

施氮量对冬小麦产量的影响及土壤硝态氮运转特性

蒋会利, 温晓霞*, 廖允成

(西北农林科技大学农学院, 陕西杨凌 712100)

摘要:以冬小麦“西农 9814”为材料进行大田试验, 研究施氮量对小麦产量构成因素、土壤中硝态氮变化的影响。结果表明, 适宜施氮量($N 276 \text{ kg/hm}^2$)可以显著提高小麦的穗重、穗粒数、千粒重等产量构成因素, 比对照增产 24.6%。产量构成因素中以穗粒数与产量的相关性最强, 达极显著水平, 千粒重次之。土壤耕层硝态氮主要集中在 0—40 cm 土层, 且含量随着施氮量的增加而增加。随着小麦生育期的推移, 耕层中硝态氮呈下降趋势, 0—40 cm 耕层变化显著, 到成熟期各土层硝态氮含量基本趋于一致。施氮量在 $N 0\sim 207 \text{ kg/hm}^2$ 范围内, 硝态氮积累的增加量变化不显著, 但当施氮量高于 $N 207 \text{ kg/hm}^2$ 时, 土壤中硝态氮的积累量随施氮量增加而显著增加, 增加了硝态氮的冗余和向下淋溶的可能。

关键词: 施氮量; 产量; 硝态氮; 冬小麦

中图分类号: S152.1+1.062; S153.6+1

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2010)01-0237-05

Effects of nitrogen application on winter wheat yield and translation of soil NO_3^- -N

JIANG Hui-li, WEN Xiao-xia*, LIAO Yun-cheng

(College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A field experiment was carried out to study effects of nitrogen application on grain yield winter wheat (Xinong 9814) and soil NO_3^- -N. The results show that the yield components such as grain weight per spike, grains per spike and 1000 grain weight are all increased under the moderate nitrogen application, and the highest yield occurs at $N 276 \text{ kg/ha}$ of nitrogen application, which is about 124.6% of the yield of the control. Among the yield components, spike number has the strongest correlation with yield, and second is kernel weight. Soil NO_3^- -N mainly exists in 0–40 cm depth, and the soil NO_3^- -N contents are increased with the increases of nitrogen application. With the wheat grows, soil NO_3^- -N contents are decreased, especially in the 0–40 cm depth, while, those are almost the same in different depths at the mature period of wheat. Soil NO_3^- -N accumulations are not changed when nitrogen application rates are between $N 0\sim 207 \text{ kg/ha}$, while, the accumulations are rapidly increased when the application rates are larger than $N 207 \text{ kg/ha}$. These results indicate that there are NO_3^- -N redundancy and possible N leaching under high N application.

Key words: nitrogen application rate; grain yield; NO_3^- -N; winter wheat

施用氮肥是农业增产的重要措施之一。但是随着氮肥的大量应用, 也带来诸多弊端, 如利用率降低、经济效益下降等问题日益突出。据估计, 我国农业生产中主要粮食作物的氮肥平均利用率只有

35%, 由于氮肥施用量大等原因, 就会造成氮肥利用率低、作物产量下降、资源和能源浪费、生产成本偏高、严重污染生态环境等诸多问题, 影响社会经济可持续发展[1-2]。因此, 氮肥施入土壤后

收稿日期: 2008-11-04 接受日期: 2009-05-31

基金项目: 国家自然科学基金(30671227, 30070439, 30300213); “十一五”国家科技支撑计划(2006BAD15B06); 陕西省自然科学基金(2006C104); 西北农林科技大学“青年学术骨干支持计划”资助。

作者简介: 蒋会利(1980—), 女, 陕西杨陵人, 硕士研究生, 主要从事农业资源及高效农作制度的研究工作。E-mail: jhl1001@163.com

* 通讯作者 E-mail: wenxiaoxia6811@163.com

的去向成为国内外农业科技工作者长期关注和研究的农业和环境问题。氮肥进入土壤后除部分被植物吸收和土壤固定外,其余部分转化成土壤矿质氮^[4-5]。土壤剖面中矿质氮含量和分布是植物、施肥、土壤、降雨等环境条件影响下土壤中氮素转化和移动等过程的综合表现。硝态氮是旱地土壤矿质氮的主要部分,而硝态氮的淋失是农田生态系统中氮素损失的重要途径之一。近年来,旱地农田氮素以硝态氮的形式在土壤中淋溶累积方面已有相关报道^[6],但是大多数都是土柱模拟^[7],而真正大田试验条件的研究较少,特别是关于关中地区施氮量对土壤中硝态氮时空变化的影响研究较少。为此在田间试验条件下,研究了施氮量对小麦产量构成因素以及土壤中硝态氮积累情况的影响,以期为关中地区旱地合理施肥及农业可持续发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2007年9月~2008年6月在陕西杨凌国家农业高新技术产业示范区的西北农林科技大学农作一站进行。该点位于秦岭北麓、渭河平原西部的头道塬上,属于黄土高原南部旱作区,北纬34°20′、东经108°24′,海拔521 m,年均日照时数2150 h,无霜期220 d,年平均气温12~14℃,极端最高温度39~40℃,极端最低温度-15~-21℃,年平均降水量621.6 mm,年均蒸发量933 mm。春季降水偏少、气候干旱,雨量主要集中在7~9月份,属暖温带半湿润季风气候。供试土壤为中壤土,冬小麦播种前,土壤(0—40 cm)的基本肥力状况为:土壤有机质9.28 g/kg,速效氮11.53 mg/kg,速效钾113.48

mg/kg,速效磷6.32 mg/kg,pH 7.35。

试验设6个氮素水平,分别为N0、69、138、207、276、345 kg/hm²(以N0、N1、N2、N3、N4、N5表示),小区面积为6.8 m×3 m,随机排列设计,重复3次。供试冬小麦品种“西农9814”,2007年10月17日播种,行距20 cm,播种深度6 cm,小区间埂宽20 cm,2008年6月4日收获。各小区另施P₂O₅ 94 kg/hm²,肥料以尿素(含N 46%)为氮源,以过磷酸钙(含P₂O₅ 16%)为磷源,所有肥料均于耕前一次性施入,整个冬小麦生育期不灌水。其他田间管理按一般高产田进行。

1.2 测定项目和方法

小麦收获时,除去四周保护区,按小区实收计产,按其产量换算成单位面积籽粒产量。收获时每个处理取1 m²的植株按常规法进行室内单株考种分析。分别于小麦返青期、拔节期、抽穗期、灌浆期、成熟期在各个小区十字交叉分布5点取土。取样深度为0—100 cm,每20 cm一个层次样,剔除杂物后同层土样混合均匀。捡去可见有机物,放入4℃冰箱内保存,测定土壤硝态氮的含量。土壤硝态氮测定采用酚二磺酸比色法^[8]。

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

数据采用Excel进行计算和绘图,运用DPS进行方差分析和新复极差测验(P<0.05)。

2 结果与分析

2.1 施氮量对产量及其构成因素的影响

表1看出,施氮量对小麦的产量和构成因素有显著影响。子粒产量随着施氮量的增加呈先升高后

表1 施氮量对小麦产量及构成因素的影响

Table 1 Effects of different N application rates on wheat yield and yield components

处理 Treatment	穗数(×10 ⁴ /hm ²) Spike No.	穗重(g) Grain weight per spike	穗粒数 Grain per spike	千粒重(g) Kernel weight	产量(kg/hm ²) Grain yield
N0	431.9 b	2.34 d	51.3 c	45.52 d	5999.4 c
N1	454.9 ab	2.59 c	53.8 b	48.22 c	6726.0 bc
N2	471.7 ab	2.65 c	54.2 b	48.89 bc	7099.3 ab
N3	477.2 ab	2.81 b	54.8 b	49.35 b	7204.3 ab
N4	499.8 a	3.17 a	58.3 a	54.45 a	7599.2 a
N5	466.3 ab	2.81 bc	55.1 b	52.76 b	7374.3 ab

注(Note): 同列数据后不同字母表示差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column mean significant at 5% level.

下降的趋势,以 N4 处理的最高,为 7599.2 kg/hm²,比对照增产 24.6%,N0 与 N1 差异没有达到显著水平,但是与 N2、N3、N4、N5 达显著水平。千粒重同样是以 N4 为最高,N2 与 N3 及 N3 与 N4 之间差异不显著,其他处理之间差异均达显著水平;穗粒数 N0 和 N4 之间差异显著,其他处理之间差异水平不显著。试验还看出,产量增加主要原因是公顷穗数、穗粒数增加。当施氮量小于 N 276 kg/hm²(N4)时,小麦的公顷穗数随着施氮量的增加而增加;但是当施氮量大于 N 276 kg/hm²时,公顷穗数反而下降。其主要原因是施氮量过高,导致前期群体过大,后期分蘖成穗率降低。对穗粒数的影响与对公顷穗数的影响相似。

进一步分析表明,小麦子粒产量与施氮量呈二次曲线关系(图 1),回归方程为 $y = -0.0201x^2 + 10.969x + 6012.4$ ($R^2 = 0.990^{**}$),当 $x_{opt} = 272.86$ kg/hm² 时获最高产量 7508.9 kg/hm²,与实际最高产量差异不大。综合分析施氮量对产量的影响表明,适宜施氮量在 N 207~276 kg/hm² 之间。施氮量过高和过低都不利于高产的形成,特别是过量施氮,后

期易倒伏。

相关分析表明(表 2),产量构成因素中以穗粒数与产量的相关最强(达极显著水平),千粒重次之,这说明关中地区,提高穗粒数和千粒重获得高产的可行性较大。穗数与穗粒数和千粒重呈正相关,说明产量构成因素穗数、穗粒数和千粒重之间是相互联系、相互制约和相互补偿关系,千粒重过高,穗粒数相应减少。

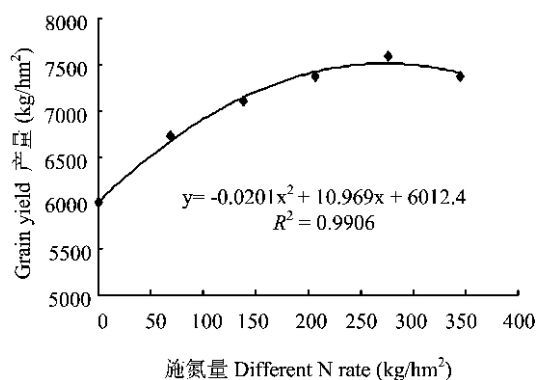


图 1 施氮量对小麦产量的影响

Fig. 1 Effect of different N-fertility rate on wheat yield

表 2 产量与构成因素之间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients among grain yield and its yield components

项目 Items	产量 Grain yield	穗数 Spike No.	穗粒数 Grain per spike	千粒重 1000-grain wt.
产量 Grain yield	1.000			
穗数 Spike No.	0.7939**	1.000		
穗粒数 Grain per spike	0.9171**	0.6514*	1.000	
千粒重 1000-grain wt.	0.9144**	0.5332*	0.9384**	1.000

注(Note): *, ** 分别代表 0.05、0.01 水平下显著 Mean significant at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.2 施氮量对 0—100 cm 土层硝态氮分布的影响

施用氮肥可以显著提高土壤中硝态氮含量,且随着施氮量的增加,土层中硝态氮含量有增加趋势,但不同时期和不同土层间硝态氮的含量变化存在较大差异。

图 2 看出,在返青期,土壤中硝态氮主要集中在 0—20 cm 土层,20 cm 以下土层,处理之间不明显。各土层不同处理土壤硝态氮含量比较: N5 > N4 > N3 > N2 > N1 > N0,说明施氮有助于提高浅层土壤中的硝态氮含量,但是从浅层到深层,土壤硝态氮的变化受施氮量的影响程度逐步减弱。

拔节期、抽穗期、灌浆期,土壤中硝态氮含量分布趋势与返青期类似,但较返青期有下降的趋势;各处理之间的差异性也有所减弱,这可能与小麦对

氮素的吸收能力与土壤中硝态氮含量有关。上述 3 个时期各处理 20—60 cm 土层土壤的硝态氮含量均不同程度低于对应施氮量中 60—100 cm 土层中硝态氮含量。说明这 3 个时期,土壤中硝态氮含量的减少主要发生在浅层和深层土壤中,对深层土壤中硝态氮影响较小。

成熟期 0—20 cm 土层土壤硝态氮含量较灌浆期仍有所减少;但深层土壤中变化不一致,特别是 N5、N4 处理,与灌浆期相比略有上升。各土层中仍以 0—20 cm 土层的硝态氮含量最高,其他各层基本趋于一致。

2.3 施氮量对土壤中硝态氮积累量的影响

随着施氮量的增加,土层中硝态氮含量的变化增大;同一生育期土壤中的硝态氮积累量随着施氮

的增加而显著增加(图3)。说明随着生育期的推进,土壤硝态氮含量有一个固定的平衡值,当实际土壤硝态氮含量低于该值时,小麦从土壤中吸收硝态氮的可能性很小,而高于该值时,土壤硝态氮可以被小麦充分吸收,多余的部分可能会向下层发生淋失,造成对地下水源的污染。但是,在有利于小麦吸收、

利用氮素的同时,因为硝态氮在土壤中的移动性强,氮素淋失损失的可能性也增大。本试验结果表明,从小麦全生育期看,当施氮量不超过 $N 207 \text{ kg/hm}^2$ 时,土壤中的硝态氮能够满足小麦生育期的需求,向下层淋溶损失可能性较小。

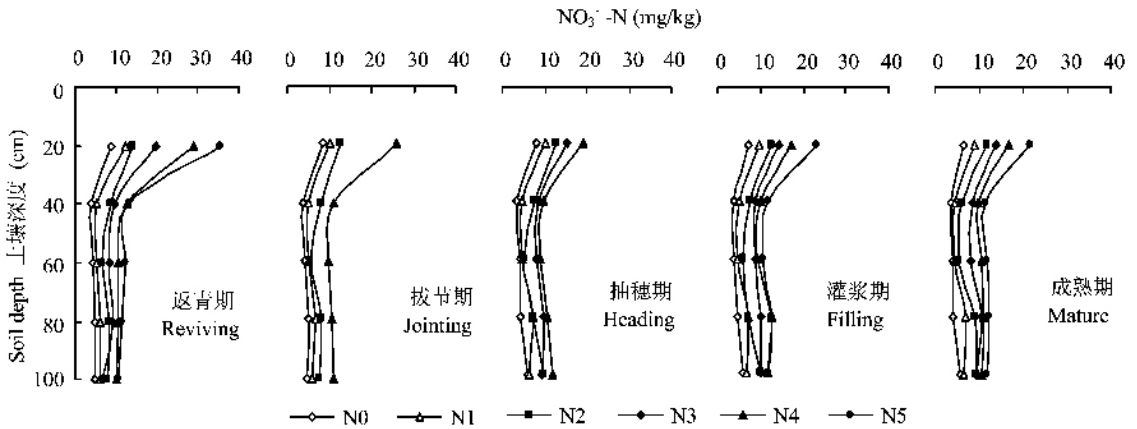


图2 施氮量对小麦不同生育期0—100 cm 土层土壤硝态氮分布的影响

Fig.2 Effects of the nitrogen application rates on the contents of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ in the 0—100 cm soil layers

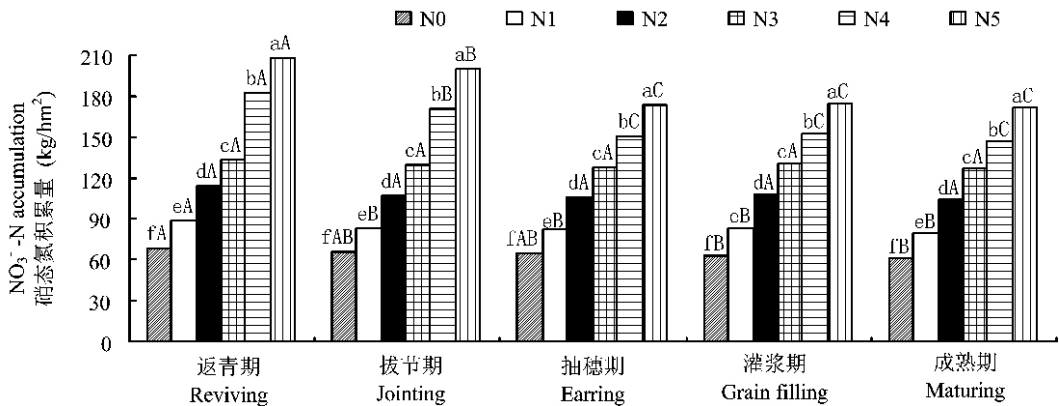


图3 施氮量对小麦不同时期土壤中硝态氮积累量的影响

Fig.3 Effects of the N application rates on $\text{NO}_3^- \text{-N}$ accumulation in the soil at different growth stages of wheat

[注 (Note): 柱上不同字母大、小写字母表示在 0.01 和 0.05 水平上差异显著 Different capital and small letters above bars indicate significantly different at the 0.01 and 0.05 probability levels, respectively.]

3 讨论与结论

关于施氮量对小麦产量、土壤中硝态氮的报道很多。大多研究表明,在一定的施氮范围内,子粒产量随着施氮量的增加而增加,超过一定限度后,增加施氮量,子粒产量没有显著增加,甚至降低^[9];但也有研究认为,施用氮肥对小麦的子粒产量无显著影响^[10]。本研究表明,施氮量在 $N 0 \sim 276 \text{ kg/hm}^2$ 范

围内,小麦子粒的产量随着施氮量的增加,小麦的穗重、穗粒数和千粒重都有上升的趋势;但施氮量超过 $N 276 \text{ kg/hm}^2$ 时,随着施氮量的增加,则有下降的趋势。马兴华^[11]研究认为,山东地区适宜的施氮量为 $N 240 \text{ kg/hm}^2$ 子粒产量最高。

黄土旱塬在当前的生产力与施肥水平下,农田硝态氮有一定的淋溶发生,随着施氮量的增加,土壤剖面的硝态氮含量也随之增加,硝态氮向下移动的

趋势明显^[12]。Bergstrom 等研究表明,施氮量小于 N 100 kg/hm² 时,硝酸盐的淋失量缓和,施氮量在 N 100~200 kg/hm²,淋失量随着施氮量的增加而增加^[13];Liang 等^[14]指出,施用超过正常的氮量,土壤的硝态氮水平将随着施氮量的增加而呈线性增加。可见,当氮素大量施入农田时,由于农作物不能够全部吸收,土壤的胶体不能全部交换硝酸根离子,在雨水的作用下,土壤中的硝酸盐很容易向下层淋失。本研究看出,当施氮量小于 N 207 kg/hm² 时,淋失现象比较缓和,当施氮量超过 N 207 kg/hm² 时,深层土壤中的硝态氮大幅度增加,发生淋失的可能性增大,可能污染地下水资源。

根据不同施氮量对冬小麦产量及构成因素、土壤中硝态氮的影响可以得出,在本试验条件下,渭河平原西部头道塬上冬小麦的合理施氮量为 N 207~276 kg/hm²。

参考文献:

- [1] 吴金水,郭胜利,党廷辉. 半干旱区农田土壤无机氮积累与迁移机理[J]. 生态学报, 2003, 23(10): 2041-2049.
Wu J S, Guo S L, Dang T H. Mechanisms in the accumulation and movement of mineral N in soil profiles of farming land in a semi-arid region[J]. Acta Ecol. Sin., 2003, 23(10): 2041-2049.
- [2] 刘学军,赵紫娟,巨晓棠,张福锁. 基施氮肥对冬小麦产量、氮肥利用率及氮平衡的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(7): 1122-1128.
Liu X J, Zhao Z J, Ju X T, Zhang F S. Effect of N application and basal fertilizer on grain yield of winter wheat, fertilizer N recovery and balance[J]. Acta Ecol. Sin., 2002, 22(7): 1122-1128.
- [3] 郭胜利,张文菊,党庭辉,等. 干旱半干旱地区农田土壤 NO₃⁻-N 深层累积及其影响因素[J]. 地球科学进展, 2003, 18(4): 584-591.
Guo S L, Zhang W J, Dang Y H *et al.* Accumulation of NO₃⁻-N in deep layers of day farmland and its affecting factors in arid and semi-arid areas[J]. Progr. in Earth Sci., 2003, 18(4): 584-591.
- [4] 刘宏斌,李志宏,张云贵,等. 北京市农田硝态氮的分布于累积特征[J]. 中国农业科学, 2004, 37(5): 692-698.
Liu H B, Li Z H, Zhang Y G *et al.* Characteristics of nitrate distribution and accumulation in soil profiles under main agro-land use types in Beijing[J]. Sci. Agric. Sin., 2004, 37(5): 692-698.
- [5] 张长保,王全九,樊军,等. 模拟降雨下初始含水量对砂黄土硝态氮迁移特征的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5): 894-899.
Zhang C B, Wang Q J, Fan J *et al.* Effect of soil moisture content on nitrate transportation in loessial soil under artificially simulated rainfall conditions[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2008, 14(5): 894-899.
- [6] 巨晓棠,张福锁. 中国北方土壤硝态氮的累积及其环境影响[J]. 生态环境, 2003, 12(1): 24-28.
Ju X T, Zhang F S. Nitrate accumulation and its implication to environment in north China[J]. Ecol. Environ., 2003, 12(1): 24-28.
- [7] 邓建才,陈效民,柯用春,等. 土壤水分对土壤中硝态氮水平迁移的影响[J]. 中国环境科学, 2004, 24(3): 280-284.
Deng J C, Chen X M, Ke Y C *et al.* Influence of soil moisture on the horizontal transport of nitrate-N in the soil[J]. China Environ. Sci., 2004, 24(3): 280-284.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis (3rd edition)[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2005.
- [9] 林琪,侯立白,韩伟. 不同肥力土壤下施氮量对小麦子粒产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(6): 561-567.
Lin Q, Hou L B, Han W. Effects of nitrogen rates on grain yield and quality of wheat in different soil fertility[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(6): 561-567.
- [10] 贺明荣,杨雯玉,王晓兵,等. 不同氮肥运筹模式对冬小麦子粒产量和氮肥利用率的影响[J]. 作物学报, 2005, 31(8): 1047-1051.
He M R, Yang W Y, Wang X B *et al.* Effects of different management modes on grain and quality as well as fertilizer N use efficiency of winter wheat[J]. Acta. Agron. Sin., 2005, 31(8): 1047-1051.
- [11] 马兴华. 施氮量和底追比例对小麦氮素利用和产量、品质的影响[D]. 泰安: 山东农业大学硕士学位论文, 2004.
Ma X H. Effect of different nitrogen fertilizer rate and different ratio of base and topdressing on nitrogen utilization, yield and quality in winter wheat[J]. Taian: MS thesis of Shandong Agricultural University, 2004.
- [12] 樊军,邵明安,郝明德,等. 黄土旱塬塬面生态系统土壤硝酸盐累积分布特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 8-12.
Fan J, Shao M A, Hao M D *et al.* Nitrate accumulation and distribution in soil profiles in ecosystem of upland on the Loess Plateau[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(1): 8-12.
- [13] Bergstrom L, Brink N. Effects of differentiated applications of fertilizer N leaching plisses and distribution of inorganic N in soil[J]. Plant Soil, 1986, 93(3): 333-345.
- [14] Liang B C, Mac Kenzie A F. Changes of soil nitrate-nitrogen and gentrification as affected by nitrogen fertilizer on two Quebec soils[J]. J. Environ. Qual., 1994, 23(3): 521-525.