

典型黑土农田化肥氮素的优化管理^①

王建国 何喜云 王守宇 赵军

(中国科学院黑龙江农业现代化研究所 哈尔滨 150040)

摘要 在松嫩平原典型黑土农田,通过不同施氮水平的田间试验,研究了旱田主要作物对氮素的肥料效应,得出玉米、小麦氮肥与产量的数学模型。玉米施氮量 141kg/hm²,可达到最高产量;小麦施氮量 131kg/hm²可达到最高产量。但在目前肥料与产品价格的比例下,经济合理施氮量,玉米施氮量 111kg/hm²,小麦施氮量 90kg/hm²,可稳定获得较高的施肥利润。通过对氮素平衡盈亏状况的分析与评价,认为黑土农田氮素平衡有 44% 以下的赤字,并不影响作物产量,是允许范围内的赤字。

关键词 数学模型 经济合理施肥 氮素平衡

我国是世界上化肥氮消费量最多的国家。1992/1993 年度化肥氮(以纯氮计)消费量已达 2071.6 万吨,占当年度全世界化肥氮消费量 7451.96 万吨的 27.8%(FAO,1994),到 1997/1998 年度达到 2437.7 万吨,平均每公顷播种面积 159kg。黑龙江省是我国土壤最肥沃的地区之一,1986 年全国化肥区划中被列入化肥用量每公顷低于 75kg 的地区,当时全省实际平均每公顷消费化肥氮仅 45kg,但近十几年化肥用量增长很快,到 1997/1998 年度化肥氮消费已达 65.9 万吨,公顷消费化肥氮增加到 73.5kg,其中产粮大县消费更多,例如海伦县公顷消费化肥氮已达到 100.5kg。因此加强对农田化肥氮的优化管理研究,充分发挥化肥氮的增产效果,减少损失,提高其利用率,无疑具有重要的经济意义和环境意义。

1 材料和方法

试验地设在中国科学院海伦农业生态实验站。土壤基本理化性状见表 1。

试验处理(化肥 N kg/hm²) (1)无氮区 N₀ (2)N₂₄ (3)N₄₈ (4)N₇₂ (5)N₉₆ (6)N₁₂₀; (7)N₁₄₄ (8)N₁₆₈ (9)N₁₉₂ (10)N₂₁₆。

上述 10 个处理均配合施用 P₂O₅ 48kg/hm²,施肥深度 5-10cm。

试验设计:田间定位试验采用小区随机排列,3 次重复,小区面积 21m²(长 6m,宽 3.5 m)。

指示作物:1997 年玉米(东农 248),1998 年大豆(合丰 25),1999 年小麦(黑农 94-4083)。

表 1 试验地基本农化性状(耕层 20cm)*

有机质	全氮	全磷	全钾	速效氮	速效磷	速效钾	pH
(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	
48.2	2.2	0.7	25.2	239.7	17.9	190.8	7.0

* 分析方法采用南京土壤所主编《土壤理化分析》,1975,科学出版社。

① 本研究由中科院“九五”重大项目 KZ951-A1-301 和中国科学院特别支持项目 KZ95T-04-01 支持。

2 结果与分析

2.1 施氮量与作物籽实产量的关系

尽管黑土农田的土壤肥力很高(不施氮肥玉米可达 $5046.0\text{kg}/\text{hm}^2$,大豆 $2455.5\text{kg}/\text{hm}^2$,小麦 $2037.0\text{kg}/\text{hm}^2$) ,但使用氮肥对绝大多数作物仍具有显著的增产作用(表2)。

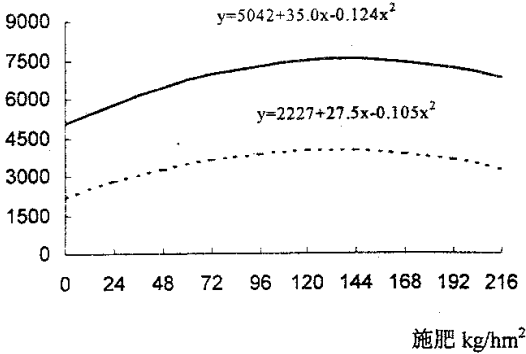


图1 不同施氮水平与作物籽粒产量

表2表明 随着施氮量的增大 ,玉米产量也随之增加 ;当施氮量增大到 144kg 时 ,单产达到最高值 ,继续加大施用量后 ,产量反而随之降低。显然上述施肥量与产量间存在着一种曲线回归关系 ,经过选择适当的肥料效应函数模式和统计分析 ,得出玉米施氮量与籽实产量的数学模型为 $y = 5042 + 35.0x - 0.124x^2$ (图1) 。当 $y = 141$ 时 , y 有极大值 7512 ,即当施氮肥达到 $141\text{kg}/\text{hm}^2$ 时 ,最高产量为 $7512\text{kg}/\text{hm}^2$ 。同理得出 ,小麦施氮与产量的数学模型为 $y = 2227 + 27.5x - 0.105x^2$,即当施氮肥达到 $131\text{kg}/\text{hm}^2$ 时 ,最高产量为 $4028\text{kg}/\text{hm}^2$ 。本试验中大豆施氮与产量间并不存在上述曲线回归关系 ,经统计分析检验 ,不同施氮水平与大豆籽实产量间的差异并未达到显著水平。这说明 ,氮素水平很高的典型黑土农田施用化肥氮对于具有自身固氮能力的大豆作物来说 ,并没有明显的增产作用。

2.2 不同施氮水平的养分平衡特征

依据中国科学院海伦农业生态试验站提供的参数^[1] ,对不同施氮水平的玉米、大豆、小麦氮素平衡状况列入表3。玉米是高产喜氮作物 ,无氮区氮素平衡亏缺高达 86.8% ,随着施氮量的增加 ,赤字逐渐减少 ;当施氮 144kg 时 ,产量达到最高值 $7767\text{kg}/\text{hm}^2$,但氮素平衡仍赤字 32.5% ,施氮量再增加赤字继续下降 ,作物产量也呈减少趋向。

大豆由于自身的固氮作用且籽实产量较低 ,因而在黑土农田中 ,给一点氮素即可实现氮素收支平衡。

小麦的生物量较低 ,无氮区氮素平衡亏缺仅占 59.5% ;当施氮量增加到 120kg 时 ,产量最高达到 $4377\text{kg}/\text{hm}^2$,氮素赤字仅为 12.3% ;当施氮量增至 144kg 时 ,氮素收支平衡 ,并逐渐盈余 ,但小麦产量反呈下降趋向。施肥通常是为了补充土壤养分之不足 ,这在定量施肥的研究中是一个基本原则 ,据此 ,就可知道在农田养分平衡中 ,施入养分和作物取走养分之间的比例决定于作物需要量和土壤供应量之差。这个差数决定了肥料需要量。这里我们依据鲁如坤先生提出的农田养分平衡的评价方法和原则^[2] ,对此项研究中的氮素收支平衡的合

表2 不同化肥氮与作物籽实产量的关系*
(kg/hm^2)

处理	1997年玉米	1998年大豆	1999年小麦
N_0	5046.0	2455.5	2037.0
N_{24}	5847.0	2500.5	3088.5
N_{48}	6567.0	2272.5	3322.5
N_{72}	6805.5	2386.5	3592.5
N_{96}	7026.0	2671.5	3784.5
N_{120}	7272.0	2671.5	4377.0
N_{144}	7767.0	2683.5	3907.5
N_{168}	7687.5	2728.5	3648.0
N_{192}	7057.5	2616.0	3598.5
N_{216}	6700.5	2671.5	3432.0

* 玉米、大豆籽实含水量为 16% ;小麦为 14% 。

理性作一分析。

表 3 不同施 N 水平的氮素平衡状况

处理	1997 年玉米			1998 年大豆			1999 年小麦		
	输出 (kg/hm ²)	输入 (kg/hm ²)	平衡 %	输出 (kg/hm ²)	输入 (kg/hm ²)	平衡 %	输出 (kg/hm ²)	输入 (kg/hm ²)	平衡 %
N ₀	114.0	15.0	-86.8	166.5	144.0	-13.5	55.5	22.5	-59.5
N ₂₄	142.5	42.0	-70.5	177.0	171.0	-3.4	91.5	49.5	-45.9
N ₄₈	172.5	67.5	-60.9	172.5	184.5	7.0	109.5	73.5	-32.9
N ₇₂	189.0	91.5	-51.6	187.5	213.0	13.6	129.0	99.0	-23.3
N ₉₆	204.0	115.5	-43.4	213.0	250.5	17.6	145.5	123.0	-15.5
N ₁₂₀	222.0	126.0	-43.2	220.5	274.5	24.5	171.0	150.0	-12.3
N ₁₄₄	244.5	165.0	-32.5	231.0	298.5	29.2	172.5	172.5	0
N ₁₆₈	253.5	189.0	-25.4	241.5	325.5	34.8	178.5	195.0	9.2
N ₁₉₂	258.0	211.5	-18.0	243.0	343.5	41.4	189.0	219.0	15.9
N ₂₁₆	264.0	235.5	-10.8	255.0	370.5	45.3	196.5	243.0	23.7

根据中科院海伦生态站多年、多点、多作物大田试验,化肥氮素的平均增产率为 23%,那么,土壤养分贡献率为 $SCI = 1/1.23 \approx 0.81$ 。氮肥的利用率 E 取 34%^[3],计算得到典型黑土农田氮素允许平衡盈亏率为:

$$\begin{aligned}
 B\% &= \left(\frac{1 - SCI}{E} - 1 \right) \times 100\% \\
 &= \left(\frac{1 - 0.81}{0.34} - 1 \right) \times 100\% \\
 &= -44\%
 \end{aligned}$$

即在氮素有 44% 赤字情况下并不影响作物产量,是允许范围内的赤字。

本项研究中,对于玉米,只要施氮素在 96kg/hm² 以上,小麦只要施氮素 48kg/hm² 以上,大豆不施氮素,即使农田氮素平衡仍有赤字也是允许的。

2.3 不同施氮量的氮肥利用率

从农学的角度讲,在评价氮肥的效果时,应当采用差值法的氮肥利用率。因为它反映了施用氮肥后作物营养水平的实际提高程度,而不管其中是否产生了表观的或真实的激发作用。当然,在研究化肥氮的转化和去向时,则应该采用示踪法^[4]。以作物地上部分累积氮为基础,用差值法计得不同施氮水平的玉米、小麦对化肥氮的利用率(表 4)。

表 4 不同施氮量的氮肥利用率比较

处 理	0	24	48	72	96	120	144	168	192	216	
氮肥利用率 (%)	玉米	—	58.8	61.3	45.8	37.3	33.0	34.2	27.6	19.9	15.6
	小麦	—	87.5	53.8	51.0	38.1	41.0	27.6	20.8	17.6	14.1

很明显,不管是玉米还是小麦,随着施氮量的增加,氮肥利用率呈减少的趋向。产量达到最高值时,施氮量的氮肥利用率与我们曾经以¹⁵N 研究过的氮肥利用率结果基本是一致的^[3]。

2.4 经济合理施氮量的确定^[5]

对于二次多项式:

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2$$

令: $\frac{dy}{dx} = b_1 + 2b_2x = \frac{P_x}{P_y}(R + 1)$

式中: P_x 代表肥料价格; P_y 代表产品价格; R 代表边际利润。

$$\text{则经济合理施肥量 } x = \frac{P_x/P_y(R+1) - b_1}{2b_2}$$

对于玉米氮肥效应函数：

$$y = 5042 + 35.0x - 0.124x^2$$

1997 氮肥的价格为 4.78 元/kg, 玉米价格为 0.9 元/kg。

那么：
$$\frac{dy}{dx} = 35.0 - 0.248x = \frac{4.78}{0.90}(R+1)$$

经济最佳施氮量 $x = 120\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

不同 R 值的施氮量列于表 5。

表 5 玉米氮肥效应不同 R 值的施肥量与利润(1997 年价格)

R	施氮量 (kg/hm ²)	增产量 (kg/hm ²)	肥料成本 (元/hm ²)	施肥利润 (元/hm ²)
0	120	2414	573.60	1599.00
0.2	115	2385	549.70	1596.80
0.4	111	2357	530.58	1590.72
0.6	107	2325	511.46	1581.04
1.0	98	2239	468.44	1546.66
1.5	88	2120	420.64	1487.36
2.0	77	1960	368.06	1395.94

表 6 小麦氮肥效应不同 R 值的施肥量与利润
(1999 年价格)

R	施氮量 (kg/hm ²)	增产量 (kg/hm ²)	肥料成本 (元/hm ²)	施肥利润 (元/hm ²)
0	108	1746	516.24	1229.76
0.4	99	1693	473.22	1219.79
0.8	90	1625	430.20	1194.80
1.2	81	1539	387.18	1151.82
1.6	72	1436	344.16	1091.84
2.0	63	1316	301.14	1014.86

表 5 看出,随着 R 值的增加,施肥量按一固定量减少,施肥成本也按一固定量降低,施肥利润则按一定的递增率减少。当 R 值由 0 增加到 0.4 时,肥料成本减少 42.03 元/hm²,而施肥利润仅减少 8.28 元。因此在农业生产中,为了稳定获得较高的利润,减少投资风险,常常采用 R > 0 的边际利润值。这里我们推荐 R 值为 0.4 左右的施氮量,即施氮肥 111kg/hm² 左右,可以稳定获得较高利润,而且氮素平衡赤字也在允许的范围内。当然经济合理施肥量的确定与市场上肥料与产品价格比例是密切相关的。

对于小麦氮肥效应函数：

$$y = 2227 + 27.5x - 0.105x^2$$

小麦的价格为 1.00 元/kg, 氮肥(N)的价格为 4.78 元/kg。

$$\frac{dy}{dx} = 27.5 - 0.21x = \frac{4.78}{1.00}(R+1)$$

经济最佳施氮量 $x = 108$ 。

不同 R 值的施氮量列于表 6。

推荐 R 值取 0.8, 即施氮肥 90kg/hm² 左右,可稳定获得较高利润。

3 讨论与结论

1. 目前松嫩平原典型中厚黑土农田的养分自然供给力是很高的,不施磷能达到全肥(NPK)产量的 95% 以上,而土壤 K 可以充分满足需要^[6]。本项试验各个处理均配合施 P₂O₅ 48kg/hm², 可以认为,从 NPK 配合方面基本保证了氮肥充分发挥作用。

2. 土壤肥力不同,施氮的肥料效应是不同的。试验表明,在不施任何肥料的情况下,玉米产量与土壤有机质(2.0~6.0%)具有高度相关关系。有机质每高出 1%,玉米可增产 1125kg/hm²。因此肥力基础不同,施肥量要作适当的调整^[1]。

(上接第 269 页)

3. 从作物籽实产量角度讲,当施氮量 $141\text{kg}/\text{hm}^2$ 时,在类似的年景,旱作玉米产量可达到最高值 $7512\text{kg}/\text{hm}^2$;当施氮量达到 $131\text{kg}/\text{hm}^2$ 时,小麦产量可达到最高值 $4028\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

从经济合理施肥角度讲,在目前肥料与产品价格比例的条件下,推荐施氮量玉米为 $111\text{kg}/\text{hm}^2$,小麦为 $90\text{kg}/\text{hm}^2$,可稳定获得较高的施肥利润。

大豆在肥力较高的黑土农田种植对氮肥不敏感,因此不提倡施用化肥氮,氮基础肥力较低的土壤,可以少施一点氮肥。

4. 企图依靠施用化肥氮素去达到农田氮素收支平衡在黑土区是不现实的,也是没有必要的。典型黑土农田氮平衡有 44% 以下的赤字并不影响作物产量,是允许范围内的赤字。黑土氮素培肥主要依靠提高农业生态系统有机质向土壤中的归还率。

参 考 文 献

- 1 王建国等. 松嫩平原典型黑土农田养分循环平衡特征及其调控对策. 地理科学进展, 1998, 17(增刊): 122 ~ 124, 127 ~ 128
- 2 鲁如坤等. 我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究. 农田养分平衡的评价方法和原则. 土壤通报, 1998, 27(5): 197 ~ 198
- 3 王建国, 韩晓增. 黑土农田化肥氮素去向的研究. 生态学杂志, 1997(5): 61 ~ 63
- 4 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
- 5 浙江农业大学主编. 作物营养与施肥. 北京: 农业出版社, 1994
- 6 王建国, 刘鸿翔. 黑土农田养分供应能力和变化. 土壤学报, 1997, 134(3): 295 ~ 300