

## 冬小麦施氮对下茬夏玉米的后效

黄生斌 陈新平\* 张福锁

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

**摘要** 对冬小麦施氮在下茬夏玉米上后效的研究表明: 1) 冬小麦收获后土壤残留的无机氮量与冬小麦生长季的总施氮量呈极显著的平台加线性相关关系, 即在一定的施氮范围内, 土壤残留无机氮保持一恒定的值, 但超过一个临界值( $93.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )后土壤残留无机氮量与冬小麦季总施氮量呈线性正相关; 2) 冬小麦收获后 0~90 cm 土壤残留无机氮与下茬夏玉米的籽粒产量呈显著的线性加平台的关系, 夏玉米在达到平台产量时的土壤残留无机氮为  $63.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ; 3) 在该试验所处的土壤和气候条件下, 冬小麦  $189 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  的施氮量就可以满足冬小麦、夏玉米两茬作物对氮素的需求; 4) 土壤残留无机氮的利用能极大地提高肥料利用率, 在冬小麦/夏玉米轮作体系中, 夏玉米生长季氮肥的优化施用应充分考虑前茬作物冬小麦收获后的土壤残留无机氮量。

**关键词** 冬小麦; 夏玉米; 氮肥; 后效

**中图分类号** S512.110.6; S143.1

## Effect of Residual Nitrogen Applied to Winter Wheat on the Following Summer Maize

Huang Shengbin Chen Xinping Zhang Fusuo

(College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract** The study on effect of residual nitrogen applied to winter wheat on the following summer maize showed that: 1) There was a significant plateau plus linear relationship between the amount of residual nitrogen after winter wheat harvested and the amount of nitrogen applied to the winter wheat, with a critical value of  $93.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  for the amount of nitrogen applied. 2) The amount of residual nitrogen after winter wheat harvest was in a significant linear plus plateau relationship with the grain yield of following summer maize, and  $63.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  soil residual N would be enough for maximum grain yield of the following summer maize. 3) Under the condition of this experiment,  $189 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  fertilizer N would meet the nitrogen demand of both winter wheat and summer maize. 4) In winter wheat and summer maize rotation system, the residual nitrogen after wheat harvest should be taken into consideration when fertilizing on following summer maize.

**Key words** winter wheat; summer maize; nitrogen fertilizer; residual effect

氮肥施入土壤后, 在作物生长当季的去向可粗略地划分为 3 个方面: 一部分被作物吸收, 一部分因挥发和淋溶而损失, 其余则残留于土壤中。朱兆良分析了我国大量氮肥肥效试验结果后指出, 大部分麦类作物氮肥利用率在 28%~41%, 平均 35%<sup>[1,2]</sup>。但是, 这些试验均限于传统的研究办法, 所得结果反映的是作物对当季氮肥的有效利用程度, 即表观利用率, 而未将残留肥料氮的后效包括在内, 因此无法准确估计氮肥的实际(累积或叠加)利用率<sup>[3]</sup>。李世清等在渗

收稿日期: 2001-07-03

北京市自然科学基金重大资助项目(6980001)

\* 陈新平, 博士, 研究方向为植物营养与施肥。联系作者。

漏池和大田试验已表明,氮肥有着显著的后效。其他研究者也有类似的报道<sup>[4]</sup>。

氮肥的后效涉及到的不仅仅是一个生产成本问题,而且对环境也有很大的影响。在华北平原尤其是北京地区,由于农民在夏玉米上的习惯施肥量过高,加之夏玉米生长期处于雨季,冬小麦收获后土壤氮素残留过高势必加重氮素的损失和硝酸盐对地下水的污染。因此,以冬小麦/夏玉米轮作体系为主的北京郊区为代表,研究典型高肥力土壤上冬小麦施氮在下茬夏玉米上的后效,从而确定该种植体系一个轮作周期内的最佳施氮量,不论是从经济效益方面还是从环境效益方面考虑,对农业生产实践都将有重要的指导意义和应用价值。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设计和方 法

试验于 1999-10—2000-10 在北京市海淀区东北旺乡进行。供试土壤为潮土,土壤的基本理化性状见表 1。根据北京市粮田土壤肥力分级指标,该土壤在北京地区属于高肥力土壤。供试土壤播前 0~90 cm 土壤无机氮总量为  $92.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

表 1 供试土壤的基本性状

土壤层次	质地	容重/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	pH	有机质/ %	全氮/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	mg·kg <sup>-1</sup>			
						铵态氮	硝态氮	速效磷	速效钾
0—30 cm	壤 土	1.33	7.65	2.32	1.13	1.8	10.8	18.6	149
30—60 cm	砂壤土	1.45	—	—	—	3.8	3.9	—	—
60—90 cm	砂壤土	1.45	—	—	—	1.2	1.7	—	—

在冬小麦生长季,试验设纯氮用量为 0,75,150,225,300 和  $375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  6 个氮肥水平作为主处理,选择北京地区冬小麦的 6 个主推品种(京 411、9428、农大 3291、94 冬 28、中麦 9 号和京冬 8 号)作为副处理,共 36 个处理。各处理重复 4 次,144 个小区,随机区组排列,小区面积为  $21.6 \text{ m}^2$ 。各小区均施磷( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,钾( $\text{K}_2\text{O}$ ) $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 作肥底。所施用的氮肥为尿素,基追各半,均撒施,基肥在冬小麦播种前施用,追肥在冬小麦拔节期结合灌溉进行。冬小麦 10-15 播种,第 2 年 06-15 收获。冬小麦收获后,在各个小区内按统一密度种植夏玉米,供试品种为京垦 114,行距 70 cm,株距 30 cm。所有小区在夏玉米生育期内均不施肥料。夏玉米 06-20 播种,10-07 收获,生育期间降水 250 mm,灌水 3 次共计 47 mm。其他管理同一般大田。

### 1.2 测定项目与分析方 法

**1.2.1 夏玉米产量** 每小区收获面积为  $12.6 \text{ m}^2$  ( $2.1 \text{ m} \times 6 \text{ m}$ ),新鲜玉米棒取回后  $65^\circ\text{C}$  烘干,脱掉棒芯,称玉米籽粒干重。

**1.2.2 土壤剖面无机氮含量(土壤  $\text{N}_{\text{min}}$ )测试** 冬小麦播前土壤无机氮的测试是在冬小麦基肥施用前,在试验地采集 16 个点的混合土样,土壤取样深度分别为 0~30,30~60,60~90 cm,共 3 层。冬小麦收获后,每小区采 3 个取样点,土壤取样深度分别为 0~30,30~60,60~90 cm,共 3 层。样品取回后立即过 3 mm 筛,充分混匀后称取 12 g 鲜土,加入  $100 \text{ mL } 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ CaCl}_2$  浸提液震荡 30 min,定量滤纸过滤后流动分析仪(TRAAS-2000)测定铵态氮和硝态氮。同时用烘干法测定土壤含水量。

**1.2.3 植株全氮的测试** 在收获的玉米秸秆和籽粒烘干样粉碎后,称取一定数量的粉碎样

品,  $H_2O_2-H_2SO_4$  法消煮, 凯氏定氮仪测定其氮含量。

1.2.4 表观氮肥利用率的计算方法 表观氮肥利用率通过差减法计算而得, 计算公式如下:

$$\text{氮肥的表观利用率} = \frac{\text{施氮肥处理植株吸氮量} - \text{不施氮肥处理植株吸氮量}}{\text{施氮量}} \times 100\%$$

而叠加氮肥利用率是指冬小麦氮肥表观利用率和夏玉米氮肥表观利用率之和。

1.2.5 数据处理 文中进行的线性加平台及平台加线性回归分析均采用 SAS 6.12 程序。

## 2 结果分析

### 2.1 夏玉米播前土壤剖面无机氮残留量与前茬冬小麦施肥量的关系

夏玉米播前 0~90 cm 土壤剖面无机氮与前茬冬小麦施氮量呈极显著的平台加线性相关关系(图 1), 回归系数达 0.857, 说明氮肥的施用量是决定土壤氮素残留的一个非常重要的因子。在施氮量较低的情况下 ( $93.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  以下), 作物的吸氮量随施氮量的增加而增加, 土壤无机氮的残留量基本没有变化, 处于一个相对恒定的值; 但施氮量超过一定值 (本试验为  $93.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ), 作物吸氮量达到最大值以后, 土壤残留无机

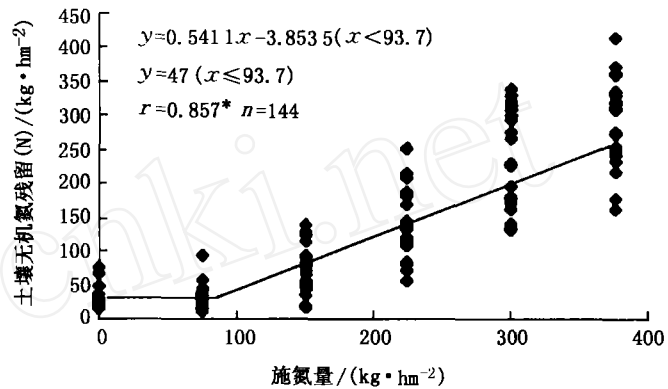


图 1 夏玉米播前土壤 0~90 cm 土层  $N_{\min}$  残留量与前茬冬小麦施氮量的关系

氮量随施氮量的增加而线性增加。在北京郊区农民习惯施肥量下 (纯氮用量为  $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ), 冬小麦收获后残留在土壤中无机氮总量的平均值达  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。这说明在北京地区农民的习惯施肥量将导致冬小麦季很高的土壤氮素残留。残留在土壤中的氮素如能被利用, 可以提高肥料利用率, 减少下一茬作物的肥料用量; 另一方面, 如不被考虑继续按照经验施肥, 加上夏玉米季土壤矿化形成的大量无机氮, 在雨水较多的情况下, 很容易造成硝酸盐的淋洗损失。

### 2.2 夏玉米产量与播前土壤无机氮的关系

从夏玉米的产量来看, 在整个夏玉米生长季不施肥的情况下, 玉米依然获得了比较高的产量, 平均产量以干重计算为  $5100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。如加上约 15% 的水分, 风干重应在  $6000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  上下, 达到了高产夏玉米的标准。这里的主要原因是由于试验地的高肥力和上一茬冬小麦收获后大部分小区土壤有很高的无机氮残留量; 另外可能是夏玉米生长季雨水比较充沛, 温度较高, 土壤氮素矿化非常强, 残留的无机氮加上矿化形成的氮基本满足了作物对氮素的需求。

夏玉米籽粒产量与冬小麦收获后 0~90 cm 土壤剖面无机氮残留量呈极显著的线性加平台相关关系(图 2)。根据线性加平台模型计算, 夏玉米在达到平台产量时的土壤残留无机氮量为  $63.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 超过该值的部分, 对作物的产量不再有明显的影响, 反而可能被雨水淋洗至地下水层而造成环境污染。

### 2.3 夏玉米产量与前茬冬小麦施肥量的关系

前茬冬小麦的施氮量对夏玉米的产量有显著的影响。从图 3 可以看出, 两者呈极显著的线

性加平台相关关系。线性方程的回归系数即冬小麦氮肥在夏玉米上的残留效应为  $2.54 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，也即在  $189 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  的施氮量范围内，每千克的氮肥投入到冬小麦上，在冬小麦收获后的土壤残留氮能增产  $2.54 \text{ kg}$  玉米(干重)；平台产量为  $5152 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，与冬小麦收获后土壤无机氮残留量和夏玉米籽粒产量的线性加平台模型拟合的夏玉米最佳产量非常相近。从对夏玉米产量的影响看，前茬冬小麦施氮量的临界值为  $189 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，说明在冬小麦/夏玉米一个轮作周期内，在该试验的土壤、气候条件和夏玉米季不施肥的条件下，冬小麦季  $189 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  的施氮量就可以满足冬小麦、夏玉米两茬作物对氮素的需求，为冬小麦/夏玉米轮作体系中一个轮作周期内的最佳施氮量。这一数值，比起北京地区农民在冬小麦季上的习惯施肥量 ( $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) 和在夏玉米季上的习惯施肥量 ( $250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) 的总和要少得多。从这一点说明，北京地区的过量施肥情况是非常严重的，降低施肥量进行合理施肥势在必行。

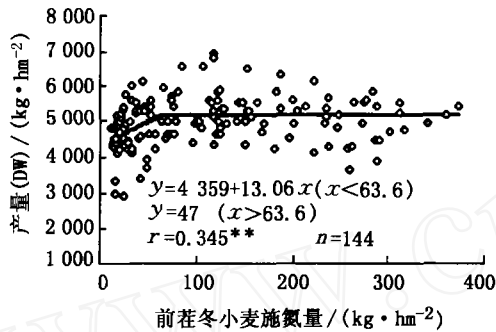


图 2 播前土壤无机氮残留量与夏玉米籽粒产量(干重)的关系

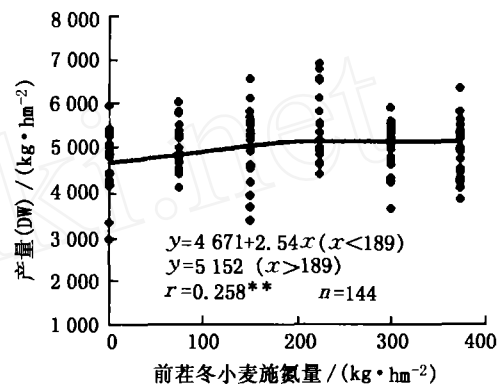


图 3 前茬冬小麦施氮量与夏玉米产量的关系

#### 2.4 氮肥的后效与氮肥利用率

表 2 为冬小麦(京冬 8 号)不同施氮水平下的冬小麦及下茬夏玉米吸氮量。以京冬 8 号为例，通过差减法计算前茬冬小麦的氮残留在夏玉米上的表观利用率，得出从  $75$  到  $375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  的各个施氮水平对应的氮肥利用率分别为  $20.9\%$ 、 $4.9\%$ 、 $7.8\%$ 、 $2.5\%$  和  $5.9\%$ ，由此说明残留在土壤中的氮有一部分能够被下一茬作物所利用，且利用的比例与施肥量密切相关。把夏玉米对残留氮的表观利用率与冬小麦季氮肥利用率叠加计算，就可以得出氮肥在冬小麦/夏玉米一个轮作周期内的表观利用率，从  $75$  到  $375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  的各个施氮水平依次对应为  $81.1\%$ 、 $48.7\%$ 、 $40.3\%$ 、 $21.9\%$  和  $21.5\%$ (表 3)，因此，夏玉米对冬小麦季土壤剖面残留无机氮的利用极大地提高了肥料的利用率，冬小麦残留的土壤无机氮量应该考虑到夏玉米的施肥量中。

表 2 冬小麦(京冬 8 号)不同施氮水平下冬小麦及下茬夏玉米吸氮量

吸氮量/ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	施氮水平/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )					
	0	75	150	225	300	375
冬小麦	99	144	165	172	157	157
夏玉米	114	130	122	132	122	137

表 3 不同施氮水平下氮肥的残效及其叠加利用率

氮肥利用率/%	施氮水平/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )				
	75	150	225	300	375
冬小麦氮肥利用率	60.2	43.8	32.5	19.4	15.6
夏玉米残效利用率	20.9	4.9	7.8	2.5	5.9
两季叠加利用率	81.1	48.7	40.3	21.9	21.5

### 3 讨论

氮肥后效受很多因素的影响。孙政才认为当季作物残留氮的多少因作物的种类、氮肥的品种以及氮肥的施用量和方法不同而有较大差异<sup>[5]</sup>。李世清等还根据连续4季作物的大田试验定量估算了旱地农田生态系统氮肥的叠加利用率,得出了在施氮量为 $75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,后3季作物累积氮肥利用率为25.5%,在施氮量为 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,后3季作物累积氮肥利用率高达37.8%的结论<sup>[6]</sup>。而童依平等对收获后不同小麦品种土壤硝态氮残留量的差异研究表明,不论是在低氮条件还是在高氮条件下,硝态氮残留量均表现明显的品种间差异<sup>[6]</sup>。但在这诸多因素中,氮肥的施用量是一个主要的因素。

研究表明,冬小麦收获后土壤剖面无机氮残留量与冬小麦施氮量有密切的关系,在一定的施氮范围内,土壤残留无机氮保持在较低的水平上,但超过一定量(本试验为 $93.7\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )后土壤残留无机氮量与作物施氮量呈显著的线性正相关。冬小麦收获后的土壤残留无机氮量与下茬夏玉米的籽粒产量呈显著的线性加平台相关关系,当土壤残留无机氮量低于 $63.6\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,夏玉米的籽粒产量随土壤残留无机氮量的增加而线性增加,当土壤残留无机氮量达到 $63.6\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 后,夏玉米的籽粒产量达到平台。在本试验条件下前茬冬小麦施氮量在75, 150, 225, 300和 $375\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时所对应后茬夏玉米的氮肥利用率分别为20.9%, 4.9%, 7.8%, 2.5%和5.9%;冬小麦和夏玉米2季作物的叠加氮肥利用率依次对应为81.1%, 48.7%, 40.3%, 21.9%和21.5%。

因此,对于冬小麦/夏玉米轮作体系,过高的氮肥施用量导致土壤无机氮的高残留量,这一方面加重了农业的经济投入,另外一方面又造成了肥料的浪费,对环境造成威胁。所以,过高的氮肥施用量不论是对经济效益,还是对环境,都是不利的。从试验结果看来,对于本试验中北京地区高肥力土壤,冬小麦/夏玉米一个轮作周期内 $189\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 就可以满足2季作物对氮素的总需求,这一数值远远低于农民的习惯施肥量。因此,在推荐施肥工作中,确定合理的施氮量至关重要。在冬小麦/夏玉米轮作体系中,夏玉米生长季氮肥的优化施用应充分考虑前茬作物冬小麦收获后的土壤残留无机氮量。

### 参 考 文 献

- 1 朱兆良,文启孝主编. 中国土壤氮素. 南京:江苏科学技术出版社,1992. 213~249
- 2 朱兆良. 我国土壤供氮和化肥氮去向的研究进展. 土壤学报,1985,17(1):1~9
- 3 刘巽浩,陈阜. 对氮肥利用率若干传统观念的质疑. 农业现代化研究,1990,11(4):28~34
- 4 Broadbent F E. Residual effects of labelled N in field trials. Agron J, 1980, 72:325~329
- 5 孙政才. 冬小麦施氮在下茬玉米后效定量研究. 北京农业科学,1997,15(4):19~20
- 6 李世清,李生秀. 旱地农田生态系统氮肥利用率的评价. 中国农业科学,2000,33(1):76~81
- 7 童依平,李继云,刘全友,孙建华. 收获后不同小麦品种土壤硝态氮残留量的差异研究. 环境科学学报,2000,20(2):251~253