

氮肥基追比例对测墒补灌小麦植株氮素利用及土壤氮素表观盈亏的影响

张振, 于振文, 张永丽, 石玉

(山东农业大学农业部作物生理生态与耕作重点实验室, 山东 泰安 271018)

摘要: 以中筋小麦济麦22为试材, 在小麦拔节期和开花期0—40 cm土层土壤相对含水量均补灌至70%和总施氮量为240 kg/hm²条件下, 设置5个氮肥基追比例处理: 0:10(N1)、3:7(N2)、5:5(N3)、7:3(N4)、10:0(N5), 研究测墒补灌节水栽培条件下氮肥基追比例对小麦植株氮素利用和土壤氮素表观盈亏的影响。结果表明: N3处理的植株氮素积累量、籽粒氮素积累量显著高于其他基追比例处理; 营养器官氮素积累量、土壤矿质氮损失量、氮肥表观残留率和氮肥表观损失率显著低于其他处理。与N1、N2、N4、N5处理相比, N3处理的氮素生理利用率分别高33.22%、12.60%、11.54%、98.14%, 籽粒氮素利用率高148.65%、56.48%、59.63%、229.29%, 氮肥农学效率高96.52%、34.86%、37.64%、204.98%, 氮素表观盈亏量分别低35.04%、13.82%、30.36%、29.30%。根据不同氮肥基追比例下各指标的相关系数分析表明, 植株氮素积累量、籽粒氮素积累量、氮素生理利用率、籽粒氮肥利用率、氮肥农学效率与土壤硝态氮积累量、成熟期0—200 cm土层土壤矿质氮残留总量均呈显著负相关。综上, 氮肥基追比例为5:5的N3处理为试验条件下的最优处理。

关键词: 测墒补灌小麦; 氮肥基追比例; 氮素利用; 氮素表观盈亏

中图分类号: S147.3; S158.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)05-0240-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.05.039

Effects of Basal/Topdressing Nitrogen Fertilizer on Nitrogen Utilization in Wheat Plants and Soil Nitrogen Apparent Budget Under Supplemental Irrigation Based on Measuring Soil Moisture

ZHANG Zhen, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, SHI Yu

(Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System,

Ministry of Agriculture, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018)

Abstract: In order to study the effects of basal/topdressing nitrogen fertilizer on nitrogen utilization and soil nitrogen apparent loss under water saving cultivation, this study took the cultivar Jimai 22 as the experimental material, and set up five treatments with different basal/topdressing nitrogen (0:10(N1), 3:7(N2), 5:5(N3), 7:3(N4) and 10:0(N5)). And the preconditions of the experiment were that the total nitrogen application rate was 240 kg/hm², and the relative water content of the 0—40 cm soil layer was maintained up to 70% at the joining and anthesis stages. The results showed that the nitrogen accumulation amounts and nitrogen accumulation in grain of the N3 treatment were significantly higher than those of other treatments, while the nitrogen accumulation in vegetative organs, loss of mineral nitrogen, apparent residual rate of nitrogen fertilizer and apparent loss rate of nitrogen fertilizer were significantly lower than those of other treatments. Compared with N1, N2, N4 and N5 treatments, in the N3 treatments, the nitrogen utilization ratio increased by 33.22%, 12.60%, 11.54% and 98.14%, respectively, and grain nitrogen recovery efficiency increased by 148.65%, 56.48%, 59.63% and 229.29%, respectively, nitrogen agronomic efficiency increased by 96.52%, 34.86%, 37.64% and 204.98%, respectively, apparent budget of nitrogen decreased by 35.04%, 13.82%, 30.36% and 29.30%, respectively. According to the correlation coefficient analysis of different basal/topdressing nitrogen fertilizer, nitrogen accumulation amounts, nitrogen accumulation in

收稿日期: 2018-04-30

资助项目: 山东省自然科学基金项目(ZR2016CM34); 农业部现代小麦产业技术体系项目(CARS-3-1-19); 国家自然科学基金项目(31771717)

第一作者: 张振(1993—), 男, 硕士研究生, 主要从事小麦高产高效栽培理论与技术研究。E-mail: sdneyzhangz@163.com

通信作者: 张永丽(1973—), 女, 副教授, 硕士生导师, 主要从事小麦高产高效栽培理论与技术研究。E-mail: zhangyl@sdau.edu.cn

grain, nitrogen utilization ratio, grain nitrogen recovery efficiency, nitrogen agronomic were significantly negatively correlated with $\text{NO}_3\text{-N}$ content and total amount of residual mineral nitrogen in the 0—200 cm soil layer of mature period. In conclusion, the treatment with base/topdressing nitrogen fertilizer of 5 : 5 was the best treatment under the experimental conditions.

Keywords: supplemental irrigation through monitoring soil moisture wheat; basal/topdressing nitrogen ratio; nitrogen use efficiency; apparent budget of soil nitrogen

在小麦植株—土壤系统中,氮素来源主要是氮肥和土壤矿质氮,氮素去向主要是小麦植株吸收和土壤残留,以及随灌溉水径流和挥发等途径损失^[1]。合理施用氮肥可显著促进小麦植株对土壤氮素的吸收利用,增加植株氮素积累量,减少土壤矿质氮残留,从而提高氮肥利用效率^[2]。然而,小麦生产中存在氮肥不合理施用现象,由此导致硝态氮残留损失加剧,氮肥利用效率降低^[3]。灌水对氮肥的施用效果有显著影响^[4]。在小麦生育期间水资源短缺的黄淮海麦区,采用测墒补灌节水栽培技术,在小麦拔节期和开花期将0—40 cm 土层土壤相对含水量补灌至70%,可获得节水高产^[5]。但目前在该土壤水分条件下关于氮肥基追比例对小麦植株—土壤氮素平衡的影响尚不明确。因此,在黄淮冬麦区研究测墒补灌节水栽培条件下合理的氮肥基追比例,对提高小麦氮素利用和减少土壤矿质氮残留具有重要意义。

已有研究^[6]表明,土壤氮素表观盈亏量与0—200 cm 土层土壤硝态氮积累量呈极显著正相关,土壤氮素表观盈亏量每增加100 kg/hm²,土壤硝态氮积累量增加62.50 kg/hm²。小麦全生育期灌水150 mm,成熟期0—20 cm 土层土壤硝态氮含量随氮肥基肥比例的增加而减小,土壤铵态氮含量以基肥、拔节期和孕穗期追肥比例为5 : 3 : 2处理显著高于3 : 3 : 4和10 : 0 : 0处理^[7]。小麦成熟期籽粒氮素积累量随氮肥基肥比例的增加而减小,以基肥、拔节期和孕穗期追肥比例为3 : 5 : 2处理最大^[8]。全生育期灌水120 mm,不同氮肥基追比例对小麦植株氮素积累量和氮肥偏生产力无显著影响,基肥和拔节期追肥比例为1 : 3的处理氮肥利用率和氮肥农学效率最大,分别为23.90%和8.00 kg/kg,基肥和拔节期追肥比例为1 : 1处理的氮素表观损失量显著高于其他基追比例处理^[9]。前人多在定量灌水条件下研究氮肥基追比例对小麦植株氮素利用和土壤氮素表观盈亏的影响,本研究在小麦拔节期和开花期进行测墒补灌,使各处理0—40 cm 土层土壤相对含水量均达到70%,在此土壤水分条件一致的节水栽培条件下,研究不同氮肥基追比例对小麦植株氮素利用和土壤氮素表观盈亏的影响,以期在节水栽培条件下氮素高效利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2016—2017年小麦生长季在山东省济宁市小孟镇史家王子村(35°40' N, 116°41' E)进行,试验田土壤类型为壤土,前茬玉米收获后秸秆全部还田。播前0—20 cm 土层土壤养分分为有机质14.20 mg/kg,全氮1.13 g/kg,碱解氮122.60 mg/kg,速效钾129.44 mg/kg,速效磷38.11 mg/kg,底施氮肥前土壤矿质氮量487.08 kg/hm²,土壤氮素表观矿化量53.40 kg/hm²。小麦生育期间降水量为265.8 mm。

1.2 试验设计

供试小麦品种济麦22。在总施氮量均为240 kg/hm²条件下,设5个氮肥基追比例处理,分别为0 : 10(N1)、3 : 7(N2)、5 : 5(N3)、7 : 3(N4)、10 : 0(N5),追肥时期为拔节期。另设不施氮肥的处理,测定其成熟期籽粒干重和土壤矿质氮积累量,用于计算氮肥利用率和氮肥表观残留率。试验小区面积为4 m×5 m=20 m²,随机区组排列,3次重复,小区间设置2 m隔离区。于拔节期和开花期将0—40 cm 土层土壤相对含水量均补灌至70%。灌水量计算公式^[5]为: $M=10\times r\times H\times(\beta_i-\beta_f)$ 。式中: M 为灌水量(mm); H 为该时段土壤拟湿润层的深度(cm); r 为拟湿润层的土壤容重(g/cm³); β_i 为设计含水量(田间持水量乘以设计相对含水量); β_f 为自然含水量(灌溉前土壤含水量)。采用水龙带均匀灌溉并用水表计量灌水量。

各处理均底施 P_2O_5 150 kg/hm², K_2O 112.5 kg/hm²,氮、磷、钾肥分别采用尿素、过磷酸钙和氯化钾,基施氮肥和全部磷肥、钾肥在小麦耕地前撒施并立即用旋耕机与0—20 cm 土层土壤混匀;追施氮肥于小麦拔节期开沟施入,并立即覆土,浇水。2016年10月12日播种,2017年6月8日收获。3叶期定苗,留苗密度为180株/m²。其他管理措施同常规高产田。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤硝态氮和铵态氮的测定及相关指标的计算 于小麦播种底施氮肥前和成熟期用土钻采集0—200 cm 土层土壤,每层20 cm。土壤样品用1 mol/L KCl溶液浸提,浸提液用AA3型流动分析仪测定土壤硝态氮和铵态氮含量。土壤氮素表观盈亏

的相关指标计算公式^[10]为:

土壤硝态氮积累量(kg/hm²)=(土层厚度(cm)×容重(g/cm³)×硝态氮含量(mg/kg))/10

土壤铵态氮积累量(kg/hm²)=(土层厚度(cm)×容重(g/cm³)×铵态氮含量(mg/kg))/10

成熟期 0—200 cm 土层土壤矿质氮残留总量(kg/hm²)=0—200 cm 土层土壤硝态氮积累量(kg/hm²)+0—200 cm 土层土壤铵态氮积累量(kg/hm²)

土壤矿质氮损失量(kg/hm²)=施氮量(kg/hm²)+底施氮肥前土壤矿质氮量(kg/hm²)+土壤氮素表观矿化量(kg/hm²)-成熟期植株氮素积累量(kg/hm²)-成熟期 0—200 cm 土层土壤矿质氮残留总量(kg/hm²)

氮肥表观残留率(%)=(施氮区成熟期 0—200 cm 土层土壤矿质氮残留总量(kg/hm²)-不施氮区成熟期 0—200 cm 土层土壤矿质氮残留总量(kg/hm²))/施氮量(kg/hm²)×100%

氮肥表观损失率(%)=(土壤矿质氮损失量(kg/hm²)/(施氮量(kg/hm²)+底施氮肥前土壤矿质氮量(kg/hm²)+土壤氮素表观矿化量(kg/hm²))×100%

氮素表观盈亏量(kg/hm²)=(底施氮肥前土壤矿质氮量(kg/hm²)+施氮量(kg/hm²)-(成熟期 0—200 cm 土层土壤矿质氮残留总量(kg/hm²)+成熟期植株氮素积累量(kg/hm²))

1.3.2 植株全氮含量的测定 于小麦成熟期取 20 个有代表性的单茎,将小麦植株按籽粒和营养器官分为 2 部分,样品于 70 ℃烘至恒重,称干重;样品粉碎后用浓硫酸消煮,半微量凯氏定氮法测定植株含氮量。成熟期籽粒、营养器官和植株的氮素积累量计算公式^[11]为:

籽粒干重(kg/hm²)=单茎籽粒干重(kg/个)×茎数(个/hm²)

籽粒氮素积累量(kg/hm²)=籽粒干重(kg/hm²)×籽粒含氮率

营养器官氮素积累量(kg/hm²)=营养器官干重(kg/hm²)×营养器官含氮率

植株氮素积累量(kg/hm²)=籽粒氮素积累量(kg/hm²)+营养器官氮素积累量(kg/hm²)

1.3.3 氮素利用效率的计算^[12]:

氮素生理利用率(%)=(施氮区籽粒干重(kg/hm²)-不施氮区籽粒干重(kg/hm²))/(施氮区植株氮素积累量(kg/hm²)-不施氮区植株氮素积累量(kg/hm²))×100%

籽粒氮肥利用率(%)=(施氮肥区籽粒氮素积累量(kg/hm²)-不施氮区籽粒氮素积累量(kg/hm²))/施氮量(kg/hm²)×100%

氮肥农学效率(%)=(施氮区籽粒干重(kg/hm²)-不施氮区籽粒干重(kg/hm²))/施氮量(kg/hm²)×100%

1.4 数据处理

小麦植株氮素利用和土壤氮素表观盈亏的相关参数均采用 SPSS 13.0 软件和 Excel 2007 软件进行差异显著性检验($\alpha=0.05$)和统计分析,通过相关分析,比较各处理植株氮素利用和土壤氮素表观盈余的相关参数之间的相关程度,采用 Excel 2007 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同处理对小麦成熟期植株氮素积累的影响

由图 1 可知,小麦成熟期营养器官氮素积累量以 N3 处理显著低于其他处理,较 N1、N2、N4 和 N5 处理分别低 8.14%、8.32%、6.90%、12.00%;植株氮素积累量和籽粒氮素积累量均随基肥比例的增加呈先增加后减小的趋势,以 N3 处理最高。与 N1、N2、N4 和 N5 处理相比,植株氮素积累量分别高 11.12%、5.42%、6.25%、12.22%,籽粒氮素积累量分别高 17.73%、9.91%、10.66%、21.18%。籽粒与营养器官氮素积累量的比值也以 N3 处理显著高于其他处理,比 N1、N2、N4 和 N5 分别高 28.08%、20.65%、18.35%、38.01%。由此表明,不同氮肥基追比例对小麦成熟期营养器官氮素积累量和籽粒氮素积累量的影响存在差异,基追比例为 5:5 的 N3 处理促进了小麦植株氮素的积累,且在籽粒中的分配量较大,是其植株氮素积累量和籽粒氮素积累量最高的主要原因;在此基础上增加或减少基施氮肥的比例,均使成熟期植株氮素过多的分配于营养器官中,由此导致籽粒中氮素积累量减少。

2.2 不同处理对小麦成熟期 0—200 cm 土层土壤硝态氮和铵态氮积累量的影响

由图 2 可知,成熟期土壤硝态氮积累量 0—20 cm 土层表现为 N1>N2>N3>N4>N5,20—80 cm 土层以 N3 处理显著高于其他处理,80—100 cm 土层表现为 N1>N3、N4>N2、N5,100—160 cm 土层以 N3 处理显著低于其他处理,160—180 cm 土层表现为 N4、N5>N2>N3>N1,180—200 cm 土层无显著差异。成熟期土壤铵态氮积累量在 0—20 cm 土层无显著差异,20—80 cm 土层以 N3 处理显著高于其他处理,80—100 cm 土层无显著差异,100—160 cm 土层以 N3 处理显著低于其他处理,160—200 cm 土层无显著差异。

氮肥基追比例为 0:10 的 N1 处理,由于氮肥全部集中于拔节期施用,植株的吸收利用主要集中在拔节期后,未能充分吸收,导致成熟期土壤硝态氮在 0—20 cm 土层滞留较多;基追比例为 5:5 的 N3 处理由于氮肥施用分配较均匀,成熟期 0—20 cm 土层土壤硝态氮滞留较少,多存留在 20—80 cm 土层,而

在 100—160 cm 较深层层硝态氮和铵态氮积累均较

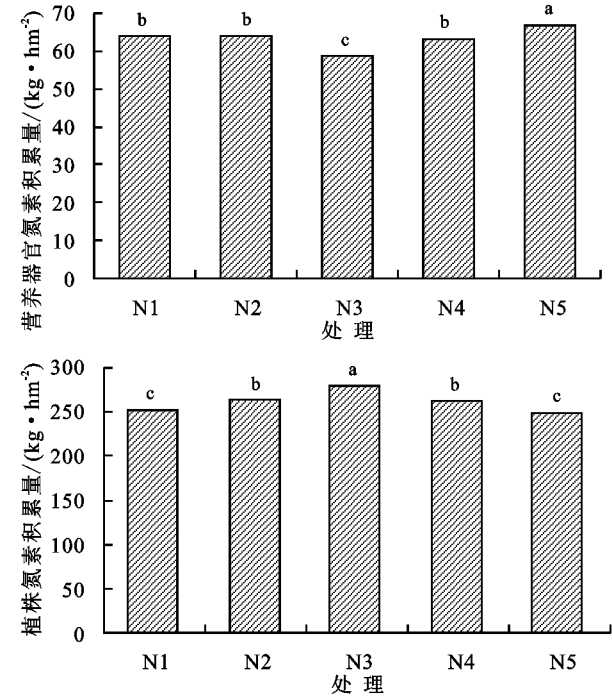


图 1 不同处理对小麦成熟期植株氮素积累的影响

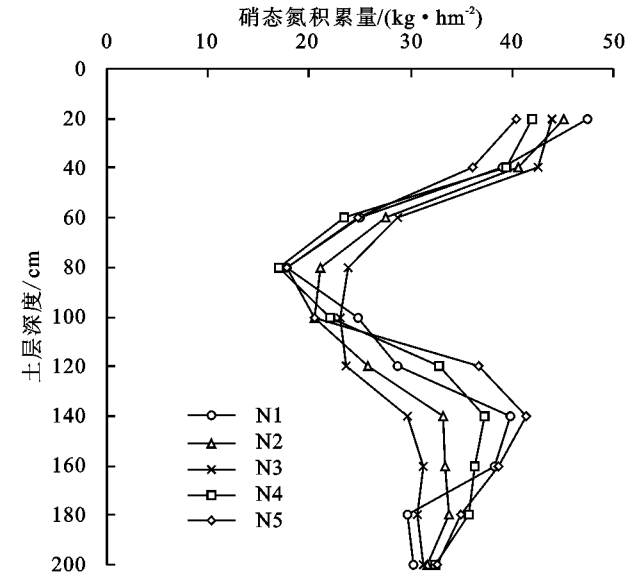


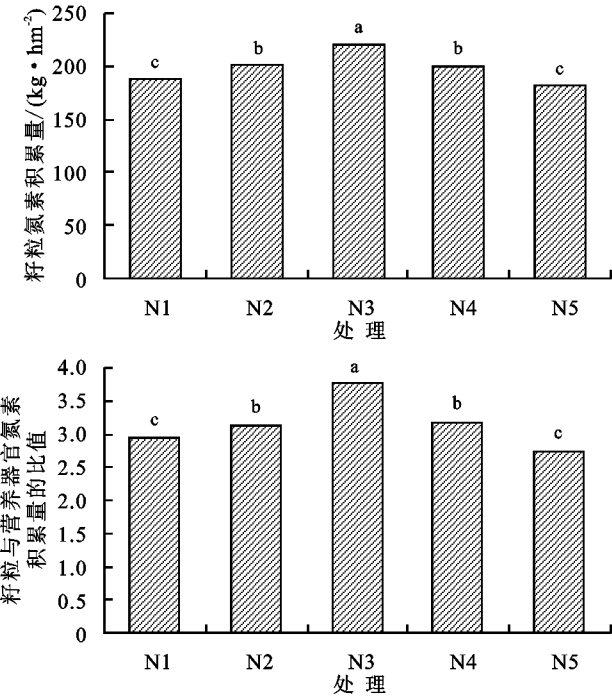
图 2 不同处理对成熟期 0—200 cm 土层硝态氮和铵态氮积累量的影响

2.3 不同处理对土壤氮素表观盈亏的影响

由表 1 可知,各处理成熟期 0—200 cm 土层土壤矿质氮残留总量无显著差异,表明氮肥基追比例对成熟期 0—200 cm 土层土壤矿质氮残留总量无显著影响。氮肥表观残留率表现为 N3 与 N4 处理无显著差异,显著低于其他处理,较 N1、N2 和 N5 处理分别低 16.31%,12.00%,20.43%。

土壤矿质氮损失量的变化趋势与氮肥表观损失率一致,均表现为 N1、N4 和 N5 处理最高,N2 处理次之,N3 处理最低。与 N1、N2、N4 和 N5 相比,N3 处理的土壤矿质氮损失量分别低 12.94%,5.51%,13.69%,13.10%,氮肥表观损失率分别低 12.94%,

少,有效降低了向深层土壤淋溶的风险。



5.45%,13.64%,13.09%。

表 1 不同处理对土壤氮素表观盈亏的影响

处理	成熟期 0—200 cm 土层土壤矿质氮残留总量/(kg·hm ⁻²)		氮肥表观	土壤矿质氮	氮肥表观	氮素表观
	残留率/%	损失量/(kg·hm ⁻²)	残留率/%	损失量/(kg·hm ⁻²)	损失率/%	盈亏量/(kg·hm ⁻²)
N1	34.45b	96.43a	12.36a	47.03a		
N2	32.76c	88.85b	11.38b	35.45c		
N3	28.83d	83.95c	10.76c	30.55d		
N4	30.12d	97.27a	12.46a	43.87b		
N5	36.23a	96.61a	12.38a	43.21b		

注:同一列数据后不同字母表示处理间差异显著(P<0.05)。下同。
氮素表观盈亏量以 N3 处理显著低于其他基追比

例处理,较 N1、N2、N4 和 N5 处理分别低 35.04%,13.82%,30.36%,29.30%。由此表明,不同氮肥基追比例对氮肥表观残留率、土壤矿质氮损失量、氮肥表观损失率和氮素表观盈亏量均有显著影响,基施氮肥比例或追施氮肥比例过高均增加了氮肥残留损失,这可能与一次性施入氮肥过多小麦植株不能及时吸收利用有关。在本试验中,通过合理的氮肥基追比例可有效减少氮肥残留损失,其中以基追比例为 5:5 的 N3 处理最为显著这也是其土壤矿质氮损失量和氮素表观盈亏量最小的主要原因。

2.4 不同处理对氮肥利用率的影响

由表 2 可知,成熟期籽粒干重以 N3 处理显著高于其他处理,比 N1、N2、N4 和 N5 处理分别高 11.37%,5.68%,6.03%,16.24%。各处理的氮素生理利用率、氮肥利用率和氮肥农学效率均随基肥比例的增加呈先增加后减小的趋势,以 N3 处理最高;与 N1、N2、N4、N5 相比,氮素生理利用率分别高 33.22%,12.60%,11.54%,98.14%,籽粒氮肥利用率分别高 148.65%,56.48%,59.63%,229.29%,氮肥农学效率分别高 96.52%,34.86%,37.64%,204.98%。上述结果表明,氮肥基追比例为 5:5 的 N3 处理对氮素利用最为有利,其籽粒干重最大、植株氮素积累量最高且在籽粒中的分配量最大,是其获得最高的氮素生理利用率、籽粒氮肥利用率和氮肥农学效率

的主要原因。

表 2 不同处理对籽粒干重和氮肥利用率的影响

处理	籽粒干重/ (kg·hm ⁻²)	氮素生理 利用率/ (kg·kg ⁻¹)	籽粒氮肥 利用率/ (kg·kg ⁻¹)	氮肥农学 效率/ (kg·kg ⁻¹)
N1	7613.30c	15.23c	9.27c	3.74c
N2	8023.00b	18.02b	14.73b	5.45b
N3	8479.00a	20.29a	23.05a	7.35a
N4	7997.10b	18.19b	14.44b	5.34b
N5	7294.10c	10.24d	7.00d	2.41d

2.5 植株氮素和土壤氮素的相关性分析

为了解植株氮素利用与土壤氮素残留的关系,将相关指标进行相关分析(表 3)。结果表明,植株氮素积累量、籽粒氮素积累量、氮素生理利用率、籽粒氮肥利用率、氮肥农学效率与土壤硝态氮积累量、成熟期 0—200 cm 土层土壤矿质氮残留总量均呈显著负相关关系,相关系数分别为-0.942*, -0.934*, -0.895*, -0.933*, -0.937* 和 -0.920*, -0.927*, -0.895*, -0.925*, -0.936*;与铵态氮积累量、土壤矿质氮损失量、氮素表观盈亏量均亦呈负相关关系,但未达到显著水平。

上述相关分析表明,通过合理的氮肥基追比例促进小麦植株对土壤矿质氮尤其是硝态氮的吸收,是提高植株氮素利用率和减少土壤矿质氮残留损失的有效途径。

表 3 不同氮肥基追比例下各指标的相关系数

指标	植株氮素积累量	籽粒氮素积累量	氮素生理利用率	籽粒氮肥利用率	氮肥农学效率
硝态氮积累量	-0.942*	-0.934*	-0.895*	-0.933*	-0.937*
铵态氮积累量	-0.255	-0.277	-0.308	-0.274	-0.287
成熟期 0—200 cm 土层					
土壤矿质氮残留总量	-0.920*	-0.927*	-0.895*	-0.925*	-0.936*
土壤矿质氮损失量	-0.863	-0.846	-0.656	-0.849	-0.800
氮素表观盈亏量	-0.878	-0.845	-0.618	-0.848	-0.787

注: * 表示 $P<0.05$ 水平显著相关。

3 讨论

前人^[13]在常规灌水条件下研究表明,烟农 19 小麦植株氮素积累量随氮肥基肥比例的增加而降低,基肥和拔节期追肥比例为 4:6 处理最大,为 315 kg/hm²。在全生育期灌水 150 mm 条件下,基肥和拔节期追肥比例为 6:4 的处理氮肥农学效率较氮肥全部基施的处理提高了 22.20%^[14]。基肥和拔节期追肥比例为 10:0 的处理氮素生理利用率较 6:4 的处理提高了 9.68%^[15]。前人研究忽略了各处理灌水前土壤含水量的差异,补灌相同水量后各处理土壤含水量未必一致,本研究在小麦拔节期和开花期依据土壤墒情将各处理 0—40 cm 土层土壤相对含水量均补灌至 70%,结果表明,氮肥基追比例为 5:5 的处理小麦植株氮素积累量和籽粒氮素积累量显著高于其他基追

比例处理,氮素生理利用率、籽粒氮肥利用率和氮肥农学效率最高。不同的土壤水分条件是导致与前人结果差异的主要原因。

小麦—土壤系统氮素表观盈亏特征是评价氮肥施用措施是否合理的重要指标^[16]。前人^[17]在常规灌水条件下,对不同氮肥基追比例对麦田土壤氮素表观盈亏的影响进行了较多研究。已有研究^[17]认为,播种至拔节期土壤氮素表观盈亏量随氮肥基肥比例的增加而增加,而开花期至成熟期随基肥比例的增加而减小。也有研究^[18]认为,氮肥表观损失量随氮肥基肥比例的增加而增加,基肥、拔节期和孕穗期追肥比例 7:1.5:1.5 的处理最大为 108.01 kg/hm²。本试验在小麦拔节期和开花期将土壤相对含水量均补灌至 70%的节水栽培条件下研究表明,氮肥基追比例为 5:5 的处理成熟期土壤矿质

氮损失量和土壤氮素表观盈亏量显著低于其他处理,氮肥表观残留率和氮肥表观损失率最低。究其原因,不同氮肥基追比例下土壤水分条件不同是造成与前人结果差异的主要原因,此外,土壤基础地力等其他栽培条件的差异亦会对试验结果造成影响。

Wang 等^[19]研究表明,小麦植株氮素积累量与土壤硝态氮积累量呈显著的线性负相关关系。通过合理的氮肥运筹减少土壤硝态氮积累量是提高氮肥利用效率的有效途径^[20]。本研究通过相关分析表明,植株氮素积累量、籽粒氮素积累量、氮素生理利用率、籽粒氮肥利用率、氮肥农学效率与土壤硝态氮积累量、土壤矿质氮残留总量均呈极显著负相关。由此表明,通过合理的氮肥基追比例促进小麦植株对土壤硝态氮的吸收利用对提高小麦植株氮素利用和减少土壤矿质氮残留具有重要意义。由于不同品种小麦对土壤矿质氮的吸收利用能力差异较大。因此,关于测墒补灌节水栽培条件下不同品种小麦对土壤矿质氮的吸收利用及土壤氮素表观盈亏的影响需要进一步深入研究。此外,径流和挥发损失等因素在今后研究中亦需考虑。

4 结论

小麦拔节期和开花期 0—40 cm 土层土壤相对含水量均补灌至 70%,总施氮量为 240 kg/hm² 条件下,氮肥基追比例为 5:5 的处理较其他基追比例处理显著提高了小麦植株氮素积累量和籽粒氮素积累量,降低了土壤矿质氮损失量和土壤氮素表观盈亏量,获得了最高的氮素生理利用率、籽粒氮肥利用率和氮肥农学效率。综合考虑小麦植株氮素利用和土壤氮素表观盈亏,氮肥基追比例为 5:5 的处理为本试验条件下的最优处理。

参考文献:

- [1] 刘建涛,张会永,王雪,等.氮肥调控剂施用对小麦生长、氮素利用及氮素表观平衡的影响[J].水土保持学报,2014,28(1):209-214.
- [2] 张卫峰,马林,黄高强,等.中国氮肥发展、贡献和挑战[J].中国农业科学,2013,46(15):3161-3171.
- [3] Xu J Z, Peng S Z, Yang S H, et al. Ammonia volatilization losses from a rice paddy with different irrigation and nitrogen managements [J]. Agricultural Water Management, 2012, 104: 184-192.
- [4] Mon J, Bronson K F, Hunsaker D J, et al. Interactive effects of nitrogen fertilization and irrigation on grain yield, canopy temperature, and nitrogen use efficiency in overhead sprinkler-irrigated durum wheat [J]. Field Crops Research, 2016, 191: 54-65.
- [5] Xu J K, Yu Z W, Shi Y, et al. Effect of different supplemental irrigation strategies on photosynthetic charac-

teristics and water use efficiency of wheat [J]. Chilean Journal of Agricultural Research, 2017, 77: 346-354.

- [6] 刘瑞,戴相林,周建斌,等.不同氮肥用量下冬小麦土壤剖面累积硝态氮及其与氮素表观盈亏的关系[J].植物营养与肥料学报,2011,17(6):1335-1341.
- [7] 武际,郭熙盛,杨晓虎,等.氮肥施用时期及基追比例对土壤矿质氮含量时空变化及小麦产量和品质的影响[J].应用生态学报,2008,19(11):2382-2387.
- [8] 魏凤珍,李金才,王成雨,等.氮肥运筹模式对冬小麦氮素吸收利用的影响[J].麦类作物学报,2010,30(1):123-128.
- [9] 赵士诚,沙之敏,何萍.不同氮肥管理措施在华北平原冬小麦上的应用效果[J].植物营养与肥料学报,2011,17(3):517-524.
- [10] Liang B, Kang L Y, Ren T, et al. The impact of exogenous N supply on soluble organic nitrogen dynamics and nitrogen balance in a greenhouse vegetable system [J]. Journal of Environmental Management, 2015, 154: 351-357.
- [11] 吴金芝,黄明,王志敏,等.极端晚播对小麦籽粒产量、氮素吸收利用和籽粒蛋白质含量的影响[J].应用生态学报,2018,29(1):185-192.
- [12] Ravier C, Meynard J M, Cohan J P, et al. Early nitrogen deficiencies favor high yield, grain protein content and N use efficiency in wheat [J]. European Journal of Agronomy, 2017, 89: 16-24.
- [13] 杜世州,曹承富,张耀兰,等.氮素运筹对淮北地区超高产小麦养分吸收利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(1):9-15.
- [14] 吴晓丽,李朝苏,汤永禄,等.氮肥运筹对小麦产量、氮素利用效率和光能利用率的影响[J].应用生态学报,2017,28(6):1889-1898.
- [15] 张杰,王备战,冯晓,等.氮肥调控对冬小麦干物质质量、产量和氮素利用效率的影响[J].麦类作物学报,2014,34(4):516-520.
- [16] Blicher-Mathiesen G, Andersen H E, Larsen S E. Nitrogen field balances and suction cup-measured N leaching in Danish catchments [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2014, 198: 36-43.
- [17] 修明,谷世禄,田中伟,等.稻秸还田下播种密度与氮肥运筹对小麦产量及氮素利用效率的影响[J].麦类作物学报,2016,36(10):1377-1385.
- [18] 石祖梁,李丹丹,荆奇,等.氮肥运筹对稻茬冬小麦土壤无机氮时空分布及氮肥利用的影响[J].生态学报,2010,30(9):2434-2442.
- [19] Wang Z H, Miao Y F, Li S X. Effect of ammonium and nitrate nitrogen fertilizers on wheat yield in relation to accumulated nitrate at different depths of soil in drylands of China [J]. Field Crops Research, 2015, 183: 211-224.
- [20] Deng F, Wang L, Ren W J, et al. Enhancing nitrogen utilization and soil nitrogen balance in paddy fields by optimizing nitrogen management and using polyaspartic acid urea [J]. Field Crops Research, 2014, 169: 30-38.