

# 夏玉米施氮量对后茬冬小麦土壤氮素 供应与利用的影响

王启现<sup>1,2</sup>, 王 璞<sup>1</sup>, 刘岩<sup>3</sup>, 王秀玲<sup>1</sup>, 翟志席<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学 农学系, 北京 100094; 2. 中国农科院农业信息研究所, 北京 100081; 3. 青岛市农业技术推广站, 山东 青岛 266071)

**摘要:**在冬小麦施氮 144 kg/hm<sup>2</sup> 的基础上, 研究了夏玉米 4 个施氮量(0, 90, 180, 270 和 360 kg/hm<sup>2</sup>) 对后茬冬小麦生长期间土壤硝态氮含量变化、无机氮供应以及小麦氮素吸收与利用的影响。结果表明: 与玉米不施氮(简称不施氮)相比, 玉米施氮(简称施氮)0~200 cm 土壤硝态氮含量在冬小麦生长期显著增加, 自冬小麦拔节起, 0~40, 0~130 和 0~200 cm 3 层深的土壤硝态氮含量均随着玉米施氮量(简称施氮量)的增加而明显递增; 与冬小麦播种时相比, 不施氮 0~130 cm 土壤无机氮减少 156 kg/hm<sup>2</sup>, 施氮 90 kg/hm<sup>2</sup> 该层土壤无机氮富集 41 kg/hm<sup>2</sup>, 且富集量随着施氮量继续增加而递增; 随着施氮量增加, 冬小麦收获时的植株吸氮量和子粒氮素积累量均增加; 当施氮量低于 180 kg/hm<sup>2</sup> 时, 植物氮素积累量在不同施氮量之间无显著差异; 当施氮量低于 270 kg/hm<sup>2</sup> 时, 不同施氮量的子粒氮素积累量差异不明显。在本试验条件下, 冬小麦子粒氮肥利用率随着施氮量增加而递增, 但差异不显著。

**关键词:** 冬小麦; 施氮量; 土壤无机氮; 氮素利用

中图分类号: S512.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2006)01-0110-05

## Influences of N Rates Applied to Summer Maize on Soil Inorganic Nitrogen Supply and Winter Wheat N Utilization During the Following Crop Season

WANG Qi-xian<sup>1,2</sup>, WANG Pu<sup>1</sup>, LIU Yan-yi<sup>3</sup>, WANG Xi-ling<sup>1</sup>, ZHAI Zhi-xi<sup>1</sup>

(1. Department of Agronomy, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

2. Institute of Agricultural Information, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

3. Qingdao Extension Station of Agriculture technology, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** To better understand the optional N application of summer maize, field experiment with the summer maize-winter wheat rotation was carried out in Huang-huai-hai Plain in 2002-2003. Four rates of nitrogen fertilizer (i.e. 0, 90, 180, 270 and 360 kg/ha) were applied to maize with high-yield hybrid Zhengdan 958 and the population of 9 plants per square meter. The following crop is winter wheat with cultivar 97-3 and seed rate of 704 grain per square meter. N rate of 144 kg/ha was applied at wheat sowing. With exception of the precipitation of 112.1 mm during wheat season, two times of irrigation with 75 mm at each time were used on April 13 and May 9, 2003, respectively. The influences of maize N rates on soil inorganic N dynamics during wheat season and wheat N utilization were examined. The results are as follows: In comparison with zero N applied to maize (ZN), N applied to maize significantly increases the content of 0-200 cm soil nitrate during wheat season. The nitrate contents in the 0-40, 0-130 and 0-200 cm soil profiles all apparently ascend with N rate increment from wheat shooting to maturity. The amount of 0-130 cm soil inorganic N in ZN plot decreases by 156 kg/ha during wheat season. However, that in the N rate of 90 kg/ha plot increases by 41 kg/ha at the same period, and the amount of soil inorganic N continually increases with the N rate increment during wheat season. At wheat maturity, The amount of plant N and that of grain N both increase with the increment of N rate. The amount of plant

收稿日期: 2005-05-20

基金项目: 国家“863”资助项目(2002AA6Z3201); 国家自然科学基金项目(30471015)

作者简介: 王启现(1976-), 男, 山东费县人, 博士, 主要从事食品安全战略与作物高效栽培研究; 王 璞为通讯作者。

N has no significant differences between N rates when N rate is no more than 180 kg/ha. There is also no apparent differences of the grain N amount between N rates when N rate is no more than 270 kg/ha. In this experiment, the wheat grain NUE is just 0.2%–2.9%.

**Key words:** Winter wheat (*Triticum aestivum* L.); N fertilizer rate; Soil inorganic N; N utilization

在我国粮食高产地区, 常年大量施氮造成土壤基础肥力显著提高, 致使夏玉米氮肥增产效应变小, 氮肥利用率下降已成共识<sup>[1]</sup>。相关研究表明, 夏玉米氮肥表观利用率最高仅为 11.58%, 最低为 3.54%<sup>[2]</sup>; 施氮 270 kg/hm<sup>2</sup> 时, 夏玉米氮肥利用率仅有 1%~17%<sup>[3]</sup>。在高肥力地块, 如果仅靠土壤供氮, 作物产量潜力又受到限制<sup>[4]</sup>, 且不能持续。在黄淮海平原冬小麦-夏玉米轮作体系中, 与冬小麦季相比, 夏玉米季氮肥回收率显著降低而损失率显著增高<sup>[5]</sup>。

我国玉米生产中氮肥超量施用十分严重。赵久然等对北京地区 100 块夏玉米田的调查表明, 平均施氮量为 256 kg/hm<sup>2</sup><sup>[6]</sup>。当前, 黄淮海平原夏玉米生产中, 氮肥用量也一般在 240~270 kg/hm<sup>2</sup><sup>[3]</sup>。如何降低夏玉米氮肥用量、提高氮肥利用率, 成为当前农业生产上迫切需要解决的难题。黄生斌等从减少冬小麦收获时土壤残留 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、以减少氮肥损失角度, 研究了冬小麦施氮对下茬夏玉米的后效<sup>[7]</sup>。本试验充分考虑了与现有冬小麦采用高产节水省肥栽培技术<sup>[8]</sup>衔接, 研究了不同夏玉米施氮量对冬小麦季土壤无机氮供应与冬小麦氮素吸收利用的影响, 以期科学确定玉米氮肥用量提供理论依据。

## 1 材料和方法

本试验于 2002–2003 年在河北省吴桥试验站进行。在冬小麦-夏玉米一年两熟轮作模式下, 先于 2002 年进行夏玉米氮肥试验, 收获玉米后再在所有试验小区采用同一方式种植冬小麦, 进行冬小麦试验。

夏玉米试验开始时的土壤基本情况是: 土质为轻壤, 属盐化潮土类型, 有机质含量 11.0 mg/g, 全氮 0.7 mg/g, 碱解氮 65.2 mg/kg, 速效磷 17.1 mg/kg, 速效钾 74.9 mg/kg, 地力中等偏上, pH 8.21。夏玉米氮肥试验设 0, 90, 180, 270, 360 kg/hm<sup>2</sup> 共 4 个施氮量, 随机区组设计, 3 次重复, 小区面积为 6 m × 6 m; 供试品种为郑单 958, 植株密度为 9 株/m<sup>2</sup>; 氮肥按照 1/3 和 2/3 比例分别在播种期和大喇叭口期 2 次施入, 磷肥 (105 kg/hm<sup>2</sup>, 以 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 计) 和钾肥 (120

kg/hm<sup>2</sup>, 以 K<sub>2</sub>O 计) 在播种期一次施入, 施肥方式均为侧行开沟条施。

冬小麦试验中各对应小区均采用节水省肥高产栽培技术<sup>[8]</sup>, 选用既节水又对氮肥较敏感的冬小麦高产品种 93–9, 10 月 18 日播种, 基本苗 704 株/m<sup>2</sup>。所有肥料 (其中, 折合 N 144 kg/hm<sup>2</sup>) 全部基施, 在浇足底墒水基础上采用二水灌溉模式<sup>[9]</sup>, 春一水在 4 月 13 日, 春二水在 5 月 9 日 (在开花–灌浆期之间), 每次灌水 75 mm。冬小麦期间降水 112.1 mm。

### 1.1 土壤样品采集与分析方法

试验于冬小麦播种前、拔节期 (04–11)、抽穗期 (05–04) 和成熟期 (06–08) 共采集了 4 次土壤样品。每小区选代表性的 2 个样点, 重复 3 次, 在样点处用土钻分 8 层 (0~20, 20~40, 40~60, 60~80, 80~100, 100~130, 130~160, 160~200 cm) 采取土壤鲜样, 按采样点分层装入塑料袋, 迅速于冰柜中保存。鲜土样处理如下: 样品解冻后, 将袋中土样充分混匀, 称取 20 g 鲜土于 180 mL 塑料瓶中, 加入 1 mol/L 的 KCl 溶液 100 mL, 震荡 1 h, 用定量滤纸过滤到胶卷盒中, 过滤液需立刻冰冻保存或测定; 同时, 测定土壤含水量。将过滤液解冻后, 用醋酸–硝酸试粉法<sup>[10]</sup>测定 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量, 在 530 nm 下比色; 用靛酚蓝比色法<sup>[11]</sup>测定 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量, 在 625 nm 下比色。考虑到土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 移动性较强, 以 20 cm 土层为分层单元误差较大, 根据取样层的土壤容重, 把无机氮测定值进行了土层合并处理, 分为 0~40, 40~130, 130~200 cm 三层进行分析研究。土壤无机氮供应量 = 土壤 N<sub>min</sub>起始 – 土壤 N<sub>min</sub>结束。N<sub>min</sub> 为 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 之和。

### 1.2 植物样品采集与分析方法

1.2.1 干物质积累 每小区选取代表性样段 0.5 m, 每小区进行定位 10 段, 要求各样段基本苗一致。每小区从所定样段内于拔节期、抽穗期和成熟期各取 30 cm 样段, 按所取样段单茎株数与分蘖株数比例每小区考察 10 株, 整个所取样段的植株烘干称重并粉碎留样。

1.2.2 测产与考种 田间实际收获 1 m<sup>2</sup> 样区, 每小区 2 个样点, 测定实际产量。

1.2.3 样品全氮测定 植物和子粒留样的全氮含量均采用半微量凯氏定氮法<sup>[12]</sup>测定;氮肥利用率采用非同位素差值法计算,即氮肥利用率(氮肥表观回收率)=作物从所施氮肥中的吸氮量/施氮总量×100%;氮素转移效率(又称氮收获指数)=子粒积累氮量/植株吸氮量×100%。

## 2 结果与分析

### 2.1 夏玉米不同施氮量下冬小麦生长季土壤硝态氮含量的变化

从图1可以看出,与不施氮相比,夏玉米施氮显著增加了冬小麦季0~200 cm土壤硝态氮含量,施

氮量之间差异明显。冬小麦播种时,施氮量对0~40 cm土层硝态氮含量影响不明显;在40~130 cm土层,施氮90 kg/hm<sup>2</sup>的硝态氮含量比不施氮增加不显著,但比施氮180 kg/hm<sup>2</sup>显著降低,施氮不低于180 kg/hm<sup>2</sup>时土壤硝态氮含量随着施氮量增加而显著递增;在130~200 cm土层,施氮90 kg/hm<sup>2</sup>的硝态氮含量比不施氮增加不明显但比施氮180 kg/hm<sup>2</sup>显著降低,施氮180 kg/hm<sup>2</sup>至360 kg/hm<sup>2</sup>范围内,施氮量之间的土壤硝态氮含量差异不明显。0~130 cm和0~200 cm两土深的硝态氮含量均随着施氮量增加而递增,其中施氮90 kg/hm<sup>2</sup>比不施氮增加不明显但比施氮180 kg/hm<sup>2</sup>显著降低。

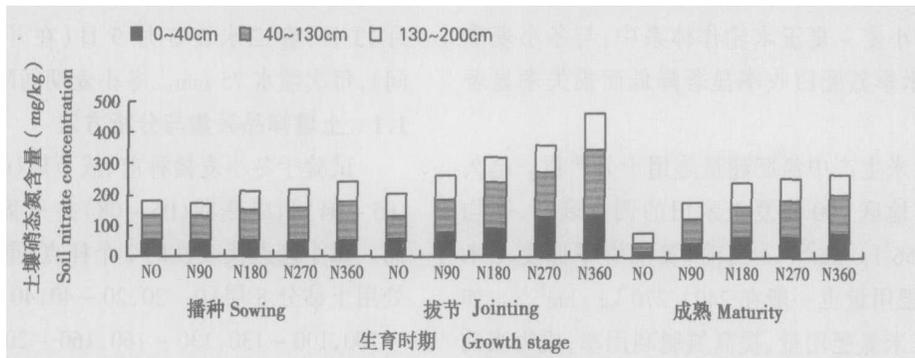


图1 夏玉米施氮量对后茬冬小麦生长季土壤硝态氮含量的影响

Fig 1 Effect of N rates applied to summer maize season on nitrate concentration during winter wheat season

冬小麦拔节期,0~40 cm、40~130 cm和130~200 cm 3土层的硝态氮含量均随着施氮量增加而递增。在0~40 cm土层,施氮量不高于180 kg/hm<sup>2</sup>时,随着施氮量增加,土壤硝态氮含量增加不明显,但施氮270 kg/hm<sup>2</sup>比180 kg/hm<sup>2</sup>显著增加;在40~130 cm土层,施氮量不高于180 kg/hm<sup>2</sup>时,硝态氮含量随着施氮量增加而显著递增,施氮270 kg/hm<sup>2</sup>和180 kg/hm<sup>2</sup>差异不大;在130~200 cm土层,施氮量不高于270 kg/hm<sup>2</sup>时,随着施氮量增加,土壤硝态氮含量增加不明显,但施氮360 kg/hm<sup>2</sup>比270 kg/hm<sup>2</sup>增加显著。从0~130 cm和0~200 cm两土层深度看,随着施氮量增加,土壤硝态氮含量显著递增。

冬小麦收获时,0~40、40~130和130~200 cm 3层的土壤硝态氮含量均随着施氮量增加而递增。在0~40 cm土层,施氮量不高于180 kg/hm<sup>2</sup>时,土壤硝态氮含量随着施氮量增加而明显递增,施氮180~360 kg/hm<sup>2</sup>,随着施氮量增加该土层的硝态氮含量递增不明显;在40~130 cm土层,随着施氮量增加,硝态氮含量增加,其中施氮90 kg/hm<sup>2</sup>比不施

氮增加显著;在130~200 cm土层,施氮90 kg/hm<sup>2</sup>的硝态氮含量比不施氮显著增加,比施氮180 kg/hm<sup>2</sup>显著降低,施氮180~360 kg/hm<sup>2</sup>,随着施氮量增加硝态氮含量递增不明显。施氮90 kg/hm<sup>2</sup> 0~130 cm和0~200 cm两土层深度的硝态氮含量比不施氮显著增加,比施氮180 kg/hm<sup>2</sup>显著降低。

### 2.2 夏玉米不同施氮量对冬小麦季土壤无机氮供应情况的影响

如表1所示,夏玉米施氮量对后茬冬小麦生长期土壤无机氮供应有明显影响。与冬小麦播种时相比,冬小麦收获时不施氮0~40 cm土层的无机氮残留量(为103 kg/hm<sup>2</sup>)比播种时减少47 kg/hm<sup>2</sup>,施氮90 kg/hm<sup>2</sup>该土层的无机氮减少不明显,随着施氮量继续增加,土壤无机氮开始富积。在40~130 cm土层,不施氮冬小麦季该层土壤供给无机氮110 kg/hm<sup>2</sup>,施氮90 kg/hm<sup>2</sup>后该层土壤无机氮富积47 kg/hm<sup>2</sup>。从0~130 cm土层看,不施氮在整个冬小麦生长季土壤无机氮减少156 kg/hm<sup>2</sup>,施氮90 kg/hm<sup>2</sup>后土壤无机氮富积41 kg/hm<sup>2</sup>,而且富积量随着施氮量继续增加而持续递增。从经过一季夏玉

米和一季冬小麦后的地力变化看,与第一季夏玉米播种时相比,冬小麦收获时不施氮0~40 cm和0~130 cm两土层深度的无机氮量均显著减少,施氮

90 kg/hm<sup>2</sup>的两土深分别降低24.2%和4.8%,施氮不小于180 kg/hm<sup>2</sup>时两层无机氮量增加,并且随着施氮量继续增加,土壤无机氮富积量递增明显。

表1 夏玉米施氮量对后茬冬小麦生长期土壤无机氮供应的影响

Tab 1 Effect of N rates applied to summer maize on soil inorganic supplying amount during winter wheat season kg/hm<sup>2</sup>

施氮量 N rates	0~40 cm				40~130 cm				0~130 cm			
	夏玉米		冬小麦		夏玉米		冬小麦		夏玉米		冬小麦	
	播种 Maize sowing	播种 Sowing	收获 Maturity	减少 Balance	播种 Maize sowing	播种 Sowing	收获 Maturity	减少 Balance	播种 Maize sowing	播种 Sowing	收获 Maturity	减少 Balance
0	192	150	103	47	394	287	177	110	587	436	280	156
90	192	152	146	6	394	365	412	-47	587	517	558	-41
180	192	164	217	-52	394	357	375	-18	587	521	591	-70
270	192	164	222	-58	394	354	389	-35	587	518	611	-93
360	192	163	276	-114	394	266	455	-190	587	428	732	-304

### 2.3 夏玉米不同施氮量下冬小麦产量的影响

从图2可以看出,夏玉米不施氮的后季冬小麦子粒产量最低(为5.74 t/hm<sup>2</sup>),施氮360 kg/hm<sup>2</sup>的子粒产量最高(为6.34 t/hm<sup>2</sup>)。随着玉米施氮量增加,冬小麦子粒产量递增。其中,施氮90 kg/hm<sup>2</sup>的子粒产量比不施氮增加2.8%;施氮180 kg/hm<sup>2</sup>的子粒产量比施氮90 kg/hm<sup>2</sup>增加不明显,但比不施氮明显增加(为4.9%);在施氮90~270 kg/hm<sup>2</sup>,子粒产量差异不明显,施氮360 kg/hm<sup>2</sup>分别比施氮270 kg/hm<sup>2</sup>和180 kg/hm<sup>2</sup>增加4.0%和5.4%。

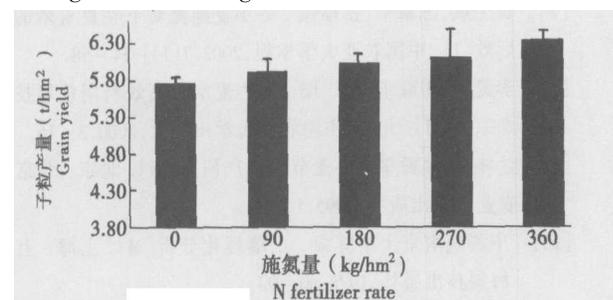


图2 玉米施氮量对后茬冬小麦实测产量(含水12%)的影响

Fig 2 Effect of N rates applied to summer maize on wheat grain yield with 12% moisture

### 2.4 夏玉米不同施氮量下冬小麦氮素积累与利用情况

从表2可以看出,随着夏玉米施氮量增加,成熟期冬小麦的植株氮素积累量递增。其中,施氮90 kg/hm<sup>2</sup>仅比不施氮(为170 kg/hm<sup>2</sup>)增加0.6%;随施氮量继续增加,植株氮素积累量的增幅均在9 kg/hm<sup>2</sup>以上。夏玉米施氮量对后茬冬小麦子粒氮素积累有明显影响。不施氮冬小麦子粒氮素积累量为109 kg/hm<sup>2</sup>,施氮90 kg/hm<sup>2</sup>的子粒氮素积累量比不施氮增加0.1%,施氮180 kg/hm<sup>2</sup>的子粒氮素积累

量(为111 kg/hm<sup>2</sup>)比施氮90 kg/hm<sup>2</sup>增加2.1%,而施氮360 kg/hm<sup>2</sup>的子粒氮素积累量分别比施氮270 kg/hm<sup>2</sup>和180 kg/hm<sup>2</sup>增加4.2%和7.2%。

从植株氮向子粒中转移的效率来看,不施氮冬小麦的氮转移效率最高(为64.1%),施氮后冬小麦的氮转移效率降低,并且氮转移效率随着施氮量增加而递减。其中,施氮90 kg/hm<sup>2</sup>的氮转移效率比不施氮下降0.5%,施氮180 kg/hm<sup>2</sup>比施氮90 kg/hm<sup>2</sup>下降3.0%,施氮270 kg/hm<sup>2</sup>比施氮180 kg/hm<sup>2</sup>下降8.4%,但施氮360 kg/hm<sup>2</sup>的氮转移效率仅比施氮270 kg/hm<sup>2</sup>下降2.0%。随着施氮量增加,冬小麦的子粒氮肥利用率增加。其中,施氮90 kg/hm<sup>2</sup>的后茬冬小麦氮肥利用率仅0.2%,施氮180 kg/hm<sup>2</sup>和360 kg/hm<sup>2</sup>冬小麦子粒氮肥利用率也仅分别为1.4%和2.9%。

表2 不同夏玉米施氮量对后茬冬小麦氮素积累与利用的影响

Tab 2 Influences of N rates applied to maize on N accumulation and utilization by wheat

施氮量 N rates (kg/hm <sup>2</sup> )	植株氮素 积累量 Plant N amount (kg/hm <sup>2</sup> )	子粒氮素 积累量 Grain N amount (kg/hm <sup>2</sup> )	氮转移 效率 N transferring efficiency (%)	子粒氮肥 利用率 Grain N use efficiency (%)
0	170.01 c	108.98 b	64.1 a	
90	171.12 c	109.13 b	63.8 a	0.17 a
180	180.00 bc	111.40 b	61.9 a	1.35 a
270	202.21 ab	114.59 ab	56.7 b	2.08 a
360	215.08 a	119.41 a	55.5 b	2.90 a

## 3 讨论

经过夏玉米生长季后,施氮后农田各土层的土壤硝态氮和无机氮均增加<sup>[13]</sup>而且,高施氮量(400

kg/hm<sup>2</sup>)的土壤硝态氮含量在整个玉米生长季都比常规施氮量(170 kg/hm<sup>2</sup>)显著提高<sup>[14]</sup>。本试验由于在夏玉米生长季进行了不同施氮量处理,冬小麦生长开始前各试验小区土壤硝态氮和无机氮均存在差异,具体表现为冬小麦播种时0~40 cm、40~130 cm和130~200 cm 3层的土壤硝态氮含量均随着夏玉米施氮量增加而增加。虽然冬小麦各小区均以相同方式施用了同等氮量(144 kg/hm<sup>2</sup>),但是从小麦拔节期开始,0~40、40~130和130~200 cm 3土层硝态氮含量仍然随着玉米施氮量增加而明显递增。从无机氮残留看,玉米不施氮处理冬小麦成熟时0~130 cm 土层无机氮量比冬小麦播种时减少156 kg/hm<sup>2</sup>,说明在冬小麦季采用节水省肥技术的前提下,如果夏玉米不施氮肥,土壤肥力将逐渐衰竭;玉米施氮90 kg/hm<sup>2</sup>处理冬小麦成熟时仅0~40 cm 土层无机氮量比冬小麦播种时减少6 kg/hm<sup>2</sup>,40~130 cm 土层无机氮在同期增加47 kg/hm<sup>2</sup>;随着玉米施氮量继续增加,冬小麦季0~40、40~130 cm 两层土壤无机氮增加量均递增。可见,在硝态氮含量不同的土壤中,施入相同氮肥,引起的土壤矿化作用是不同的,土壤氮素的激发效应确实存在<sup>[15]</sup>。

从夏玉米-冬小麦整个轮作周期看,与夏玉米播种时相比,冬小麦收获时不施氮0~40 cm和0~130 cm 土层深度的无机氮量均显著减少,施氮90 kg/hm<sup>2</sup>后两土层深度的无机氮量分别降低24.2%和4.8%,施氮大于180 kg/hm<sup>2</sup>时两土层的无机氮量均增加,而且随着施氮量继续增加,土壤无机氮富积量递增。本试验表明,在冬小麦采用节水省肥技术<sup>[8]</sup>条件下,夏玉米施氮90~180 kg/hm<sup>2</sup>可基本维持土壤肥力水平,且对冬小麦季土壤供氮动态影响不明显。从后季冬小麦的子粒产量看,玉米施氮量90~270 kg/hm<sup>2</sup>,子粒产量差异并不明显。

本试验表明,随着玉米施氮量增加,冬小麦植株氮素吸收量和子粒氮素积累量均增加,且植株氮素吸收对玉米施氮量的敏感性比子粒氮素积累高。本试验中,冬小麦子粒氮肥利用率仅为0.17%~2.90%,表明冬小麦所施的外源氮量已基本能满足冬小麦氮素需求,对夏玉米施氮的吸收很小。黑龙江流域位于黄淮海平原腹地,在此先后取得的吨粮田技术、冬小麦节水“吴桥模式”<sup>[9]</sup>等科研成果,为促进农业生产做出了重要贡献。本研究旨在解决夏玉米氮肥用量问题,是在现有研究基础上的进一步拓展,对于完善作物周年高效栽培技术体系和指导农业生

产均具有重要意义。但由于氮肥施入土壤后的转化与去向十分复杂,受温度、水分、土质等多因素影响<sup>[16]</sup>。本试验仅在冬小麦“两水模式”下进行了一个生长季的初步探讨,对于其他节水模式<sup>[9]</sup>、不同年份、不同土质的变化情况,仍需展开深入系统的研究。

### 参考文献:

- [1] 张福锁,米国华,刘建安. 玉米氮效率遗传改良及其应用[J]. 农业生物技术学报, 1997, 5(2): 112-117.
- [2] 周顺利. 高产条件冬小麦、夏玉米氮营养特性的基因型差异及氮肥推荐[D]. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2000.
- [3] 王启现. 氮肥运筹调控夏玉米农大108产量和品质形成的研究[D]. 北京: 中国农业大学硕士学位论文, 2001.
- [4] Zebarth B J, Paul J W, Younie M. Fertilizer nitrogen recommendations for silage corn in high-fertility environment based on pre-sidedress soil nitrate test[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2001, 32(17, 18): 2721-2739.
- [5] 巨晓棠. 冬小麦/夏玉米轮作体系中土壤-肥料氮的转化及去向[D]. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2000.
- [6] 赵久然,郭强,郭景伦,等. 北京郊区粮田化肥投入与产量现状的调查研究[J]. 北京农业科学, 1997, 15(2): 36-38.
- [7] 黄生斌,陈新平,张福锁. 冬小麦施氮对下茬夏玉米的后效[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(1): 54-58.
- [8] 李建民,周殿玺,王璞. 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. 3-16.
- [9] 兰林旺,周殿玺. 小麦节水高产研究[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1995. 1-3.
- [10] 中科院南京土壤所编. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科技出版社, 1978. 80-93.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 54-56.
- [12] 湖南农学院编. 作物栽培学实验指导[M]. 北京: 农业出版社, 1988. 243-246.
- [13] 李子忠. 不同尺度下农田土壤水分和无机氮的空间差异性[D]. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2000.
- [14] Liang B C, Remillard M, Mackenzie A F. Influence of fertilizer, irrigation, and non-growing season precipitation on soil nitrate-nitrogen under corn[J]. Journal of Environmental Quality, 1991, 20(1): 123-128.
- [15] Jenkinson D S, Fox R H, Rayner J H. Interaction between fertilizer nitrogen and soil nitrogen—the so-called “priming” effect[J]. Journal of Soil Science, 1985, 36: 425-444.
- [16] 朱兆良. 关于土壤氮素研究中的几个问题[J]. 土壤学进展, 1989, 2: 1-9.