

# 淮北砂姜黑土区小麦高产高效的施肥技术\*

张效朴

(中国科学院南京土壤研究所)

## 摘 要

通过近几年在淮北地区几种类型砂姜黑土上多点的田间试验和土壤、植物分析,探讨了在土壤供磷水平有所变化的条件下小麦高产对氮、磷、钾肥的反应及其需肥规律,并针对土壤养分水平特点提出了适当地节磷补钾的小麦高产高效的施肥方案。

砂姜黑土是黄淮海平原的主要低产土壤之一,淮北又是我国砂姜黑土最集中分布的地区。这类土壤的低产原因,除粘土矿物中蒙脱石含量过高,土体胀缩性强,水分物理性质和耕作性质皆很差外,土壤养分贫瘠也是重要因素。80年代初期,多数研究指出这类土壤有机质贫乏,缺氮,少磷,而富钾<sup>[1]</sup>,因此在生产上特别重视增施磷肥。但是土壤养分水平随生产的发展而发生变化。为了使农业高产高效地持续发展,我们近几年在淮北砂姜黑土区对当地的主要作物小麦进行了多点的肥料效应和施肥方案的试验研究。本文就对这些试验结果作一讨论。

## 一、试验方法

田间试验选择在淮北较有代表性的几种砂姜黑土上进行,如淀白黑姜土,原称青白土(涡阳)、淤黑姜土(亳州)、黑姜土和黄姜土(怀远、蒙城)等。供试土壤的有机质含量多在10—14g/kg,全N在0.65—0.95g/kg,速效磷( $P_2O_5$ )在14—25mg/kg,速效钾( $K_2O$ )为100—180mg/kg。某些供试土壤的主要农化性质列于表1。

表 1 某些供试土壤的主要农化性质

土 壤 (地点)	采样时期	PH (水)	有机质	全氮 (N)	全磷 ( $P_2O_5$ )	全钾 ( $K_2O$ )	水解氮 (N)	速效磷 ( $P_2O_5$ )	速效钾 ( $K_2O$ )
淀白黑姜土 (涡阳青町)	试验前	8.08	11.1	0.75	0.99	17.2	80.7	21.6	123
	两季施肥后	7.86	11.2	0.80	1.00	16.8	87.8	32.2	125
淤黑姜土 (亳州古城)	试验前	8.28	14.0	0.93	1.47	20.5	99.4	14.1	183
	两季施肥后	8.38	14.0	0.95	—	—	102.8	23.7	176
黑姜土 (怀远包集)	试验前	7.09	13.4	0.80	1.33	14.8	82.6	18.3	106

注:土壤有机质、全N、全磷、全钾单位为g/kg,其余单位为mg/kg。

田间试验大多采用N、P 2 因素 4 水平或N、P、K 3 因素 4 水平的正交法或回归法设计。

\* 侯德富、朱增炎、林长丰、邓西海先后参加部分试验工作,谨致感谢。

1987年在涡阳淀白黑姜土上的N、P 2因素4水平，另加对照区的正交试验， $[L_{16}(4)^5]$ ，其4级N素水平分别为：N8, N11, N14, N17(公斤/亩，下同)；4级P( $P_2O_5$ )水平分别为：P4, P6, P8, P10( $P_2O_5$ , 公斤/亩，下同)；该试验设2次重复。

1989年在亳州淤黑姜土上的2因素4水平的正交试验，N、P用量分别为：N6, N10, N14, N18；和P2, P4, P6, P8，另加对照区。

1991年在怀远黑姜土上的试验为N、P、K 3因素4水平，另加对照区和单施磷区，共18个处理。各因素的水平分别为：N8, N11, N14, N17；P0, P3, P6, P9；K0, K3, K6, K9( $K_2O$ , 公斤/亩，下同)。

另外，为进一步验证N、P、K肥的效果，在怀远黑姜土上布置了N、P、K单因子4次重复的随机区组法设计的试验，其N、P、K用量分别为15, 7, 7。

供试的小麦品种有陕农7859，马场2号和冀麦5418等。

## 二、结果与讨论

### (一)磷、氮、钾肥对小麦的增产效果

几组试验的产量统计结果列于表2、3、4。由于这些试验是从1987到1992年在不同的气候和不同土壤条件下进行，所以其结果不尽相同。在涡阳的试验中，16个施肥处理产量为176—310公斤/亩，比对照区的58.5公斤/亩增产2—4倍；田间最高产量区是N11—P4组合小区，直观统计结果(表2)最高产量的N素水平也为每亩11公斤N，而P却为8公斤，说明净增产220公斤小麦需施N11公斤，需磷肥量则不规律，这可能是磷肥肥效较低所致，从极差值(R)看出， $N > P$ ，表明氮是主要增产因子。但该试验最高的N、P施用区小麦虽未倒伏，但产量却并不高。这可能与当年小麦生长前期遭干旱和冻害，冬前分蘖不足，在缺乏灌溉条

表2 涡阳、亳州施肥试验产量直观分析(单位：公斤/亩)

水平平均值	涡阳, $L_{16}(4)^5$ 试验			亳州, $L_{16}(4)^5$ 试验		
	N	P	(N×P)	N	P	(N×P)
$\bar{K}_1$	220.0	257.0	240.0	295.5	320.2	327.0
$\bar{K}_2$	269.5	235.0	255.0	345.7	323.9	320.2
$\bar{K}_3$	261.0	275.0	263.5	349.7	324.5	318.1
$\bar{K}_4$	268.0	251.5	267.0	299.9	322.0	325.5
R	49.5	40.0	27.0	54.2	4.3	8.9

表3 怀远最佳施肥试验 $[L_{16}(4)^5]$ 设计产量统计及其显著性\*

水平平均值	N		P		K	
	产量 (公斤/亩)	显著性 5% 1%	产量 (公斤/亩)	显著性 5% 1%	产量 (公斤/亩)	显著性 5% 1%
$\bar{K}_1$	347.8	c C	357.8	b B	381.1	a A
$\bar{K}_2$	385.6	b B	385.6	a A	392.8	a A
$\bar{K}_3$	393.5	b B	402.6	a A	384.3	a A
$\bar{K}_4$	421.1	a A	402.0	a A	389.9	a A
R	73.3		44.8		11.7	

\* 显著性测验用Duncan法。

表 4

氮、磷、钾肥对小麦产量的影响(随机区组法试验)

试验处理	产量(公斤/亩)		处理间比较				Duncan法测验	
	$\bar{X}$	$S_x$	(增产量,公斤/亩)				5%	1%
对照	229.8	44.1	—				d	C
N15	368.0	39.1	138.2	—			c	B
N15P7	429.8	38.2	200.0	61.8	—		ab	AB
N15K7	412.2	24.9	182.4	44.2	-17.6	—	bc	AB
N15P7K7	466.5	18.6	236.7	98.5	36.7	54.3	a	A

件下,过多的氮肥造成开春后无效分蘖增多,反而造成穗粒数下降有关。

亳州的试验,16个N、P不同组合区产量在284.4—365.0公斤/亩,比对照区的90公斤/亩增产2—3倍;最高产量区(365.0公斤/亩)出现在N10—P2处理区。直观统计结果,最高产量出现在N14—P6水平,但由于该水平比低一级水平的产量差异甚微,从经济效益看,仍应是N10—P2为最佳组合。比较极差值R,  $N > (N \times P) > P$ ,也表明氮肥对小麦增产的主导作用。但在小麦灌浆期遭受大风雨袭击,凡施N量高的处理皆因其密度大,有效茎蘖多(约45万/亩),造成不同程度的倒伏,后期灌浆不良,千粒重只有25克左右,因而未能充分发挥肥的增产作用。

怀远的试验,由于1992年夏初小麦成熟期阳光充足,小麦穗大粒饱,出现了历史上的最高产量,不仅氮、磷肥都表现了显著效果,而且甚至有施肥量越高产量也较高的现象。如表3、4所示,单施N8公斤/亩的处理(N8—P0—K0组合)比对照区净增72.6公斤/亩;单施N<sup>15</sup>/亩公斤者则净增产138.2公斤/亩;而在配合施用磷、钾肥的基础上,在施N8—17公斤范围内,小麦产量呈现有随氮肥用量增加而提高的趋势。产量(y)与N用量( $x_N$ )间的关系为:

$$y(\text{公斤/亩}) = 292.3 + 7.6x_N (r = 0.76^{**}, n = 16)。$$

在该试验中,单施磷肥者,比对照只增产7.7%;而在N15公斤/亩基础上再施磷肥者,则比单施氮增产16.8%;又在氮钾肥基础上,磷肥增产13.2%,达显著水平。通过单因子回归分析,在平均亩施N12.5公斤和K<sub>2</sub>O4.5公斤基础上增施P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>0—9公斤时,其产量(y)与磷肥用量( $x_P$ )间的关系式为:

$$y(\text{公斤/亩}) = 364.5 + 5.0x_P (r = 0.50^*, n = 16)$$

从表4结果还可看出,施钾处理(NK, NPK)比不施钾处理(N, NP)分别增产12.0%和8.5%,尽管未达显著水平,但大致可以认为钾肥对小麦也具有一定的增产作用。因为在整个试验的各个重复中,总是以N、P、K<sub>3</sub>因素相配合的处理产量最高,平均亩产高达466公斤。

## (二)最佳施肥量

根据上述试验结果,经数学模拟,可求出各试验的最佳产量和最佳施肥量。例如亳州淤黑姜土上试验的肥料效应方程为:

$$y(\text{产量,斤/亩}) = 186.9 + 38.88N + 11.23P - 0.8094N^2 - 0.5849P^2 + 0.05523N \cdot P \quad (\text{复相关系数} = 0.98^{**}, n = 18)$$

从该方程可求得,最高亩产为360.7公斤,相应的施肥量为N12.2公斤/亩, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>5.4公斤/亩;输入物价参数后,得最佳亩产量为356.6公斤,最佳施肥量为N11.4公斤/亩, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>3.8公斤/亩。

怀远试验(鉴于K因子增产不显著,只取N、P<sub>2</sub>因子)的肥料效应方程为:

$$y(\text{公斤/亩}) = 205.6 + 17.40N + 11.25P - 0.3684N^2 - 0.5826P^2 - 0.1198N \cdot P \quad (\text{复相}$$

关系数 = 0.980\*\*, F值 = 57.92, n = 18)。

由方程求得最高产量为442.0公斤/亩, 相应的施肥量为 N22.4公斤/亩, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>7.3公斤/亩; 输入物价参数后得最佳亩产量为424.6公斤, 最佳施肥量为N18.1公斤/亩, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>3.5公斤/亩。

根据此种方法计算出几年来一些试验的最佳产量和最佳施肥量列于表5。从这些结果可

表 5 砂姜黑土上N、P肥对小麦产量的影响与最佳施肥量\*(单位: 公斤/亩)

供试土壤	试验方法	施肥量范围		基础产量 (对照区)	施肥区产量	最佳 产量	最佳施肥量		增产100公斤 需肥量	
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
黑姜土(怀远)	N、P、K3因子4水平, 正交法	8—17	0—9	220.0	292.6—430.4	424.6	18.1	3.5	8.8	1.7
黄姜土(怀远)	N、P2因子5水平, 回归法	2—18	0—9	163.4	181.5—336.5	343.7	11.7	5.8	6.5	3.2
	同上	2—18	0—9	152.2	250.0—337.0	312.5	9.3	6.7	5.8	4.2
淤黑姜土(亳州)	N、P2因子4水平, 正交法	6—18	2—8	90.0	284.4—365.0	356.8	11.4	3.8	4.3	1.5
	N、P2因子, 回归法	0—18	0—10	154.5	225.7—336.0	302.6	13.2	5.5	8.9	3.7
淀白黑姜土(涡阳)	N、P2因子4水平, 正交法	8—17	4—10	53.5	176.0—310.0	275.0	11.0	8.0	5.1	3.8
	N、P2因子, 回归法	0—12	0—8	111.5	131.0—296.5	280.5	8.5	4.4	5.0	2.6
黑姜土(蒙城)	N、P2因子4水平, 正交法	9—15	4—10	145.0	265.0—355.0	325.0	9.0	6.0	5.0	3.3

\* 部分试验结果由怀远县土肥站和涡阳县农技站提供。

以看出, 所谓最佳施肥量乃是个有条件的变量。不同年份、不同田块的不同肥力基础等条件都影响肥料效应, 因而也影响最佳施肥量。当土壤基础产量低, 或气候适宜时, 作物生长好, 肥料利用率高, 从而达到相同产量的需肥量, 及增产单位产量的需肥量相对就低些, 反之便可能相对较高。此外, 小麦品种及其它栽培技术也影响肥料效应和最佳施肥量。高产品种并栽培管理得当, 施肥的增产幅度大, 最佳产量和最佳施肥量可能较高, 反之则可能较低。一般地说, 基础产量在50—200公斤, 最佳亩产在300—400公斤范围内, 每生产100公斤小麦需肥料N5.0—7.5公斤, 需肥料P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>1.5—3.8公斤; 若使用小麦良种且播种期、播种量适当, 气候正常或有灌溉条件, 在大多数砂姜黑土上, 每亩施用 N11—16公斤、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>3.5—6公斤, 则小麦单产一般可达350—400公斤; 若土壤肥力很低, 供钾水平也在中等以下, 尚需施用有机肥及补充少量钾肥, 才可能达到高产高效的最佳产量。

### (三) 磷肥肥效的降低及其原因

从表2、3的试验结果可以看出, 在不同磷肥用量间产量的差异有的较小, 有的虽然极差值较大, 但水平间的差异却无规律。从而表明在这些田块上, 磷肥的效果已不显著。再从供试土壤速效磷水平(15—25mg/kg)看, 已比以前<sup>[1]</sup>大有提高, 这是磷肥效果下降的主要原因。

砂姜黑土区土壤磷素水平提高的现象具有相当的普遍性<sup>[2]</sup>。例如, 蒙城县外资治理区中24个定点观测结果, 1983年时土壤全磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)平均为0.74g/kg, 速效磷多数在3.0—10.0mg/kg, 平均值为6.9mg/kg, 最高只有15.0mg/kg; 经过5年后, 1988年全磷已上升到0.91g/kg, 速效磷约有半数以上的土壤高于15mg/kg, 平均达到15.8mg/kg, 即比5年前提高一倍以上。又如亳州古城区, 1990年209个淤黑姜土样品的速效磷平均值为11.4mg/kg, 比五、六年前第二次土壤普查时全区的平均值(5.9mg/kg)也将近提高1倍。因此, 速效磷水平的显著提高是淮北砂姜黑土区土壤养分变化中的最大特点之一。

近10年来土壤速效磷水平的迅速提高，主要是由于在淮北地区较多施用磷肥的结果。在怀远包集的定点测定结果表明，经过3年连续施用过磷酸钙50公斤/亩后，土壤速效磷平均提高40—65%，而不施肥对照区，3年前、后测定结果无变化。我们在几处连续两季施肥的试验结果(表1)表明，亩施 $P_2O_5$ 2—10公斤，土壤速效磷平均提高了50%以上；吴文荣等试验结果，其速效磷提高的幅度更大些<sup>[3]</sup>。

再者，磷肥肥效的降低还与磷肥的利用率较高有关。从田间试验中不同处理的小麦各部位植物分析和生物量测定得知，砂姜黑土上一般每生产100公斤小麦，平均需吸收 $N$ 2.73公斤， $P_2O_5$ 1.16公斤， $K_2O$ 1.92公斤。用差减法算得，小麦对尿素中 $N$ 的当季利用率为30—57.3%，平均为44.2%；对磷酸二铵中磷的当季利用率为21.9—32.1%，平均为26.9%。但如包括对下季作物的后效在内，其利用率则达40%左右(关于磷肥的后效，蒋柏藩等已有阐述<sup>[4]</sup>)。而如果计算更长时间内磷肥的后效，例如3—5年，则磷肥的总利用率还要高。由此看来，以往对磷肥利用率的估计似乎过低，而对磷肥固定量的估计却似乎又过高了。这与J·Karlovsky等人的看法<sup>[5]</sup>相似。

鉴于砂姜黑土区土壤磷含量已发生变化，因而在小麦的施肥方案中，应该对磷肥的用量和用法进行必要的修订和改进，以达到投入少而效益高的目的。

#### (四)小麦的施肥方案

根据现代农业发展的要需，在砂姜黑土上的小麦施肥原则，既要满足高产对养分的需求，又要低耗而高效，既要利用和挖掘土壤的生产潜力，又要尽量维持土壤养分平衡，有利于良性土壤生态系统的建立。根据当前砂姜黑土养分肥力的特点，以及国家的肥料资源和供应情况，对小麦的氮、磷肥施用基本上可按照“平衡施肥”的原则拟定，而小麦对钾的需求，在多数情况下可依靠土壤的供钾潜力以及有机肥提供。即主要根据田间最佳施肥试验的肥料反

表 6 淮北砂姜黑土上小麦的高产施肥方案(单位：公斤/亩)

产量指标	土壤基础产量	增产量	需施用肥料量			备 注
			N	$P_2O_5$	$K_2O$	
225	75	250	14.0	5.0	(5.0)	$K_2O$ 用量的数据仅作参考 在亩施有机肥1吨以上时， 多数土壤可不施钾肥。
	100	225	12.5	4.5	(4.5)	
	125	200	11.0	4.0	(4.0)	
	150	175	10.0	3.5	(3.5)	
350	75	275	15.5	5.5	(5.5)	(1) 强调无机肥与有机肥配合施用； (2) 除淤黑姜土外，其它土壤宜补施少量钾肥； (3) 氮肥应分次施用。
	100	250	14.0	5.0	(5.0)	
	125	225	12.5	4.5	(4.5)	
	150	200	11.0	4.0	(4.0)	
375	100	275	15.5	5.5	(5.5)	
	125	250	14.0	5.0	(5.0)	
	150	225	12.5	4.5	(4.5)	
	175	200	11.5	4.0	(4.0)	
400	100	300	17.0	6.0	(6.0)	
	125	275	15.5	5.5	(5.5)	
	150	250	14.0	5.0	(5.0)	
	175	225	13.0	4.5	(4.5)	

注：土壤基础产量是不施肥对照区的产量。

(下转第13页)

入渗和减少地面蒸发。

3. 平整土地。田间测定表明,在未经灌溉的荒地上,土壤的饱和透水系数为11.0—25.3毫米/小时。但是,在经过多次灌溉以后的粘土上,透水性大为下降,饱和透水系数减至1.0毫米/小时。这与灰棕漠土的土壤结构稳定性不良有关。这种土壤中,有机质不足,土粒遇水后容易分散,而且土中富含粉砂颗粒和碳酸钙,灌溉后土壤极易板结和结壳,阻碍水分向下渗透,而大型灌机的每小时降水量达30毫米。因此,在实施喷灌时,若粘质土地段地面不够平整,则地面将产生径流现象,结果将使高低不平的土壤上水分分布很不均匀。在喷灌后的第3天(6月7日),我们在这种地段的不同的地形部位土壤上进行了含水量测定:处于高处的顶坡,20—60厘米处土壤含水量约5.1%,已达凋萎含水量,麦子正在枯死;中部土壤含水量在9.4%左右;而坡底部土壤含水量为11.7—12.8%,麦子生长较好。结果使整块麦田的长势极不均匀。

#### 参 考 文 献

- [1] 杨苑璋、汪仁真、陈志雄,自动记录湿度计。土壤,第15卷,第3期,1983。
- [2] 徐富安,水银触点式土壤水分传感器的研制和应用。土壤,第19卷,第2期,1987。

(上接第18页)

应规律,参考小麦的需肥特点及对氮、磷肥的利用率,按不同土壤肥力水平上不同的增产指标计算得出基本的施肥量。从而拟出小麦的基本施肥方案(表6)。

值得指出,表6中的土壤基础产量是指不施肥对照区的产量水平。由于作物产量受“最低因子律”的限制,因此实践中最好能依据具体土壤的养分含量或根据田块施肥历史加以适当调整。例如,有的土壤速效磷已达30mg/kg,此时甚至可进一步降低施磷量;若土壤速效磷在5—10mg/kg的水平,此时尚需增加施磷量;如果前两季磷肥用量较高,似可少施磷;如果连续两季未施磷肥,则必须保证磷肥用量。对于钾肥,在大多数砂姜黑土上,若有有机肥施用,则暂可不施;若连续只施用化学氮、磷肥,则在淀白黑姜土、黄姜土和部分黑姜土上应补施少量钾肥。

#### 参 考 文 献

- [1] 张俊民,论砂姜黑土的生产潜力和综合治理,砂姜黑土综合治理研究,2—11页,安徽科技出版社,1988。
- [2] 张效朴,主要作物均衡增产营养调节对策,淮北地区水土资源开发与治理研究,61—73页,周明枞等主编,科学出版社,1962。
- [3] 吴文荣、方世经、周恩嘉、郭熙盛、刘枫,砂姜黑土磷素状况及磷肥施用,砂姜黑土综合治理研究,172—178页,安徽科技出版社,1988。
- [4] 蒋柏藩、李阿荣、顾益初,石灰性土壤磷肥施用的探讨,土壤,18(4):186—188页,1989。
- [5] J·Karlovsky (陆宝树译) 农业生态系统中的养分循环以及植物对养分的利用,土壤学进展,第4期,18—30页,1982。