

用¹⁵N研究吉林黑土春玉米 对氮肥的吸收利用*

李伟波 李运东 王 辉

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要 用¹⁵N示踪技术在吉林省中部黑土地区进行田间微区试验, 研究不同氮肥追施深度与次数对氮肥利用率的影响。结果表明, 两次深追肥处理(10~15cm)比当地传统的垄上一次浅追肥处理, 肥料氮的利用率从24.5%提高到39.0%, 氮肥深施并增加追肥次数能有效地提高利用率; 肥料氮的总损失为16%~27%, 土壤残留率为34%~54%; 吸收的标记肥料氮中有1/2是在8月1日以后籽粒形成期被玉米吸收利用的; 氮肥损失的70%~90%是在追肥以后35天期间发生的; 施肥的激发效应较弱。

关键词 春玉米, 高产施肥, ¹⁵N, 氮肥的利用率

中图分类号 S158

吉林中部黑土地区年平均气温5~6℃, 年降雨量600~650mm左右, 有效积温2200~3000℃, 是我国春玉米的主产区, 著名的商品粮基地。从1996年开始, 吉林省实施九五国家重中之重科技攻关项目“玉米大面积高产综合配套技术研究开发与示范”。把“玉米高产施肥与提高化肥利用率”作为该项目的重点攻关内容之一, 组织各方面的科技力量, 从不同角度与层面开展试验研究。经过前三年的研究, 对玉米高产12000~13500kg hm⁻²条件下的施肥问题得出初步的结论。即施肥量N240~330kg hm⁻², P₂O₅60~75kg hm⁻², K₂O45~105kg hm⁻²为宜; 氮素化肥主要用于追肥, 而且两次追肥比一次增产9%~12%, 最高达34%; 深追10~15cm比当地习惯的垄上浅追增产4%~16%^{(1,2), [1~3]}。在此基础上, 1999年我们应用¹⁵N示踪技术, 布置田间微区与小区试验, 研究该区氮肥追施深度与次数对氮肥利用率的影响, 为评价高产施肥条件下玉米对氮肥的利用、化肥氮的去向与经济合理的用肥技术提供科学数据。

* 九五国家科技攻关重点项目“玉米大面积高产综合配套技术研究开发与示范”中的招标课题: 玉米高产施肥与提高化肥利用率技术研究结果之一(吉科合字第95-001-003招标03)

(1) 张宽. 吉林省玉米高产优化施肥体系的研究与示范. 九五国家科技攻关课题“玉米大面积高产综合配套技术研究开发与示范”中期进展总结报告. 1999

(2) 凌碧莹, 关义新. 玉米超高产综合配套技术. 九五国家科技攻关课题“玉米大面积高产综合配套技术研究开发与示范”中期进展总结报告. 1999

收稿日期: 2000-09-23; 收到修改稿日期: 2001-04-06

1 材料与方法

1.1 试验区的土壤状况

试验地点选在吉林省农业科学院土肥所试验田内。地势平坦, 土壤类型为黑土, 但黑土层较薄, 约 30~40cm, 下层即为黄土, 层界清晰, 无过渡层。质地为粘壤质。肥力中等且均匀, 4 个区组分别多点采集土壤样品, 分析化验结果, 各区组样品间的土壤有机质、养分含量与速效养分含量都非常接近, 变异系数如表 1, 完全符合农化试验的要求。

1.2 试验设计与方法

化肥的设计用量为 N: 280 kg hm⁻²; P₂O₅: 117 kg hm⁻²; K₂O: 90 kg hm⁻²; 磷、钾作底肥一次性施用。3.84% 的氮肥作口肥施用, 其余作追肥施用。不同追肥处理的设计为: (1) 垄上浅追一次肥(当地习惯): D₁T₁; (2) 深追一次肥: D₂T₁; (3) 深追两次肥: D₂T₂; (4) 对照 1: CK₁; (5) 对照 2: CK₂。D₁ 代表垄上浅追, D₂ 代表深追肥 10~15cm, T₁ 代表追一次肥, T₂ 代表追肥两次(6 月 28 日, 7 月 15 日), CK₁ 代表无肥区, 完全不施 N、P、K 肥, CK₂ 代表无 N 肥区。重复 4 次, 顺序排列。¹⁵N 微区处理设计为: (1) 垄上浅追一次肥(当地习惯): d₁t₁; (2) 深追一次肥: d₂t₁; (3) 深追二次肥: d₂t₂。小写 d₁, d₂, t₁, t₂ 是¹⁵N 微区试验的代号, 其意义分别与 D₁, D₂, T₁, T₂ 相同。

小区面积 31m²。微区面积 0.166m², 用 32×55cm 白铁皮焊接成无底方桶, 埋入土中 50cm, 高出地面 5cm, 构成¹⁵N 试验微区桶。采用小区套微区的办法, 将微区桶设置于小区的中段, 田间排列组合如图 1。¹⁵N 微区的底肥、口肥的施用与小区统一进行, 肥料的品种、数量、追肥时期与施用方法亦相同。与小区惟一不同的是, 追肥施用的尿素是经¹⁵N 标记的尿素。

供试玉米品种: 吉单 209。保苗密度 6 万株 hm⁻²。4 月 27 日播种, 9 月 22 日收获。微区、小区试验的管理与大田基本相同。

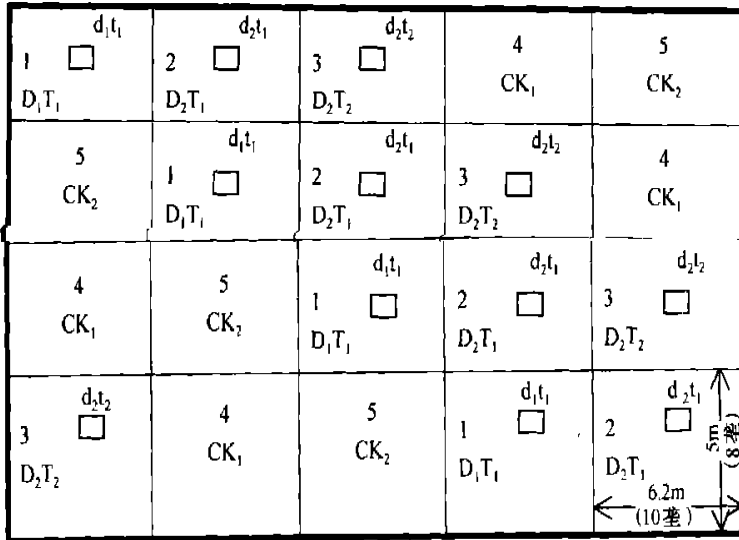


图 1 小区与¹⁵N 微区的田间设置图

Fig. 1 Arrangement of plots and ¹⁵N microplots

1.3 样品的采集与分析测定

试前基础土壤样品, 四个区组各采一个样品, 分析项目有土壤有机质和 N、P、K 含量与速效养分含

量。

收获期小区考种与测产并取 3 株分析样品, 分别得到籽粒、茎叶、根系 3 部分的多株混合样品, 分析项目有 N、P、K 含量。微区样品分别于生育中期 8 月 1 日和收获期 9 月 22 日两次采集。分别采集玉米根、茎叶、籽粒和 0~ 20、20~ 40、40~ 55 cm 土壤样品。取样时将同层次土壤全部挖出, 称重, 拌匀, 方格取样, 另采集土壤水分样品。植株与土壤均同时采集测¹⁵N 自然丰度之样品。分析项目: 全 N、¹⁵N 丰度。进行¹⁵N 微区试验的土壤、植株样品的采集、烘干、粉碎、研磨、分样等步骤时, 按¹⁵N 试验的操作规程严防样品交叉污染, 产生误差。严格遵守先低丰度后高丰度, 先对照后处理的顺序, 使用的器皿、工具应清洗干净后方可第 2 次使用。¹⁵N 微区试验的土壤, 植株样品按照质谱分析的要求进行前处理。土壤和植株全 N 用半微量凯氏法测定, ¹⁵N 丰度由质谱分析测得, 以上分析测定工作均由中国科学院南京土壤研究所理化测试中心承担。

表 1 试验土壤基本农化性状

Table 1 Agrochemical properties of the experimental soils

样号 Sample No.	有机质 O. M. (g kg ⁻¹)	全氮 Total N (g kg ⁻¹)	全磷 Total P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹)	全钾 Total K ₂ O (g kg ⁻¹)	速效钾 Available K ₂ O (mg kg ⁻¹)	速效磷 Available P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	速效氮 Available N (mg kg ⁻¹)
区组 1	25.1	1.30	1.54	23.5	143.3	61.6	119.5
区组 2	24.1	1.28	1.49	24.6	147.0	60.0	113.7
区组 3	25.3	1.29	1.53	23.0	145.8	55.2	113.1
区组 4	24.0	1.29	1.38	23.6	142.1	65.4	108.5
变异系数(%)	2.4	0.8	4.3	2.5	1.4	6.0	3.4

2 结果与讨论

2.1 标记肥料氮的去向

¹⁵N 标记氮肥的去向由表 2 说明。成熟期玉米对氮肥的利用率因追肥次数和深度而异。代表当地习惯追施方法的浅追一次区(d_{1t1})最低, 仅 24.5%; 深追一次区(d_{2t1})增至 30.1%, 比浅追区高 5.6 个百分点; 深追两次区达 39.0%, 分别比浅追区、深追区一次区高 14.5 个百分点和 8.9 个百分点, 并达到 1% 和 5% 差异显著水准。不同处理的氮素损失变动在 16%~ 27% 之间, 深追两次区与深追一次区之间达到 5% 差异显著水准。土壤残留率前两个处理为 51%~ 54% 之间, 后一处理即深追两次区降为 33.85%, 与前两处理相比均达到 1% 差异显著水准。产生这种显著差异的原因, 不排除标记氮肥向下层土壤移动的可能性。我们在采集土壤样品时发现, 微区铁桶壁与土柱之间有个别不够密合与紧实的地方, 出现一些空洞与缝隙, 形成施入较深部位的肥料有随雨水下渗的条件。表 3 的结果显示, 正常情况下, 40~ 55 cm 土层的¹⁵N 丰度与土壤的自然丰度 0.366% 接近, 但各处理均比自然丰度要高, 尤其两个深追肥处理更明显, 表明肥料中的氮素已向深层移动。挖坑采样时还发现, 50 cm 土层仍有相当多的玉米根系, 如果本试验将采样深度增至 70~ 80 cm 或 100 cm, 上述差异就会减少或消除。

袁增玉等人的研究表明^[4], ¹⁵N 标记尿素在黑龙江黑土上春玉米的吸收利用率为 30.6%~ 38.5% 之间与上述结果大致相同。然而土壤残留大大降低, 仅为 9.0%~

17.7%, 而损失率却高达 50% 左右, 与本文结果差异较大。这种差异可能是试验设计施肥量和其他试验条件不同造成的。如: 袁增玉等人的标记氮肥的施用量仅为 77 kg hm^{-2} , 而本文标记氮肥施用量为 280.8 kg hm^{-2} , 增加了 2.6 倍, 有研究表明土壤残留氮的浓度与施氮肥量呈正相关^[1]。尿素在黑土中被当季作物的吸收率因作物而异, 一般春玉米比春小麦低 10~15 个百分点左右^[5,6]。

表 2 标记肥料氮的去向(占施氮量的百分数)

Table 2 Fate of ¹⁵N labeled fertilizer nitrogen (Percentage of applied N)

处理 Treatment	植物吸收 Plant uptake	土壤残留 Residue in Soil	总回收 Total recovery	损失 Total N loss
%				
d ₁ t ₁ (浅追一次)区	24.5a	51.35a	75.85a	24.15a
d ₂ t ₁ (深追一次)区	30.1a	53.49a	83.59a	16.41a
d ₂ t ₂ (深追二次)区	39.0b	33.85b	72.85ab	27.15ab

注: 应用 *t* 值检验法, 同一列中无相同英文字母的数据间, 其差异达到 5% 显著水准

表 3 土壤各层次中¹⁵N 丰度(%)Table 3 ¹⁵N ATM in soil layers

处理 Treatment	土层 Soil layer		
	0~20cm	20~40cm	40~55cm
d ₁ t ₁ (浅追一次)区	0.602	0.451	0.480
d ₂ t ₁ (深追一次)区	0.579	0.484	0.517
d ₂ t ₂ (深追二次)区	0.474	0.461	0.531

注: 该土壤¹⁵N 的自然丰度为 0.366%

2.2 不同采样期标记肥料氮去向的比较

图 2 是浅追 (d₁t₁) 和深追 (d₂t₁) 处理, 追肥后 35 天(8 月 1 日采样) 与成熟期(9 月 26 日采样) 标记氮肥去向的比较。追肥后 35 天无论浅追与深追, 玉米对标记氮肥的利用率较低, 分别为 12.3% 和 16.1%, 分别只占成熟期吸收量的 50.1% 和 53.6%; 但是此时土壤残留率浅追低于深追, 分别为 64.9% 和 72.3%; 损失率浅追明显高于深追, 分别占成熟期损失的 94.4% 和 76.8%。随着生育期的推移, 土壤残留逐步下降, 玉米对肥料氮的回收和损失逐渐增加。上述结果表明: 吉林黑土春玉米吸收利用的标记肥料氮中有 50% 左右是在 8 月 1 日以后籽粒形成期吸收利用的, 而氮肥的损失 76.8%~94.4% 是在施肥后 35 天期间发生的。

2.3 肥料氮在玉米各器官的分配

玉米吸收的肥料氮在各器官中的分配见表 4。籽粒占施肥量的比例在 13.9%~

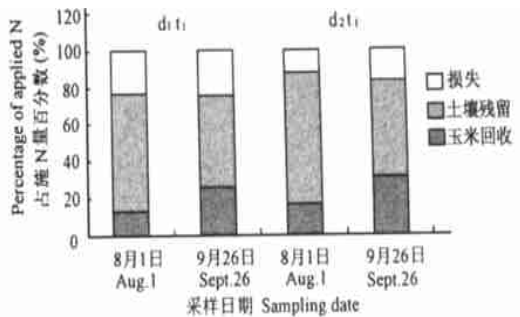
图 2 不同采样期¹⁵N 去向(占施肥量%)

Fig. 2 Fate of fertilizer nitrogen applied as top dressing

23.4% 之间, 其中深追两次区(d_{2t_2}) 最高, 依次为深追一次区(d_{2t_1}) 和浅追区(d_{1t_1})。秸秆占施肥量的比例在 8.6% ~ 13.9% 范围内, 且 $d_{2t_2} > d_{2t_1} > d_{1t_1}$ 。根系占施肥量的比例在 1.7% ~ 2.0% 上下, 各处理间的差异不大。表明施肥对籽粒的贡献最大, 对根系最小, 秸秆居中。

表 4 标记氮肥的氮素利用率(占施氮量的百分数)

Table 4 Recovery of labeled fertilizer N by corn (Percentage of applied N)

处理 Treatment	籽粒 Seed	茎叶 Straw	根 Root	合计 Total	肥料氮在各器官的分配 占吸收肥料氮量的百分数(%) Percentage of N recovery in plant		
					籽粒 Seed	茎叶 Straw	根 Root
d_{1t_1} (浅追一次) 区	13.9	8.6	2.0	24.5	57.5	34.4	8.1
d_{2t_1} (深追一次) 区	16.8	11.5	1.8	30.1	58.0	35.7	6.3
d_{2t_2} (深追二次) 区	23.4	13.9	1.7	39.0	60.9	34.1	5.0

占吸收肥料氮的百分比看, 籽粒占 57% ~ 61%, 秸秆占 34% ~ 35%, 根系 5% ~ 8%。

2.4 示踪法和差减法计得的氮肥利用率的比较

本次试验用示踪法和差减法计得的氮肥利用率见表 5。各处理采用示踪法计算得到的氮肥利用率在 24.0% ~ 39.0% 之间, 采用差减法计得的氮肥利用率则在 26.6% ~ 43.8% 之间, 后者高于前者。两者之间的差异可以看作是施肥的激发效应, 差异愈大说明肥料的激发效应越高。表中的结果表明: 三个处理均有不同程度的正激发效应, 但均不是很大, 这与吉林黑土地地区的气候条件、土壤特性等因素密切相关。

表 5 示踪法和差减法计得的氮肥利用率(占施 N 量的百分数) 的比较

Table 5 Comparison of plant recoveries of fertilizer N (Percentage of applied N)

measured by tracer and difference methods

处理 Treatment	示踪法(A) ^{15}N method	差值法(B) Difference method	B- A
	%		
D_{1t_1} (浅追一次) 区	24.5a	26.6a	2.1
D_{2t_1} (深追一次) 区	30.1a	35.4b	5.3
d_{2t_2} (深追二次) 区	39.0b	43.8c	4.8

注: (B) 为应用小区试验的结果。应用 t 值检验法, 同一列中无相同英文小写字母的数据间, 其差异达到 5% 显著水准

2.5 标记氮肥在土壤不同层次中的残留

标记氮肥在土壤不同层次中的残留如图 3 所示。 d_{1t_1} 处理, 0~ 55cm 土层中的残留率随土层深度的加深而降低, 变化范围在 38% ~ 4% 之间。 d_{2t_1} 和 d_{2t_2} 处理因施肥深度的增加, 表现出上层土壤中残留率减少, 中下层, 特别是下层土壤中的残留率比前一处理要高许多, 表现出肥料氮有向下层淋失的可能性。因此可以推断, 浅追肥区(d_{1t_1}) 的氮肥损失主要通过地表的气态损失为主, 而深追肥区(d_{2t_1} , d_{2t_2}) 地表的气态损失较小, 向下淋失移

动的可能性较大。据袁增玉等人的研究^[4], 尿素的移动和转化主要发生在施肥后的 7~15 天内, 且以气态损失为主, 气态损失的数量占整个生育期总损失量的一半以上。此结论同本文不同采样期标记氮肥去向与在不同土壤层中的残留的研究结果是一致的。在本试验的情况下, 因在 55cm 土层深处发现有不少玉米根系, 仍在其有效吸收范围内, 这部分标记氮肥还不能计算到损失中去。这一点在表 3 的叙述中已有阐明, 不再详细讨论。

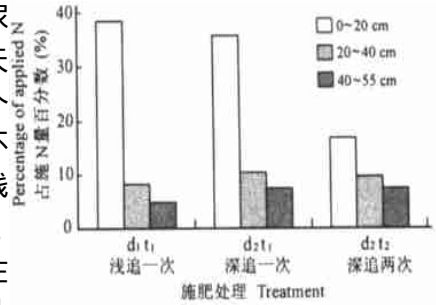


图 3 土壤各层次肥料氮的残留

Fig. 3 Residual fertilizer N in soil layers

3 小 结

在吉林省中部黑土区春玉米高产施肥条件下, 氮肥适当深施并增加一次追肥可以显著提高肥料氮素的利用率。玉米吸收标记肥料氮的 1/2 是在 8 月 1 日以后籽粒形成期吸收利用的, 而氮肥绝大部分损失是在追肥后 35 天期间出现的。在该区气候与土壤条件下, 施肥的激发效应较小, 玉米高产对肥料氮的依赖性较高。

参 考 文 献

1. 李伟波, 张效朴. 吉林中部玉米高产施肥与提高化肥利用率研究. 玉米科学, 1998, 6(2): 65~68
2. 金继运, 张宽. 受氮磷钾用量调控的春玉米源库动态研究. 见: 冯巍主编. 全国玉米高产栽培技术学术研讨会论文集. 北京: 科学出版社, 1998. 214~221
3. 尹枝瑞, 王国琴. 吉林省非灌区玉米单产 12 000kg hm⁻² 以上的基本途径与技术措施. 见: 冯巍主编. 全国玉米高产栽培技术学术研讨会论文集. 北京: 科学出版社, 1998. 144
4. 袁增玉, 黄楚玉. 应用¹⁵N 对尿素在土壤中移动、损失和利用的研究. 原子能农业应用, 1981, (2): 51~56
5. 陈魁, 程岩. 应用¹⁵N 对提高氮肥利用率和土壤氮值(A_N 值)的研究. 原子能农业应用, 1981, (3): 40~43
6. 金翔, 韩晓增, 蔡贵信. 黑土 春小麦中三种化学氮肥的去向. 土壤学报, 1999, 36(4): 448~452

APPLICATION AND RECOVERY OF ^{15}N - FERTILIZER FOR SPRING MAIZE IN BLACK SOIL OF JILIN

Li Wei-bo Li Yun-dong Wang Hui

(*Institute of Soil Science, The Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

Summary

In central Jilin a ^{15}N micro-plot experiment was conducted in a piece of farmland of black soil to study effect of the depth and frequency of N application on utilization rate of N fertilizer. Results show that the treatment of sidedressing twice at a depth of 10~ 15cm increased the rate from 24. 5% in the CK, the traditional once for all shallow sidedressing on the ridge, to 39. 0%, clearly indicating that deep and split application of N fertilizer improves utilization rate. The total fertilizer N loss was 16% ~ 27%; N residual in the soil 34% ~ 54%; about half of the ^{15}N labeled fertilizer was taken up by maize during the grain-forming period after Aug. 1; 70% ~ 90% of the loss occurred within the 35 days after the N fertilizer was sidedressed; and crop response to the application was not significant.

Key words Spring maize, Higher yield, ^{15}N , N fertilizer utilization rate