

# 黄土塬区不同水分条件下冬小麦氮肥 效应与土壤氮素调节

党廷辉, 郝明德

(中国科学院、水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

摘要: 在黄土旱塬长期定位研究表明, 根据小麦生育年降水量施用氮肥, 将能更好地发挥肥料效益。丰水年、平水年氮肥增产效果极为显著, 应加大施用量; 干旱年氮肥效果受抑, 应减少施用量。氮肥利用率受降水等因素影响, 年际间变化幅度为 6.4%~58.6%。氮肥利用率亦随施用量的增加而降低, 变化幅度为 25.4%~42.9%, 且其利用率与施肥利润的高低并不同步。施用有机肥或氮磷有机肥配施, 轮作中增加豆科作物(或牧草)能有效地调节改善土壤氮素状况。

关键词: 冬小麦; 水分; 氮肥; 施肥; 黄土区

中图分类号: S512.1<sup>+</sup>1 文献标识码: A 文章编号: 0578-1752(2000)04-0062-06

黑垆土是黄土塬区普遍分布的一种地带性土壤, 由于长期的耕作熟化, 使土壤中有有机质、全氮含量已矿化到一个较低的平衡水平。黄土塬区属雨养农业区, 大气降水的特点为雨量不足, 且年际间、季节间分配不匀。降水量直接影响氮肥的表现, 因此科学施肥已成为本区农业生产面临的现实问题。该研究根据多年定位试验资料, 探讨了不同水分年型氮肥效应的变异性及不同培肥措施对土壤氮素的调节问题。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验条件

试验地位于陕西长武县旱塬区, 海拔 1200m。属暖温带半湿润易旱气候区, 年均降水 584.1mm, 年均气温 9.1℃, 无霜期 171d。土壤为黑垆土, 试验前 1984 年耕层土壤含有有机质 10.4g·kg<sup>-1</sup>, 全氮 0.60g·kg<sup>-1</sup>, 碱解氮 37.0mg·kg<sup>-1</sup>, 速效磷 3.0mg·kg<sup>-1</sup>, 速效钾 129mg·kg<sup>-1</sup>, pH 8.3。试验土壤有机质含量低, 贫氮缺磷, 钾素较为丰富。

### 1.2 试验处理与方法

处理包括: (1) 氮肥试验: N<sub>0</sub>、N<sub>45</sub>、N<sub>90</sub>、N<sub>135</sub>、N<sub>180</sub>(其中 N<sub>90</sub>指施 N 90 kg/ha, 其余类同)。各处理均配施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 kg/ha。小区面积 5.5m×4m。重复 3 次。作物为冬小麦, 连作种植, 一年一熟。(2) 施肥培肥试验: NPM、NP、P、N、M、CK(N 指施 N 120 kg/ha, P 指施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60 kg/ha, M 指施有机肥 75 t/ha, CK 指不施肥)。小区面积 10.26m×6.5m。重复 3 次。作物为冬小麦, 连作种植, 一年一熟。(3) 轮作培肥试验: 供试 6 个轮作系统分别为小麦—玉米轮

收稿日期: 1999-04-22

基金项目: 国家“九五”攻关项目(96-004-05-05)、中国科学院“九五”重大项目(KZ951-A1-301)和中国科学院特别支持资助项目(KZ95T-04-01)

作者简介: 党廷辉(1964-), 男, 陕西户县人, 副研究员, 1996 年赴美国密西根州立大学 KBS 试验站合作研究, 主要从事土壤作物营养与施肥方面的研究。

作、小麦—碗豆轮作、小麦—玉米—碗豆轮作、小麦—苜蓿轮作、小麦—红豆草轮作和小麦连作。各轮作肥底均为 N 120、P(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 60 kg/ha, 小区面积 10.26m × 6.5m。重复 3 次。上述 3 个长期试验均于 1984 年布设在相邻地块中, 目前试验仍在继续。

氮肥为尿素(N46%), 磷肥为过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%), 有机肥为纯牛粪。全部肥料均作底肥于播前一次撒施入表层, 随即用手扶拖拉机翻入。

土壤有机质、全氮、碱解氮等常规项目均参照《土壤理化分析》<sup>[1]</sup>测定, 土壤有机氮组分用 Bremner 法<sup>[2]</sup>测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同水分条件下氮肥效应的对比分析

在旱塬区, 降水量直接影响冬小麦产量与肥效<sup>[3]</sup>。根据冬小麦生育年(播前休闲期+生育期)降水比多年平均降水增减 10% 作为界限, 将降水年份划分为丰水年、平水年和干旱年。表 1 为前 11 年供试同一小麦品种氮肥试验统计结果, 丰水年(1985、1989、1991 年)、平水年(1988、1990、1993、1994 年)和干旱年(1986、1987、1992、1995 年)分别出现 3、4 和 4 次。结果表明, 不同降水年份, 氮肥增产效果表现为: 丰水年份, 施用氮肥处理的小麦产量较不施氮肥对照增产 68.2% ~ 201.7%, 平均增产 138.4%; 平水年份, 施用氮肥处理的小麦产量较对照增产 98.0% ~ 211.9%, 平均增产 164.9%; 干旱年份, 施用氮肥处理较对照增产 64.1% ~ 72.9%, 平均增产 69.8%。氮肥用量在 0~180kg/ha 范围内, 丰水年和平水年小麦产量、增产量及增产率均随氮肥用量的增加而增加, 未出现拐点。干旱年小麦产量、增产量及增产率则随氮肥用量的增加, 由起初阶段的逐步上升, 到后期的回落, 均已出现拐点。说明丰水年、平水年氮肥增产效果十分显著, 干旱年份, 氮肥肥效受到一定的限制。各降水年份, 氮肥报酬率均随氮肥用量的增加而降低。

表 1 不同降水年份氮肥的增产效果

Table 1 Effect of nitrogen on winter wheat in different hydrological year

氮肥量 Nitrogen treatment (kg/ha)	丰水年 Rich-rain year			平水年 General year			干旱年 Drought year		
	平均产量 Mean grain yield (kg/ha)	增产率 Increased rate (%)	施肥报酬 Reward of N (kg/kg)	平均产量 Mean grain yield (kg/ha)	增产率 Increased rate (%)	施肥报酬 Reward of N (kg/kg)	平均产量 Mean grain yield (kg/ha)	增产率 Increased rate (%)	施肥报酬 Reward of N (kg/kg)
0	1362.0	0	0	1182.0	0	0	1639.5	0	0
45	2290.5	68.2	20.6	2340.0	98.0	25.7	2691.0	64.1	23.4
90	3060.0	124.7	18.9	3001.5	153.9	20.2	2815.5	71.7	13.1
135	3525.0	158.8	16.0	3498.0	195.9	17.2	2835.0	72.9	8.9
180	4108.5	201.7	15.3	3687.0	211.9	13.9	2793.0	70.4	6.4
平均 Average	2869.5	138.4	17.7	2742.0	164.9	19.3	2554.5	69.8	13.0

### 2.2 不同水分条件下氮肥效应方程与合理施肥量的确定

按一元二次方程式  $y = b_0 + b_1x + b_2x^2$  模式配置氮肥效应方程(表 2), 用回归方程估测值(y)与实际产量(Y)相关系数对回归方程进行显著性检验, 均达到显著或极显著水平。表明效应方程可以反映实际中的氮肥与小麦产量关系。

根据效应方程, 当边际产量  $dy/dx = 0$ , 即  $x = b_1 / -2b_2$  时的施肥量为最高产量施肥量, 此用量为施肥的上限。施肥量大于此值, 产量反而降低。当边际产量等于边际成本, 即  $dy/dx = P_x/P_y$  ( $P_y$  为产品单价,  $P_x$  为肥料单价),  $x = [b_1 - (P_x/P_y)] / -2b_2$  时的施肥量为经济最佳施肥量, 此时单位面积经济收益最大。在肥料充足时, 应按此数量施肥。通过方程计算, 得出不同降水年份氮肥的最高产量施肥量和经济最佳施肥量(表 2)。可以看出, 不同降水年份氮肥的合理施肥量有显著差异。生育年降水越多, 氮肥的合理用量要求越高, 气候越干旱, 求得的氮肥用量越低。经济最佳时 N: P 丰水年为 3.09: 1; 平水年为 1.90: 1; 干旱年为 1.26: 1。由于黄土塬区小麦施磷的增产效果相对于施氮效果要小得多, 据多年平均资料<sup>[3]</sup>, 小麦磷肥增产率不超过 50%, 而且表现出不施氮肥不增产, 配施氮肥增产幅度小的现象。

表 2 不同降水年份氮肥的效应方程与合理施用量<sup>1)</sup>

Table 2 Effect equation and rational fertilization of nitrogen in different hydrological year

降水年份 Rain year	氮肥效应方程 Effect equations of N	最高产量施 N 量 N-suggested in highest yield (kg/ha)	经济最佳施 N 量 N-suggested in the best profit (kg/ha)	经济最佳时 N: P N: P in the best profit
丰水年 Rich-rain year	$y = 1382.0 + 21.26N - 0.03508N^2$	303.0	278.3	3.09
平水年 General year	$y = 1207.7 + 27.06N - 0.07418N^2$	182.4	170.7	1.90
干旱年 Drought year	$y = 1737.2 + 20.00N - 0.08080N^2$	123.8	113.0	1.26

<sup>1)</sup>按 1994 年市场价核算, 小麦 1.4 元/kg, 尿素 1.12 元/kg, 普磷(12%)0.35 元/kg

By market price in 1994, wheat grain 1.4 yuan/kg, urea(N46%) 1.12 yuan/kg, P-fertilizer(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%) 0.35 yuan/kg

试验证实氮肥在不同降水年份施用效果有显著差异, 但如何预先确定降水年份选择施肥方案是一个现实问题。黄土塬区小麦播前休闲期 7、8、9 月降水一般占全年降水的 54% 左右, 对下一年小麦产量有决定性作用<sup>[3]</sup>。因此由休闲期降水量, 同时参考播前土壤墒情并结合长期气象预报, 可以大概估计来年水分年型。但不同阶段降水影响小麦产量的程度不同, 寻找关键水分因子, 科学的划分水分年型还有待进一步探讨。

### 2.3 冬小麦氮肥利用率及其变异性

根据施肥培肥试验 1984~1995 年小麦连作处理 P<sub>60</sub> 和 N<sub>120</sub>P<sub>60</sub> 差减法算出氮肥利用率, 并与试验年度作关系图可知, 由于降水等因素的影响, 氮肥利用率随年度的变化而变化。氮肥利用率变幅为 6.4%~58.6%, 平均 35.3%, 变异系数为 48.7%。由氮肥利用率与小麦生育年降水量的直线相关性看, 氮肥利用率与降水关系密切, 其相关系数为 0.7224\* (n=11, r<sub>0.05</sub>=0.602, r<sub>0.01</sub>=0.735), 达到了 5% 的显著水准。

氮肥利用率与其用量有关, 通常在同一肥底基础上, 氮肥利用率随其用量的增加而降低(表 3)。在配施磷肥(P<sub>90</sub>)的基础上, 氮肥用量在 45~180kg/ha 范围内, 小麦氮肥利用率变幅为 25.4%~42.9%, 平均为 36.3%。毛利润最高处理, 氮肥利用率为 38.2%; 纯利润最高处理, 氮肥利用率仅为 38.2%。而产投比似乎与肥料利用率呈正相关, 即肥料利用率越高, 产投比越高。

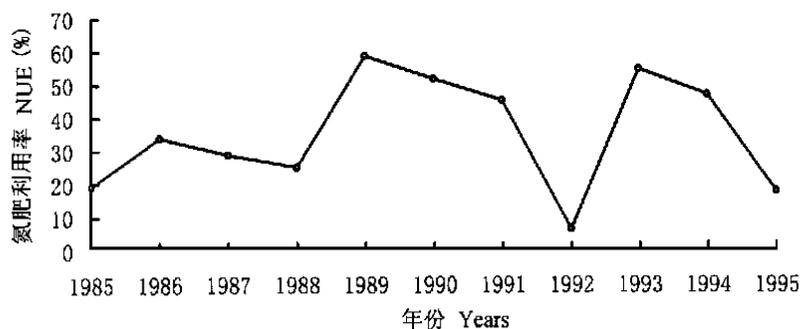


图 不同年份氮肥的利用率

Fig. N use efficiency in different years

表 3 不同氮水平下氮肥效益及其利用率(1996~ 1998 年)

Table 3 Profit and use efficiency of nitrogen under different nitrogen rate (1996~ 1998)

氮用量 N treatment (kg/ha)	平均产量		利润		产投比 <sup>1)</sup> Ratio of output/input	作物吸收 N Crop absorbing N(kg/ha)	氮肥利用率 NUE (%)
	Mean grain yield(kg/ha)		Profit(yuan/ha)				
	籽粒 Grain	秸秆 Straw	毛利润 Gross	纯利润 Net			
0	1038.0	1245.6	-	-	-	11.4	-
45	2734.3	3281.2	2714.1	2528.2	14.6	30.7	42.9
90	3557.0	4268.4	4030.4	3658.7	10.8	46.1	38.6
135	3935.8	4723.0	4636.5	4078.9	8.3	63.0	38.2
180	3757.5	4509.0	4351.2	3607.8	5.9	57.2	25.4

<sup>1)</sup>表中利润和产投比的计算未考虑秸秆产出收益

In the table profit of straw does not include in the calculation of profit and output/input

根据以往作者研究结果,在同一氮肥用量条件下,由于配施磷肥数量的增加,小麦吸收氮数量显著增加,表现出明显的“磷促氮”效应。氮肥用量为 90kg/ha 时,在 P<sub>45</sub>、P<sub>90</sub>、P<sub>135</sub> 和 P<sub>180</sub> 条件下,小麦吸收氮量分别比对照增加 37.1%、69.5%、57.4% 和 127.9%。这种效应说明,氮磷配施是提高氮肥利用率的有效途径。

#### 2.4 施肥对土壤氮素有效性的调节

9 年的定位施肥研究结果表明<sup>[3]</sup>, NPM、NP、P、N、M 处理土壤全氮分别比对照增加 0.38、0.13、0.03、0.01 和 0.31g/kg, 碱解氮分别比对照增加 24.6、13.6、2.7、14.4 和 26.5 mg/kg。从全氮组成看出(表 4), 施肥 7 年后各施肥处理酸解性氮占全氮的 58.6%~70.2%。除纯施 P 处理外,其它施肥处理 NPM、NP、N 或 M 酸解性总氮均比对照有所增加,尤以 NPM、M 处理增幅最大,分别比不施肥对照增加 47.1%、18.5%。长期施用 NPM 或 M,土壤中有氮组分均有所增加,酸解液中铵态氮比对照增加 16.7%、14.8%;氨基酸态氮增加 58.2%、33.0%;己糖氮增加 51.7%、-10.0%;未知态氮增加 78.1%、14.9%。有研究表明<sup>[4,6]</sup>,酸解性氮中铵态氮、氨基酸态氮和未知态氮对土壤中矿化氮贡献较大。因此,长期施用 NPM 或 M,将增加土壤中氮素的有效性。长期施用 NP 或 N 对有机氮有效态组分影响不大,或只增加减少某种组分。纯施 P 有降低各种有机氮组分的趋势。

表 4 土壤氮素形态分析结果

Table 4 The analyses result of soil nitrogen forms

处理 Treatment	全氮 Total N (mg/kg)	酸解性氮 Hydrolysable-N (%)	酸解液中氮形态 Organic forms of N(mg/kg)				
			总 和 Total	铵态氮 Ammonium	氨基酸态氮 Amino acid	己糖氮 Hexosamine	未知态氮 Unidentified
NPM	1076	70.2	755.7	220.4	254.7	63.7	216.9
NP	881	58.6	516.6	196.0	175.0	56.0	89.6
P	756	59.2	448.0	168.0	154.0	14.0	112.0
N	823	64.6	532.1	184.1	168.0	26.0	154.0
M	1037	58.7	609.0	217.0	214.2	37.8	140.0
CK	733	70.1	513.8	189.0	161.0	42.0	121.8

### 2.5 轮作对土壤氮素的调节

测定结果表明<sup>[5]</sup>,同一施肥水平下,不同轮作系统经过10年的定位运转后,有豆科作物(或牧草)参与的轮作系统土壤氮素养分状况都有所改善。与小麦连作相比,小麦—碗豆轮作使土壤有机质、全氮和碱解氮分别增加15.7%、6.9%和5.1%;小麦—苜蓿轮作对应养分分别增加23.9%、21.7%和19.3%;小麦—红豆草轮作则分别增加11.8%、14.1%和2.0%;小麦—玉米—碗豆轮作土壤氮素也略有改善。进一步分析各种作物茬口土壤氮素变化,发现小麦—碗豆轮作系统中,碗豆茬比小麦茬有机质增加13.6%,全氮增加20.6%;小麦—苜蓿轮作中,苜蓿茬比小麦茬平均有机质、全氮、碱解氮分别增加13.7%、4.1%和15.6%;小麦—红豆草轮作中,红豆草茬比小麦茬有机质、全氮、碱解氮分别增加7.8%、7.7%和11.4%。

## 3 结论

3.1 氮肥在旱塬冬小麦上有显著地增产效果,但其增产作用丰水年、平水年明显优于干旱年。因此,应根据小麦生育年降水多少,确定氮肥施用方案,即丰水年、平水年多施氮肥,干旱年减少氮肥用量。经济最佳时,丰水、平水和干旱年N:P为3.09:1、1.90:1和1.26:1。

3.2 旱塬冬小麦氮肥利用率变化很大。年际间变化幅度为6.4%~58.6%,平均35.3%。随氮肥用量的增加而降低,变化幅度为25.4%~42.9%,平均36.3%。氮肥利用率与施肥利润的高低并不同步,生产上应以追求高额利润为方向。

3.3 施肥和轮作方式均能有效地调节土壤氮素水平或有效性。长期施用有机肥或氮磷有机肥配施,将显著地改善土壤氮素有效性。轮作中增加豆科作物或牧草,土壤有机质、全氮和碱解氮都有一定的提高。

### 参考文献:

- [1] 中国科学院南京土壤研究所编. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1980.
- [2] 曹亚澄译. 土壤氮素分析[M]. 北京:农业出版社,1981.
- [3] 党廷辉,彭琳,等. 旱塬长期施肥的产量效应和土壤肥力演变[J]. 水土保持学报. 1995, 9(1): 55~63.
- [4] 沈其荣,等. 不同土壤有机氮的化学组成及其有效性研究[J]. 土壤通报. 1990, 21(2): 54~57.
- [5] 党廷辉. 黄土旱塬轮作培肥试验研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报. 1998, (3): 44~47.
- [6] Ziauddin A, et al. Factors affecting immobilization and release of nitrogen in soil and characteristics of the nitrogen newly immobilized: IV. Chemical nature of the organic nitrogen becoming decomposable due to the drying of soil [J]. Soil Sci Plant Nutr. 1973. 19(4): 287~298.

*The Effect of Nitrogen Fertilizer Under Different Moisture  
Conditions and Soil Nitrogen Adjustment  
in the Loess Highland*

Dang Tinghui, Hao Mingde

(Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,  
Institute of Soil and Water Conservation, Yangling Shaanxi 712100)

**Abstract:** A long-term fixed-position experiment was conducted in Changwu dry highland. The results showed that it would be profitable to apply fertilizers according to the amount of rainfall, in the year of wheat growth. It was recommended that the amount of nitrogen fertilizer should be increased in rain-rich year and normal year, and the amount should be decreased in drought year because of nitrogenous effect in different hydrological years. With the effect of some factors such as rainfall N-fertilizer use efficiency (NUE) was 6.4% ~ 58.6% in experimental years. NUE also changed in the range of 25.4% ~ 42.9% with the amount of N-fertilizer applied, the more the N used, the lower the NUE, and NUE and profit in wheat did not keep same step. Applying manure fertilizer or NPM, increasing legume crops in rotation were effective ways to improve nitrogen level in soil.

**Key words:** Winter wheat; Water; Nitrogen fertilizer; Fertilizer application; Loess zone

---

## 征 订 启 事

《江苏农业学报》是江苏省农业科学院主办的综合性农牧业学术刊物。主要刊登我国农牧业科学在应用基础和高新技术研究方面的学术论文,重要科研成果的专题报告,各学科研究的新进展和综合评述。读者对象主要是国内外农业科研工作者、大(专)院校师生及农业生产管理干部。季刊,国内外公开发行,定价为4元/册,全年定价16元。国内统一刊号:CN32-1213/S,国内邮发代号:28-113。漏订者可直接与编辑部联系补购。地址:210014南京市孝陵卫江苏省农业科学院内;电话:(025)4390285。

《植物遗传资源科学》是中国农业科学院作物品种资源研究所和中国农学会遗传资源分会联合主办的专业性学术期刊,由中国工程院院士董玉琛研究员担任主编,2000年创刊。主要发表植物遗传资源研究报告,介绍研究成果和学科进展,进行学术交流,提供可供遗传育种和农业生产利用的优异资源以及国外有关研究信息。季刊,16开本,64页。准印证号:京内资准字99-L0722。每期收工本邮寄费5元,全年20元。编辑部地址:100081北京白石桥路30号;电话:(010)62186657;传真:(010)62186629。