

氮肥基追比对小麦产量、土壤水氮分布及利用的影响

袁浩¹, 王继唯^{2,3}, 李赞虹^{2,3}, 孙坤雁^{2,3},
张建发⁴, 宋学利⁵, 夏辉¹, 彭正萍^{2,3}

(1.河北农业大学城乡建设学院,河北保定 071001;2.河北农业大学资源与环境科学学院,河北省农田生态环境重点实验室,河北保定 071001;3.国家华北作物改良与调控重点实验室,河北保定 071001;4.邢台市农业农村局,河北邢台 054000;5.肃宁县农业农村局,河北沧州 062350)

摘要:为解决区域土壤质地类型针对性氮肥施用问题,在轻壤土和黏壤土上分别设置不施氮肥,氮肥基追比3:7,4:6,5:5,6:4和7:3处理,研究小麦产量、水氮利用效率以及土壤含水量、贮水量、 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 动态变化规律。结果表明:轻壤质土壤氮肥基追比4:6的处理小麦产量、水分利用效率、氮肥生产效率最高分别为8265.3 kg/hm²,27.6 kg/(hm²·mm),34.4 kg/kg。黏壤质土壤氮肥基追比5:5的处理小麦产量、水分利用效率、氮肥生产效率最高分别为8363.2 kg/hm²,28.3 kg/(hm²·mm),34.8 kg/kg。小麦不同生育期各土层含水量垂直分布变化较大,轻壤质土壤含水量在9.3%~26.2%,而黏壤质为9.7%~27.6%;小麦全生育期内土壤贮水量呈先升高后降低趋势,黏壤质土壤贮水量高于轻壤质。氮素追施量越多土壤表层 NH_4^+-N 与 NO_3^--N 含量越高,且随土层加深土壤 NH_4^+-N 与 NO_3^--N 含量降低,受降水影响轻壤质土壤 NH_4^+-N 与 NO_3^--N 更易于向土层深处淋溶,成熟期黏壤质各土层的 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 含量均多于轻壤质。说明黏壤质土壤保水保氮能力强于轻壤质,氮肥基追比可以适当增加。

关键词:冬小麦;土壤质地;氮肥基追比;土壤水氮分布;水氮利用

中图分类号:S513;TV93

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2020)05-0299-09

DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2020.05.041

Effects of the Ratio of Base-topdressing Nitrogen on Wheat Yield, Distribution and Utilization of Water and Nitrogen in Soil

YUAN Hao¹, WANG Jiwei^{2,3}, LI Yunhong^{2,3}, SUN Kunyan^{2,3},
ZHANG Jianfa⁴, SONG Xueli⁵, XIA Hui¹, PENG Zhengping^{2,3}

(1.College of Urban and Rural Construction, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071001; 2.College of Resources and Environmental Science/ Hebei Province Key Laboratory for Farmland Eco-Environment, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071001; 3.State Key Laboratory of North China Crop Improvement and Regulation, Baoding, Hebei 071001; 4.Agricultural and Rural Bureau of Xingtai City, Xingtai, Hebei 054000; 5. Agriculture and Rural Bureau of Suning County, Cangzhou, Hebei 062350)

Abstract: In order to solve the problem of specific application of nitrogen fertilizer varying with the regional soil texture types, the light loam and clay loam were respectively set with no application of nitrogen fertilizer, and the ratios of base-topdressing nitrogen (N) fertilizer at 3:7, 4:6, 5:5, 6:4 and 7:3. The yield, water and nitrogen utilization efficiency in wheat, dynamic changes of soil moisture, water storage, NH_4^+-N and NO_3^--N contents were studied. The results showed that the highest wheat yield, water use efficiency (WUE) and N production efficiency (NPE) of light loam soil with N base-topdressing ratio at 4:6 were 8265.3 kg/hm², 27.6 kg/(hm²·mm) and 34.4 kg/kg, respectively. The highest wheat yield, WUE and NPE with N base topdressing ratio of 5:5 in clayey soil were 8363.2 kg/hm², 28.3 kg/(hm²·mm) and 34.8 kg/kg, respectively. The vertical distribution of soil water content in different growth stages of wheat varied greatly. The water content of light loam soil was 9.3%~26.2%, while 9.7%~27.6% in clay soil.

收稿日期:2020-01-06

资助项目:国家重点研发计划项目(2018YFD0300504);河北省人才工程培养项目(A201910003)

第一作者:袁浩(1993—),男,硕士研究生,主要从事农业水土工程研究。E-mail:867517992@qq.com

通信作者:夏辉(1978—),女,副教授,硕士生导师,主要从事农业水土工程研究。E-mail:xiahui1106@163.com

彭正萍(1974—),女,教授,博士生导师,主要从事植物营养与生态环境研究。E-mail:pengzhengping@sina.com

During the whole growth period of wheat, the soil water storage capacity increased at first and then decreased. The water storage capacity of clayey soil was higher than that of light loam. The higher the amount of N topdressing, the higher contents of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in the surface soil, and the contents of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and $\text{NO}_3^- - \text{N}$ decreased with the soil depth. Under precipitation, the contents of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in light loam soil were easier to leach to the soil depth, and the contents of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in clay loam soil were higher than those in the light loam at maturity. The results showed that the ability of water and N conservation in clayey soil was stronger than the light loam soil, and the ratio of base-topdressing N could be increased appropriately.

Keywords: winter wheat; soil texture; ratio of base-topdressing nitrogen; soil water and nitrogen distribution; water and nitrogen utilization

氮是作物生长必需的重要元素之一,作物生长阶段吸收 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的数量占吸收阴阳离子总量的 70% 左右^[1]。氮肥大量盲目不合理施用导致氮肥利用率低,损失加剧^[2]。小麦生产中施肥量和施用方法不合理的现象普遍存在^[3]。前人^[4-6]在小麦供氮水平和氮肥利用率等方面进行了大量研究,为解决我国粮食安全与生态环境可持续发展的矛盾,提高氮肥当季利用率,合理施用氮肥提供重要支撑。

在小麦生产中,一般播种时施底肥,并在返青或拔节期追施氮肥,但不同地区由于气候和土壤类型等条件均存在差异,基追肥的数量和比例应有所不同,合理施用氮肥是提高区域小麦产量的有效途径。目前在区域尺度上针对土壤质地类型特征的合理氮肥施用方式研究较少。轻壤质和黏壤质在河北省黑龙港区存在较多,2 种土壤的保水保肥性能又存在较大差别。如何针对这 2 种质地土壤性能实现针对性氮肥合理施用? 有研究^[7-8]表明,氮肥基追比和水分盈亏显著影响小麦产量和水分利用效率。黄玲等^[9]研究发现,冬小麦生长发育和产量受品种特性、区域土壤

肥力及光热资源等影响。金艳等^[10]进行 3 年试验的作物产量表明以氮肥基追比 7 : 3 和 5 : 5 表现较优,氮肥基追比 10 : 0 和 3 : 7 处理较低。

因此,本研究针对河北黑龙港地区轻壤质和黏壤质 2 种土壤类型,通过设置不同氮肥基追比处理,研究小麦产量、水氮利用效率及生长过程中的土壤含水量、贮水量、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 动态变化规律,研究结果可以为该地区不同土壤质地的小麦合理施用氮肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

本研究于 2018 年 10 月至 2019 年 6 月在河北省宁晋县贾口镇白木村进行,位于 $37^{\circ}36'51''\text{N}$, $115^{\circ}07'23''\text{E}$,属于温带大陆性气候,年均气温 12.8°C ,年均降水量 449.1 mm。供试土壤为黏壤质(保水保肥强,发老苗不发小苗)和轻壤质潮土(通体壤,保水保肥适宜)。供试小麦为“济麦 22”,小麦播种前 0—20 cm 供试土壤基本理化性质见表 1。小麦全生育期间降水量见图 1。

表 1 供试土壤基本理化性质

土壤质地	容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	pH	有机质/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	铵态氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	硝态氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效磷/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
轻壤质	1.36	8.37	20.8	6.1	22.7	8.9	164.0
黏壤质	1.49	8.42	23.0	7.4	35.8	13.5	177.1

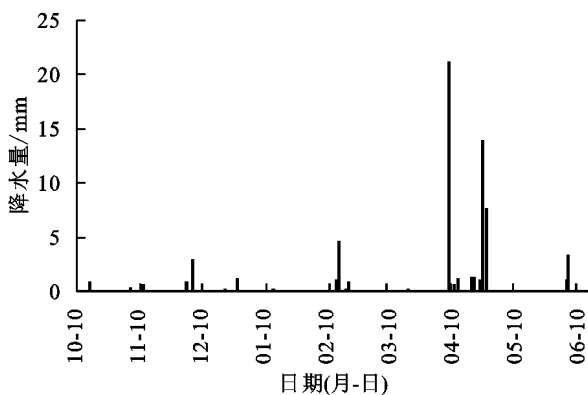


图 1 小麦生长期降水量动态变化

1.2 试验设计

本试验选用轻壤和黏壤土壤质地,每种质地 6 个氮肥处理,即不施氮及氮肥基追比分别为 3 : 7, 4 : 6, 5 : 5, 6 : 4, 7 : 3, 共 12 个处理,每处理重复 3 次,共 36 个小区,同一种质地土壤上 18 个小区随机排列。不同氮肥基追比的总纯氮用量均为 $240 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ^[11]。各处理除了氮肥外的磷肥 (P_2O_5) 和钾肥 (K_2O) 在播种前全部底施,分别为 $105, 135 \text{ kg}/\text{hm}^2$,具体见表 2。全部基肥于前茬玉米粉碎后撒施地表进行旋耕,来年拔节前进行剩余氮肥追施,各处理除了氮肥基追比不同外,其他管理条件均一致。小区面

积 $7\text{ m} \times 7\text{ m} = 49\text{ m}^2$ 。2018年10月14日采用15 cm等行距播种,播量 $225\text{ kg}/\text{hm}^2$ 。灌水方式采用微喷灌,全生育期灌2水,灌水时在进水口安装压力表

通过计时确定流量,在播种后进行第1次灌水 $750\text{ m}^3/\text{hm}^2$,在拔节期进行第2次灌水 $750\text{ m}^3/\text{hm}^2$,总灌水量为 $1\ 500\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

表2 试验处理及其对应施肥量

土壤质地	氮肥施用方式	处理代号	施肥量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)				
			纯氮总量	基肥	追肥	磷肥(P_2O_5)	钾肥(K_2O)
轻壤	不施氮	LT1	0	0	0	105	135
	基追比3:7	LT2	240	72	168	105	135
	基追比4:6	LT3	240	96	144	105	135
	基追比5:5	LT4	240	120	120	105	135
	基追比6:4	LT5	240	144	96	105	135
	基追比7:3	LT6	240	168	72	105	135
黏壤	不施氮	CT1	240	0	0	105	135
	基追比3:7	CT2	240	72	168	105	135
	基追比4:6	CT3	240	96	144	105	135
	基追比5:5	CT4	240	120	120	105	135
	基追比6:4	CT5	240	144	96	105	135
	基追比7:3	CT6	240	168	72	105	135

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤样品采集与测定 在小麦生长的返青、拔节、挑旗、灌浆和成熟期,分别在2种质地土壤上采集土样,土层深度0—100 cm,每层20 cm。将土样置于密封袋中,鲜土样采用2 mol/L的KCl溶液浸提,在SmarChem 200全自动化学分析仪测定的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量^[12]。用烘干法^[13]测定土壤中的含水量。

1.3.2 产量测定 在小麦成熟期,每处理采3组,每组割取2 m 6行小麦,用脱粒机将其全部脱粒,测定籽粒重及其含水量,按面积折算为含水量12.5%的小麦籽粒产量^[14]。

1.3.3 计算指标 土壤贮水量(mm) = 土壤质量含水率(%) × 土壤容重(g/cm^3) × 土层厚度(cm) × 10

小麦生育期间实际耗水量(mm) = 播种前0—100 cm土壤贮水量 + 生育期内降雨量 + 生育期内灌水量 - 收获时0—100 cm土壤贮水量

水分利用效率($\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$) = 冬小麦籽粒产量(kg/hm^2) / 小麦生育期间实际耗水量(mm)

氮肥偏生产力(kg/kg) = 施氮肥区小麦产量(kg/hm^2) / 氮肥施用量(kg/hm^2)

1.4 数据处理

小麦水氮利用效率、产量和土壤含水量、贮水量、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 均采用Microsoft Excel 2016进行试验数据处理和分析,采用SPSS 22.0软件进行显著性检验,显著水平均为0.05。

2 结果与分析

2.1 小麦产量及其水分利用效率和氮肥生产效率

由表3可知,黏壤质氮素基追比5:5的小麦产量最高为 $8\ 363.2\text{ kg}/\text{hm}^2$,而轻壤质氮素基追比4:6的产量最高为 $8\ 265.3\text{ kg}/\text{hm}^2$ 。相同处理黏壤土与轻壤土相比,小麦产量分别增加1.8%,4.4%, -8.5%,8.5%,8.4%,1.5%。不施氮肥处理小麦产量最低,也反映出氮素对小麦生长有重要作用。在微喷灌条件下,轻壤质不同处理水分利用效率表现为 $\text{LT3} > \text{LT4} > \text{LT5} > \text{LT2} > \text{LT6} > \text{LT1}$;氮素基追比4:6处理较其他处理水分利用效率显著提高,是不施氮的1.74倍,较其他施氮肥处理水分利用效率增加14.7%~42.7%。黏壤质氮素基追比5:5的水分利用效率最大,不施氮最小;CT2~CT6的水分利用效率是CT1的1.49~1.90倍;氮素基追比5:5较其他施氮肥处理水分利用效率增加6.2%~90.0%。

表3 小麦产量、水分利用效率和氮肥生产效率

氮肥基追比	轻壤质			氮肥基追比	黏壤质		
	产量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	水分利用效率/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$)	氮肥生产效率/ ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)		产量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	水分利用效率/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$)	氮肥生产效率/ ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
不施氮	4140.1c	15.8c		不施氮	4215.2d	14.9d	
3:7	6887.3b	23.2b	28.7c	3:7	7189.1c	22.2c	29.9c
4:6	8265.3a	27.6a	34.4a	4:6	7564.8bc	22.3c	31.5bc
5:5	7708.0ab	23.6b	32.1b	5:5	8363.2a	28.3a	34.8a
6:4	7213.5b	23.5b	30.1c	6:4	7823.1b	24.9b	32.6b
7:3	7150.8b	21.9b	29.8c	7:3	7254.9bc	22.3c	30.2c

注:同列数字后不同小写字母表示处理间差异显著,达0.05水平。下同。

随着氮肥基追比的增加氮肥生产效率先增后降,表明适当调整氮肥基追比促进小麦氮素吸收利用,提高氮肥生产效率。轻壤质的氮素基追比 4:6 处理氮肥生产效率最高为 34.4 kg/kg;黏壤质土的氮素基追比 5:5 处理氮肥生产效率最高为 34.8 kg/kg。相同施肥处理,黏壤土上的小麦氮肥生产效率略高于轻壤土。

2.2 小麦各生育期土壤剖面水分动态分布规律

由图 2 可知,小麦各生育期内不同处理的土壤含水量纵向分布差异明显。轻壤质全生育期内土壤含水量变幅为 9.3%~26.2%。返青期,表层土壤含水量较低,0—20 cm 土壤含水量 LT1 最低为 14.9%,LT2 最高 18.5%;60—80 cm 的土壤颗粒小水分在此处聚集。拔节期,因为施肥灌溉各土层含水量增加,LT1~LT6 在 0—100 cm 含水量提高 14.8%~28.9%,追肥量不同造成 LT3 和 LT5 含水量提高较多。挑旗期,小麦生长需要大量水分,各土层含水量降低,LT1~LT6 的 0—60 cm 土壤含水量降低 13.9%~25.1%,LT3 和 LT4 降低较多。灌浆期,土壤含水量峰值在 70 cm 处,此层 LT5 含水量最高为 21.8%。成熟期,由于气温升高土壤表层水分大量蒸发,LT1~LT6 含水量随土层深度增加而降低。

由图 3 可知,黏壤质 CT1~CT6 在小麦不同生育期各土层含水量变幅为 9.7%~27.6%,平均土壤含水量随小麦生长呈先升后降趋势。返青期,CT1~CT6 土壤含水量差别不大。拔节期,由于施肥灌溉,CT1~CT6 的 0—100 cm 土壤含水量平均增长 11.9%~27.2%。CT4 和 CT5 在 0—40 cm 含水量平均值较大,可能由于氮肥浓度更加适合被小麦吸收利用。挑旗期,由于少量降雨,由于土壤颗粒小,黏壤土含水量维持在较高水平。灌浆期,土壤水分随土层深度增加而增加,土壤水分向深层土壤下渗 CT4 在底层土含水量仍比其他处理高。成熟期,随气温升高,表层土水分蒸发加剧,0—20 cm 土壤含水量显著降低,水分主要集中在 40—80 cm 处,CT4 在 70 cm 含水量最高为 15.2%。

对比图 2 和图 3,在相同处理下,不同土壤质地间含水量有差异。拔节期,黏壤质 CT1~CT6 处理比轻壤质相同处理在 0—40 cm 土壤含水量增加 3.4%~12.5%。挑旗期,轻壤质的土壤含水量 50—100 cm 高,而黏壤质 0—50 cm 含水量多。灌浆期与成熟期,轻壤质与黏壤质土壤含水量均下降,但黏壤质 0—100 cm 的平均含水量较轻壤质高,说明黏壤质土壤较轻壤质有较好的保水能力。

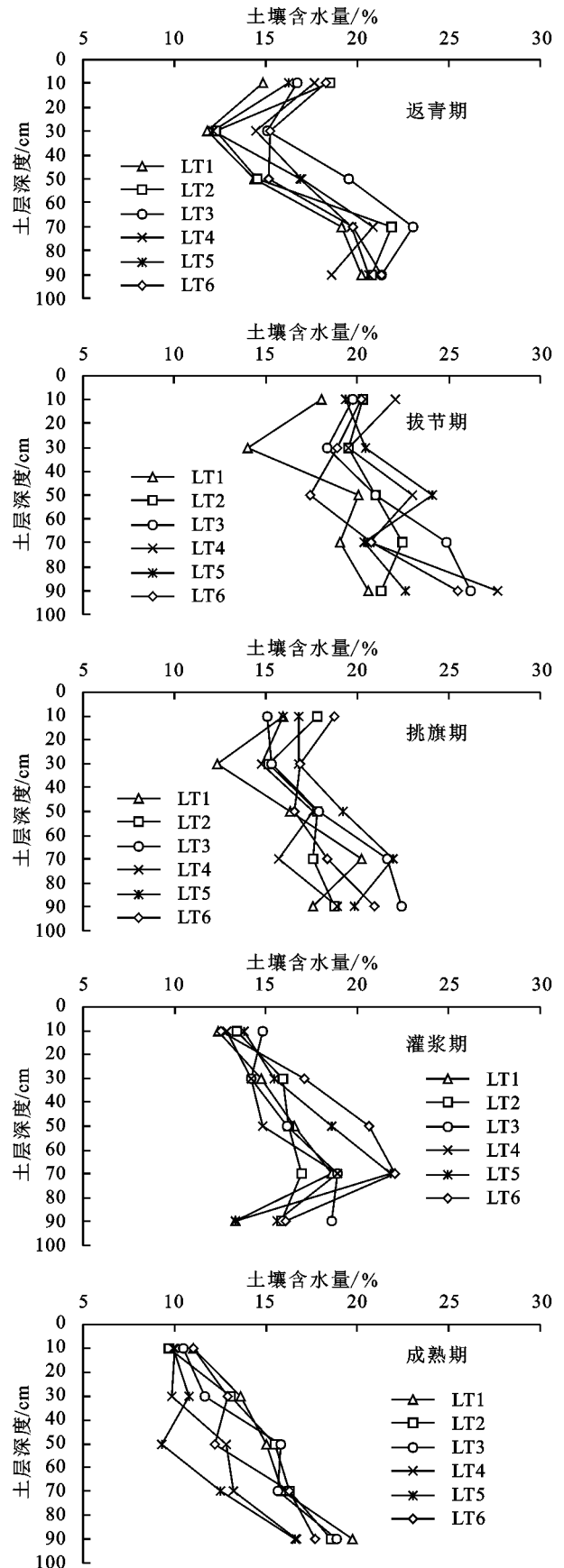


图 2 轻壤质土壤剖面含水量动态变化规律

2.3 小麦各生育期土壤剖面贮水量动态分布规律

随小麦生长的延续土壤贮水量呈先升后降趋势(图 4)。返青期,LT1~LT6 的土壤贮水量相差较

大,LT1~LT6 贮水量在 225.4~269.07 mm;CT1~CT6 的土壤贮水量相差较小,相同处理黏壤质土壤贮水量大于轻壤质。拔节期,由于施肥灌溉 LT1~LT6 的 0—100 cm 土壤贮水量提高 14.6%~27.7%。LT4~LT6 随着施氮量增多土壤贮水量降低,LT3 和 LT4 土壤贮水量较高,黏壤质 CT1~CT6 的土壤贮水量提升 11.9%~28.7%,CT1~CT6 随着施氮量增多贮水量先升再降,CT4 贮水量最大。挑旗期,土壤中贮水量下降,轻壤质各处理下降比率不同,LT4 的土壤贮水量下降 26.5%,LT3 贮水量仍保持较高值;CT3 和 CT6 的土壤贮水量分别降低 5.2% 和 6.0%。灌浆期,温度升高,株间蒸发加速,但在 4 月初和 4 月末有 2 次持续性降水,轻壤质从挑旗期到灌浆期土壤贮水量下降速度减慢,各处理降幅为 3.0%~12.3%。黏壤质土壤贮水量基本维持一个稳定值,CT4 的贮水量为 262.29 mm;成熟期,2 种质地土壤贮水量均下降。

2.4 小麦各生育期土壤剖面 NH₄⁺-N 动态分布规律

由图 5 可知,轻壤质小麦各时期土壤剖面 NH₄⁺-N 差异较大,尤其在 0—20 cm 处变化较大,深层土 NH₄⁺-N 基本稳定。返青期,表层土比底层土 NH₄⁺-N 含量高,0—20 cm 土壤 NH₄⁺-N 高,LT1~LT6 的土壤 NH₄⁺-N 变幅 4.47~9.61 mg/kg。拔节期,由于追施氮肥,表层土 NH₄⁺-N 增加,LT1~LT6 的 0—20 cm 土壤 NH₄⁺-N 提高 5.7%~53.5%,LT2 和 LT3 施氮肥多,在 0—20 cm 内 NH₄⁺-N 含量更多。挑旗期,植物生长需要吸收 NH₄⁺-N,LT2~LT6 在 40—60 cm 的土壤 NH₄⁺-N 快速下降。LT1~LT6 下降范围为 6.16%~38.26%,LT3 土壤中 NH₄⁺-N 下降快。灌浆期,各处理 0—100 cm 土层 NH₄⁺-N 含量基本稳定在 3.55~6.65 mg/kg。成熟期,LT3 在 40—60 cm NH₄⁺-N 含量高,LT2、LT4 和 LT5 在 80—100 cm 土壤 NH₄⁺-N 提高。

由图 6 可知,黏壤质,随小麦生长土壤表层 NH₄⁺-N 呈升—降—升—降的趋势。返青期,基肥不同造成耕作层土壤 NH₄⁺-N 差异,CT1 的 NH₄⁺-N 最低,CT6 的 NH₄⁺-N 最高。拔节期施肥灌溉致使表层土 NH₄⁺-N 迅速上升,CT2~CT6 的 0—20 cm 土壤 NH₄⁺-N 含量提高 9.6%~52.1%,CT3 和 CT4 土壤 NH₄⁺-N 提高较多。挑旗期,耕作层 NH₄⁺-N 降低,但 CT4~CT6 较其他处理高,CT4 底层 NH₄⁺-N 含量明显高于拔节期。灌浆期,0—100 cm 土壤 NH₄⁺-N 下降,CT1~CT6 的 NH₄⁺-N 含量降幅为 11.5%~34.4%。成熟期,土层深度增加 NH₄⁺-N 下降。

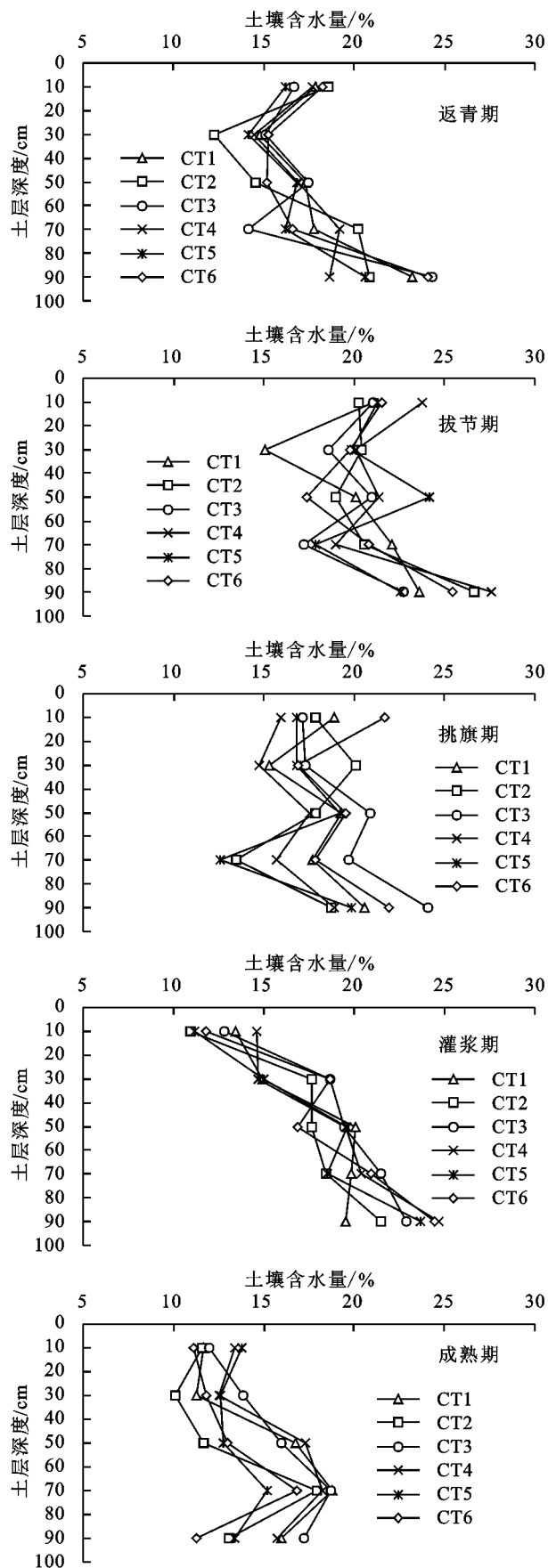


图 3 黏壤质土壤剖面含水量动态变化规律

对比图 5 与图 6,轻壤质与黏壤质土壤 NH₄⁺-N 在耕作层变化,土壤颗粒越小,NH₄⁺-N 越容易被吸附,小麦各时期土层中平均 NH₄⁺-N 含量黏壤质多于

轻壤质。返青期,轻壤质表层土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量高,黏壤质则在 30 cm 处出现波峰。轻壤质与黏壤质表层土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 都与追施氮肥多少有关,LT3 和 CT4 在追肥后耕作层 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 提高较大,保障植物充分吸收利用, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 不易溶水下渗,土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 随土层

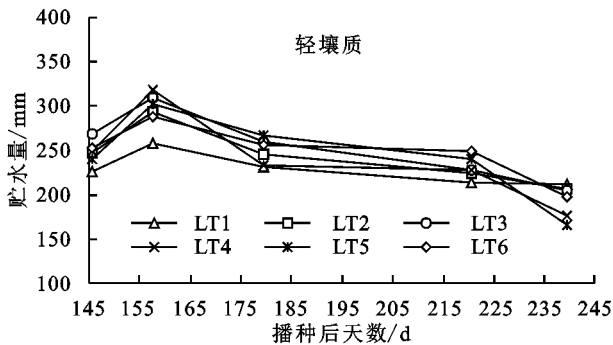


图 4 小麦各生育期土壤剖面贮水量动态变化规律

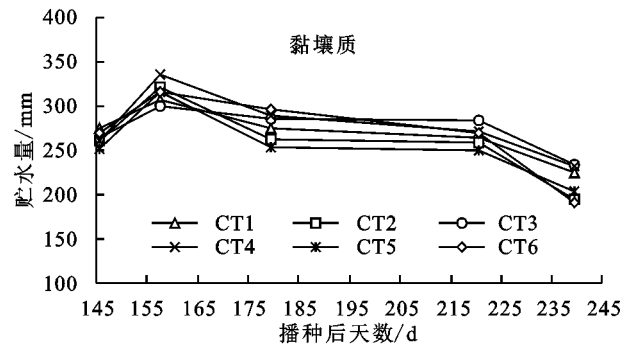
2.5 小麦各生育期土壤剖面 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 动态分布规律

由图 7 可知,轻壤质小麦各时期土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 随土壤深度增加而降低,不同处理土壤表层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 变化明显。返青期,由于基肥不同,表层土 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 比底层土含量高,0—20 cm 处 LT2~LT6 的土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 是 LT1 的 2.48~3.63 倍,底肥施入越多, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量越大,LT6 的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 在 30—60 cm 累积最多。拔节期,追氮肥导致土壤剖面中的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 增加,0—20 cm 土层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 变化最大,LT2~LT6 的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 显著提高 13.5%~54.8%,LT3 的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 在 0—40 cm 最多,保证小麦所需要的养分。挑旗期,LT3 在 0—20 cm 处 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 最高,在 20—60 cm 下降最快。灌浆期,LT2~LT6 土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 向土壤深层淋溶,80—100 cm 处 LT2~LT6 的底层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 13.50~21.06 mg/kg。成熟期,各土层中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 降低。

由图 8 可知,黏壤质返青期 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 主要集中在 0—40 cm,不同处理表层土 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 不同,这与基肥氮素用量有关。CT2~CT6 在拔节期 0—20 cm 土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 较返青期显著升高 13.0%~59.4%,CT4 土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 最高为 42.52 mg/kg,这与拔节期灌水追氮肥等有关。挑旗期,30—100 cm 的土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 随水分下渗,底层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 升高。灌浆期,CT4 土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 下降,部分供给小麦吸收利用,其余随土壤水向下层渗漏。成熟期,表层土 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 下降,底层土稳定,CT1~CT6 底层土平均 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量为 6.63~19.37 mg/kg。

对比图 7 与图 8,在不同土质中相同处理 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量不同,轻壤质和黏壤质表层土在施肥后 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量变化剧烈,底土层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 变化稳定。LT1 和 CT1 由于不施氮肥,相对同时期其他处理 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 最低。追肥后,由于轻壤质渗水性优良,土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 更

深度增加而下降。挑旗期,0—100 cm 土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 迅速降低,但 LT3 和 CT4 土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 仍较高。灌浆期,2 种质地土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 变化不大。成熟期,轻壤质 LT2~LT6 处理的 80—100 cm 土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 平均值为 6.21 mg/kg,黏壤质土为 7.37 mg/kg。



易于溶水向深层淋溶下渗,LT3 在 0—40 cm 的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 高。由于施氮量的基追比不同,轻壤质底层土 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 在整个小麦生育期内在 13.18~23.38 mg/kg,而黏壤质底层土在 12.26~29.44 mg/kg。

3 讨论

张素瑜等^[15]研究表明,氮肥基追比 5:5 是“周麦 22”小麦最合理的水氮运筹模式。宋文挺等^[16]研究黄淮海平原氮肥基追比 3:7 是兼顾高产的最优处理。栗丽等^[17]研究表明,随灌水量增加,冬小麦水分利用效率逐渐增加;随施氮量增加,水分利用率率先增后降趋势。杨永辉等^[18]发现,70%基肥、30%追肥进行 3 次灌水小麦的水分利用效率最高,显著高于其他处理。本研究发现,轻壤质以氮肥基追比 4:6 处理产量最大,黏壤质以氮肥基追比 5:5 处理产量最大(表 3)。在相同氮肥用量下,随着氮素基追比的增加,水分利用效率先增加再减小,轻壤质氮肥基追比 4:6 水分利用效率最高;黏壤质氮肥基追比 5:5 水分利用效率最高(表 3)。

整个生育时期内土层含水量变化剧烈程度从大到小依次为 0—30,30—60,90—120 cm^[19]。赛力汗·赛等^[20]表明,不同生育期土壤垂直含水量变化主要在 0—80 cm,水分主要储存在 20—80 cm。王海霞等^[21]报道,表层 0—40 cm 土壤含水率变幅最大,随土层深度增加,土壤水分变幅逐渐减小。尹笑笑等^[22]指出,冬前、拔节和开花期补灌前或补灌后,粉壤土 0—20,0—40 cm 土壤含水量与 0—100,0—200 cm 土壤贮水量均呈极显著正相关。亢秀丽等^[23]表明,返青、拔节、灌浆及成熟期 0—100,0—200,100—200 cm 土层土壤贮水量基本随微喷灌水量的增加而提高。本研究表明,0—40 cm 土壤含水量变化剧烈,主要受灌水施肥和降水的影响,黏壤质土层平均含水量大于轻壤质,轻壤质氮肥基追比 4:6 和黏壤质氮肥基追比 5:5 在小麦生长的关键期都为小麦生长提供充足水分(图 2 和 3)。降水会使各处

理0—100 cm 土壤贮水量升高,小麦拔节期轻壤质氮肥基追比4:6和黏壤质氮肥基追比5:5土壤贮水量较高,保证小麦根系吸收水分和养分(图4)。

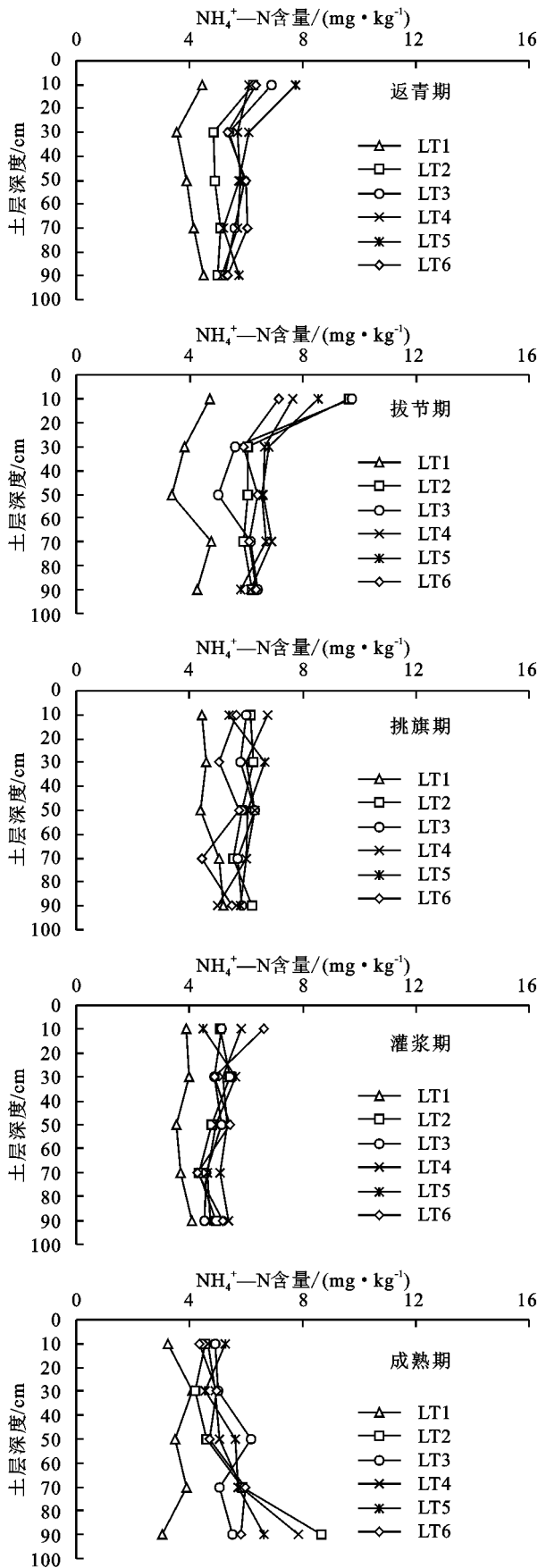


图5 轻壤质土壤剖面 NH_4^+-N 动态变化规律

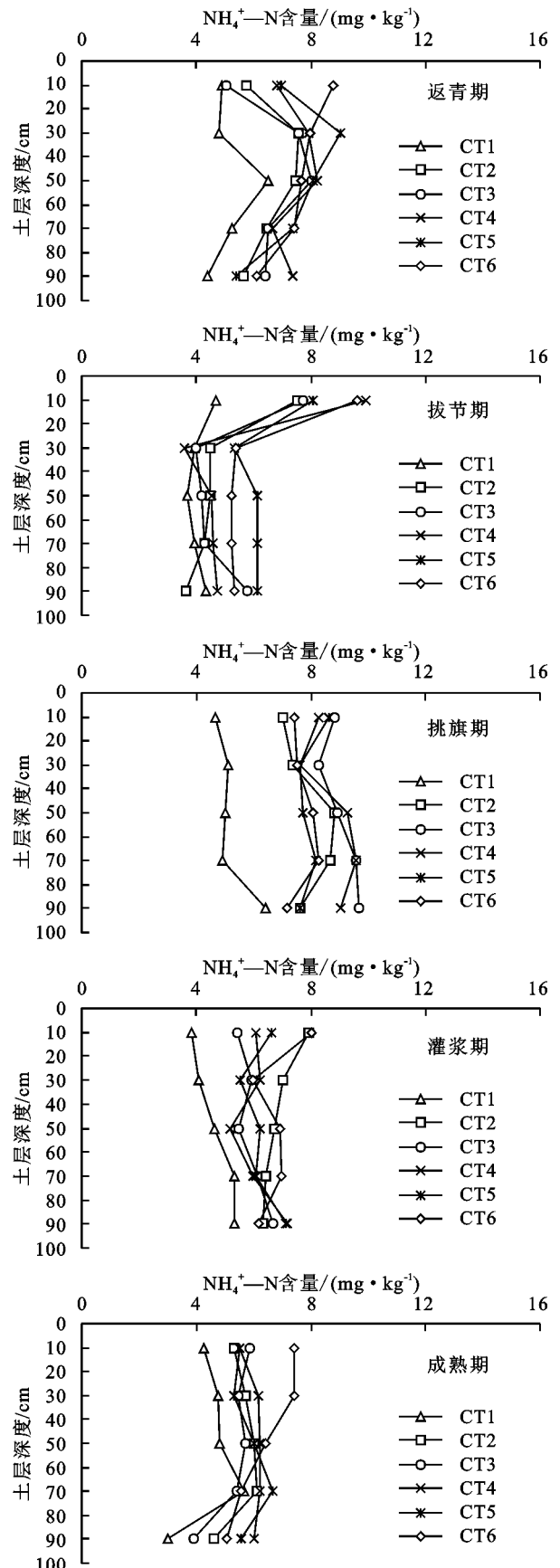


图6 黏壤质土壤剖面 NH_4^+-N 动态变化规律

同等施肥处理中,黏壤质土平均 NH_4^+-N 含量比轻壤质平均 NH_4^+-N 含量高,与姜桂华^[24]研究一致。施肥量与土壤表层 NH_4^+-N 呈正比,施氮量

越多,土壤表层 NH_4^+-N 含量越高(图 5 和 6)。在不同的氮素基追比处理下,轻壤质氮肥基追比 4:6 和黏壤氮肥基追比 5:5 在土层 20—60 cm 的 NO_3^--N 含量高,为小麦生长发育提供所需要的养分。

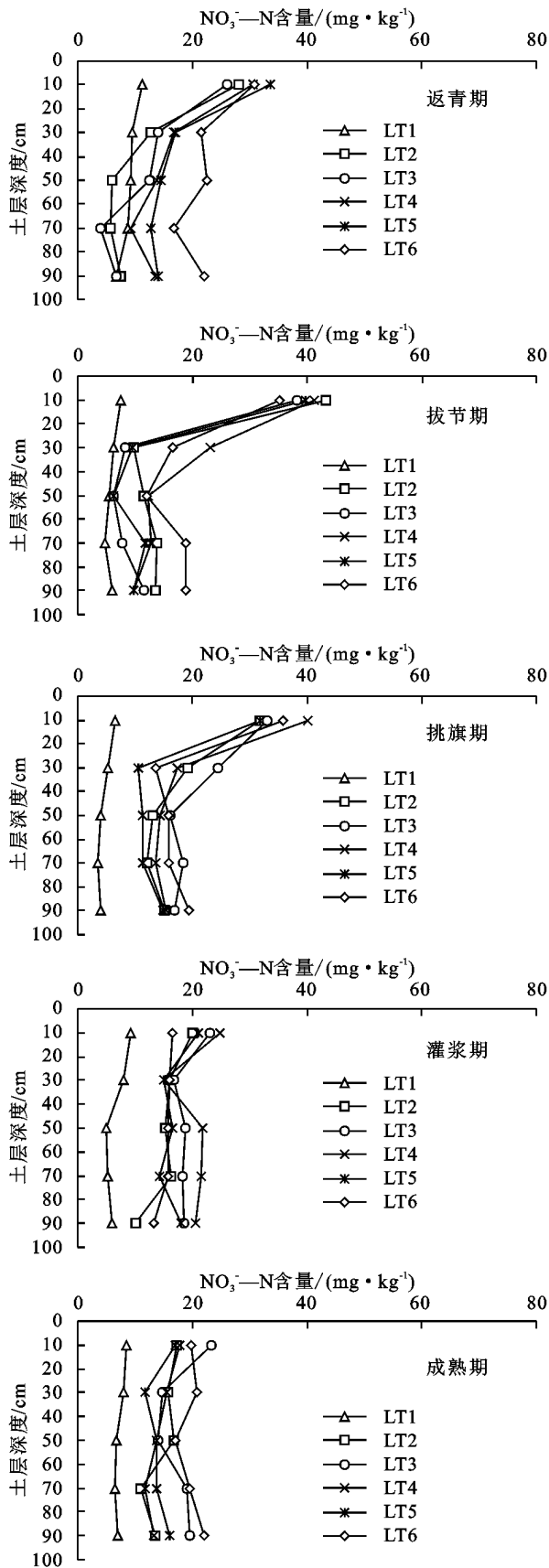


图7 轻壤质土壤剖面 NO_3^--N 动态变化规律

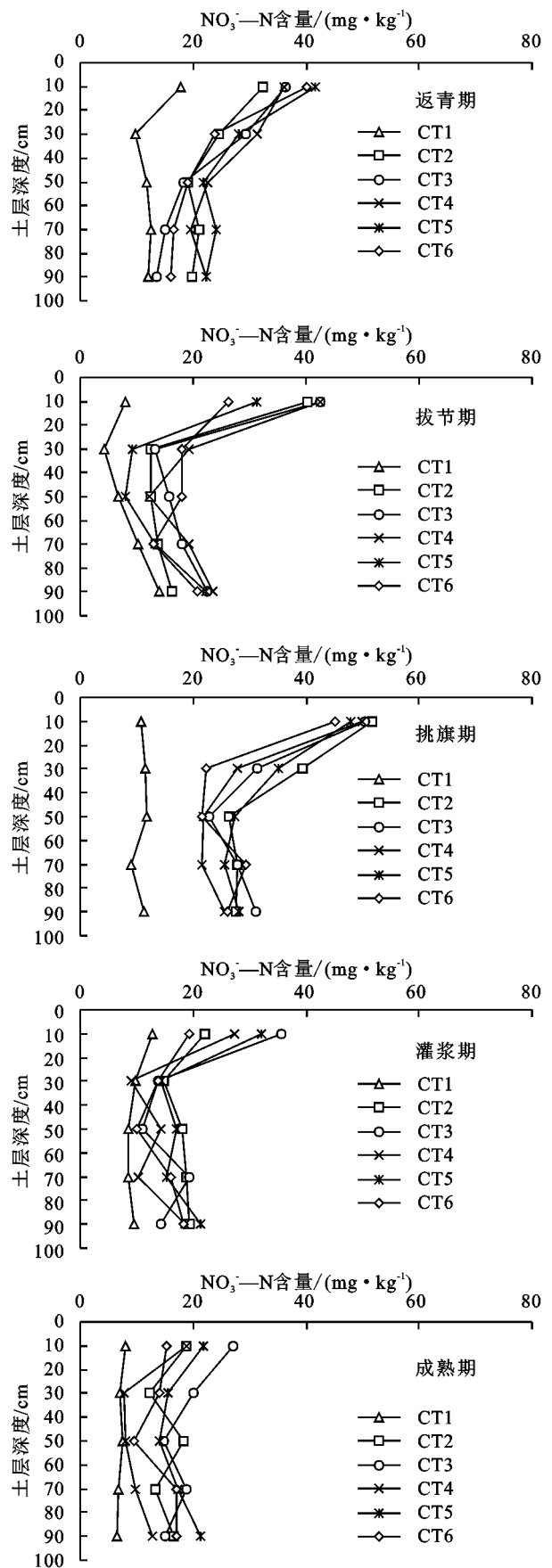


图8 黏壤质土壤剖面 NO_3^--N 动态变化规律

施肥后土壤 NO_3^--N 主要集中在 0—20 cm, 并随土壤深度增加而下降, 2 种土壤质地土壤 NO_3^--N 含量存在差异, 拔节期追氮后黏壤质表层土平均土壤

$\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量大于轻壤质(图7和8)。说明黏壤质土壤间孔隙小,黏粒多能够吸附土壤中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$,具有一定的保水保肥能力,有利于植物氮素吸收利用。

4 结论

本试验条件下,黏壤质保水保氮能力较好,减少水氮淋失,可以持续供应小麦氮素吸收利用。轻壤质土壤推荐氮肥基追比为4:6小麦产量、水分利用效率和氮肥生产效率均较高;黏壤质土壤推荐氮肥基追比为5:5小麦产量、水分利用效率和氮肥生产效率均较高。

参考文献:

- [1] Caicedo J R, Steen N P V D, Arce O, et al. Effect of total ammonia nitrogen concentration and pH on growth rates of duckweed (*Spirodela polyrrhiza*) [J]. Water Research, 2000, 34(15): 3829-3835.
- [2] 石祖梁. 土壤-小麦植株系统氮素运移及高效利用的生态基础[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [3] 王亚, 张换换, 段燕燕, 等. 施氮量对北疆滴灌春小麦产量及土壤硝态氮含量的影响[J]. 南方农业, 2019(22): 16-18, 22.
- [4] 安志超. 不同基肥供氮水平下氮肥形态对小麦植株氮浓度、群体动态和产量的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2018.
- [5] 袁亮, 赵秉强, 林治安, 等. 增值尿素对小麦产量、氮肥利用率及肥料氮在土壤剖面中分布的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(3): 620-628.
- [6] 蔡祖聪, 颜晓元, 朱兆良. 立足于解决高投入条件下的氮污染问题[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(1): 1-6.
- [7] 张素瑜, 黄洁, 杨明达, 等. 氮肥基追比和调亏灌溉对小麦水分利用效率和产量的影响[J]. 作物杂志, 2019(4): 94-99.
- [8] 武继承, 杨永辉, 郑惠玲, 等. 测墒补灌与氮肥运筹对小麦品种水分利用的影响[J]. 华北农学报, 2017, 32(3): 188-195.
- [9] 黄玲, 杨文平, 胡喜巧, 等. 水氮互作对冬小麦耗水特性和氮素利用的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(2): 168-174.
- [10] 金艳, 朱统泉, 陈杰. 秸秆还田与不同基追比氮肥配施对小麦产量形成的影响[J]. 作物杂志, 2014(5): 68-72.
- [11] 李瑞奇, 李雁鸣, 何建兴, 等. 施氮量对冬小麦氮素利用和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(2): 270-275.
- [12] 杨靖民, 张忠庆, 曹国军. 应用间隔流动分析仪测定土壤硝态氮和亚硝态氮含量[J]. 中国土壤与肥料, 2014(2): 101-105.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [14] 彭正萍, 刘亚男, 李迎春, 等. 持续氮素调控对小麦/玉米轮作系统氮素利用和表观损失的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(6): 74-79.
- [15] 张素瑜, 黄洁, 杨明达, 等. 氮肥基追比和调亏灌溉对小麦水分利用效率和产量的影响[J]. 作物杂志, 2019(4): 94-99.
- [16] 宋文挺, 韩明明, 陈金, 等. 氮肥基追比对冬小麦土壤硝态氮变化及氮素利用的影响[J]. 山东农业科学, 2017, 49(9): 88-94.
- [17] 栗丽, 洪坚平, 王宏庭, 等. 水氮互作对冬小麦耗水特性和水分利用效率的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(6): 291-296.
- [18] 杨永辉, 武继承, 徐为霞, 等. 水氮运筹对小麦、玉米周年产量及水分利用的影响[J]. 河南农业科学, 2019, 48(12): 8-14.
- [19] 许骥坤, 石玉, 赵俊晔, 等. 测墒补灌对小麦水分利用特征和产量的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(3): 277-281, 329.
- [20] 赛力汗·赛, 陈传信, 薛丽华, 等. 滴灌冬小麦不同滴灌量土壤水分时空分布及冠层特征响应[J]. 新疆农业科学, 2019, 56(2): 233-245.
- [21] 王海霞, 徐征和, 庞桂斌, 等. 微咸水灌溉对土壤水盐分布及冬小麦生长的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(3): 291-297.
- [22] 尹笑笑, 王东. 两种土壤质地麦田贮水量与表层土壤水分的关系[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(7): 841-853.
- [23] 亢秀丽, 靖华, 马爱平, 等. 黄淮海北片麦田微喷灌水量对土壤贮水耗水及水分利用效率的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(1): 221-226.
- [24] 姜桂华. 铵态氮在土壤中吸附性能探讨[J]. 长安大学学报(建筑与环境科学版), 2004, 21(2): 32-34, 38.