

基施氮肥对冬小麦产量、氮肥利用率及氮平衡的影响

刘学军, 赵紫娟, 巨晓棠, 张福锁

(中国农业大学植物营养系, 北京 100094)

摘要:通过田间小区试验研究了氮肥一次基施对高肥力土壤上冬小麦产量、吸氮量及氮肥利用率的影响,旨在了解高肥力土壤上减少基肥氮的可行性。结果表明,高肥力土壤上冬小麦产量对氮肥的反应不明显,而施用氮肥显著增加了冬小麦吸氮量。根据差值法计算结果,当施氮量为 75、112.5 和 150 kg/hm² 时冬小麦的氮肥利用率分别为 16.0%、14.5% 和 13.5%,表明多达 84%~86.5% 以上的基肥氮未被作物吸收利用。氮平衡计算的结果进一步表明,未被当季小麦利用的肥料氮主要以无机氮的形式残留于 0~1m 土体中,当施氮量分别为 75、112.5 和 150kg/hm² 时氮肥的土壤残留率依次为 83.3%、46.0% 和 58.8%,而相应的表现损失率为 0.5%、38.9% 和 19.0%。由此可见,在高肥力土壤上应严格控制基肥氮的用量或不施基肥,否则将造成氮素资源的大量浪费。

关键词:高肥力土壤; 冬小麦; 氮肥利用率; 氮平衡

Effect of N Application as Basal Fertilizer on Grain Yield of Winter Wheat, Fertilizer N Recovery and N Balance

LIU Xue-Jun, ZHAO Zi-Juan, JU Xiao-Tang, ZHANG Fu-Suo (Department of Plant Nutrition, China Agricultural University, Beijing 100094, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7): 1122~1128.

Abstract: Application of N fertilizer is one of the most important measures that increase crop yield in agriculture. According to statistical data from FAO (1995), the contribution of N fertilizer application to the newly increased yield reaches 50% since 1960's in the whole world. However, misuse of N fertilizer (particularly overuse) will also cause the decline of economic effects and related environmental problems like N gas emission to atmosphere and NO₃-N leaching to groundwater. Thus it is of course significant to optimize N fertilizer application in crop production. The amount, date and methods of N fertilizer application are three key factors that control the effect of N fertilizer on crop yield. The application of basal N fertilizer in autumn is forbidden in most of western European countries because of large amount of rainfall during the whole winter, which may lead to NO₃-N leaching. On the contrary, the basal N fertilizer has been considered as a critical method to ensure high grain yield and to maintain soil fertility in Chinese traditional agriculture. Winter wheat, as the most important crop in Northern China, consumes the majority of N fertilizer. It is of typical significance to identify the role of basal N fertilizer on winter wheat in Northern China Plain.

A field experiment was carried out at a field station of China Agricultural University (16.5km northwest of Beijing, China) with the objective of assessing the effect of nitrogen application as basal fertilizer on grain yield, N recovery and N balance in winter wheat. The experiment was conducted on a calcareous meadow cinnamon soil with pH 8.25, organic matter 26.7 g/kg, total N 1.43 g/kg, Olsen-P

基金项目:国家自然科学基金资助项目(39870479);北京市重大基金资助项目(6980001)

收稿日期:2000-09-15; **修订日期:**2001-09-30

作者简介:刘学军,男,湖南桃江人,博士,副教授。主要从事氮素循环与微量元素有效性方面的工作。E-mail:liu310@mail.can.edu.cn

41.9 mg/kg, $\text{NH}_4\text{OAc-K}$ 99.5 mg/kg. According to Beijing Classification Standard for Soil fertility, the tested soil belongs to high fertile soil. The supplied variety of winter wheat is Nongda 101. Four N treatments (0, 75, 112.5 and 150 N kg/hm²) were randomly placed in 12 plots as 3 blocks. All of N fertilizer was incorporated into 0 ~ 10cm surface soil before sowing. Meanwhile, concentrated superphosphate (90 P₂O₅ kg/hm²) as P fertilizer was applied to soil as broadcast before sowing. Dynamics of shoot dry matter, shoot N content and soil N_{min} (mineral N) were monitored during wheat growing period. After harvest, the grain yield and straw yield were calculated according to the weighed results from sampling mini-plot (10 m²). Apparent N recovery was calculated by method of difference. N balance between N input and N output was calculated according to both different growth stages and whole growth stage of winter wheat.

The results showed that wheat grain yield (dry matter), which ranged from 4217 to 4450 kg/hm², did not respond to N fertilizer in the high fertile soil. But N removal by harvest significantly increased with N application as basal fertilizer, showing luxury N uptake by winter wheat under condition of higher N supply. The apparent N recovery was only 16.0%, 14.5% and 13.5% when N rates were 75, 112.5 and 150 N kg/hm² (N₇₅, N_{112.5} and N₁₅₀) respectively, showing a declining trend with the increasing N rate. On the contrary, soil N dependent rate (percentage of soil contribution to shoot N uptake) was 90.6%, 87.6% and 85.1% at the corresponding N treatments of N₇₅, N_{112.5} and N₁₅₀. During the whole growing period of wheat, both shoot dry matter and N uptake did not show obvious differences among different N treatments, which were consistent with the results at harvest. Soil N_{min} increased with the application of N fertilizer. From sowing to winter, soil N_{min} significantly increased with the application of basal N fertilizer. After that, N_{min} dramatically declined in all N treatments until shooting stage because of large N uptake from regreening to shooting stage. Then soil N_{min} partly recovered from shooting to harvest. But the N_{min} content in N_{112.5} and N₁₅₀ was much higher than that in N₀ (control) and N₇₅ after harvest. The research on N balance showed that N surplus (apparent N losses) mainly occurred before winter, indicating N losses and/or N immobilization just after N fertilization. After winter season, the apparent N losses in three N treatments kept negative value or near zero, showing the re-mineralization of fertilizer N immobilized into organic fraction. In winter wheat season, total net N mineralization was 47.3 N kg/hm². The apparent N losses were 0.5, 43.8 and 28.5 N kg/hm², or 0.7%, 38.9% and 19.0% of applied N in the treatments of N₇₅, N_{112.5} and N₁₅₀. The results of residual soil N_{min} and apparent N losses showed that the amount of basal fertilizer N should be controlled within 75 N kg/hm² or cancelled in such high fertile soil considering high efficient N use and low N losses.

Key words: high fertile soil; winter wheat; fertilizer N recovery; N balance

文章编号:1000-0933(2002)07-1122-07 中图分类号:S158 文献标识码:A

施用氮肥是农业生产中最重要的增产措施之一,但是氮肥施用不当也可能带来环境污染的风险^[1,2]。综合研究氮肥的产量效应、氮肥利用率以及土壤-作物体系中的氮素平衡,始终是评价氮肥合理施用与否的关键所在。长期以来中国传统农业特别重视基肥的施用,而氮肥基施也是确保作物高产稳产以及培肥地力的重要手段。国内外的许多研究^[3~5,10]表明,氮肥施用时期和数量对作物产量和氮肥利用率有显著的影响。但是,以上研究多集中于中低肥力的土壤上探讨氮肥施用及其去向问题^[6,7],而很少研究高肥力土壤条件下的氮肥效应^[7]。国外尤其是西欧的许多国家,从20世纪80年代以来全面推广应用土壤无机氮(N_{min})测试推荐施用氮肥,即实现了氮肥施用的定量化^[8]。这一方法的最大特点是,按照土壤供氮水平和作物的氮素需求分阶段数据推荐,属于典型“少量多次”推荐模式,正好与国内重基肥或“一炮哄”的模式相反。在华北平原冬前一次大量基施氮肥是否会引起氮素的大量损失,基肥的用量以控制在多少为宜,这些

问题均需要做系统全面的综合研究。本文选择中国农业大学校内试验农场氮素研究基地,利用田间小区试验研究了氮肥基施条件下冬小麦产量、氮肥利用率以及土壤-作物体系中氮素平衡,为科学评价氮肥基施的产量效应及氮肥去向提供科学依据。而对氮肥的土壤转化及剖面中无机氮动态见文献[9]。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于中国农业大学科学园试验农场,包括大田和自动气象站以及渗漏水池 3 个部分。试验点海拔高度为 38.5m,处于东经 119.5°、北纬 39.95°,属于华北平原的北端。该地区属于典型的温带大陆性季风气候带,全年降雨集中在夏季(6~8 月份),多年平均降雨量为 640mm,且年际间变化大,年均气温为 11.5℃,全年无霜期为 269d,全年大于 10℃的积温为 4120℃。冬小麦/夏玉米轮作是该地区主要的粮食种植方式。供试土壤为草甸褐土,其基本理化性质如表 1 所示,按照北京市土壤肥力分级指标该土壤属于典型的高肥力土壤。

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 Some selected properties of tested soil							
土壤层次 Soil layer	质地 Texture	容重 Bulk density (g/cm ³)	pH (H ₂ O)	有机质 O. M. (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	速效磷 Olsen-P (mg/kg)	速效钾 NH ₄ OAc-K (mg/kg)
0~20 cm	中壤土 Medium loam	1.32	8.25	26.7	1.43	41.9	99.5

1.2 试验设计与研究内容

田间小区试验在中国农业大学科学园试验基地进行,试验设 4 个 N 水平,施氮量分别为 0,75,112.5 和 150 kg/hm²(以下简称 N₀,N₇₅,N_{112.5},N₁₅₀)。以普通尿素(含氮 46%)为氮源,所有氮肥均作基肥于播前结合翻耕一次施入土壤。各处理均同时施入三料过磷酸钙 90 kg/hm²(以 P₂O₅ 计)作底肥。每个处理重复 3 次。小区面积为 6m×21m=126 m²,采用随机区组排列。供试作物为冬小麦,品种为农大 101。

试验于 1997 年 10 月 4 日施肥,6 日播种。1997 年 11 月 18 日浇冬前水 75 mm,次年 4 月 16 日浇拔节水 75 mm,1998 年 6 月 10 日收获。

1.3 测定项目及方法

每个试验小区分为动态取样区和收获区两部分,土壤和植物动态样均在取样区中采集,收获区专用于收获计产为非破坏区。土壤无机氮分别于播前、冬前、拔节、扬花及收获期取样测定,采样深度为 0~100 cm,采样均按 20 cm 为 1 层,每小区随机取 3 钻,相同层次的土壤混合为 1 个样。土壤无机氮用 0.01 mol/L 的 CaCl₂ 溶液(水土比 10:1)浸提,三通道流动分析仪(TRAACS2000)同时测定铵态氮和硝态氮的含量。另外,播前和收获后在各处理的部分小区在 0~100 cm 土样基础上加取 100~200 cm 土壤剖面样,用同样的方法测定土壤无机氮的含量。植物动态样与土壤动态样同时取,考虑到小麦属密植作物每区随机取 0.3 m² 小样方(3 个 0.5 m 长的样段混合)代表该区小麦的生长状况,样品烘干后称重计算地上部干物重,粉碎过筛后用常规方法(凯氏法消煮-蒸馏定氮)测定植株含氮量,进而计算植物吸氮量。收获时取 10 m² 样方脱粒烘干计产,并从中抽取部分籽粒和秸秆作为分析样,采用同样方法测定并计算植株吸氮量。

以下简要介绍氮肥利用率及氮平衡的有关概念和计算方法。氮肥利用率是指施入的氮肥被当季作物吸收利用的百分率,采用差值法计算,其公式为:

氮肥利用率(%) = (施氮区吸氮量 - 无氮区吸氮量) / 施氮量 × 100

土壤氮的依存率是指土壤氮对作物氮营养的贡献率,计算公式为:

土壤氮依存率(%) = 无氮区吸氮量 / 施氮区吸氮量 × 100

氮的表观损失则根据氮平衡模型进行计算,即根据氮素输入输出平衡的原理,即:

氮表观损失 = 氮输入 - 作物吸收 - 土壤残留无机氮

而氮输入另加数据,起始无机氮和氮素矿化 3 项,氮输出包括作物吸收、残留无机氮和表观损失 3 项。其中,氮素矿化是根据无氮区作物吸氮量与试验前后土壤无机氮的净变化来加以估计,由于不考虑氮肥的

激发效应,故假定施肥处理的土壤矿化量和无肥区(N_0)相同。因此运用氮平衡模型计算氮表观损失率为:

$$\text{氮肥表观损失率}(\%) = \text{氮表观损失} / \text{施氮量} \times 100$$

而相应的氮肥的土壤残留率则是:

$$\text{氮肥土壤残留率}(\%) = 100 - \text{氮肥利用率} - \text{表观损失率}$$

文中所有试验数据均采用 SAS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 施氮对小麦产量、吸氮量及氮肥利用率的影响

氮素是农业生产中作物最重要的产量限制因子之一,施用氮肥是作物获得高产的重要措施。但随着土壤氮素肥力水平和作物基础产量的不断提高,氮肥的增产效应和合理施用问题一直是关系到农业可持续发展中的关键问题之一。表 2 的结果表明,在高肥力的草甸褐土上基施氮肥对冬小麦的增产效果不明显,所有施氮处理小麦籽粒产量(干物重)在 4400~4450 kg/hm² 之间,每 kg 肥料氮的增产量仅 1.6~2.9 kg,统计分析显示各施氮处理籽粒产量与 N_0 之间的差异未达 5% 的显著水平;小麦的秸秆产量与籽粒产量表现为同样的趋势。但施用氮肥显著促进了收获期小麦地上部对氮素的吸收,不同施肥处理的氮肥利用率为 13.5%~16.0%,随施氮量的提高而略有下降,而小麦对土壤氮的依存率也有类似的趋势(表 2)。氮肥的这种增氮不增产的现象说明,多施的氮肥造成作物对氮素的奢侈吸收并没有产生真正的肥效,这可能与土壤起始无机氮(168~233 kg/hm²)已大大超过作物的氮素需求有关。由此看来,在本试验产量水平下不需施用氮肥或将施氮量控制在 75 kg/hm² 以内即可满足冬小麦对氮素的需求,同时也进一步说明根据土壤无机氮测试进行氮肥推荐的必要性。

为了进一步了解冬小麦生长发育及氮素吸收规律,对冬小麦不同生育阶段地上部的生长和氮素吸收进行了动态监测(图 1)。结果表明,从播种到冬前小麦地上部的生长量较小,一般不超过全生育期的 1/10,但在返青拔节至扬花期以后迅速达到总生物量的 70% 以上,而扬花至收获地上部生物量增加相对较少,不到总生物量的 25%(图 1A)。小麦地上部累计吸氮量的增加趋势与生物量动态基本一致(图 1B),即从返青拔节期起至扬花期急剧增至峰值,往后吸氮量基本持平或略有增加。值得注意的是,不同施氮处理与 N_0 间

表 2 不同施氮水平下小麦产量与氮肥利用率

Table 2 Wheat yield and apparent N recovery as affected by different N applied rates

处 理 Treat- ment	籽粒产量 Grain yield (kg/hm ²)	秸秆产量 Straw yield (kg/hm ²)	总吸氮量 Total N uptake (kg/hm ²)	土壤氮依存率 Soil N dependent rate (%)	氮肥利用率 Apparent N recovery (%)
N_0	4217 a	5310 a	115.9 b	—	—
N_{75}	4433 a	5324 a	127.9 ab	90.6	16.0
$N_{112.5}$	4400 a	5339 a	132.3 a	87.6	14.5
N_{150}	4450 a	5354 a	136.2 a	85.1	13.5

注:同一列数据不同字母间表示差异达 5% 的显著水平。

Note: The values in the same line without same letters show significant difference at 5% level.

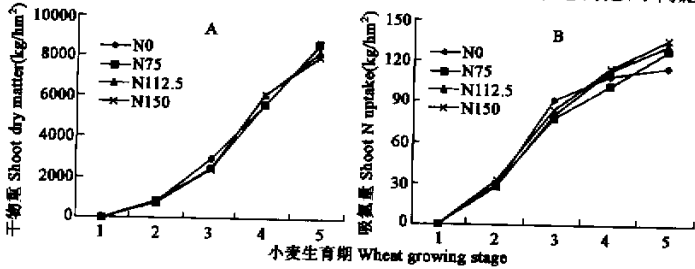


图 1 施氮对小麦地上部生物量和吸氮量动态的影响

Fig. 1 Effect of N rate on dynamics of wheat shoot biomass and its N uptake

图中“1,2,3,4,5”分别代表“播前,冬前,拔节,扬花和收获”5个小麦生育时期(以下同)“1,2,3,4,5” in the figure represent wheat growing stages of “before sowing, before winter, shooting, flowering and harvest” (below is the same)

地上部生物量无显著差异,而吸氮量也仅在收获期差异达 5% 的显著水平。

2.2 施氮对土壤无机氮的影响

土壤无机氮由铵态氮和硝态氮组成,但旱作土壤中铵态氮的变化主要集中在施肥后的两三周内,就整个生育期而言无机氮的变化主要受硝态氮影响^[9]。从图 2 可看出,虽然各处理土壤中其始无机氮累积量有一定的差异,但土壤中无机氮的总量均随施氮量的增加而显著增加。从图中不难看出,从播种到冬前无机氮随施氮量的增加而增加,而从冬前到拔节,无机氮迅速下降,再往后至收获其含量又有所恢复,但处理间尤其是 $N_{112.5}$ 、 N_{150} 与 N_{75} 和 N_0 之间的差异仍然显著。土壤无机氮总量的变化规律与小麦对氮素的吸收基本吻合(图 1B),如在小麦吸氮高峰拔节期土壤无机氮的减少最为明显,而随着作物对氮素需求的下降土壤无机氮呈现累积的趋势。可见,土壤无机氮的动态变化与作物对氮的吸收是密切相关的。

2.3 施氮对土壤-作物体系中氮平衡的影响

根据土壤无机氮和小麦吸氮动态,运用氮平衡模型分别计算了冬小麦不同生育阶段的氮素平衡(表 3)。从表 3 可知,从播种至冬前,作物吸氮较少约 30 kg/hm²,土壤有机氮的净矿化量为 57 kg/hm²,各施氮处理氮素表观损失量高达 60~94 kg/hm²,表明基施的肥料氮在这一阶段出现显著的表现损失(损失+固定),考虑到基施的肥料氮被耕翻进入土壤中,因而这部分氮素可能主要是通过生物固定或粘土矿物固定进入土壤有机氮或固定态铵组分中。从冬前至拔节,随着小麦对氮的大量吸收,土壤无机氮显著下降, N_0 处理土壤出现氮的净固定,固定量达 73 kg/hm²,而施氮处理(除 $N_{112.5}$ 外)氮的表现损失均为负值,表明该阶段一部分被土壤固持的肥料氮重新释放出来。从拔节至扬花,除氮矿化由负值转为相应的正值 70 kg/hm²外,各施氮处理氮平衡状况与前一阶段相似,仍表现为土壤固持的肥料氮重新释放的过程。而从扬花至收获,各处理几乎都处于一个相对稳定的平衡状态,不仅没有明显净矿化或固定,氮的表现损失也相对较低,仅占施氮量的 10%~20%。

表 4 进一步列出了整个生育期土壤-作物体系中的氮素平衡。从表中可知,小麦全生育期土壤氮素的矿化量(47 kg/hm²)加上播前无机氮的数量,土壤自身的供氮量即达 210~280 kg/hm²,这一数量已远高于小麦全生育期的总需氮量(一般为不超过 180 kg/hm²),这也解释了高肥力土壤中氮肥增产效应不明显的问题。而从收获后土壤中残留的无机氮来看,各施氮处理无机氮的残留量仍高达 160~220 kg/hm²,尤其当施氮量为 112.5 和 150 kg/hm² 时土壤残留量显著高于 N_{75} 和 N_0 处理。如此高的残留无机氮特别是硝态氮很容易通过淋洗或反硝化途径损失出土壤-作物体系,造成对环境的危害。

根据氮平衡的计算结果,当施氮量为 75,112.5 和 150 kg/hm² 时,氮的表现损失或表现损失量依次为 0.5,43.8 和 28.5 kg/hm²,相应的表现损失率为 0.7%,38.9% 和 19.0%。而根据氮肥利用率和表现损失率的数据,即可算出各氮肥处理相应的土壤残留率为 83.3%,46.6% 和 67.5%。可见在高肥力土壤,尤其是土壤起始无机氮含量较高的条件下,氮肥一次施用的数量不宜超过 75 kg/hm²,否则即可引起氮肥表现损失或土壤残留的显著增加。因此,从提高氮肥利用率、减少氮素损失的角度而言在高肥力土壤上应避免氮肥作基肥“一炮轰”的策略。需要指出的是,本试验各处理起始无机氮的存在一定的差异(图 2 及表 4),这种与前茬作物的生长及施肥管理有关的差异无疑会对氮平衡的计算产生一定的影响(主要体现在矿化和表现损失上)。但考虑到氮肥的后效往往较低这一事实,有充分的理由认为上述差异不会影响冬小麦整个生育期氮平衡的计算结果。当然,要准确评估作物生长期土壤氮素的矿化及其损失则有待于¹⁵N 示踪技术的采用。

万方数据

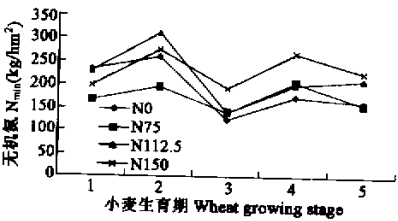


图 2 施氮对 0~1 米土壤中无机氮动态的影响

Fig. 2 Effect of N rate on N_{min} content in 0~1m soil layer

表 3 小麦不同生育阶段的氮素平衡

Table 3 N balance at different wheat growing stages					
项 目 Items		N ₀	N ₇₅	N _{112.5}	N ₁₅₀
播种-冬前 From sowing to winter					
N 素输入 N input	施氮量 N fertilizer	0	75	112.5	150
	起始无机氮 Initial N _{min}	233.1	167.5	230.4	198.0
	净矿化 Net Mineralization	56.9	56.9	56.9	56.9
N 素输出 N output	小麦吸氮量 N uptake	29.3	29.7	27.9	33.1
	残留无机氮 Residual N _{min}	260.7	197.4	312.0	277.6
	氮表观损失 N surplus	0	72.3	59.9	94.2
冬前-拔节 From winter to shooting					
N 素输入 N input	施氮量 N fertilizer	0	0	0	0
	起始无机氮 Initial N _{min}	260.7	197.4	312.0	277.6
	净矿化 Net Mineralization	−73.4	−73.4	−73.4	−73.4
N 素输出 N output	小麦吸氮量 N uptake	62.3	48.8	53.0	51.3
	残留无机氮 Residual N _{min}	125.0	140.9	142.1	195.5
	氮表观损失 N surplus	0	−65.7	43.5	−42.6
拔节-扬花 From shooting to flowering					
N 素输入 N input	施氮量 N fertilizer	0	0	0	0
	起始无机氮 Initial N _{min}	125.0	140.9	142.1	195.5
	净矿化 Net Mineralization	70.5	70.5	70.5	70.5
N 素输出 N output	小麦吸氮量 N uptake	18.1	24.0	32.4	30.9
	残留无机氮 Residual N _{min}	177.4	207.9	202.5	270.8
	氮表观损失 N surplus	0	−20.5	−22.3	−35.7
扬花-收获 From flowering to harvest					
N 素输入 N input	施氮量 N fertilizer	0	0	0	0
	起始无机氮 Initial N _{min}	177.4	207.9	202.5	270.8
	净矿化 Net Mineralization	−6.7	−6.7	−6.7	−6.7
N 素输出 N output	小麦吸氮量 N uptake	6.2	25.4	18.8	20.9
	残留无机氮 Residual N _{min}	164.5	161.4	214.1	230.6
	氮表观损失 N surplus	0	14.4	−37.1	12.6

表 4 小麦全生育期的氮素平衡(kg/hm²)

Table 4 N balance during the whole wheat season				
项 目 Items	N ₀	N ₇₅	N _{112.5}	N ₁₅₀
氮输入 N input				
施氮量 N fertilizer	0	75	112.5	150
播前无机氮 Nmin before sowing	233.1	167.5	230.4	198.0
净矿化 Net mineralization	47.3	47.3	47.3	47.3
总量 Sum	280.4	289.8	390.2	395.3
氮输出(=氮输入) N output(=N input)				
小麦收获携走 N removal by harvest	115.9	127.9	132.3	136.2
残留无机氮 Nmin after harvest	164.5	161.4	214.1	230.6
氮表观损失 N surplus	0	0.5	43.8	28.5
总量 Sum	280.4	289.8	390.2	395.3

3 讨 论

高肥力土壤是长期大量施用有机肥和化肥培育起来的,在我国农田中所占面积约为整个农田面积的三分之一,它是保证我国粮食生产再上台阶的重要耕地资源。充分利用这类土壤养分资源,优化并节省化肥特别是氮肥无疑具有非常重要的战略意义。本试验结果表明,高肥力土壤上氮肥不基施或适当降低基肥用量并不影响冬小麦的产量,对作物吸氮量的影响也相对有限(表 2),而相应地氮素表观损失的数量可以降低至相当低水平数据

近十余年来,国外推荐施肥的一个重要方向是通过施肥调控将土壤中有效养分的含量控制在一个适

量水平,既保证较高产量又不至于引起环境污染的风险^[10]。而氮肥合理使用与否,除了氮肥的增产效果外,主要反映在土壤中残留无机氮的高低上。欧美的许多国家对此均有十分严格的规定,一般要求 0~90 cm 土体中残留硝态氮低于 45 kg/hm² 或无机氮不高于 50 kg/hm²^[11]。从本试验中可以看出,受土壤起始无机氮高的影响小麦收获后土壤中残留的无机氮仍保持较高水平,特别是当氮肥用量超过 75 kg/hm² 后土壤中残留无机氮的数量仍保持在 210 kg/hm² 以上,远远超出国外 50 kg/hm² 的环境可承受值(表 5)。即使考虑到在中国北方地区实行冬小麦/夏玉米轮作,土壤中无机氮的适当残留有利于下季作物的吸收利用,但残留量不宜超过 100 kg/hm²。由此可见,适当降低氮肥用量寻找土壤-肥料氮最佳供应值可能是提高氮肥利用率、减少氮素损失的关键。根据 Wehrmann 等人^[8]的研究,冬小麦的施氮原则是冬前不施基肥,返青至收获土壤供氮量(无机氮和肥料氮)应控制在 200 kg/hm² 左右。另外,在北京另一个试验点的田间试验结果¹⁾也表明,在高肥力土壤上不施基肥,土壤无机氮和肥料氮总量为 180~210 kg/hm² 条件下小麦可获得接近 6000 kg/hm² 的干物质产量。根据以上结果可以推断,在高肥力土壤上冬小麦季大大降低基肥氮的用量甚至不施基肥是完全可行的。

参考文献

[1] Zhu Z L(朱兆良). Loss of fertilizer N from Plants-soil system and the strategies and techniques for its reduction. *Soil and Environmental Sciences*(in Chinese)(土壤与环境), 2000, **9**(1):1~6.

[2] Cui Y T(崔玉亭), Chen X(程序), Han C R(韩纯儒), *et al.* The economic and ecological satisfactory amount of nitrogen fertilizer using on rice in Tai Lake watershed. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 2000, **20**(4):659~662.

[3] Liu R G(刘荣根), Wu M J(吴梅菊), Zhou M(周敏), *et al.* Effect of different amounts of fertilizer N and its distribution on the growth and yield of wheat. *Turang Feiliao*(in Chinese)(土壤肥料), 1999, (2):1~4.

[4] Zhang X(张翔), Zhu H X(朱烘勋), Sun C H(孙春河), *et al.* A study using ¹⁵N technique on nitrogen application system in winter wheat in low-midium yield region. *Chinese Journal of Soil Science*(in Chinese)(土壤通报), 1999, **30**(5):224~226.

[5] Zhang S L(张绍林), Zhu Z L(朱兆良), Xu Y H(许银华), *et al.* The transformation of urea and the fate of fertilizer nitrogen in Fluvo-Aquic soil-winter wheat system in Flooded Plain of Huanghe River. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*(in Chinese)(核农学报), 1989, **3**(1):9~15.

[6] Timmons D R and Cruse R M. Residual nitrogen-15 recovery by corn as influenced by tillage and fertilization method. *Agron. J.*, 1991, **83**(2):357~363.

[7] Jie X L(介晓磊), Han Y L(韩燕来), Tan J F(谭金芳), *et al.* Studies on use efficiency of fertilizer nitrogen in wheat field with different soil fertilities and soil textures. *Acta Agronomic Sinica*(in Chinese)(作物学报), 1998, **24**(6):884~888.

[8] Wehrmann J and Scharpf H C. The N_{min}-method; an aid to integrating various objectives of nitrogen fertilization. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.*, 1986, **149**(3):428~440.

[9] Liu X J(刘学军), Ju X T(巨晓棠), Zhang F S(张福锁). Effect of urea application as basal fertilizer on inorganic nitrogen in soil profile. *Journal of China Agricultural University*(in Chinese)(中国农业大学学报), 2001, **7**(5):63~68.

[10] Raun W R, Johnson G V, and Westerman R L. Fertilizer nitrogen recovery in long-term continuous winter wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1999, **63**(4):645~650.

[11] van der Ploeg R R, Ringe H, Machulla G, *et al.* Postwar nitrogen use efficiency in West Germany agriculture and groundwater quality. *J. Environ. Qual.*, 1997, **26**(6):1203~1212.

¹⁾刘学军,等. Nitrogen recommendation of winter wheat using N_{min} and rapid plant tests in North China Plain. 未发表资料