结果见图 2(a)和图 2(b),灌水前

后土壤中各处理不同土层铵态氮量增减变化情况见图2(c)。由图2(a)和图2(b)可知,各处理随着土层的加深,铵态氮量总体呈下降趋势,可见铵态氮主要分布于土壤表层;玉米拔节期,施氮前土壤中铵态氮量在3~10 mg/kg之间,施氮后铵态氮量在5~12 mg/kg之间,灌水前后土壤中铵态氮变化的趋势是滴灌带附近30 cm的位置增幅大于其他土层;这主要是由于土壤胶粒所携带的负电荷能够吸收大量带正电荷 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 离子,减缓了 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 向下运移,肥液质量浓度增大,土壤表层对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 吸附性增强,导致表层土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 量较底层大。

由图2(c)可知,在相同施氮量条件下,1次施氮处理施氮前后铵态氮增幅在16.38%~55.61%,增幅最小的是T1N180处理的50~60 cm土层,为16.38%,增幅最大的是T1N120处理的50~60 cm土层,为55.61%,在0~10 cm和20~30 cm土层随施氮量的增加,铵态氮增幅上升,在40、50和60 cm土层铵态氮随施氮量的增加,铵态氮增幅先上升然后下降,在10~20 cm土层是随施氮量的增加而下降。3次施氮处理施氮前后铵态氮增幅在1.65%~28.83%之间,增幅最小的是T3N60处理的40~50 cm土层,为1.65%,增幅最大的是T3N180处理的30~40 cm土层,为28.83%。随着施氮量的增加,1次施氮处理0~10、20~30、30~40 cm土层中铵态氮量增幅呈逐步上升的趋势,40~50 cm和50~60 cm土层中呈先上升然后下降;3次施氮处理0~10、10~20、30~40、40~50 cm土层中铵态氮量增幅呈逐步上升的趋势,其他土层规律不显著,这可能是土壤结构和基础肥力的空间差异影响了铵态氮的运移,比较相同施氮次数不同施氮量0~60 cm土层内铵态氮量增幅可知,铵态氮量增幅随着施氮量的增加而增大。相同施氮量不同施肥次数处理的铵态氮量增幅表现为,T1N60处理>T3N60处理、T1N120处理>T3N120处理、T1N180处理>T3N180处理,1次施氮处理的增量基本上都大于对应的3次施氮处理,铵态氮量增幅分别提高了16.46%、23.23%、10.62%,是由于1次施氮处理施氮量大于3次施氮处理,是3次施氮处理的3倍。

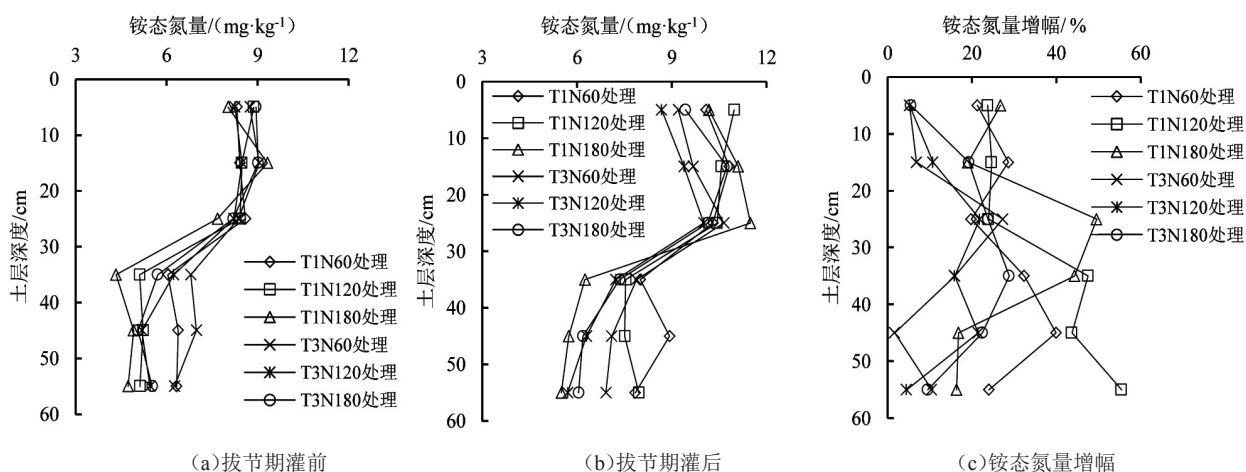


图2 玉米拔节期灌前灌后土壤中铵态氮量

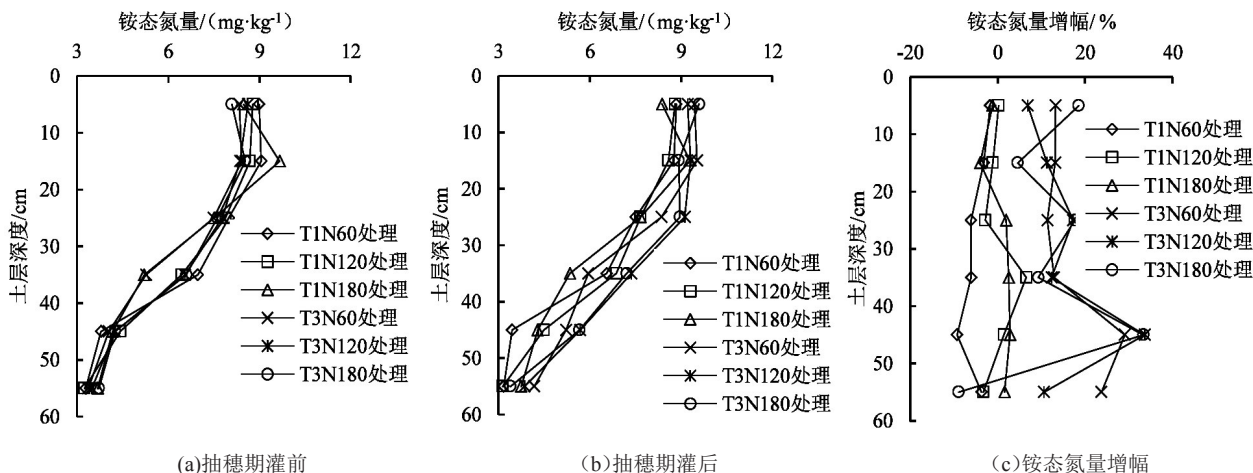


图3 玉米抽穗期灌前灌后土壤中铵态氮量

在玉米抽穗期测定不同施氮次数和施氮量条件下,灌水施氮前后土壤铵态氮量和铵态氮增幅,结果见图3。比较图3(a)和图2(b)可知,在拔节期施氮后到抽穗期施氮前,各处理土壤中的铵态氮总体呈下降趋

势,主要原因是这期间铵态氮挥发损失和被植物吸收利用的速率大于其他形态的氮转化为铵态氮的速率。由图3(c)可知,在玉米抽穗期,由于1次施氮处理只是灌水没有施氮,因此在相同施氮量不同施氮次数条件下,1次施氮处理的铵态氮量基本上变化都不大,有的处理和土层还出现了下降的趋势,3次施氮处理大部分土层中铵态氮量都有所增加,除T3N180处理的10~20 cm和50~60 cm土层,增幅基本都在10%~35%之间。灌浆期施氮前后土壤中铵态氮量的变化趋势与抽穗期相似。

2.2 氮肥调控对硝态氮的影响

图4是不同施氮次数和施氮量在玉米拔节期灌水施氮前后土壤硝态氮量随土壤深度变化的曲线和灌水施氮前后各处理不同土层硝态氮量增减变化情况。比较土壤中硝态氮量和铵态氮量,发现硝态氮量是铵态氮量的10倍左右,可见在种植玉米的东北黑土中,土壤中硝态氮量都远高于铵态氮量。由于硝态氮主要带负电荷,土壤胶粒难以对其吸附,并且以对流作用随水分运动在土壤中运移,入渗时间越长,硝态氮随水垂直向下运移的量越大。

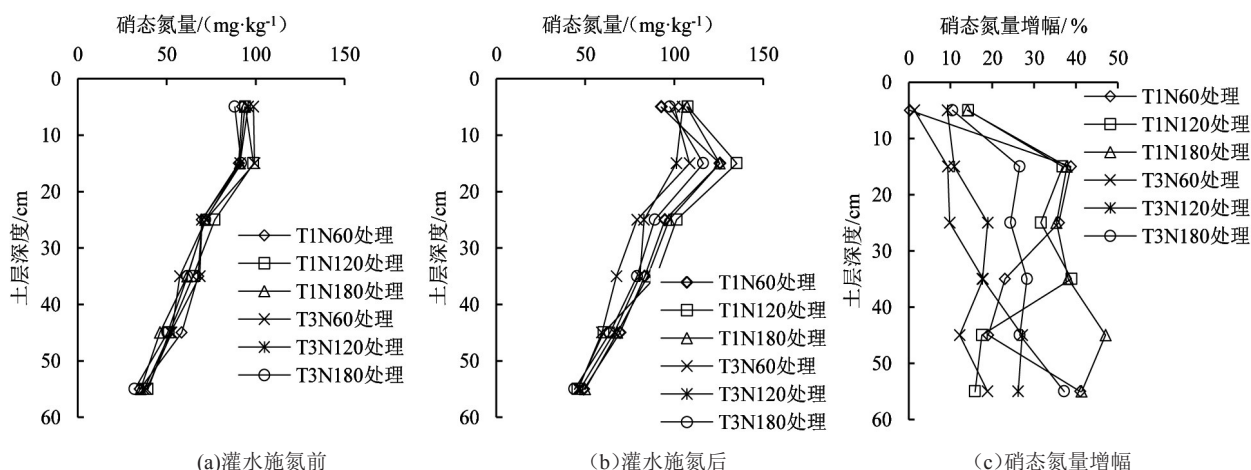


图4 玉米拔节期灌前灌后土壤中硝态氮量

由图4可知,在灌水施氮前上层土壤中硝态氮量较高,随着土壤深度的增加,硝态氮量逐步降低。各处理在滴灌带埋设位置处(地下30 cm)以下土层硝态氮量增加幅度相对较高,大部分增幅都超过10%,个别的增幅接近50%,0~10 cm土层硝态氮量增加最小,基本上都小于10%,主要是因为地下滴灌条件下,土壤水分向上运移分量较小,因此随水运移的硝态氮响应也少。分别比较1次施氮处理之间、3次施氮处理之间相同土层土壤中硝态氮量的增加幅度,发现土壤中硝态氮量增加幅度随着施氮量的增加呈上升的趋势;比较相同施氮次数不同施氮量0~60 cm土层内硝态氮量增幅可知,硝态氮量增幅随着施氮量的增加而增大。在玉米拔节期灌水施氮后,相同施氮量不同施肥次数处理的0~60 cm土层内硝态氮量增幅表现为,T1N60处理>T3N60处理、T1N120处理>T3N120处理、T1N180处理>T3N180处理,各土层硝态氮量增幅基本上都是1次施氮处理大于3次施氮处理,硝态氮量增幅分别提高了14.75%、7.48%、10.05%,主要原因是由于3次施氮处理的施氮量只有对应的1次施氮量处理的1/3。

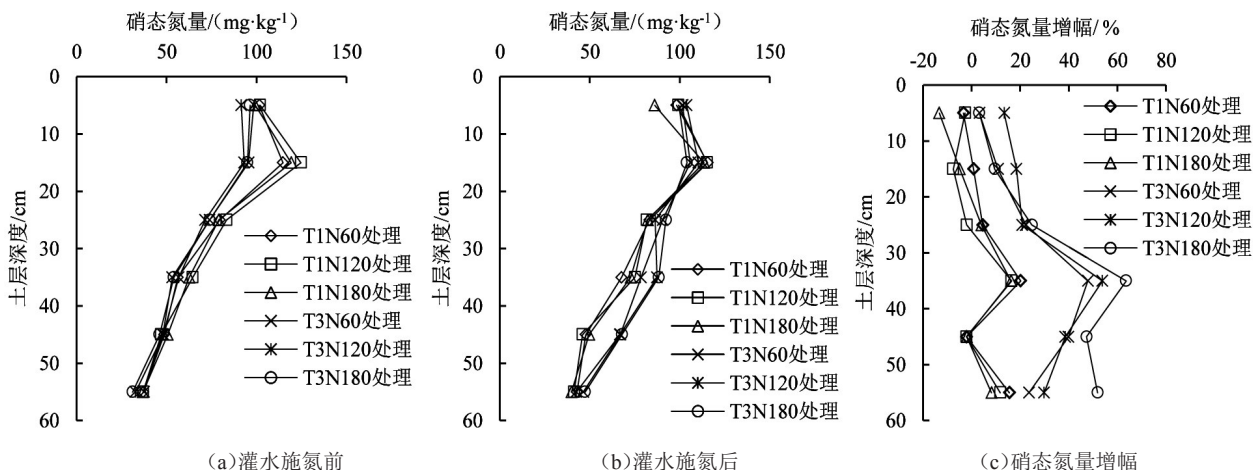


图5 玉米抽穗期灌前灌后土壤中硝态氮量

图5是不同施氮次数和施氮量在玉米抽穗期灌水施氮前后土壤硝态氮量随土壤深度变化的曲线和灌水施氮前后土壤中各处理不同土层硝态氮量增减变化情况。比较图4(b)和图5(a)可以发现,玉米抽穗期时,同一土层土壤中硝态氮量要比拔节期有所下降。由图5可知,在玉米抽穗期,1次施氮处理的各层土壤中硝态氮量变化不大,甚至有的土层还出现了下降的趋势,主要原因是在玉米抽穗期1次施氮处理只是灌水没有施氮,灌水结束时滴灌带周围的土层都达到饱和状态,随着时间的推移由于灌水结束,土壤水分在重力作用下进行再分布,硝态氮随水运移到其他土层的结果。比较3次施氮处理的相同土层土壤中硝态氮量的增加幅度,发现土壤中硝态氮量增幅随着施氮量的增加呈上升趋势。灌浆期施氮前后土壤中硝态氮量的变化趋势与抽穗期相似。

2.3 氮肥调控对玉米吸氮量的影响

表2是不同施氮次数和不同施氮量玉米吸氮量的平均值。由表2可知,在1次施氮条件下,T1N180处理与T1N60处理之间吸氮量差异显著($P<0.05$),T1N180处理吸氮量比T1N60处理增加了18.41%。在3次施氮情况下,T3N120处理、T3N180处理与T3N60处理之间吸氮量均差异极显著($P<0.01$),T3N120处理、T3N180处理吸氮量分别比T3N60处理增加了14.56%、21.08%。在相同施氮量条件下,3次施氮平均玉米吸氮量比1次施氮处理增加了3.76%,3次施氮下N60、N120、N180处理玉米吸氮量分别比1次施氮处理增加了1.16%、6.50%、3.44%。可见,增加施氮次数有利于氮素的吸收利用。

通过主体间效应检验分析施氮次数和施氮量对玉米吸氮量影响得到, $P_{\text{施氮量}}=0.000$, $P_{\text{施氮次数}}=0.179$, $P_{\text{施氮次数}\times\text{施氮量}}=0.711$,因此,施氮量对玉米总吸氮量影响达到极显著水平,施氮次数和施氮次数与施氮量的交互作用对玉米总吸氮量影响不显著。T3N120处理和T3N180处理的吸氮量差异不显著,T3N180处理吸氮量最高,达到266.16 kg/hm²,比吸氮量最低的T1N60处理增加了22.49%。

2.4 氮肥调控对玉米生育末期氮素残留量的影响

施入的氮肥在土壤中逐步变为无机氮,未被植物利用及挥发损失剩余的部分残留于土壤中,主要包括硝态氮和铵态氮。玉米收获后,测定不同灌溉处理土壤中硝态氮和铵态氮量,图6是不同施氮次数和施氮量条件下玉米生育末期土壤中铵态氮和硝态氮残留量曲线。

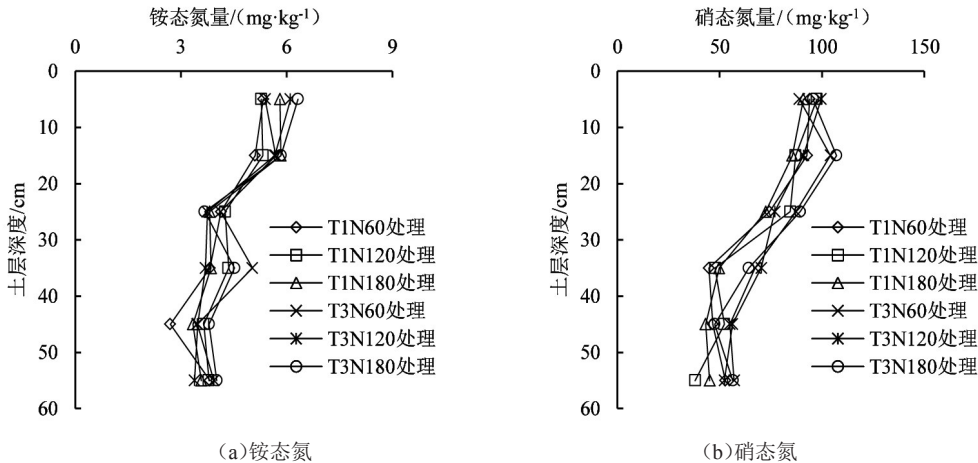


图6 玉米生育末期土壤残留的铵态氮和硝态氮量

由图6可知,铵态氮和硝态氮残留量随土层深度增加而呈下降趋势,硝态氮量平均比铵态氮量高10倍左右;各处理同一土层铵态氮量差异不显著;在0~10、40~50、50~60 cm土层土壤中硝态差异不显著,在20~40 cm土层中基本上都是3次施氮处理高于1次施氮处理,结合玉米吸氮量的分析,由于1次施氮是在拔节期将氮肥1次施入,施肥初期1次施氮处理土壤中氮素高于3次施氮处理,因此这一阶段1次施氮处理土壤中的有机氮矿化和其他氮素转化为硝态氮和铵态氮量比3次施氮处理大,在施肥后灌溉和强降水后土壤的含水率迅速达到饱和状态,提高了硝态氮随水向土壤深层淋洗的风险;而3次施肥处理尿素是在总施氮量相同分次施入,降低了硝态氮淋洗和铵态氮挥发的风险。因此,3次施肥既有利于氮素的吸收,又有利于氮素储

存在玉米根系层内,减少硝态氮淋洗和铵态氮挥发的风险,提高氮肥利用率。

3 讨论

氮肥是作物生长过程中重要的营养元素,施肥调控管理与滴灌技术结合起来,根据玉米生长发育调节土壤中氮素分布,充分挖掘养分吸收利用,进一步提高养分利用率,实现养分资源优化利用,提高农业生产效率。滴灌施肥试验大多集中于作物产量对地面滴灌施肥灌溉的反应机制方面^[10, 15-18],刘洋^[10]认为膜下滴灌条件下,随着追氮量的增加,生育期平均土壤硝态氮量随之增加;1次追氮可以大幅增加玉米生育前期土壤氮素量,分次追氮可以保证玉米生育期平稳供氮能力;在玉米收获期,表层土壤中硝态氮量最高,随着土层深度的增加,土壤中的硝态氮量依次降低,本研究通过地下滴灌氮肥调控研究氮素分布规律,在玉米拔节期,相同施氮量不同施氮次数0~60 cm土层内,施氮前后铵态氮量和硝态氮量增幅,T1N60处理分别比T3N60处理提高了16.46%和14.75%,T1N120处理分别比T3N120处理提高了23.23%和7.48%、T1N180处理分别比T3N180处理提高了10.62%和10.05%。在玉米生育末期20~40 cm土层土壤硝态氮残留量,基本上都是3次施氮处理高于1次施氮处理;且0~40 cm土层硝态氮和铵态氮量较高,然后随着土层的加深依次降低,原因是本研究采用的是灌水器埋深30 cm的地下滴灌方式,因此在灌水器埋设周围硝态氮和铵态氮量较高,与前人的研究结论相似。本研究利用大田地下滴灌试验,获得氮素在土壤中运动分布的试验数据,分析不同施肥次数和施肥量对氮素在土壤中分布的影响,为地下滴灌施肥技术应用和水肥一体化管理提供理论依据和数据参考。但在滴灌施肥灌溉条件下氮素转化的试验研究以及数学模型的研究方面还不够完善,需做进一步的探讨。

4 结论

1)在拔节期施氮前后,相同施氮量不同施氮次数条件下,1次施氮处理0~60 cm土层中铵态氮量和硝态氮量的增幅都大于3次施氮处理的;抽穗期和灌浆期施氮前后,1次施氮处理土壤中铵态氮量和硝态氮量的增幅都小于3次施氮处理的。

2)在玉米收获后,土壤中铵态氮残留量在各处理之间差异不显著;土壤硝态氮残留量,在20~40 cm土层中基本上都是3次施氮处理的高于1次施氮处理的,其他土层差异不显著,说明分次施氮提高了玉米氮素吸收量,有利于硝态氮储存在玉米根系层内,减少硝态氮淋洗的风险,提高氮肥的利用率。

3)在氮素吸收方面,玉米总吸氮量较高的处理是T3N120处理和T3N180处理,但二者间差异不显著。

综上分析,在地下滴灌玉米氮肥管理过程中,建议在传统玉米追肥习惯的基础上,根据玉米生长需肥规律,重视分次追施尿素;保证均衡施肥,适量减少氮肥投入,减少缓慢生长期的追肥量,达到玉米的优质高产,提高肥料利用率,降低环境风险,建议按照T3N120处理进行追施氮素,进行3次追施,施氮量120 kg/hm²。

参考文献:

- [1] 陈同斌,陈世庆,徐鸿涛,等. 中国农用化肥氮磷钾需求比例的研究[J]. 地理学报,1998,53(1):32-41.
- [2] 朱兆良,文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1992:213-249.
- [3] 陈渠昌,吴忠渤,余国英. 滴灌条件下沙地土壤水分分布与运移规律[J]. 灌溉排水,1999,18(1):28-31.
- [4] 李援农. 不同灌溉方式入渗条件下的土壤空气阻渗特性试验研究[D]. 西安:西安理工大学;2007:14-15.
- [5] 刘晓英,杨振刚,王天俊. 滴灌条件下土壤水分运动规律的研究[J]. 水利学报,1990(1):11-21.
- [6] ENCISO J, JIDON J, WIEDENFELD B. Subsurface drip irrigation of onions: Effects of drip tape emitter spacing on yield and quality[J]. Agricultural Water Management, 2007, 92(3): 126-130.
- [7] PAYERO J O, TAKALSON D D, IRMAK S, et al. Effect of irrigation amount applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semiarid climate[J]. Agricultural Water Management, 2008, 95(8):895-908.
- [8] STONE K C, BAUER P J, BUSSCHER W J, et al. Narrow row corn production with subsurface drip irrigation[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2008, 24(4):455-464.
- [9] PATEL N, TAIPUT T B S. Effect of drip tape placement depth and irrigation level on yield of potato[J]. Agricultural Water Management, 2007, 88(1/3): 209-223.
- [10] 刘洋. 东北半湿润区膜下滴灌玉米增产机理及水氮优化管理研究[D]. 北京:中国农业大学,2017.
- [11] 李久生,杨凤艳,栗岩峰. 层状土壤质地对地下滴灌水氮分布的影响[J]. 农业工程学报,2009,25(3):25-31.
- [12] LI J, MENG Y, LI B. Field evaluation of fertigation uniformity as affected by injector type and manufacturing variability of emitters[J]. Irrigation Science, 2007, 25(2): 117-125.

- [13] LI J, MENG Y, LIU Y. Hydraulic performance of differential pressure tanks for fertigation[J]. Transactions of the ASABE, 2006, 49(6): 1 815-1 822.
- [14] 关红杰. 干旱区滴灌均匀系数对土壤水氮及盐分分布和棉花生长的影响[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2013.
- [15] 银敏华, 李援农, 李昊, 等. 氮肥运筹对夏玉米根系生长与氮素利用的影响[J]. 农业机械学报, 2016, 47(6): 129-138.
- [16] 郑彩霞, 张富仓, 贾运岗, 等. 不同滴灌量对土壤水氮运移规律研究[J]. 水土保持学报, 2014, 28(6): 167-170.
- [17] 刘显, 费良军, 王博, 等. 灌水器埋深对涌泉根灌土壤水氮运移特性的影响[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(9): 20-25.
- [18] 隋娟, 王建东, 龚时宏, 等. 滴灌条件下水肥耦合对农田水氮分布及运移规律的影响[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(1): 1-6, 29.

Regulating Fertilizer Application to Control Nitrogen Migration under Subsurface Drip Irrigation

ZHENG Wensheng^{1,2}, MENG Yan^{1,2}, LI Fanghua^{1,2}, WANG Bai^{1,2}, LIU Xiao^{1,2}

(1. Heilongjiang Provincial Hydraulic Research Institute, Harbin 150080, China;

2. Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Agricultural Water-saving Engineering in Cold Region, Harbin 150080, China)

Abstract: **【Objective】** The movement and transformation of nitrogen in soil impacts nitrogen bioavailability, and the purpose of this paper is to investigate the feasibility of regulating fertilizer application to control nitrogen migration in soil. **【Method】** Field experiments were conducted with three levels of nitrogen application: 60, 120 and 180 kg/hm², with each applied either just once or in three times to a corn field via subsurface irrigation. During the experiments, spatial distribution of NH₄⁺ and NO₃⁻ in soil, as well as N accumulation in the plants were measured. Overall, we examined six N fertilizer treatments: applying 60 kg/hm² once (T1N60), applying 120 kg/hm² once (T1N120), applying 180 kg/hm² once (T1N180), applying 60 kg/hm² in three times (T3N60), applying 120 kg/hm² in three times (T3N120), and applying 180 kg/hm² in three times (T3N180). **【Result】** ①Applying the fertilizer at the jointing stage just once increased nitrate and ammonium content in 0~60 cm compared with applying it in three times. In particular, the ammonium and nitrate under T1N60 increased by 16.46% and 14.75% compared T3N60, increased by 23.23% and 7.48% under T1N120 compared to T1N120, and increased 10.62% and 10.05% under T1N180 compared to T3N180. In contrast, applying the fertilizer in three times at the filling stage increased both ammonium and nitrate in 0~60 cm soil compared to applying the same amount of fertilizer just once. ②In the late growth stage, the amount of residual nitrate in 20~40 cm in all treatments was higher when applying the fertilizer in three times than applying it just once, maximizing in T3N180. ③Nitrogen uptake by plant roots increased by 3.7% on average when the fertilizer was applied in three times compared to applying it just once, especially in T3N180 and T3N120. **【Conclusion】** For a given amount of fertilizer, applying it via several top-addressing can enhance root uptake and reduce leaching and emission in comparison with applying it just once. We suggest applying 120 kg/hm² of fertilizer via three top-addresses.

Key words: Subsurface irrigation; nitrogen management; ammonium nitrogen; nitrate nitrogen; nitrogen migration

责任编辑: 白芳芳