

质地不同土壤上小麦氮、磷、水交互效应的比较*

徐秋明 周 军** 李亚星 徐建铭 黄德明
 (北京市农林科学院植物营养和资源研究所, 北京 100081)

摘 要 1992~ 1994年在京郊两种不同质地土壤上进行了氮、磷、水联合效应的研究。本文是在这些研究的基础上, 应用多元回归分析的方法对质地不同土壤氮、磷、水的交互效应进行比较。结果表明, 在壤质和砂质土壤上, 氮、磷、水对小麦的作用均是水> 氮> 磷。砂土上水的作用更为明显。在肥料对土壤水分效应的影响方面, 施用氮肥使砂土的土壤水分特征值 W_0 、 W_{max} 和 W_e 提高, 而使壤土的水分特征值降低。磷肥的影响则相反。土壤水分含量对氮磷肥料效应的影响在不同质地土壤上与肥料对水的交互效应有相同的趋势, 但作用强度更大一些。
 关键词 氮、磷、水交互效应 砂性土壤 轻壤质土壤 小麦

在农业生态系统中, 众多因子的存在以及它们之间错综复杂的相互关系维持着系统的平衡与稳定, 各项农作措施的输入使该系统的平衡受到干扰, 从而进入到新的平衡。新平衡的形成是否有利于农作物产量的提高及其在环境中的稳定性是衡量措施得当与否的标志。“八五”期间关于干旱和半干旱地区肥水对作物产量的影响及其相互作用方面已有不少研究^[1]。1992~ 1994年我们在京郊不同质地的农田土壤上进行了氮、磷、水联合效应的研究, 并已有论文发表^[2~ 5]。本文是在上述研究所获资料的基础上, 应用多元回归方程分析的方法, 比较两种质地不同农田土壤氮、磷、水对小麦产量的影响及其相互作用, 以期明确京郊小麦栽培的 3 个重要措施之间的关系。

1 材料和方法

田间小区试验在北京市密云县西田各庄乡和通县梨园乡进行。前者土壤属砂性二合土, 土层薄, 一般在 0.5m 以下可见砂砾层, 土壤肥力低; 后者为轻壤质潮土, 土壤肥力中上。两试验点的土壤理化性状如下 (表 1.2)。
 两试验点的试验设计、管理措施及小区产量等数据均见已发表论文^[3~ 5], 此处从略。试验结果用三元二次回归方程拟合, 其中, 西田各庄试验点所获回归方程是编码方程。为了便于比较, 将该方程用 $X_1 = \frac{N-15}{5.945}$, $X_2 = \frac{P-9}{5.35}$, $X_3 = \frac{W-60}{11.9}$, 三式译码而得效应方程。两个试验所得氮、磷、水三元二次回归方程将作为本文分析讨论的基础。

1997-01-06收稿。
 * 农业部资助重点课题。 ** 现在工作单位: 中国农业大学农业土木工程学院。

表 1 试验点土壤养分状况 (0~ 20cm)					
地 点	有机质 (m g /g)	全氮 (m g /g)	碱解氮 (m g /kg)	有效磷 (m g /kg)	有效钾 (m g /kg)
西田各庄	7 0	0 58	55	5 8	76
梨 园	12 6	0 82	75	15 2	141

表 2 试验点土壤物理性状 (0~ 20cm)				
地 点	容重 (g /cm ³)	总孔隙度 (%)	田间持水量 (%)	萎蔫系数 (%)
西田各庄	1 46	44 7	17 1	3 7
梨 园	1 37	45 0	25 0	7 6

2 结果与讨论

2 1 氮、磷、水对小麦产量的影响

根据试验资料获得西田各庄砂性土壤和梨园轻壤质土壤上氮、磷、水联因时小麦产量的效应方程为:

西田各庄 (以下简称砂土):

$$Y = - 1613.970 - 12.773N - 0.0127N^2 + 11.573P - 0.0182P^2 + 121.125W - 0.9825W^2 + 0.0374NP + 0.254NW - 0.166PW, \quad F = 6.89^{**} \quad (1)$$

梨园 (以下简称壤土):

$$Y = - 9357.450 - 15.968N - 0.0237N^2 - 4.447P - 0.0211P^2 + 434.760W - 3.720W^2 + 0.0666NP - 0.0598NW + 0.165PW, \quad F = 11.25^{**} \quad (2)$$

其中, Y — 小麦产量 (kg /hm²); N , P — 氮磷肥用量 (kg /hm²); W — 土壤相对含水量 (%)

设 $N = 0$, $P = 0$ 用降维法将 (1), (2)两式转化为水分效应方程:

砂土: $Y = - 1613.970 + 121.125W - 0.9825W^2 \quad (3)$

壤土: $Y = - 9357.450 + 434.760W - 3.720W^2 \quad (4)$

从 (3), (4)可算得小麦产量为 0 时的土壤相对含水量, 砂土为 15.2% (3.0% 干土重), 壤土为 28.4% (7.1% 干土重), 十分近似于基础土样测得的土壤萎蔫系数, 说明这两个试验的结果比较可靠。此时, (3)和 (4)的 W_{max} 各为 61.6% 和 58.4%, 相应的小麦产量 (Y_{max}) 为 2119.5 和 3345.0 kg /hm²。以上述 W_{max} 为基准代入方程 (1) 和 (2), 同样用降维法求得相应的 N_{max} , P_{max} , Y_N 和 Y_P , 计算结果列于表 3。

从表 3 可见, 两种不同质地土壤上, 氮、磷、水对小麦产量的作用均是水 > 氮 > 磷。其中, 水的效应在砂性土壤上更为明显, 它的相对效应几乎是氮的 10 倍, 磷的 100 倍。

此处所采用的效应比较方法是按多元效应方程, 固定其他因子, 计算某一因子的最大用量与相

应最高产量 (表中 $Y_{N(P,W)}$), 再减去 Y_0 产量后作为某因子的效应产量。各因子都在其最高产量点上比较, 不再计算单位用量的增产量 ($\Delta y / \Delta x$), 可以避免灌溉水量以灌水次数, mm, m³ 计量时的偏高或偏低估计。

2 2 氮、磷肥料对水分效应的影响

水分效应和肥料效应相似之处在于它也是一个从低到高, 达到最高点后再逐步下降的过程, 近似于一条抛物线; 它与肥料效应不同之处在于土壤水分对作物产量的作用有一个起始

表 3 小麦的氮、磷、水效应 (kg /hm ²)					
土壤	效 应	$N(P,W)_{max}$	Y_0	$Y_{N(PW)}$	$Y_{N(PW)} - Y_0$
砂土	$W(N_0P_0)$	924.0	0	2119.5	2119.5
	$N(P_0W_{61.6})$	112.5	2119.5	2281.5	162.0
	$P(N_0W_{61.6})$	37.5	2119.5	2143.5	24.0
壤土	$W(N_0P_0)$	876.0	0	3345.0	3345.0
	$N(P_0W_{58.4})$	261.0	3345.0	4965.0	1620.0
	$P(N_0W_{58.4})$	129.0	3345.0	3697.5	352.5

点, 即产量为 0 时的土壤最低含水量, 还有一个终点, 此时土壤水分过高, 作物产量也为 0 (水稻及水生植物除外) 肥料效应一般不会有 $Y=0$ 的起始肥料用量, 也很难得到 $Y=0$ 的最大肥料用量。所以, 起始土壤含水量阈值 (W_0)、最高产量土壤含水量 (W_{max}) 和终点土壤含水量阈值 (W_e) 可以作为土壤水分效应的三个特征值, 它与作物的抗旱、高产、耐涝有关, 并随其他因素的变化而发生相应的改变。特征值可以从水分效应特征方程 $Y = a + bW + cW^2$ 求得, 此处 Y 为作物产量, W 为土壤含水量。汪德水^[1]提出土壤水分临界值概念, 以 10% 土壤含水量作为肥料开始有效应的土壤起始含水量, 虽然不易测定, 但也是一个很有意义的特征值。

用降维法将 (1) (2) 两方程转换成不同氮、磷肥用量时的水分效应特征方程, 算得两种不同质地土壤的水分效应特征值, 列于表 4 5

表 4 氮对土壤水分效应的影响

土壤类型	N (kg /hm ²) (P= 0)	W ₀ (%)	W _{max} (%)	W _e (%)
砂 土	0	15 2(2 6)	61 6(10 5)	108 1(18 5)
	75	22 4(3 8)	71 3(12 2)	120 3(20 6)
	150	29 2(5 0)	81 0(13 9)	132 8(22 7)
	225	35 9(6 1)	90 7(15 5)	145 6(24 9)
	300	42 3(7 2)	100 4(17 2)	158 5(27 1)
壤 土	0	28 4(7 1)	58 4(14 6)	88 4(22 1)
	75	22 4(6 1)	57 8(14 5)	91 2(22 8)
	150	21 7(5 4)	57 2(14 3)	92 7(23 2)
	225	20 1(5 0)	56 6(14 2)	93 2(23 3)
	300	19 4(4 9)	56 0(14 0)	92 6(23 2)

注: () 内为土壤含水量干土重%, 下同。

表 5 磷对土壤水分效应的影响

土壤类型	P ₂ O ₅ (kg /hm ²) (N= 0)	W ₀ (%)	W _{max} (%)	W _e (%)
砂 土	0	15 2(2 6)	61 6(10 5)	108 1(18 5)
	56 25	10 0(1 7)	56 9(9 7)	103 8(17 7)
	112 50	5 6(1 0)	52 1(8 9)	98 7(16 9)
	168 75	2 0(0 3)	47 4(8 1)	92 8(15 9)
	225 0	0 8(0 1)	42 6(7 3)	84 5(14 4)
壤 土	0	28 4(7 1)	58 4(14 6)	88 4(22 1)
	56 25	28 7(7 2)	59 7(14 9)	90 7(22 7)
	112 50	29 5(7 4)	60 9(15 2)	92 4(23 1)
	168 75	30 8(7 7)	62 2(15 5)	93 6(23 4)
	225 00	32 6(8 2)	63 4(15 9)	94 3(23 6)

从表 4 和表 5 的计算值可以看到氮、磷两种肥料对土壤水分特征值的影响完全不同, 而且在质地不同土壤上其效应也有所不同。随着氮用量的增加, 砂土土壤水分效应三个特征值也增加, 而在壤土上水分特征值却下降, 以 W_{max} 为例, 氮用量从 0 增至 300kg /hm² 时, 砂土 W_{max} 从 61. 6% 提高到 100. 4%, 而壤土的 W_{max} 则从 58. 4% 降至 56. 0%。两者不仅作用方向不同, 而且作用强度也是砂土大于壤土, 可能与壤土的缓冲能力较大有关, 在壤土上氮肥施用几乎不影响 W_{max} 。

与氮肥相反, 随着磷肥用量的增加, 砂土土壤水分效应特征值逐步降低, 如磷用量从 0 增至 225kg /hm² 时, 砂土的 W_0 从 15. 2% 降至 0. 8%, W_{max} 从 61. 6% 降至 42. 6%, W_e 从 108. 1%

降至 84 %;壤土土壤水分效应特征值却随磷肥用量增加而逐步提高,磷用量同样从 0增至 225kg/hm²时,壤土 W₀ 从 28.4%增至 32.6%, W_{max} 从 58.4%增至 63.4%, W_e 从 88.4%增至 94.3%,而且其变化幅度小于砂土。

肥料对水分效应的影响一方面增加作物的养分供应,促进根系生长,提高水分利用效率;另一方面则影响土壤溶液浓度,浓度过高时反而抑制根系的生长和对水分、养分的吸收。在砂土上施用磷肥可以增强作物的抗旱性(W₀降低),施用氮肥则降低抗旱性(W₀升高),与氮肥提高土壤溶液浓度有关。砂土上施氮可增强作物的抗涝性(W_e),施磷则没有这种作用。在壤土上肥料对水分效应的影响很小。

2.3 土壤水分对肥料效应的影响

在土壤水分对氮、磷肥料效应的影响方面已有不少研究。郑仁塘^[6]在河北廊坊进行的研究认为,随着灌溉次数的增加,氮肥用量也随之增高,而磷肥效应与水的关系不密切。吕殿青^[7]也有同样的研究结论,认为氮水配合其交互作用为协同作用类型,磷水配合则成拮抗类型。但是,在不同质地土壤上水分与肥料关系的比较研究在国内还不多见。

利用方程(1)和(2),同样用降维法可算得在不同土壤相对含水量条件下氮肥(P=0)和磷肥(N=0)对小麦产量的效应方程,并作图(图1,图2)。

从图1、2所示效应曲线可知,在质地不同土壤上水肥交互作用有很大差别。随着土壤含水量的增加,砂土上氮的最大施用量同步增加,壤土上氮最大施用量却随之降低,但变幅很小。磷和水之间的交互作用在不同质地土壤上表现与氮正好相反。在砂性土壤上,随着水分的增加,肥效曲线的磷最大施肥量降低,在壤土上则反而随之增加。

从图中还可以看到,质地不同土壤在水肥交互作用上的差别表现为基础产量(N或P为0时)的不同变

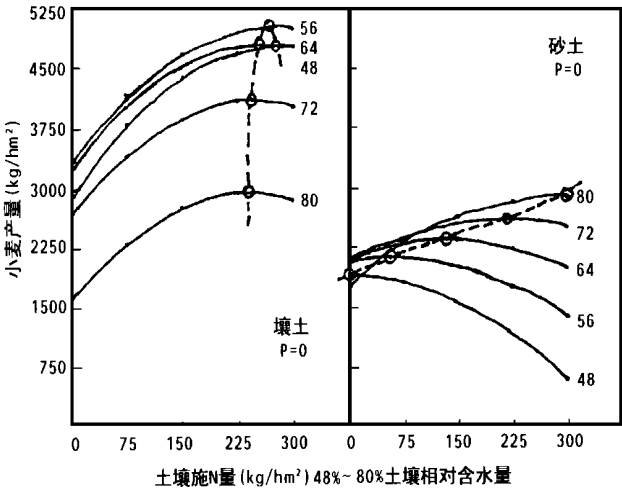


图 1 土壤水分对氮肥效应的影响
···○···氮的最大施用量及其连线

表 6 壤土上土壤水分对肥料效应的影响 (kg/hm²)

土壤相对 含水量(%)	氮 肥 效 应				磷 肥 效 应		
	Y ₀	N _{max}	Y _N	Y _N - Y ₀	P _{2O5} max	Y _P	Y _P - Y ₀
48(12)	2940.0	276.0	4752.0	1812.0	82.5	3082.5	142.5
56(14)	3322.5	267.0	4999.5	1677.0	114.0	3595.5	271.5
64(16)	3229.5	256.5	4786.5	1557.0	144.0	3672.0	442.5
72(18)	2661.0	246.0	4098.0	1437.0	175.5	3315.0	657.0
80(20)	1615.5	237.0	2937.0	1321.5	207.0	2521.5	906.0

注: ()内为土壤含水量干土重%,下同。

化。土壤水分变化时,壤土的小麦基础产量的变幅大于施肥造成的产量变幅,在磷肥效应上更为明显。但是在砂土上,土壤水分变化造成的基础产量变幅远小于壤土,也小于肥料效应的变幅。这些特点可以从表 6和表 7的数据中看出,这些数据是根据图 1 2中各条曲线所代表的肥料效应方程计算出来的(表 6 7)。

从表 6和表 7的数据可知,不管土壤质地如何,水分对氮磷肥料效应的影响是很明显的。虽然在作用方向和强度上有所不同,但是随着土壤含水量的变化,两种质地不同土壤上氮、磷肥的用量都发生相应规律的变化,相关性很高,所以可拟合成下列直线回归方程,对它们之间的数量关系进行探讨。

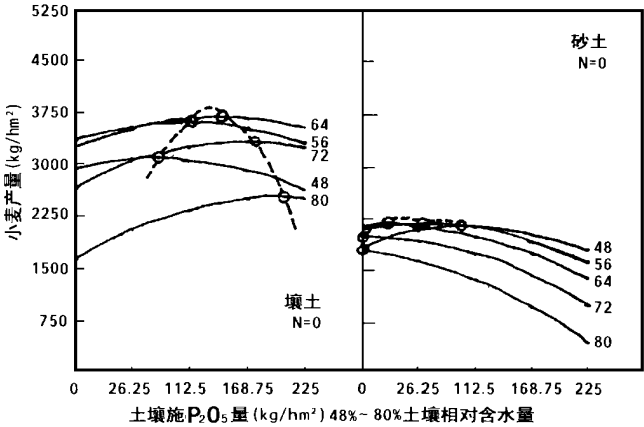


图 2 土壤水分对磷肥料效应的影响
·····○····· N 或 P 的最大施用量及其连线

表 7 砂土上土壤水分对肥料效应的影响 (kg /hm²)

土壤相对 含水量 (%)	氮 肥 效 应				磷 肥 效 应		
	Y ₀	N _{m ax}	Y _N	Y _N - Y ₀	P ₂ O ₅ m ax	Y _p	Y _p - Y ₀
48(8 2)	1936 5	0	1936 5	0	99 0	2113 5	117 0
56(9 6)	2088 0	57 0	2128 5	40 5	61 5	2185 0	70 5
64(10 9)	2113 5	136 5	2352 0	238 5	25 5	2125 5	12 5
72(12 3)	2014 5	216 0	2611 5	597 0	0	2014 5	0
80(13 7)	1788 0	297 0	2901 0	1113 0	0	1788 0	0

壤土: N= 335 700- 1 2375W
P= - 103 80Q- 3 881W
砂土: N= - 461 100+ 9 413W
P= 244 800+ 3 244W

其中, N、P—氮磷肥每公顷施用量 (kg /hm²), W—土壤相对含水量 (%)

在壤土上,土壤相对含水量每减少 10% (干土重含水量 2 5%),相应增加 12 4kg /hm² 氮用量,减少 38 8kg /hm² P₂O₅ 用量;在砂土上,土壤相对含水量每增加 10% (干土重含水量 1 7%),则相应增加氮用量 94kg /hm²,减少磷用量 32kg /hm²。当然,这种数量关系只适用于土壤相对含水量 48% ~ 80%的范围,过大的外推是不适当的。

3 结论

在京郊壤质和砂质土壤上,氮、磷、水三种因素对小麦产量的作用均是水 > 氮 > 磷。水的作用在砂性土壤上更为明显,它的相对效应几乎是氮的 10倍,磷的 100倍。

施用氮肥使砂土土壤水分特征值 W_q 、 W_{max} 和 W_e 提高,而使壤土的水分特征值降低。施用磷肥则相反,使砂土的水分特征值下降,而使壤土的特征值提高。肥料对土壤水分效应的影响在壤土上明显小于砂土。

土壤水含量对氮、磷肥料效应的影响在不同质地土壤上与肥料对水的交互效应有相同的趋势,但作用强度更大一些。壤土上土壤含水量变化导致肥料效应中基础产量 (Y_0) 的差异远大于砂土。

参 考 文 献

- 1 汪德水. 旱地农田肥水关系原理与调控技术. 北京: 中国农业科技出版社, 1995
- 2 周军, 等. 冬小麦水肥增产耦合效应模型研究. 水利学报, 1994 6(6): 57~ 64
- 3 周军, 等. 冬小麦水肥增产耦合效应及经济性研究. 华北农学报, 1994 9(3): 100~ 106
- 4 周军. 冬小麦水肥机理试验研究. 农业工程学报, 1994 10(1): 44~ 49
- 5 徐秋明, 等. 小麦春季管理肥水联合效应的研究. 华北农学报, 1997 12(4): 85~ 89
- 6 郑仁塘. 水肥综合作用对作物产量的影响及其定额的拟定. 灌溉排水, 1995 2(14): 8~ 13
- 7 吕殿青. 渭北东部旱源氮、磷、水三因素交互作用研究. 见: 旱地农田肥水关系原理与调控技术. 北京: 中国农业科技出版社, 1995 286~ 291

Comparison of Interactions among N, P and Water in Wheat in Soils of Different Textures

Xu Qiuming Zhou Jun Li Yaxing Xu Jianming Huang Deming

(Institute of Plant Nutrition and Resources Beijing Municipal Academy of
Agriculture and Forestry Sciences Beijing 100081)

Abstract The interactions among N, P and water were studied in two soils of different textures in Beijing suburb plain in 1992– 1994. The result was compared and analysed with the multiple regression method. It showed that both in loamy soil and sandy soil water was the most important factor, followed by nitrogen and phosphorus in the production of wheat. The effect of water was even more obvious in sandy soil. Nitrogen fertilizer promoted the water trait value W_q , W_{max} and W_e in sandy soil but reduced them in loamy soil. Phosphorus fertilizer had the opposite effect on water. The effect of soil water on N and P fertilizers showed the same feature as the interaction of fertilizers on water except at a stronger intensity.

Key words Interaction among N, P and water; Soils; Sandy soil; Loamy soil