

氮肥和土壤质地对滴灌棉花氮素利用率及产量的影响

张 泽¹, 马革新², 海兴岩², 马露露², 郑 琦², 张东明², 吕 新^{1,2}

(1. 石河子大学农学院; 2. 新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆 石河子 832003)

摘 要:为了探究氮肥和土壤质地对滴灌棉花氮素利用率及产量的影响,采用大田二因素随机区组试验方法,研究了滴灌条件下不同质地土壤棉花全氮含量以及氮素在各器官中的分布积累特征。结果表明:(1)不同施氮处理对各质地土壤棉花平均全氮含量表现为 N_2 (施氮量 $340\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) $>N_1$ (施氮量 $240\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) $>N_3$ (施氮量 $480\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) $>CK$ (不施氮处理);(2)同种质地下棉花各器官全氮含量在铃期之前表现为叶 $>$ 花蕾 $>$ 茎;铃期之后表现为叶 $>$ 铃 $>$ 茎,不同质地条件下叶、花蕾、花铃、茎中全氮含量均表现为砂土 $>$ 壤土 $>$ 黏土;(3)相同灌水条件时, N_2 处理下棉花单株铃数壤土与黏土差异不显著; N_1 处理下棉花单铃重砂土与壤土、 N_3 处理下壤土与黏土差异不显著,其余处理间均达到极显著水平,并且砂土、壤土、黏土分别以 $256.00\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $287.34\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $369.25\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的施氮量能够达到最高目标产量。建议在新疆干旱区滴灌砂、壤棉田采用以上研究结果,黏土氮肥投入可酌情降低并无机-有机肥料配施,以达到节肥和高产的统一。

关键词:氮肥;土壤质地;棉花;滴灌;氮素利用率;产量

中图分类号:S562;S143.1 **文献标志码:**A

Effects of nitrogen fertilizer and soil texture on the nitrogen utilization and yield of drip-irrigated cotton production

ZHANG Ze¹, MA Ge-xin², HAI Xing-yan², MA Lu-lu², ZHENG Qi², ZHANG Dong-ming², LÜ Xin^{1,2}

(1. College of Agronomy, Shihezi University; 2. Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of the Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

Abstract: The objective of this field experiment was to study the effects of soil texture and nitrogen (N) fertilizer on the nitrogen utilization and yield of drip-irrigated cotton. A randomized complete block design was applied in the experiment. The results showed following: (1) Regardless of soil texture, the total N content of the cotton ordered as N_2 ($340\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) $>N_1$ ($240\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) $>N_3$ ($480\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) $>CK$ (unfertilized control). (2) In all soil textures, the total N content in cotton organs ordered as leaves $>$ buds $>$ stems before bolling and ordered as leaves $>$ bolls $>$ stems after bolling. Total N content in leaves, buds and stems of cotton on different texture soil ordered as sand $>$ loam $>$ clay. (3) In the N_2 treatment, there was no difference in boll number between loam and clay soil when irrigation amounts were the same. There was no significant difference in single boll mass either between sandy and clay soil in the N_2 treatment or between loam and clay soil in the N_3 treatment. The effects of the other treatments on single boll mass were extremely significant. Cotton yield was greatest when 256.00 , 287.34 , and $369.25\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ was applied to sand, loam, and clay soil, respectively. We suggest that these N application rates can be used for sand and loam soil. The N application rate to clay soil should be $<369.25\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$. A combination of inorganic and organic fertilizer is best in clay soil. These fertilizer recommendations will optimize fertilizer use for maximum cotton yield.

Keywords: nitrogen application; soil texture; cotton; drip-irrigate; nitrogen fertilizer use efficiency; yield

收稿日期:2017-02-28

修回日期:2018-01-16

基金项目:国家自然科学基金项目“滴灌棉田两种不同施肥方式施氮效果研究”(31360301);棉花高产高效关键技术与示范(2014BAD11B02)。

作者简介:张泽(1984-),男,河北保定人,博士,讲师,主要从事作物信息技术与精准农业研究。E-mail:zhangze1227@163.com。

通信作者:吕新(1964-),男,教授,博士生导师,主要从事农业信息化与精准农业研究。E-mail:lxshz@126.com。

棉花作为新疆最主要的经济作物之一,自 20 世纪滴灌技术在新疆大面积推广以来,棉花产量和氮素利用率得到显著提高^[1]。而棉花后期生长发育主要受水、肥等土壤养分的影响^[1]。氮肥的投入是棉花增产的必要条件。合理的氮肥运筹不仅减少盐分对作物生长和产量的不利影响^[2],而且可减少因过量施氮造成的环境污染^[3]。胡顺军等^[4]研究表明水肥因子对滴灌棉花产量的影响呈现报酬递减效应。我国北方农作体系中多种土壤质地并存,不同质地的土壤水分、温度、空气和机械阻力表现不同^[5],对养分吸收利用和作物生长发育的影响也不同,导致在肥料利用率方面存在差异。因此,依据农田土壤状况进行合理施肥实现作物高产高效倍受关注,探明不同质地滴灌棉田肥料利用率差异性特征,可为棉田肥料科学管理提供理论依据。已有研究表明,基于室内土柱模拟法,滴灌施肥条件下氮肥种类和土壤质地对氮素淋溶及转化有显著影响^[6];不同滴灌处理下棉花氮素利用率受棉株根系的影响最大,而棉株根系又受土壤质地、土壤含盐量的影响^[7];棉花对氮素的吸收利用受水肥条件的影响很大,侯振安^[8-9]等研究表明不同的施肥策略显著影响棉花氮素的吸收量,氮肥在一次灌溉施肥的前期施用有利于提高氮肥的利用率,减少氮肥的淋洗损失。氮素利用率反映的是棉花对氮素吸收的一个最终结果,张旺锋^[10]等对棉花氮素利用的动态研究表明,其表现为“慢-快-慢”三个阶段。研究表明,目前,大多数国内外学者对滴灌条件下(包括室内土柱模拟法)氮肥的施用量、施用频率以及水肥耦合效应等对肥料利用率的影响做了较多研究,但其中大部分是在单一土壤质地条件下进行的

研究,对于滴灌施肥后不同质地土壤的氮素迁移及利用效率研究较少。为此,通过滴灌大田试验,研究施氮和土壤质地对滴灌棉花氮素的吸收利用情况的影响,可在确保高产的情况下对不同质地棉田的灌溉施肥技术进行进一步优化。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于 2016 年 4~10 月在新疆昌吉玛纳斯县六户地镇进行,该地区日照时长为 2800 ~ 3000 h,年平均气温 5℃ 左右,≥ 10℃ 有效积温为 3500 ~ 4100℃,无霜期 180 d 左右,试验区土壤质地分别为砂土、壤土、黏土。供试棉花品种为新陆早 45 号。土壤颗粒组成及肥力状况如表 1 所示。

1.2 试验设计

试验为二因素设计,分别为土壤质地和氮素水平。其中土壤质地因素设置 3 个水平,即砂土、壤土、黏土;施氮量设置 4 个氮素(纯氮)水平,即 0、240、340、480 kg · hm⁻²,并分别以 CK、N1、N2、N3 表示。试验采用全组合设计,共 12 个处理,其中每处理设置 3 个重复,共计 36 个小区。

试验小区设计为一膜六行,种植行距配置模式为 66 cm+10 cm,膜宽 2.05 m,膜间距 0.5 m,整个生育期滴灌设计灌溉量 540 mm,各处理均实行等额灌水。施肥量为钾肥(K₂O)95 kg · hm⁻²、磷肥(P₂O₅) 105 kg · hm⁻²作为基肥一次性施入,氮肥(尿素)中基肥占 30%,其余部分作追肥,随水每 10 d 灌溉 1 次,灌水施肥按比例分多次进行(见表 2)。

表 1 供试土壤颗粒组成及养分状况

Table1 Soil particle size distribution and soil nutrient content in the tested soils							
土壤质地 Soil texture	土壤颗粒组成 Constituent of soil particles/%			有机质量 OM /(g · kg ⁻¹)	速效氮量 Avail. N /(mg · kg ⁻¹)	速效磷量 Avail. P /(mg · kg ⁻¹)	速效钾量 Avail. K /(mg · kg ⁻¹)
	<0.002mm	0.002~0.02mm	0.02~2mm				
砂土 Sand	12.21	21.76	66.03	11.30	80.20	9.10	194
中壤土 Loam	13.42	44.40	42.18	19.90	60.88	17.95	134
黏土 Clay	42.33	36.15	21.52	21.32	92.11	15.31	185

表 2 水氮分配表

Table 2 Distribution proportion of water and nitrogen											
施肥灌溉批次 Fertilization and irrigation event	第 1 次 First	第 2 次 Second	第 3 次 Third	第 4 次 Fourth	第 5 次 Fifth	第 6 次 Sixth	第 7 次 Seventh	第 8 次 Eighth	第 9 次 Ninth	第 10 次 Tenth	第 11 次 Eleventh
灌溉量占总量的百分数 Percentage of total irrigation	4	6	10	12	15	20	12	6	6	5	4
施肥量占总追肥量的百分数 Percentage of total fertilizer top-dressing	0	0	10	10	20	30	20	10	0	0	0

1.3 测试指标

植株全氮测定:分别在棉花盛蕾期、盛花期、盛铃期、吐絮期采集植株地上部样品,每个小区取 3 株,在室内分器官(茎、叶、花蕾、花铃)将植株分开,105℃杀青 30 min 后于烘箱中 80℃条件下烘干至恒重,称量并记录干物质重。烘干的植株样经粉碎后过 0.5 mm 筛,待测。植株全氮用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮法测定。

产量测定:棉花吐絮期测定籽棉产量及产量构成因素,最后实收计产。

数据处理方法:
氮肥表观利用率=(施氮区地上部分的吸氮量-对照区地上部分的吸氮量)/施氮量;

氮肥生理利用率=(施氮区产量-对照区产量)/吸氮量;

氮肥农学利用率=(施氮区产量-对照区产量)/施氮量;

氮肥偏生产力=施氮区产量/施氮量。
采用 Excel 2007 和 SPSS17.0 软件进行数据处理和统计分析,origin8.0 软件制图。

2 结果与分析

2.1 施氮对砂土棉花氮素分配量的影响

砂土中不同氮处理各器官在不同生育期内全氮量如图 1 所示。总体来看,盛花期花蕾中全氮平均含量为 37.22 g·kg⁻¹,均高于其它生育期;花铃中全氮平均含量呈先升高后降低的趋势,在盛铃期达到最大为 30.42 g·kg⁻¹;茎中平均全氮含量在盛铃期也达到最大值为 23.22 g·kg⁻¹;叶中平均全氮含量峰值出现在盛花期,为 51.07 g·kg⁻¹,到盛铃期和吐絮期都有所下降。

盛蕾期不同施肥处理间全氮量变化趋势为处

理 N2>N3>N1>CK,不同施肥处理间 N2 处理全氮量最大为 91.32 g·kg⁻¹,比 CK 增加了 192.44%,花蕾中全氮量占 N2 处理全氮总量的 41.43%。N1 处理和 N3 处理花蕾中全氮含量差异不显著,但都显著高于 CK 处理,说明随着施氮量的增加,植株对氮素的吸收呈现先增后减的变化。盛花期棉花生殖生长逐渐增加,此时砂土中花蕾全氮量较同时期壤土增加 13.10%,说明棉花在砂土中比壤土中更早地进入生物量快速积累期。花铃期棉花的生殖生长加快,花铃中全氮量继续增加,而且 N2 处理花铃的含氮量达到 35.28 g·kg⁻¹,占该处理总氮量的 33.96%,说明与其它施肥处理相比,N2 处理能够使棉花氮素更多地向生殖器官运移。吐絮期各处理茎的全氮含量变化不大,花铃中全氮量最高的为 N2 处理(26.22 g·kg⁻¹),比 CK 增加了 31.90%。

2.2 施氮对壤土棉花氮素分配量的影响

由图 2 可以看出,随着棉花生育期的推进,花蕾中全氮含量在盛花期 N2 处理下达到最大,各处理平均值为 35.97 g·kg⁻¹,较 CK 处理增加 33.42%。花铃中全氮量呈现先增加后减小的趋势,由盛花期(均值 20.27g·kg⁻¹)增加到盛铃期(均值 29.69g·kg⁻¹)再到吐絮期(均值 22.64g·kg⁻¹),其中盛铃期 N2 处理最高为 37.14g·kg⁻¹。不同处理茎的全氮量变化为先增加后减小,在盛铃期 N2 处理达到最大的 30.91 g·kg⁻¹。整个生育期全氮量最高的器官为叶,其均值由盛蕾期的 23.97 g·kg⁻¹增加到盛花期的 49.67 g·kg⁻¹,随后逐渐降低。盛蕾期棉花进入营养生长后期,花蕾在棉花氮素分配中已占据主导地位,其全氮量与叶中全氮量差异不显著,但总体高于茎中含量。棉株各器官中全氮分配表现为叶>花蕾>茎。不同施氮量处理之间,N2 处理各器官全氮含量均为最高,总含氮量为 89.37 g·kg⁻¹,比

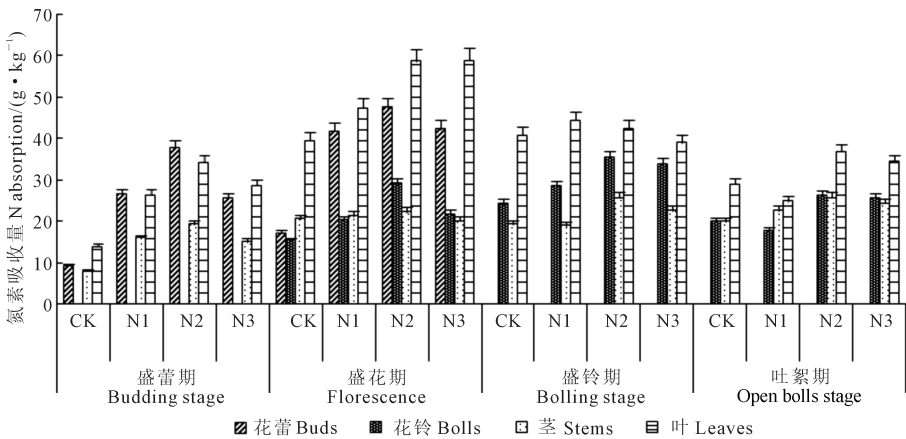


图 1 不同施肥处理砂土各器官氮素吸收量
Fig. 1 N absorption of each organ as affected by N amount in sand soil

CK 增加了 66.65%。盛花期棉花生殖生长和营养生长同步进行,植株需氮量增加,各处理全氮量整体表现为处理 N2>N3>N1>CK。N2 处理达到 157.38 g · kg⁻¹,而且 N2 处理生殖器官中全氮量占总全氮量的 47.47%,高于其它施肥处理,说明 N2 处理对应的施氮量下可以促进棉花氮素向生殖器官转移。盛铃期各处理营养器官中全氮量降低,生殖器官中全氮量增加,不同施肥处理间花铃中全氮量占总氮量的百分比为处理 N2>N3>N1>CK,其中 N2 处理为 34.68%,比 CK 处理增加 3.65%。吐絮期不同施肥处理间花铃中全氮量占总全氮量的百分比持续增加,总含氮量最高的是 N2 处理(82.13 g · kg⁻¹),比 CK 处理增加 17.7%。

2.3 施氮对黏土棉花氮素分配量的影响

黏土不同施肥处理各器官在不同生育期内全氮量如图 3 所示,可以看出,全氮总量的变化规律表现为盛花期>盛铃期>吐絮期>盛蕾期。黏土盛蕾期各施肥处理花蕾、叶中全氮平均含量为 100.49 g ·

kg⁻¹、100.31 g · kg⁻¹,比同时期壤土中含量增加 4.90%和 4.64%,但茎中氮素含量较壤土降低 21.19%,说明盛蕾期黏土中棉花植株根系尚不发达且黏土中水肥下渗速率较低导致植株对氮素的吸收利用主要体现在花蕾和叶片上,并且其氮素利用率较高。盛花期花蕾中氮素含量较壤土增加 20.11%,说明黏土花蕾中氮素积累较壤土有所提前;盛铃期各处理全氮含量表现为处理 N2>N3>N1>CK,花铃中氮素平均含量为 118.77 g · kg⁻¹,较壤土增加6.39%,较砂土降低 2.46%,表明氮素在不同根层上分布情况壤土优于黏土。吐絮期各处理间氮素总量表现为处理 N2>N1>CK>N3,茎中氮素平均含量为 71.89 g · kg⁻¹,较壤土降低 15.91%,叶中平均含量为 108.78 g · kg⁻¹,较壤土降低 4.99%,花铃中氮素含量较壤土差异不显著,说明在整个生育后期,氮素在生殖器官中的积累量相对稳定,在营养器官中的积累量有所下降。

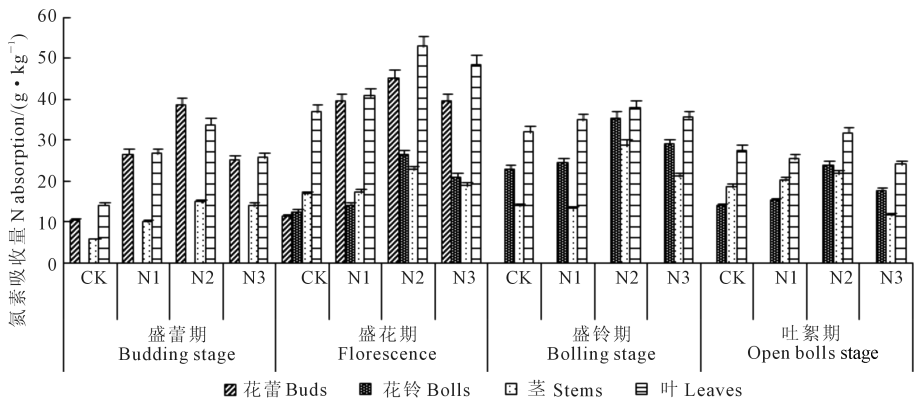


图 2 不同施肥处理壤土各器官氮素吸收量

Fig. 2 N absorption of each organ as affected by N amount in loam soil

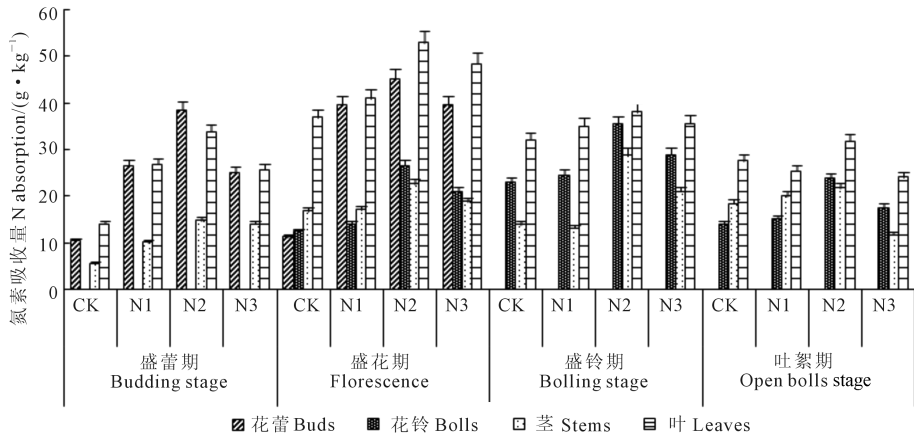


图 3 不同施肥处理黏土各器官氮素吸收量

Fig. 3 N absorption of each organ as affected by N amount in clay soil

2.4 不同质地棉田棉花氮素含量在各器官中的分配

由图 4 可以看出,随着生育期的推进,3 种质地棉田棉花花蕾中氮素含量变化表现为逐渐升高,其氮素含量变化范围为 37.23~47.52 g·kg⁻¹,而后在花期末端逐渐归零,但不同质地土壤棉花花蕾中氮素含量存在显著差异,表现为砂土>壤土>黏土;3 种质地下茎中氮素含量各个时期基本以壤土中为最高,砂土中居中,黏土中最低。砂土、壤土、黏土棉花茎中氮素含量变化为 19.24~25.75 g·kg⁻¹、19.47~30.49 g·kg⁻¹、14.82~28.84 g·kg⁻¹。铃中氮素含量表现为逐渐升高,到盛铃期达到最高后逐渐降低(主要原因在于吐絮期不再追施氮肥),其平均值各个时期表现为壤土>砂土>黏土,砂土、壤土、黏土棉花茎中氮素含量变化为 26.22~35.28 g·kg⁻¹、25.53~37.14 g·kg⁻¹、23.75~35.35 g·kg⁻¹。叶中氮素含量表现为砂土>壤土>黏土,其各个生育期含量变化先升后降,在棉花盛花期达到最大值。盛花期砂土与壤土叶片中氮素含量差异不显著,但二者均显著高于黏土叶片中氮素含量。

上述结果表明,黏土不利于棉花根系深扎,根系主要分布在上层土壤,导致根系对氮素的吸收利

用率降低而使得黏土棉花氮素在各个器官中的分配量均处于相对劣势;砂土则有利于棉花根系向深层生长,从而提高了氮素利用率,这在棉花花蕾和叶片中表现尤为显著;由于壤土的蓄水保肥性介于砂、黏土之间而使得棉花根系在壤土中的空间分布情况也介于砂、黏土之间,表现为花铃中全氮含量最高,最终也决定了壤土栽培棉花的高产条件。

2.4 施氮对不同质地土壤棉花氮素利用率的影响

由表 3 可知,砂土中不同施肥处理之间的氮肥生理利用率、农学利用率和偏生产力变化趋势一致,都表现为处理 N1>N2>N3,且各处理间差异极显著,由 N1 处理的 3.27、12.03、27.4 kg·kg⁻¹降低到 N3 处理的 0.92、2.36、10.8 kg·kg⁻¹;壤土中生理利用率、农学利用率都表现出逐渐降低的趋势,N1、N2 处理之间差异显著。黏土中氮肥的生理、农学、表观利用率都表现出先增加后减小的变化趋势,且黏土生理利用率 N2 和 N3 处理之间差异不显著,表观利用率 N1 和 N3 处理之间差异不显著,这可能是因为等额灌水的条件下,N2 处理促进了棉花营养器官的生长,使棉花地上部分全氮量增加;N3 处理施肥量较大,在一定程度上抑制了棉花地上部分营养器官中氮素的积累。

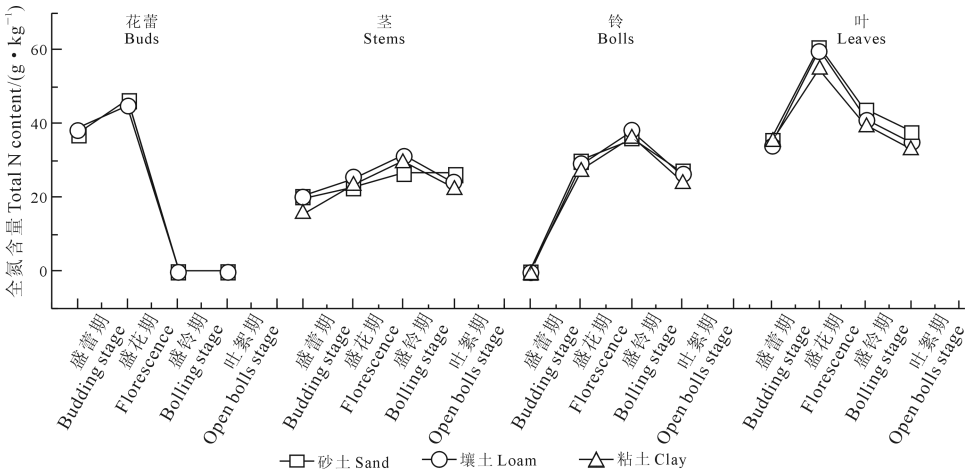


图 4 不同质地棉田棉花氮素含量在各器官中的分配量
Fig. 4 N absorption of each organ as affected by different soil textures

表 3 不同质地土壤棉花氮肥利用效率

Table 3 Nitrogen fertilizer use efficiency as affected by N rate and soil texture

处理 Treatment	生理利用率 Physiological efficiency /(kg·kg ⁻¹)			农学利用率 Agronomic efficiency /(kg·kg ⁻¹)			偏生产力 Partial productivity /(kg·kg ⁻¹)			表观利用率 Apparent utilization/%		
	砂土 Sand	壤土 Loam	黏土 Clay	砂土 Sand	壤土 Loam	黏土 Clay	砂土 Sand	壤土 Loam	黏土 Clay	砂土 Sand	壤土 Loam	黏土 Clay
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CK	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N1	3.27a	1.68a	0.02b	12.03a	6.47ab	0.07c	27.4a	25.6a	19.6a	0.75c	0.27b	0.12b
N2	1.57b	1.54ab	0.61a	7.59 b	6.11a	2.88a	19.1b	17.6b	17.2b	2.65a	1.79a	2.04a
N3	0.92c	0.44c	0.59a	2.36 c	0.94c	1.35b	10.8c	10.4c	10.89c	1.09b	0.89b	0.37b

不同质地棉花的氮素利用率,在一次灌水施肥的过程中,N2 施肥处理可以提高棉花氮素的利用效率。整体来看,三种质地间氮肥的利用效率存在差异,砂土的氮肥利用效率高于壤土、黏土。说明相同施肥灌水条件下,砂土较壤土、黏土有更高的氮素利用率。

2.5 施氮对不同质地棉花产量的影响

由表 4 可以看出,三种土壤质地下籽棉产量均表现出处理 N2>N1>N3>CK,N2 处理下砂土、壤土、黏土棉花产量均达到最大值,分别为 6428.70、6869.70、5647.69kg · hm⁻²,较 CK 处理分别增产

41.49%、41.51%、82.86%。施氮处理的单株铃数和单铃重几乎都高于 CK 处理;就株数而言,砂土 N2、N3 处理差异不显著;壤土 N1、N3 处理间差异不显著;黏土施氮处理间差异不显著,较 CK 处理差异显著。单株铃数砂土 N2、N3 处理和黏土 N1、N3 处理间差异不显著,而壤土各处理间差异显著。单铃重壤土 N1、N3 处理差异不显著。总体来说,壤土 N2 处理平均籽棉产量为 6869.70 kg · hm⁻²,较相同栽培条件下砂土和黏土分别增产 6.86%和 21.64%,这进一步说明相同栽培条件下壤土较砂、黏土增产效果明显。

表 4 不同质地土壤棉花产量

Table 4 Cotton yield and yield components as affected by N rate and soil texture

处理 Treatment	产量构成因素 Yield component factor									籽棉产量 Cotton yield/(kg · hm ⁻²)		
	株数 Number of plants/hm ²			单株铃数 Boll number per plant			单铃重 Single boll mass/g					
	砂土 Sand	壤土 Loam	黏土 Clay	砂土 Sand	壤土 Loam	黏土 Clay	砂土 Sand	壤土 Loam	黏土 Clay	砂土 Sand	壤土 Loam	黏土 Clay
CK	1.44×10 ⁵ e	1.77×10 ⁵ b	1.92×10 ⁵ a	5.86f	7.38c	6.68e	5.63a	5.31b	4.90ef	4543.27f	4854.53f	3088.46g
N1	1.35×10 ⁵ f	1.65×10 ⁵ d	1.75×10 ⁵ b	8.36a	6.90d	6.90d	5.29bc	5.13cd	4.73f	6131.00c	6569.30b	5151.92e
N2	1.53×10 ⁵ c	1.50×10 ⁵ c	1.80×10 ⁵ b	7.43c	7.58b	7.48bc	5.61a	4.87ef	5.18bc	6428.70b	6869.70b	5647.69d
N3	1.48×10 ⁵ c	1.63×10 ⁵ d	1.72×10 ⁵ b	7.40c	6.60e	6.80d	5.62a	5.13cd	5.00de	5405.50	5152.00e	5266.36e

3 讨 论

3.1 施氮对棉花平均全氮含量的影响

薛晓萍等^[11]研究表明,对氮素的吸收除了受自身生长需求的内在因素外,施氮量、土壤质地条件、气象因子也对其有较大影响。廖娜、侯振安^[12]等通过大田二因素三水平完全随机试验设计对不同氮水平下棉花秸秆及生物碳对棉花氮素利用率及产量的影响研究,认为中氮(N300)处理棉花氮素利用率明显高于低氮(N0)处理和高氮(N450)处理;本试验结果表明,不同施氮处理对各质地土壤棉花平均全氮含量表现为 N2>N1>N3>CK,这主要是由于作物对氮素的吸收表现为 NO₃⁻-N 多于 NH₄⁺-N,而植物体吸收硝态氮是一个在硝酸还原酶作用下的逆化学势梯度的主动吸收过程。硝酸还原酶是诱导酶,它的生成必须有一个诱导过程,低氮处理下诱导作用较低而表现为作物的氮素利用率下降,而高氮处理虽有利于诱导酶的生成,但会影响尿素的水解过程而影响水解产生的氨的转化,导致脲酶活性受到抑制使尿素的水解速率降低从而表现为棉花较低的氮素利用率^[13]。施氮量与棉花氮素利用率之间进行回归拟合可知,施氮量对棉花产量和地上部全氮含量都符合报酬递减规律,与廖娜等研究结论基本一致。

3.2 土壤质地对棉花全氮在各器官中分配的影响

有研究指出,相同处理条件下棉株对氮、磷、钾的累积量表现为砂壤土>重壤土,且不同质地间差异达显著或极显著水平,说明在偏粘性土壤上不利于棉花植株对养分的吸收和累积^[14];棉花全生育期氮素积累总量随着生育期的推移而增加,在棉花铃期达到最高,不同生育阶段,棉花各器官内的氮素水平不同^[15];本试验结果表明,同种质地下棉花各器官全氮含量在铃期之前表现为叶>花蕾>茎;铃期之后表现为叶>铃>茎;不同质地条件下茎、铃中全氮含量均表现为壤土>砂土>黏土,这主要是由于茎作为主要的氮素运输场所表现为运输大于吸收,此外,由于砂质土壤中微团聚体和大团聚体较少,在随水施肥的过程中较粗的单粒迅速降解而使土粒沉实,不利于侧根多发而影响根系对氮素的吸收,表现为茎秆较壤土细长;氮素在花蕾、叶中表现为黏土中最少,这主要是由于黏土中毛管水移动困难,灌溉水难以下渗而使犁底层或黏粒积聚层形成上层滞水而影响棉花根系下伸,从而影响氮素吸收^[16]。

3.3 氮肥和土壤质地对滴灌棉花产量的影响

多项研究表明,棉花产量受多种因素影响,水肥在灌溉条件下作用显著并存在报酬递减效应^[17]。李新伟^[18]等通过对不同氮水平下棉花的产量效应

研究认为,施氮量与棉花产量之间的关系可根据一元二次方程拟合回归方程;本试验研究结果表明,在棉花不同施氮处理下,棉花籽棉产量以 N1 处理($240\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)最高,其次为 N2 处理($340\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)。当施氮量再增加时,产量有下降的趋势,这主要是由于本实验以施氮量作为可变要素在等量增加的同时,可变要素的投入量与其它固定要素(如土壤基础肥力、气候状况、灌溉量等)逐渐接近最佳的组合比,表现为籽棉产量递增,当氮肥投入量与其它固定要素的配合比例恰当时,籽棉产量达到最大,如果继续增加施氮量,生产要素的投入量之比就越来越偏离最佳组合比,表现为产量递减趋势。相同灌水条件时,N2 处理下棉花单株铃数壤土与黏土差异不显著;N1 处理下棉花单铃重砂土与壤土、N3 处理下壤土与黏土差异不显著,这主要是由于 N3 处理条件下,高施氮量黏质土孔细往往被水占据,通气不畅,好气微生物活动受到抑制而影响棉花根系下扎,导致产量与壤土差异不大。并且砂土、壤土、黏土分别以 $256.00\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $287.34\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $369.25\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的施氮量能够达到最高目标产量。

本研究只在棉花单一品种下进行了研究,且限于本研究控制的土壤质地处理数量较少,有关土壤质地引起的生物与化学性质差异对棉花氮素吸收和产量形成的影响还有待进一步加强。因而,今后在本地地区要进行长期的、更全面的大田验证及应用,以确定棉花在不同质地土壤栽培条件下的氮肥利用率,为不同质地棉田定量化的肥料投入提供理论依据。

4 结 论

1)不同施氮处理对各质地土壤棉花平均全氮含量表现为 $\text{N2}>\text{N1}>\text{N3}>\text{CK}$ 。

2)同种质地棉花各器官全氮含量在铃期之前表现为叶>花蕾>茎;铃期之后表现为叶>铃>茎,不同质地条件下叶、花蕾、花铃、茎中全氮含量表现均表现为砂土>壤土>黏土。

3)相同灌水条件时,N2 处理下棉花单株铃数壤土与黏土差异不显著;N1 处理下棉花单铃重砂土与壤土、N3 处理下壤土与黏土差异不显著,并且砂土、壤土、黏土分别以 $256.00\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $287.34\text{ kg}\cdot$

hm^{-2} 、 $369.25\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的施氮量能够达到最高目标产量。

致谢:本研究得到了吕新老师和新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室数字农业与精准农业课题组的大力协助,在此深表谢意!

参 考 文 献:

- [1] Li H, Liang X Q, Chen Y X, et al. Ammonia volatilization from urea in rice fields with zero-drainage water management[J]. Agric Water Manage, 2008, 95:887-894.
- [2] 薛利红,罗卫红,曹卫星,等.作物水分和氮素光谱诊断研究进展[J].遥感学报,2003,7(1):73-80.
- [3] Albassam B A. Effect of nitrate nutrition on growth and nitrogen assimilation of pearl millet exposed to sodium chloride stress[J]. Plant Nutr. 2001,24:1325-1335.
- [4] 凌启红.作物群体质量[M].上海:上海科技出版社,2000:178-197.
- [5] 胡顺军,田长彦,王方,等.膜下滴灌棉花水肥耦合效应研究初报[J].干旱区资源与环境,2005,19(2):192-195.
- [6] 赵玲,侯振安,危常州,等.膜下滴灌棉花氮磷肥料施肥效果研究[J].土壤通报,2004,35(3):307-310.
- [7] 习金根,周建斌,赵满兴,等.滴灌施肥条件下不同种类氮肥在土壤中迁移转化特性的研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(4):337-342.
- [8] 侯振安,李品芳,吕新,等.不同滴灌施肥方式下棉花根区的水、盐和氮素分布[J].中国农业科学,2007,40(3):549-557.
- [9] 侯振安,李品芳,龚江,等.不同滴灌施肥策略对棉花氮素吸收和氮肥利用率的影响[J].土壤学报,2007,44(4):702-708.
- [10] 张旺峰,李建国.北疆高产棉花氮磷钾吸收动态的研究[J].石河子大学学报(自然科学版),1997,1(4):257-264.
- [11] 薛晓萍,郭文琦,周治国.氮素对棉花氮素利用率和产量的影响.中国农学通报,2008,24(10):462-466.
- [12] 廖娜,侯振安,李琦,等.不同施氮水平下生物碳提高棉花产量及氮素利用率的作用[J].植物营养与肥料学报,2015,21(3):782-791.
- [13] 陆景陵.植物营养学[M].北京:中国农业大学出版社,2003.
- [14] 罗新宁,陈冰,张巨松,等.氮肥对不同质地土壤棉花生物量与氮素积累的影响[J].西北农业学报,2009(4):160-166.
- [15] 吕婷婷.新疆棉花植株氮素挥发损失及氮素吸收利用特征研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2009.
- [16] 黄昌勇,徐建明.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2010.
- [17] 温鹏飞,朱鹏,吕新等,等.棉花不同水氮组合 NDVI 的差异性及产量效应研究[J].灌溉排水学报,2016,35(10):69-72.
- [18] 李新伟,余炳凤,吕新,等.不同氮水平下棉花冠层 NDVI 分析与产量估测[J].农业机械学报,2014,45(7):1000-1298.