

冬小麦限水灌溉条件下土壤硝态氮变化与氮素平衡

李建民, 李世娟, 曾长立, 周殿玺

(中国农业大学, 北京 100094)

摘要: 研究结果表明, 冬小麦拔节期 1 m 土层的硝态氮含量主要受基肥施氮量的影响, 开花期和成熟期的硝态氮含量除了与追肥与否及追肥施氮量有关外, 还受基肥施氮量的一定影响。土壤硝态氮含量的分布, 在拔节期处理间差异主要在 0~60 cm 土层内, 在开花期和成熟期则整个 1 m 根层内都有差异。144~213 kg/hm² 的施氮量, 都能维持土壤氮素的表观平衡, 但以 144 kg/hm² 施氮量、全部基施的处理吸氮比例(作物吸氮量/施氮量)最高, 残留比例(土壤残留量/作物吸氮量)最低。

关键词: 冬小麦; 施肥制度; 硝态氮; 氮肥; 限水灌溉

中图分类号: S512.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2003)02-0051-05

Studies on the Soil Nitrate Content and Nitrogen Balance in Winter Wheat Plants under Limited Irrigation Condition

LI Jian-min, LI Shi-juan, ZENG Chang-li, ZHOU Dian-xi

(China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: The nitrate contents in 1 m soil profile at stem elongation stage were mainly affected by the nitrogen amount applied as basal dressing. And the nitrate contents in soil profile at blooming stage and maturing stage were related to the nitrogen amount applied as top dressing at stem elongation stage, as well as the nitrogen amount of basal dressing. The differences of nitrate distribution between the treatments at stem elongation stage mainly observed in 0~60 cm soil profile, while the differences at blooming stage and maturing stage observed in whole 1 m soil profile. Finally, it is found that the apparent nitrogen balance in soil-wheat plant system could be maintained when 144~213 kg/ha was applied, but treatment which whole 144 kg/ha was applied as basal dressing had a highest absorption ratio, and a lowest residual ratio.

Key words: Winter wheat; Fertilizing system; Nitrate; Nitrogen Fertilizer; Limited irrigation

农田生态系统中, 土壤氮素的来源主要依赖于人工补给, 其中除了有机肥中含有一定数量的氮素外, 施用氮素化肥是最常用也是最主要的补给方法^[1]。一般说来, 氮肥投入量大, 有利于作物吸收、同化更多的氮素, 生产更多的蛋白质食品, 也有利于粮食作物品质的改善。但是, 作物氮素的积累量并不与施氮量同步变化, 一般随着施氮量的增加, 氮素的表观利用率会明显下降, 而使更多的无机氮残留在土壤内^[2, 3], 为环境安全留下隐患。

因此, 优化的氮肥施用制度, 不仅应该满足作物

所需的氮素营养、获得较高的氮素利用效率, 而且必须使土壤无机氮、特别是硝态氮残留量控制在一定范围内, 也即确保土壤生态系统的平衡。本研究从这个角度, 对不同的施肥制度进行了比较分析。

1 材料和方法

本试验于 1997~1998 年度在河北省沧州市中国农业大学吴桥实验站进行。试验地肥力中等偏上, 1 m 土层的农化分析结果如表 1。试验采用随机区组设计, 共设 8 个氮肥组合处理(表 2), 每处理重

收稿日期: 2003-01-10

基金项目: 国家试验区攻关项目(96004-01-04)的部分研究内容

作者简介: 李建民(1958-), 男, 江苏吴县人, 教授, 农学博士, 主要从事农学、作物栽培学等教学工作和作物抗逆生理、作物无公害栽培技术的研究工作。

复 3 次, 合计 24 个小区。有关试验的其他情况请参考 Harmsen 试验^[5]。

土壤无机氮(Nmin) 的取样、测定方法如下。在冬小麦拔节期、开花期和成熟期, 每小区随机选择样点 2~ 3 个, 用土钻按 20 cm 一层分 5 层取样分别混

匀, 然后用 0. 01 mol/ L CaCl₂ 溶液浸提, 经振荡过滤后置于洁净的胶卷盒内, 装入冰箱内低温保存。在田间试验结束后, 统一采用流动分析法(Continuous Flow Applications) 测定。

表 1 试验地土层的基本农化性状分析

土壤层次 (cm)	有机质 (mg/ g)	全氮 (mg/ g)	Nmin (kg/ hm ²)	有效磷 (mg/ kg)	速效钾 (mg/ kg)	pH 值 (土: 水= 1: 1)
0~ 20	10. 1	0. 56	12. 91	7. 48	74. 9	8. 24
20~ 40	4. 8	0. 33	11. 68	4. 37	71. 8	8. 23
40~ 60	3. 9	0. 27	8. 64	3. 61	76. 0	8. 21
60~ 80	5. 4	0. 29	9. 24	4. 09	102. 3	8. 37
80~ 100	5. 5	0. 29	9. 04	3. 10	113. 0	8. 27

注: Nmin 为土壤无机氮

表 2 冬小麦氮肥施用制度试验处理方案

项目	处理编号							
	N0	N10	N11	N20	N21	N30	N1a	N1b
基肥 N	0	75	75	144	144	213	75	75
追肥 N	0	0	69	0	69	0	124*	150*
合计	0	75	144	144	213	213	199	225

注: 作为基肥施用的其他肥料还包括有机肥 22. 5 m³/ hm²(所有处理) , P₂O₅ 103. 5 kg/ hm², K₂O 81 kg/ hm² 和 ZnSO₄ 30 kg/ hm²(除 N0 处理以外); 追肥时期为拔节期; * , N1a 和 N1b 处理的追肥量, 是根据 1997 年建立的直线明显和二次模型推荐的施肥量

2 结果与分析

2. 1 不同生育期的土壤硝态氮含量

本研究设定的 8 个氮肥处理, 从施肥时间来分

只有基肥和拔节期追肥 2 个时期。因此, 拔节期的土壤硝态氮含量, 主要受基肥施氮量的影响; 而开花期和成熟期的土壤硝态氮含量, 则除了受基肥氮的影响外, 还受到拔节期追肥与否的影响。

表 3 不同生育期 1m 土层内硝态氮含量的变化

生育期	处理编号							
	N0	N10	N11	N20	N21	N30	N1a	N1b
拔节期	26. 7	36. 9	48. 4	74. 2	66. 2	95. 9	40. 3	45. 8
开花期	24. 6	25. 2	56. 1	26. 4	65. 3	54. 1	100. 2	132. 9
成熟期	26. 2	23. 7	44. 1	25. 5	58. 2	69. 8	65. 2	64. 9

从表 3 的结果来看, 在冬小麦拔节期, 0~ 1 m 土壤剖面的硝态氮含量可根据施用的基肥氮数量分为 4 个等级, 即含量最低的是没有施用化肥氮素的 N0 处理, 其次是施用 N 75 kg/ hm² 的 N10, N11, N1a 和 N1b 处理, 再次是施用 N 144 kg/ hm² 的 N20 和 N21 处理, 最高的是施用 213 kg/ hm² 的 N30 处理。

到了冬小麦开花期, 不同处理的硝态氮含量出现了新的变化。在拔节期没有追肥的处理中, N0 处理基本保持不变, 其他处理则都较拔节期有明显的下降; 在追肥的处理中, N11 和 N21 处理也基本保持不变, 而 N1a 和 N1b 处理则有明显的增加。就各处理的硝态氮含量来看, N0, N10 和 N20 处理都较低, 其次是 N11, N21 和 N30 处理, 最高的是 N1a 和

N1b 处理。

在冬小麦成熟期, 各处理的土壤硝态氮含量基本与开花期的趋势一致。即 N0, N10 和 N20 处理仍为最低, 其次是 N11, N21 处理, 最高的是 N30, N1a 和 N1b 处理。这一结果表明, 冬小麦成熟时残留在土壤内的硝态氮含量, 除了受施氮量的影响外, 也在一定程度上受施肥方式的影响。

2.2 不同生育期的硝态氮分布

2.2.1 拔节期的硝态氮分布

图 1 为冬小麦拔节期 1 m 土层内的硝态氮分布趋势。总体来看, 除了 N30 处理外, 其他处理都表现出硝态氮含量随着土壤剖面层次的加深而呈逐渐下降的趋势; 除 N30 以外的各处理间差异, 主要出现在 0~60 cm 土层, 60~100 cm 土层的差异很小。由此判断, 在冬小麦播种—拔节期这一生育阶段, 除 N30 外, 其他处理内的土壤氮素虽有一定程度的向下移动, 但并未出现淋洗出 1 m 根层的趋势。

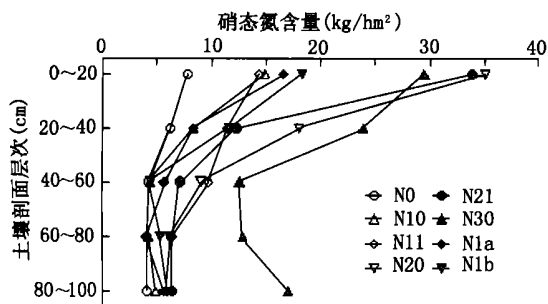


图 1 冬小麦拔节期 1 m 土层内硝态氮的分布

再从不同处理来看, 土壤硝态氮含量明显与基肥施氮量密切相关, 即基肥施氮量越大, 土壤硝态氮含量越高。基肥施氮量最高的 N30 处理, 不仅 0~60 cm 上层土壤含量高, 而且 60~100 cm 土层的含量也要明显高于其他处理, 因此存在被淋洗出根层的可能。

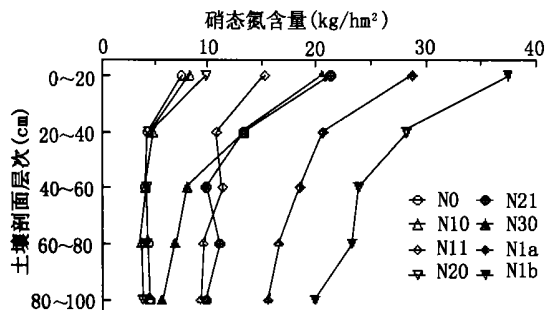


图 2 冬小麦开花期 1 m 土层内硝态氮的分布

2.2.2 开花期的硝态氮分布

冬小麦开花期的土壤硝态氮分布(图 2), 明显受到拔节期追肥与否的影响。比较各处理的硝态氮含量, 可以看出 N0, N10 和 N20 处理不仅含量很低, 而且处理间的差异很小; 而基肥施氮量最大的 N30 处理, 虽然土壤硝态氮含量仍较高, 但已较拔节期有明显下降。关于 N30 处理硝态氮含量的下降, 一方面肯定与作物的吸收利用有关, 另一方面则可能与拔节期灌水使部分硝态氮出现向下淋洗有关。

与拔节期没有追肥的处理相比, 各追肥处理的硝态氮含量较拔节期都有某种程度的增加, 特别是 60~100 cm 的土壤剖面非常明显, 这表明拔节期的追肥和随后的灌水, 不仅提高了土壤硝态氮的含量, 而且有促使硝态氮向下移动的作用。从追肥量越大、0~1 m 土层硝态氮含量越高的关系分析, 很有可能一部分硝态氮已经被淋洗出 1 m 根层。

2.2.3 成熟期的硝态氮分布

冬小麦成熟期的土壤硝态氮分布(图 3), 与开花期的趋势基本一致。即在只施基肥氮的处理中, N0, N10 和 N20 处理不仅含量比较低, 而且差异比较小; 而基肥施氮量最大的 N30 处理, 整个 1 m 土层中的硝态氮含量仍明显较高。拔节期进行追肥的处理, 除了基肥施氮量较少的 N11 处理含量较低外, N21, N1a 和 N1b 处理的硝态氮含量, 无论是含量高低还是分布状况都与 N30 处理接近, 这一结果表明冬小麦成熟期的土壤硝态氮含量分布, 主要与施氮量有关, 而与施肥方式的关系不大。

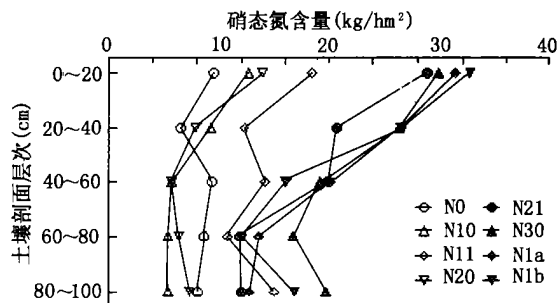


图 3 冬小麦成熟期 1 m 土层内硝态氮的分布

2.3 土壤—作物系统的氮素平衡

土壤—作物系统内的氮素表观平衡, 可作为评价施肥制度是否合理的依据。即当土壤氮素平衡值小于 0 时, 应适当增加氮肥投入量; 而当平衡值大于 0 时, 则可适当减少投入量。一般认为, 当平衡率(平衡值/氮素投入量 × 100)处于 ±10% 的范围内

时,表明土壤—作物系统基本处于一种平衡状态,也即表明该施肥量为基本合理的施肥量。

从表 4 的结果来看,除了 N0, N10 和 N11 处理的氮支出明显大于氮收入外,其他处理的氮素表现平衡率都在 $\pm 10\%$ 以内,这表明施 N 144~225 kg/hm^2 都属于合理的施肥量范围。但显然不同施

氮量和施肥方式之间存在一定的差异,即施氮量较高的处理,氮素投入效率(氮素投入量与作物吸氮量之比)较低,残留在土壤内的比例(残留量与吸氮量之比)较高;拔节期追肥,也会在一定程度上增加残留在土壤内的比例(图 4)。

表 4 土壤—作物系统内的氮素表现平衡

处理 编号	氮收入(kg/hm^2)		氮支出(kg/hm^2)		表现氮平衡	
	Nmin1	投入量	Nmin2	输出量	平衡值	平衡率(%)
N0	51.5	0	46.3	52.0	-46.8	ND
N10	51.5	75	44.4	118.2	-36.1	-48.1
N11	51.5	144	67.0	151.9	-23.4	-16.3
N20	51.5	144	48.5	153.0	-6.0	-4.2
N21	51.5	213	80.0	174.4	10.1	4.7
N30	51.5	213	93.0	175.1	-3.6	-1.7
N1a	51.5	199	88.6	169.9	-8.0	-4.0
N1b	51.5	225	85.8	169.2	21.7	9.6

注: Nmin1 为播种前土壤无机氮, Nmin2 为收获时土壤无机氮; 输出量为作物收获时植株体内(地上部)所含的氮素; 平衡率(%) = 平衡值/氮素投入量 $\times 100$

3 讨论

3.1 氮肥施用制度与硝态氮污染

土壤中的氮素代谢受很多因素影响。在北方麦田,施入土壤的氮素化肥,大部分经硝化作用被氧化成硝态氮(NO_3^--N),成为被作物吸收利用的主要形态^[5]。因此,施肥、灌水等农艺措施主要影响土壤的硝态氮含量,而对铵态氮(NH_4^+-N)含量的影响很

小^[2]。

硝态氮不易被土壤吸附和固定,很容易随土壤水分的移动而移动。在冬小麦生长季节进行灌溉或在冬小麦收获后的汛期遇到较大的降水,都会不可避免地出现一定数量的重力水,从而使硝态氮随重力水的下渗而向下移动,进而脱离作物根层进入地下水等水系,不仅造成养分浪费并成为水体的污染源^[6]。

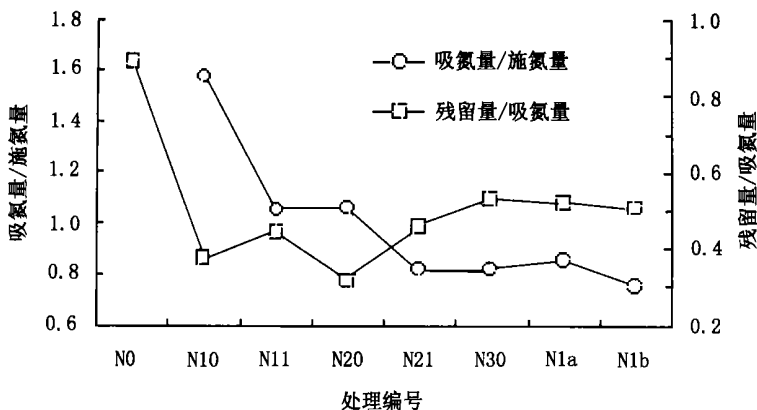


图 4 不同处理的作物吸氮量与氮素投入量和土壤残留量的关系

要防止和减少这种污染源,就冬小麦而言应从水分和养分(氮素)管理两个方面着手。第一,在水分方面,在冬小麦生育期间必须采用节水灌溉制度(减少灌水次数和单次灌水量),这不仅有利于减少

水分下渗的机会,而且能扩大作物根层土壤的库容量、提高接纳汛期降水的能力。第二,在养分方面,应围绕降低根层土壤硝态氮含量、防止硝态氮向下移动的问题,采用与节水灌溉制度相协调的氮肥施

用制度。

从本研究结果来看, 在春后二水的节水灌溉制度下, N30 处理在拔节期、N1a 和 N1b 处理在开花期, 其下部根层土壤(60~100 cm)剖面的硝态氮含量要明显高于其他处理, 因此拔节期或开花期的灌水都可能引起硝态氮的向下淋洗。所以, 当施氮量在 213 kg/hm^2 左右时, 采用 N21 处理的施肥制度较为稳妥。从 N11 与 N20 处理的比较来看, N20 处理除了在拔节期上部根层(0~60 cm)土壤剖面的硝态氮含量较高外, 在开花期和成熟期的硝态氮含量均明显低于 N11 处理, 因此 N20 处理的施肥制度似乎更为安全。

3.2 施肥制度与土壤—作物系统内的氮素平衡

在土壤—作物系统内, 作物吸氮量和土壤残留量通常都表现出随施氮量的增加而增加的趋势^[2,3], 因此在确保土壤—作物系统内氮素平衡的基础上, 怎样在增加作物吸氮量的同时, 控制土壤残留量应该是评价氮肥施用制度的重要指标。

处于干旱条件下的冬小麦, 根系通常可到 2 m 以上的土壤深度, 黄土高原的旱地冬小麦的最大根深甚至可达 5 m 左右^[7]。但根据吴桥实验站的研究, 1 m 以下的根量通常只占根系的 5% 左右, 因此 1 m 根层以下的土壤氮素被作物吸收利用的机会, 应该明显小于被淋洗的机会。故此, 评价土壤—作物系统内的氮素表观平衡时, 可以 1 m 根层内土壤

无机氮的变化作为参数。

从本试验的结果来看, 在基本维持系统内氮素表观平衡的几个处理中, N20 处理的氮肥利用效率(作物吸氮量/施氮量)最高, 残留比例(土壤残留量/作物吸氮量)最低, 因此应为首选的氮肥施用制度。

参考文献:

- [1] 崔玉亭. 化肥与环境生态保护 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [2] 曾长立. 不同施氮水平对土壤无机氮变化的影响 [A]. 见: 李建民, 等. 冬小麦水肥高效利用栽培技术原理 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2000.
- [3] 李世娟. 不同施氮水平对冬小麦氮素积累、分配与利用的影响 [A]. 见: 李建民, 等. 冬小麦水肥高效利用栽培技术原理 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2000.
- [4] 李建民. 冬小麦限水灌溉条件下氮肥施用制度的研究 I. 氮素的积累与分配 [A]. 见: 李建民, 等. 冬小麦水肥高效利用栽培技术原理 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2000.
- [5] Harmsen K. Nitrogen fertilizer use in rainfed agriculture [J]. Fert Res, 1984, 5: 371–382.
- [6] 张玉良. 地下水系统的污染控制 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991.
- [7] 苗果园. 黄土高原旱地冬小麦根系生长规律的研究 [J]. 作物学报, 1989, 15: 104–115.