植物营养与肥料学报 2006,12(4):466-472
Plant Nutrition and Fertilizer Science

施氮量对土壤无机氮分布和微生物量氮含量及小麦产量的影响

赵俊晔[1,2], 于振文[1*], 李延奇[3], 王 雪[3]
(1 山东农业大学农业部小麦栽培生理与遗传改良重点开放实验室,山东泰安 271018;
2 中国农业科学院农业信息研究所,北京 100081; 3 山东省龙口市农业技术推广中心,山东龙口 265701)

摘要:在高肥力土壤条件下,研究了施氮量对土壤无机氮分布和微生物量氮含量及小麦产量的影响。结果表明,小麦生长期间,施氮处理 0—100 cm 土层硝态氮积累量显著大于不施氮处理;当施氮量大于 150 kg/hm^2 时,随施氮量增加,0—100 cm 土层硝态氮积累量显著增加;随小麦生育进程推进,施氮处理上层土壤硝态氮下移趋势明显,至小麦成熟时,施氮 195 ~285 kg/hm^2 处理 60—100 cm 土层硝态氮含量显著大于其它处理。小麦生长期间,0—100 cm 土层铵态氮积累量较为稳定,施氮处理间亦无显著差异。与不施氮肥相比,施氮提高小麦生长期间 0—40 cm 土层土壤微生物量氮含量;当施氮量小于 240 kg/hm^2 时,随施氮量增加,土壤微生物量氮含量增加。小麦的氮肥利用率随施氮量增加而降低;施氮 105 ~195 kg/hm^2,收获时小麦植株吸氮量、生物产量、子粒产量和子粒蛋白质含量提高;而施氮量大于 240 kg/hm^2 时,小麦生育后期的氮素积累量降低,收获时植株吸氮量、生物产量和子粒蛋白质含量降低。说明本试验条件下,施氮 105 ~150 kg/hm^2 可满足当季小麦氮素吸收利用,获得较高的子粒产量和蛋白质含量。继续增加施氮量,土壤微生物量氮含量增加,但土壤中残留大量硝态氮,易淋溶损失。

关键词:小麦;施氮量;土壤无机氮;土壤微生物量氮;氮素吸收利用
中图分类号:S512　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2006)04-0466-08

Effects of nitrogen application rate on soil inorganic nitrogen distribution, microbial biomass nitrogen content and yield of wheat

ZHAO Jun-ye[1,2], YU Zhen-wen[1*], LI Yan-qi[3], WANG Xue[3]
(*1 Key Lab. of Wheat Physiology and Genetics Improvement, MOA, Shandong Agric. Univ., Taian 271018, China;*
2 The Inst. of Agric. Information, CAAS, Beijing 100081, China;
3 Center of Agricultural Technique Extension of Longkou City, Longkou, Shandong 265701, China)

Abstract: Nitrogen plays an important role in grain yield elevation. In order to obtain high grain yield and efficient nitrogen utilization and reduce the possible environmental effects, it is essential to determine the appropriate nitrogen application rate, especially on high fertile soil. A research was conducted to determine the effects of nitrogen application rate on soil in organic nitrogen distribution, microbial biomass nitrogen content, nitrogen uptake and utilization in wheat. The field experiments were carried out on a high fertile soil in Longkou, Shandong, during 2002—2003. Seven treatments (CK1, CK2, N1, N2, N3, N4, N5) with N application rate being 0, 0, 105, 150, 195, 240, 285 kg/ha was setup. Apart from CK1, 135 kg P_2O_5 and 105 kg K_2O per ha was addressed before sowing for the other treatments. The content of nitrate, ammonium and microbial biomass nitrogen in soil, the nitrogen uptake of plant during wheat growing, and the grain yield and the protein content of wheat were analyzed. The results showed, during wheat growing, the amount of nitrate accumulation in 0—100 cm soil layers of treatments with nitrogen addition was dramatically larger than that without nitrogen addition. When nitrogen application rate was higher than 150 kg/ha, the amount of nitrate accumulation in 0—100 cm soil layers increased significantly along with nitrogen addition increasing. Nitrate in upper soil layers with nitrogen treatments moved down obviously with the progression of growing; as the result, at maturity stage, the nitrate content in 60—100 cm soil layers of treatments applied nitrogen at the rate of 195—285 kg/ha was dramatically higher than that of

收稿日期:2005-04-11　　**修改稿收到日期**:2005-07-07
基金项目:国家自然科学基金项目(30471026);"十五"国家科技攻关项目(2002BA516A12)资助。
作者简介:赵俊晔(1978—),女,山东齐河人,博士,从事农业信息分析和小麦生理生态研究工作。*通讯作者。

other treatments. During period of wheat growing, the amount of ammonium accumulated in 0—100 cm soil layers showed no obvious change, and no significant difference was found among treatments with nitrogen supplied. Compared with treatments no nitrogen applied, application of nitrogen increased the content of soil microbial biomass nitrogen in 0—40 cm soil layers during wheat growing. With less than 240 kg/ha nitrogen applied, the content of soil microbial biomass nitrogen increased along with nitrogen addition increasing. With nitrogen addition increasing, nitrogen using efficiency of wheat decreased. Supply nitrogen at the rate of 105—195 kg/ha elevated the nitrogen uptake amount, biomass, grain yield and protein content of wheat at harvest. With more than 240 kg/ha nitrogen supplied, the nitrogen accumulation rate at later growing period, the nitrogen uptake rate at harvest, biomass and grain protein content decreased. The results indicated, nitrogen applied at the rate of 105—150 kg/ha could meet the need of wheat on the current growing season to obtain high grain yield and protein content. Applying more nitrogen would increase the content of soil microbial biomass nitrogen, but might result in large amount of nitrate residue in soil and suspected to leaching loss.

Key words: wheat; nitrogen rate; soil inorganic nitrogen; soil microbial biomass nitrogen; nitrogen uptake and utilization

近年来，高产田中过量使用氮肥的现象较为普遍，我国小麦的氮肥利用率仅为 28%～41%[1]。氮肥利用率低，不仅浪费大量养分，而且残留在土壤中的氮素成为水体和大气污染的重要来源，影响生态环境。土壤中的无机态氮主要以硝态氮和铵态氮的形式存在，是小麦氮素吸收利用的主要形态。关于施氮量对小麦收获后土壤中无机态氮，尤其是硝态氮残留的影响有较多研究[3-5]，但高土壤肥力条件下，施氮量对小麦生长期间土壤硝态氮、铵态氮分布的影响报道较少。

土壤微生物体所含的氮素（Soil microbial biomass nitrogen，SMBN，简称土壤微生物量氮）占土壤全氮的 0.5%～15.3%[6]，其含量是土壤微生物对氮素矿化与固持作用的综合反映。Bonde 和 Myrold 等研究认为，土壤易矿化氮主要来自土壤微生物对氮的释放[7-8]，土壤微生物量氮的有效性与土壤无机态氮相近，是作物吸收氮素的有效来源[9]。土壤微生物量氮的基础含量能够反映土壤肥力状况和土壤供氮水平[10]；土壤微生物对小麦生育前期施入氮素的固持，有可能在小麦生育后期释放出来供作物利用[11]。但在高产地力条件下，施氮量对小麦生长期间土壤微生物量氮含量变化的影响，还有待于进一步研究。

高产条件下，在保证产量和品质的同时，如何进行氮肥的优化管理，实现较高的氮肥利用率，并保护生态环境，是小麦生产中一个亟待解决的问题。为此，开展了高产地力条件下，施氮量对小麦不同生育时期土壤硝态氮、铵态氮的分布和土壤微生物量氮含量变化及对小麦产量影响的研究，旨在为小麦高产优质高效低污染生产的氮肥决策提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验设计

田间试验于 2002～2003 年度在山东省龙口市前诸留村高产田进行。试验地土壤为棕壤，小麦播种前，0—20 cm、20—40 cm 土层土壤有机质含量分别为 1.45、0.78 g/kg，全氮 0.111、0.06 g/kg，碱解氮 102.78、66.25 mg/kg，土壤微生物量氮 11.27、6.52 mg/kg，速效磷 33.81、6.13 mg/kg；速效钾 142.4、91.7 mg/kg。0—20、20—40、40—60、60—80、80—100 cm 土层硝态氮累积量分别为 49.00、45.38、45.87、44.07、71.32 kg/hm^2，铵态氮累积量分别为 11.08、8.18、8.93、5.26、5.62 kg/hm^2。品种选用高产强筋小麦济麦 20。当地小麦高产田施肥量为每公顷施 N 240 kg、P_2O_5 135 kg 和 K_2O 105 kg。小麦生育期间降水量：播种至冬前期 56.7 mm，冬前至起身期 60.3 mm，起身至拔节期 39.4 mm，拔节至成熟期 118.8 mm。

试验设 2 个对照：1）CK1，不施氮、磷、钾肥；2）CK2，不施氮肥，施磷肥 P_2O_5 135 kg/hm^2，钾肥 K_2O 105 kg/hm^2。5 个氮肥处理为施 N 105、150、195、240、285 kg/hm^2，分别以 N1、N2、N3、N4、N5 表示，磷、钾肥施用量同 CK2。随机区组设计，3 次重复，小区面积 3 m×8 m＝24 m^2。氮肥施用尿素（N 46%），磷肥为过磷酸钙（P_2O_5 17%），钾肥为氯化钾（K_2O 60%）。播种前氮肥总量的 1/2、全部磷肥和钾肥均匀撒于小区后翻入地下，余下 1/2 氮肥于拔节期结合浇水开沟施入（4 月 7 日）。播种前前茬玉米秸秆全部翻压还田。2002 年 10 月 8 日播种，播种后浇底墒水。小麦全生育期共灌水 4 次，包括底墒水（10 月 9 日）、

冬水(12月15日)、拔节水(4月10日)、灌浆水(5月30日),每次灌水量为600 m^3/hm^2,基本苗120株/m^2。

在小麦生长的冬前(12月8日)、起身(3月27日)、拔节(4月20日)和成熟(6月18日)期分别在不同处理各小区中按对角线布2个取样点,共3次重复,按20 cm一层分5层取0—100 cm土样,分层进行混合,用于测定土壤硝态氮和铵态氮含量,并测定0—20 cm、20—40 cm土层土壤微生物量氮含量。

1.2 调查测定项目与方法

在小麦生长冬前、起身、拔节、开花和成熟各时期调查群体并取地上部植株样,每小区取0.4 m样段,样品70 ℃烘至恒重,用于测定小麦植株氮素含量。小麦成熟期实收计产。

植株样品全氮含量采用浓硫酸—双氧水消煮,半微量凯氏定氮法测定;子粒蛋白质含量(%)=子粒氮素含量(%)×5.7。

土壤硝态氮、铵态氮含量测定:称取相当于10 g烘干土的新鲜土样(过2 mm筛)3份,2 mol/L KCl溶液浸提(液:土=5:1),振荡30 min,过滤后紫外分光光度法(210 nm比色)测定浸提液中硝态氮含量,靛酚蓝比色法测定浸提液中铵态氮含量[12]。

土壤微生物量氮含量测定:采用氯仿熏蒸灭菌—K_2SO_4浸提法[12]。称取相当于25 g烘干土的新鲜土样(过5 mm筛)3份,放入真空干燥器内,同时放入盛有无醇氯仿的烧杯,抽真空使氯仿沸腾5 min,于25 ℃下24 h后,取出烧杯反复抽真空以排除氯仿,然后加入0.5 mol/L K_2SO_4(液:土=4:1),振荡30 min,过滤后用开氏定氮法测定浸提液氮素含量。对于未灭菌的土壤同样按上述方法进行提取,并测定浸提液中氮素含量。

土壤微生物量氮含量(mg/kg)=2.22×[灭菌土壤提取液中氮含量(mg/kg)-未灭菌土壤提取液中的氮含量(mg/kg)]。

土壤硝态氮(铵态氮)积累量=土层厚度(cm)×土壤容重(g/cm^3)×土壤硝态氮(铵态氮)含量(mg/kg)/10。

植株吸氮量(Nitrogen uptake amount, NUA)(kg/hm^2)=地上部分植株生物量(kg/hm^2)×地上部分植株氮素含量(g/kg)/1000。

氮肥利用率(Nitrogen using efficiency, NUE)(%)=(施氮处理吸氮量-CK2处理吸氮量)×100/施氮量(kg/hm^2)。

数据差异显著性检验采用SPSS统计分析软件,部分作图采用Originpro 7.0软件。

2 结果与分析

2.1 施氮量对小麦不同生育时期0—100 cm土层硝态氮积累和分布的影响

施氮显著影响0—100 cm土层硝态氮积累量(图1)。从冬前至小麦成熟期,施氮处理的土壤硝态氮积累量均显著大于不施氮肥的处理;施氮量由105 kg/hm^2增至150 kg/hm^2,土壤硝态氮积累量没有显著变化;当施氮量大于150 kg/hm^2时,随施氮量增加,土壤硝态氮积累量显著提高。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,氮素淋洗损失的威胁增大。

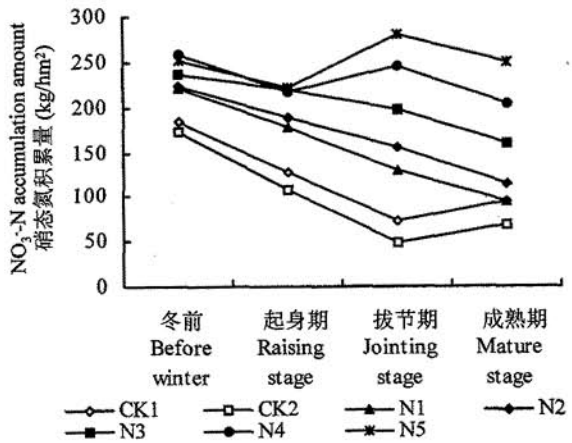

图1 小麦不同生育时期0—100 cm土层硝态氮积累量

Fig.1 NO_3^--N accumulation in 0—100 cm soil layers at different growth stage of wheat

由图2可以看出,随小麦生育进程推进,不施氮处理土壤剖面各土层硝态氮积累量逐渐降低,而施氮较多的处理,上层土壤硝态氮呈明显的下移趋势。

冬前期,施氮处理0—40 cm土层硝态氮含量大于不施氮的处理,以0—20 cm土层差异最为显著;60—100 cm土层处理间无显著差异,说明此时期基施氮肥未影响到下层土壤硝态氮含量变化。

起身期,与冬前相比,0—20 cm土层各处理硝态氮含量降低,处理间差异变小;20—80 cm各土层施氮处理硝态氮含量增加,处理间差异变大;80—100 cm土层,无显著变化。从冬前到起身期,基施氮肥不断下移,这主要与浇冬水及越冬期降水较多有关;同时此时期小麦植株营养体小,需氮量少,吸氮能力低,亦是土壤硝态氮向下移动的原因之一。

拔节期,由于追施氮肥,施氮处理0—40 cm土

层的硝态氮含量显著增加，处理间差异变大，80—100 cm 土层硝态氮含量处理间差异显著。与起身期相比，施氮量小于 150 kg/hm² 的各处理 80—100 cm 土层的硝态氮含量降低，而 N3、N4、N5 处理的硝态氮含量提高，说明这几个处理的硝态氮已下移至该层次。此时期，施氮处理 0—100 cm 土体内各土层硝态氮含量均在较高水平，一方面利于小麦各层根系的吸收，一方面增加了硝态氮淋洗损失的可能。

成熟期，0—20 cm 土层处理间土壤硝态氮含量差异变小。20—60 cm 土层，N4、N5 处理的土壤硝态氮含量高于其他处理，其他处理间无显著差异；60—100 cm 土层，各处理硝态氮含量差异变大，N3、N4、N5 处理的硝态氮含量显著大于其它处理，高氮处理 20—100 cm 土层的硝态氮含量均较高，如遇较大降水或灌溉，下层硝态氮易淋溶损失。

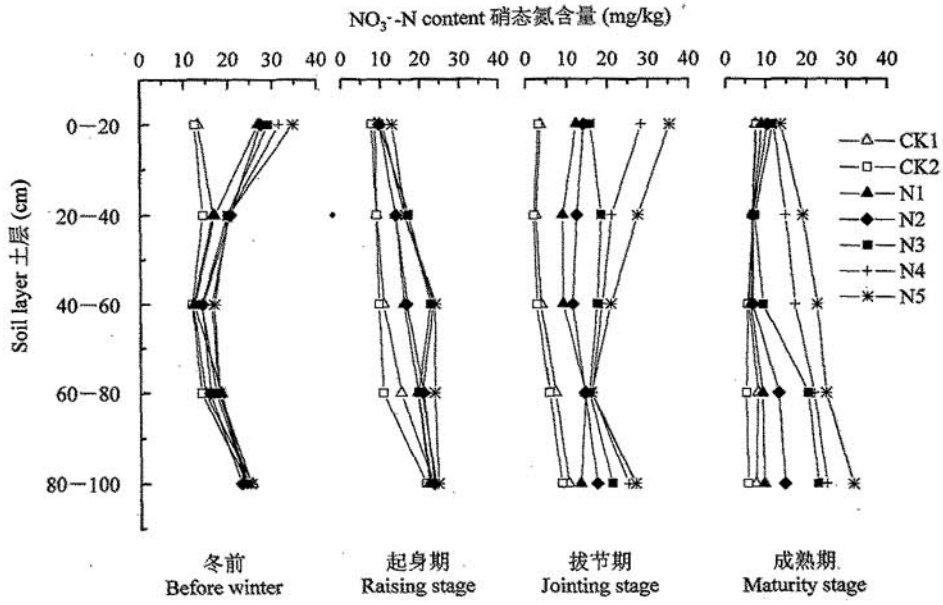

图 2　小麦不同生育时期 0—100 cm 土层硝态氮含量

Fig.2　The content of NO_3^--N in 0—100 cm soil layers at different growth stage of wheat

2.2　施氮量对小麦不同生育时期 0—100 cm 土层铵态氮积累的影响

从冬前至小麦成熟期，0—100 cm 土层铵态氮积累量在 33.08～46.40 kg/hm² 之间，除拔节期因追施氮肥，铵态氮积累量高于其它时期外，其它生育时期，土壤铵态氮含量无显著变化，施氮处理间亦无显著差异(表 1)。

2.3　施氮量对小麦不同生育时期 0—40 cm 土层土壤微生物量氮含量变化的影响

图 3 表明，冬前至起身期，0—20 cm 土层 CK1、CK2 处理的土壤微生物量氮含量无显著变化；随小麦生育进程推进，从起身期至拔节期则显著增加，之后保持相对稳定。N1、N2、N3 处理的微生物量氮含量从冬前至起身期降低，到拔节期显著增加，之后又下降；施氮量较大的 N4、N5 处理从冬前至拔节期逐渐增加，拔节期至成熟期则下降。20—40 cm 土层，不施氮处理 CK1、CK2 的土壤微生物量氮含量在冬前至起身期保持稳定，而后略有下降，施氮处理在冬前至起身期增加，之后亦呈下降趋势。

表 1　不同生育时期 0—100 cm 土层铵态氮积累量 (kg/hm²)

Table 1　NH_4^+-N accumulation in 0—100 cm soil layers at different growth stage of wheat

处理 Treatments	冬前 Before winter	起身期 Raising stage	拔节期 Jointing stage	成熟期 Mature stage
CK1	35.79 a	34.58 a	36.97 b	33.71 b
CK2	35.80 a	34.61 a	35.05 b	33.08 b
N1	35.01 a	35.94 a	38.29 ab	35.50 a
N2	36.57 a	36.95 a	37.09 ab	36.12 a
N3	35.89 a	35.73 a	40.11 a	36.14 a
N4	36.42 a	34.47 a	43.68 a	37.42 a
N5	37.72 a	37.23 a	46.40 a	36.59 a

注：不同字母表示差异达 5% 显著水平，下同。

Note: Different letters mean significant at 5% level, same as follows.

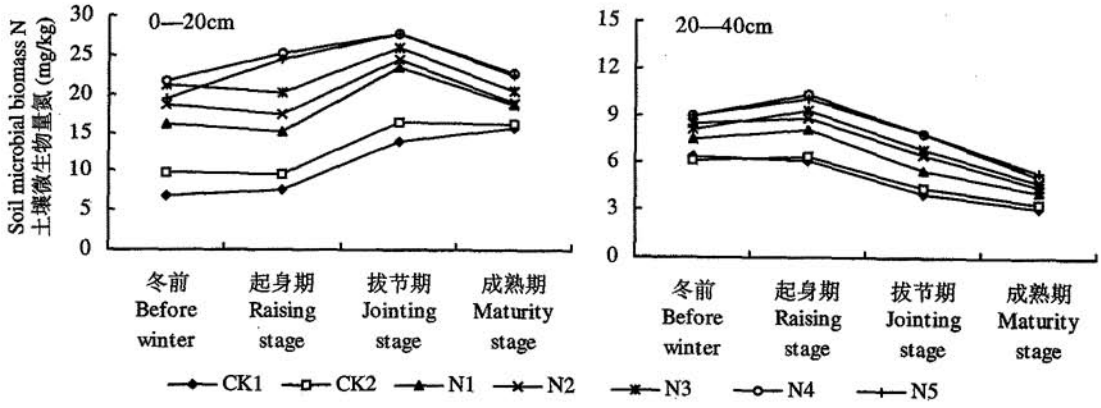

图3 小麦不同生育时期0—40 cm土层土壤微生物量氮含量

Fig.3 The content of soil MBN in 0—40 cm soil layers at different growth stage of wheat

图3还看出,在小麦各生育时期,0—20、20—40 cm土层,施氮处理的土壤微生物量氮含量显著大于不施氮的处理;当施氮量小于240 kg/hm² 时,随施氮量增加,土壤微生物量氮含量增加,N4、N5处理间则无显著差异,与0—20 cm土层相比,20—40 cm土层土壤微生物量氮含量较低,处理间差异较小。

2.4 施氮量对不同生育阶段小麦氮素吸收积累的影响

施氮量对小麦氮素吸收积累的影响存在阶段性差异。表2看出,施氮量增加有利于提高冬前小麦氮素积累量;起身至成熟期,当施氮量大于150 kg/hm²时,增加施氮量植株氮素积累量未表现显著增加,但施氮量大于240 kg/hm² 时,施氮量增加显著降低植株的氮素积累量。说明高土壤肥力条件下,适量施氮能够促进植株对氮素的吸收,施氮量过高,小麦生长初期氮素积累量虽有增加,但是不利于后期植株氮素吸收。

表2 施氮量对小麦不同生育阶段氮素积累量的影响 (kg/hm²)

Table 2 Effect of nitrogen application rate on nitrogen accumulation amount of wheat during different growth stage

处理 Treatments	出苗至冬前 Emerging to BW[1)]	冬前至起身 BW to Raising	起身至拔节 Raising to jointing	拔节至开花 Jointing to anthesis	开花至成熟 Anthesis to mature
CK1	14.459 c	42.768 a	78.758 c	58.837 c	58.263 c
CK2	16.072 bc	43.962 a	82.782 c	57.471 c	58.804 c
N1	17.407 b	44.400 a	85.166 b	65.521 b	70.329 b
N2	17.455 b	44.281 a	86.332 a	70.211 a	76.771 ab
N3	17.375 b	44.972 a	85.370 a	69.477 a	80.221 a
N4	21.144 ab	43.979 a	86.669 a	67.758 ab	76.214 ab
N5	22.602 a	44.704 a	84.560 b	67.198 b	72.621 b

1) BW—Before winter

2.5 施氮量对小麦产量和氮肥利用率的影响

表3示出,与CK1相比,CK2的生物产量、子粒产量和子粒蛋白质含量显著增加。与CK2相比,N1、N2、N3处理的子粒产量和N1、N2、N3、N4的生物产量显著提高,而N4、N5处理的子粒产量和N5处理的生物产量无显著提高。与不施氮肥相比,施氮处理的子粒蛋白质含量显著提高;当施氮量小于195 kg/hm² 时,随施氮量增加,子粒蛋白质含量提高,当施氮量大于240 kg/hm² 时,继续增加施氮量,子粒蛋白质含量降低。说明本试验条件下,当施氮量为105～195 kg/hm² 时,施氮可显著提高小麦的生物产量、子粒产量和子粒蛋白质含量,当施氮量大于240 kg/hm² 时,继续施氮对小麦的生物产量和子粒产量没有显著促进效应,子粒蛋白质含量也趋于降低。

施氮处理比不施氮处理植株吸氮量均有提高,

表 3　施氮量对小麦子粒产量、蛋白质含量和氮肥利用率的影响

Table 3　Effect of nitrogen fertilizer rate on yield, protein content, and nitrogen uptake, utilization of wheat

处理 Treatments	生物产量(kg/hm²) Biomass	子粒产量(kg/hm²) Kernel yield	蛋白质含量(%) Protein content	吸氮量(kg/hm²) NUA	氮肥利用率(%) NUE
CK1	16941.48 c	8200.00 d	13.68 c	257.47 b	
CK2	17323.00 b	8526.67 c	13.87 c	262.82 b	
N1	18235.43 a	8806.67 a	14.11 b	275.87 ab	12.43
N2	18768.50 a	8796.67 b	14.22 ab	280.06 a	11.49
N3	18642.83 a	8706.67 b	14.30 a	283.18 a	10.44
N4	18386.26 a	8576.67 c	14.28 a	281.88 a	7.94
N5	17909.32 ab	8536.67 c	14.12 b	270.83 ab	2.81

但是施氮处理间差异未达显著水平；且 N5 处理有减少的趋势。随施氮量增加，氮肥利用率降低(表 3)。

3　讨论

施用氮肥是小麦生产中提高产量、改善品质的重要措施。在本试验中，土壤基础供氮水平高，施用氮肥提高小麦子粒产量和子粒蛋白质含量的幅度分别仅为 3.28% 和 3.10%，氮肥利用率仅为 2.81%～12.43%，说明施入的氮肥多数未被小麦植株吸收利用。

硝态氮和铵态氮是作物吸收利用氮素的主要形态。小麦生长期间，土壤剖面铵态氮积累量一直保持较低水平，几乎不受施氮量影响[3]；随施氮量增加，剖面硝态氮含量增加，过量施氮使硝态氮在土壤剖面大量积累并下移。一般认为，当施氮量小于最高产量所需施氮量时，收获后土壤中不会积累大量无机氮。Raun 和 Johnson[13-14]发现，只有无机氮超过土壤-作物缓冲能力，土壤无机氮才会显著积累；李志宏[15]的研究也认为，土壤开始明显积累无机氮时的施氮量高于最佳产量施氮量。本试验中，施氮 105 kg/hm² 的处理得到最高子粒产量；施氮 150、195、240 kg/hm² 的 3 个处理植株吸氮量最多；当施氮量大于 150 kg/hm² 时，随施氮量增加土壤中硝态氮积累量显著增加。可以认为，作为土壤氮素的主要去向之一，当小麦植株吸氮量不再显著增加时，土壤剖面硝态氮开始大量积累，并趋于下移。

据报道，高产条件下，受多年施肥的影响，不施氮肥的处理在冬小麦播种到拔节期，土壤氮素的供应量也过大[16]。本试验中，小麦播种前，0—100 cm 土层剖面无机氮积累量为 291.70 kg/hm²，播前施入的氮肥虽显著增加了土壤中的硝态氮含量，提高了土壤的供氮能力，小麦出苗至冬前期的氮素积累量亦有所提高，但对冬前至起身期的植株氮素积累量无显著影响；加之小麦起身前，氮素吸收能力较低，所以此时期土壤氮素供应能力的提高对小麦氮素吸收无显著影响。小麦起身后，植株氮素吸收强度加大，不施氮肥的处理，土壤剖面硝态氮积累量显著低于施氮处理，土壤供氮能力较弱，使得氮素吸收积累量亦较低。拔节期，适量施入氮肥(105～150 kg/hm²)可有效地促进小麦植株对氮素的吸收积累，而土壤硝态氮不至于积累过多。表明在土壤基础供氮水平较高时，可少施或不施基肥氮，既保证小麦生长发育，又减少播种至拔节期间土壤中硝态氮的积累和淋失。

土壤微生物量氮含量与土壤供氮状况密切相关。有研究认为，种植前土壤微生物量氮含量与小麦的生物量、吸氮量显著正相关，可以作为土壤供氮能力的一个指标[17-18]；同时增强微生物对无机氮的固持也是减少氮肥损失的有效途径[19]。洛桑试验站的长期肥料定位试验[20]表明，施用无机氮肥未增加土壤微生物量氮含量；而李世清[21]的研究认为，连续施用氮肥可显著增加 0—20 cm 土层土壤微生物量氮含量；庞欣[22]的研究表明，正常施氮处理根际和非根际土壤的微生物量氮含量都大于高氮大于缺氮处理。本研究结果看出，在小麦不同生育时期，施氮处理 0—40 cm 土层的土壤微生物量氮含量均显著大于不施氮的处理；随施氮量增加，土壤微生物量氮含量呈增加趋势。说明本试验条件下，施氮促进微生物对氮素的固持，提高土壤氮素的生物有效性，并在一定程度上减少土壤氮素损失。这可能

与本试验用地多年秸秆还田，小麦播种前前茬玉米秸秆翻压还田增加了土壤中高 C/N 的有机物料有关[23-24]。本结果还看出，土壤微生物量氮含量的增加不与施氮量的增加呈线性相关，当施氮量过大(285 kg/hm^2)时，土壤微生物量氮含量不再显著增加，这是因为过量施氮不利于微生物对氮素的固定还是因为土壤微生物体承载容量有限，其原因还有待研究。本试验的土壤基础肥力较高，在不同土壤肥力条件下，获得小麦高产优质和氮肥高效利用的施氮量及其理论基础，有待于进一步研究。

参考文献：

[1] 朱兆良，文启孝．中国土壤氮素[M]．南京：江苏科技出版社，1992.

Zhu Z L, Wen Q X. Soil nitrogen of China [M]. Nanjing: Jiangsu Sci. and Tech. Press, 1992.

[2] 刘学军，巨晓棠，张福锁．减量施氮对冬小麦—夏玉米种植体系中氮利用与平衡的影响[J]．应用生态学报，2004，15(3)：458-462.

Liu X J, Ju X T, Zhang F S. Effect of reduced N application on N utilization and balance in winter-summer maize cropping system [J]. Chinese J. of Appl. Ecology, 2004, 15(3): 458-462.

[3] 吴金水，郭胜利，党廷辉．半干旱区农田土壤矿质氮积累与迁移机理[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 Ecological Sinica, 2003, 23(10): 2041-2049.

[4] 张树兰，同延安，梁东丽，等．氮肥用量及施用时间对土体中硝态氮移动的影响[J]．土壤学报，2004，41(2)：270-277.

Zhang S L, Tong Y A, Liang D L *et al*. Nitrate-N movement in the soil profiles as influenced by rate and timing of application nitrogen [J]. Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(2): 270-277.

[5] 刘学军，巨晓棠，张福锁．基施尿素对土壤剖面中矿质氮动态的影响[J]．中国农业大学学报，2001，6(5)：63-68.

Liu X J, Ju X T, Zhang F S. Effect of basal application of urea on inorganic nitrogen in soil profile [J]. J. of China Agric. Univ., 2001, 6(5): 63-68.

[6] Anderson J P E, Domash K H. Quantities of plant nutrients in the *microbial biomass of selected soils* [J]. Soil Sci., 1980, 130: 211-216.

[7] Bonde A T, Schniirer J, Rosswall T. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable N in soil from long-term field experiments [J]. Soil Biol. Biochem., 1988, 20 (4): 447-452.

[8] Myrold D D. Relationship between microbial biomass nitrogen and nitrogen availability index [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1987, 51: 1047-1049.

[9] 王淑平，周广胜，孙长占，等．土壤微生物量氮的动态及其生物有效性研究[J]．植物营养与肥料学报，2003，9 (1)：87-90.

Wang S P, Zhou G S, Sun C Z *et al*. The dynamic of soil microbial biomass nitrogen and its biological availability [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9 (1): 87-90.

[10] 周建斌，陈竹君，李生秀．土壤微生物量氮含量、矿化特性及其供氮作用[J]．生态学报，2001，21(10)：1718-1725.

Zhou J B, Chen Z J, Li S X. Contents of soil microbial biomass nitrogen and its mineralized characteristics and relationships with nitrogen supplying ability of soils [J]. Acta Ecological Sinica, 2001, 21 (10): 1718-1725.

[11] 张亚丽，张娟，沈其荣，王金川．秸秆生物有机肥的施用对土壤供氮能力的影响[J]．应用生态学报，2002，13 (12)：1575-1578.

Zhang Y L, Zhang J, Shen Q R, Wang J C. Effect of combined application of bioorganic manure and inorganic nitrogen fertilizer on soil nitrogen supplying characteristics [J]. Chinese J. of Appl. Ecology. 2002, 13(12): 1575-1578.

[12] 鲁如坤．土壤农业化学分析方法[M]．北京：中国农业科技出版社，1999.

Lu R K. Analysis methods for soil chemistry of agriculture [M]. Beijing: China Agricultural Scientech Press, 1999.

[13] Raun W R, Johnson G V. Soil-plant buffering nitrogen in continuous winter wheat [J]. Agron J., 1995, 87: 827-834.

[14] Johnson G V, Raun W R. *Nitrate leaching in continuous winter wheat*: Use of a soil-plant buffering concept to account for fertilizer nitrogen [J]. J. Prod. Agric., 1995, 8(4): 486-491.

[15] 李志宏，刘宏斌，张树兰，张福锁．小麦—玉米轮作下土壤—作物系统对氮肥的缓冲能力[J]．中国农业科学，2001，34(6)：637-643.

Li Z H, Liu H B, Zhang S L, Zhang F S. Soil-plant buffer power for nitrogen fertilizer under wheat-corn rotation [J]. Scientia Agricultura Sinica. 2001, 34(6): 637-643.

[16] 周顺利，张福锁，王兴仁．土壤硝态氮时空变异与土壤氮素表观盈亏研究 Ⅰ．冬小麦[J]．生态学报，2001，21(11)：1782-1789.

Zhou S L, Zhang F S, Wang X R. Studies on the spatio-temporal variations of soil NO_3^--N and apparent budget of soil nitrogen Ⅰ. Winter wheat [J]. Acta Ecological Sinica, 2001, 21(11): 1782-1789.

[17] 田育军，林杉，赵笃乐．长期不同施肥土壤微生物态氮作为土壤供氮指标的研究[J]．甘肃农业大学学报，2000，35(1)：24-28.

Tian Y J, Lin S, Zhao D L. Study on soil nitrogen(SMB-N) as an index of soil N supply in long-term experiment [J]. J. of Gansu Agric Univ., 2000, 35(1): 24-28.

[下转第 494 页]

[上接第 472 页]

[18] 宋建国,林杉,吴文良,等.土壤易矿化有机态氮和微生物态氮作为土壤氮素生物有效性指标的评价[J].生态学报,2001,21(2):290-294.

Song J G, lin S, Wu W L. Evaluation of soil mineralizable nitrogen and microbial biomass nitrogen for biological available index [J]. Acta Ecological Sinica, 2001, 21(2): 290-294.

[19] 韩晓日,郭鹏程,陈恩凤.土壤微生物对施入肥料氮的固持及其动态研究[J].土壤学报,1998,35(3):412-418.

Han X R, Guo P C, Chen E F. Immobilization of fertilizer nitrogen by soil microbes and its changes [J]. Acta Pedologica Sinica, 1998, 35(3): 412-418.

[20] Glendining M J, Powlson D S, Poulton P R. The effects of long term application of inorganic nitrogen fertilizer on soil nitrogen in the broad balk wheat experiment[J]. J. Agri. Sci.(Camb.),1996,127:347-363.

[21] 李世清,李生秀,邵明安,张兴昌.半干旱农田生态系统作物根系和施肥对土壤微生物体氮的影响[J].植物营养与肥料学报,2004,10(6):613-619.

Li S Q, Li S X, Shao M A, Zhang X C. Effects of crop root and fertilizer on soil microbial biomass nitrogen in semiarid farmland ecological system [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(6): 613-619.

[22] 庞欣,张福锁,王敬国.不同供氮水平对根际微生物量氮及微生物活度的影响[J].植物营养与肥料学报,2000,6(4):476-480.

Pang X, Zhang F S, Wang J G. Effect of different nitrogen levels on SMB-N and microbial activity [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2000, 6(4): 476-480.

[23] 李世清,李生秀.有机物料在维持土壤微生物体氮库中的作用[J].生态学报,2001,21(1):136-142.

Li S Q, Li S X. Effect of organic materials on maintaining soil microbial biomass nitrogen [J]. Acta Ecological Sinica, 2001, 21(1): 136-142.

[24] 李世清,李生秀.有机物料和氮肥相互作用对微生物体氮的影响[J].微生物学通报,2000,27(3):157-162.

Li S Q, Li S X. Interaction between organic material and nitrogen fertilizer on microbial biomass nitrogen [J]. Microbiology, 2000, 27(3): 157-162.