

氮磷复肥对作物的效应和施用条件

凌云霄 蒋佩弦

(中国科学院南京土壤研究所)

近年来,农村中化肥用量日益增加,但有些地方氮肥施用不当,未达到应有的增产目的。单一的大量施用化肥,不利于植株体内的养分平衡,使作物生长受到限制。作物增产并不随肥料用量的增加而成比例的增加,所以养分合理的配合施用,提高肥料的相互效应,保证获得作物增产是当前生产上迫切需要解决的一项任务。为此我们进行氮磷复肥方面的工作,以提高氮磷肥效,从而获得高产。现将三年的氮磷复肥的试验研究总结如下。

方法和材料

(一) 供试肥料的研制和供试土壤的理化性质

我们以尿素为氮素材料,以重过磷酸钙、普通过磷酸钙、钙镁磷肥、磷矿粉为磷素材料,按一定的氮磷比例在转盘中进行造粒,过筛,粒径控制在2~3毫米。供试土壤的理化性质见表1。

表1 供试土壤的理化性质

土 壤	母 质	pH	代换量 (毫克 当量/ 100克 土)	全氮 (N%)	速效 磷* (P, ppm)
白土(无锡)	湖 积 物	6.4	16.45	0.16	5.24
红壤(进贤)	第四纪红色粘土	5.0	—	0.05	2.62
红壤(长沙)	同 上	6.5	8.83	0.19	9.51

*Olsen 法测定

(二) 田间和盆栽试验设计

1. 1980年在无锡白土上进行的水稻田间试验,3个处理,四次重复。小区面积为 $2.5 \times 6 = 15\text{米}^2$ 。施肥量按每亩10斤N, 7.85斤P, 8.3斤K。

施肥方法:先把钾肥作基肥撒施于土中,插秧后落干,秧苗行间开沟条施(隔行条施即一行施氮肥,一行施磷肥),深8厘米。

- 处理:(1)重过磷酸钙—尿素粒肥条施;
(2)重过磷酸钙—尿素粉状混合条施;
(3)重过磷酸钙、尿素隔行条施。

2. 1980年在无锡白土上进行大麦田间试验,4个处理,四次重复,小区面积为 15米^2 ,施肥量和施肥方法同上。

- 处理:(1)不施肥;
(2)重过磷酸钙—尿素粒肥条施;
(3)重过磷酸钙—尿素粉状混合条施;
(4)重过磷酸钙、尿素隔行条施。

3. 1980年水稻盆栽试验,供试土壤与田间试验土壤相同,用 20×20 (直径 $\times$ 高厘米)盆钵,装土6公斤。肥料施用量每盆1克N, 0.79克P, 0.83克K。钾肥全盆混施,氮肥有条施和面施,磷肥条施。每盆开沟三条,中间一条长19厘米,两旁二条各长12.5厘米,深5厘米。试验共7个处理,四次重复。每盆在两沟之间种稻,共二行,每行15株。

- 处理:(1)尿素—重过磷酸钙粒肥条施;

- (2) 尿素—重过磷酸钙(^{32}P)粒肥条施;
- (3) 尿素—重过磷酸钙(^{32}P)粉状混合条施;
- (4) 尿素、重过磷酸钙(^{32}P)隔行条施, 即每盆的中沟施磷, 两旁沟施氮;
- (5) 尿素面施, 重过磷酸钙(^{32}P)条施;
- (6) 尿素面施;
- (7) 重过磷酸钙(^{32}P)条施。

4. 1981年盆栽试验, 指示作物有谷子、水稻和大豆。供试土壤是长沙红壤性水稻土, 用 20×20 (厘米)钵钵, 装土6公斤。肥料施用量每盆1克N, 0.22克P, 0.83克K, 全盆混施。试验共7个处理, 四次重复。

- (1) 不施肥;
- (2) 氨化过磷酸钙—尿素粒肥;
- (3) 氨化过磷酸钙—尿素粉状混合肥;
- (4) 钙镁磷肥—尿素粒肥;
- (5) 钙镁磷肥—尿素粉状混合肥;
- (6) 磷矿粉—尿素粒肥;
- (7) 磷矿粉—尿素粉状混合肥。

5. 1982年谷子盆栽试验, 供试土壤是江西进贤第四纪红色粘土(荒地), 用 20×20 (厘米)钵钵装土6公斤, 肥料施用量每盆1克N、0.44克P、0.83克K, 若粒肥用量稍有出入, 则以相应肥料调节之。钾肥与氮磷复肥全盆混施。试验共11个处理, 四次重复。

- (1) 不施肥;
- (2) 单施尿素(U);
- (3) 单施过磷酸钙(SP);
- (4) 钙镁磷肥—尿素肥粒;
- (5) 钙镁磷肥—尿素粉状混合肥;
- (6) 昆阳磷矿粉(RP)酸化—尿素粒肥;
- (7) 昆阳磷矿粉(RP)酸化—尿素粉状混合肥;
- (8) 昆阳磷矿粉(RP)—尿素粒肥;
- (9) 昆阳磷矿粉(RP)—尿素粉状混合肥;
- (10) $1/4$ 过磷酸钙 + $3/4$ 昆阳磷矿粉 + 尿素粒肥;
- (11) $1/4$ 过磷酸钙 + $3/4$ 昆阳磷矿粉 + 尿素粉状混合肥。

结果和讨论

(一) 均匀状态的复合肥料有很多优点, 其中最主要是含二种以上的营养元素, 能均衡地供给作物所需, 从而提高了作物的产量。从1980年到1981年间我们所做的氮磷复肥方面的田间和盆栽试验中可看出(表2): 氮磷肥不同的配合方式对水稻生长及养分吸收均有明显影响; 不论氮、磷制成粒肥或就粉状混合肥施用时, 在作物长势、肥料的利用率、养分的吸收及产量都高于单施氮或磷的处理, 同样亦优于氮、磷隔行条施的处理。

单一的营养元素的施用势必造成作物生长过程中各种养分失调, 最后也不可得到满意的产量。而几种养分同时施用时, 各种养分在土壤中分布的状态同样也影响作物的生长, 当将氮、磷分别隔行条施时, 氮、磷养分处于不均匀的状态, 使得一部分根系以吸收氮素为主, 另一部分

表2 氮磷肥不同配合方式对水稻生长及养分吸收的影响

(盆栽试验, 1980)

处 理	谷粒重 (克/盆)	吸 N 总量 (克/盆)	N 利 用率 (%)	吸 P 总量 (毫克/盆)	P 利用率	
					差减法	稀释法
NP 粒肥条施	20.75	1.28	80.7	162	10.9	—
N ³² P 粒肥条施	23.83	1.29	82.5	180	13.14	16.4
N ³² P 粉肥条施	20.63	1.32	85.1	182	13.46	16.2
N ³² P 隔行条施	17.48	1.21	74.3	161	10.78	13.0
N 面施, ³² P 条施	19.65	1.14	67.1	164	11.13	13.4
N 面施	11.55	0.95	48.0	77	—	—
³² P 条施	9.53	0.47	—	76	—	4.7
LSD 0.05	3.86	0.06		9.4		
0.01	5.29	0.09		12.8		

表4 氮磷复肥对谷子生长的相互效应

(盆栽试验, 1982)

处 理	干 谷 粒 重 (克/盆)	NP 连应效应 增产(克/盆)
不 施 肥 CK	13.2	—
单 施 氮 U	11.0	—
单 施 磷 SP	21.9	—
CaMgP + U 粒肥	33.9	14.2
CaMgP + U 粉肥	44.8	25.1
RP(酸化) + U 粒肥	28.3	9.1
RP(酸化) + U 粉肥	42.7	23.0
RP + U 粒肥	27.4	7.7
RP + U 粉肥	40.1	20.4
1/4SP + 3/4RP + U 粒肥	32.5	12.8
1/4SP + 3/4RP + U 粉肥	42.4	22.7

多的干物质, 任何单一元素过量地供给, 反而给作物生长带来不良的影响和更少的产量, 这也说明复合肥的另一个重要优点, 即相互增效作用。根据统计原理, 可按NP连应作用:

$N \times P = (NP - P) - (N - 0) = NP - P - N + 0$ 公式计算, 在本试验条件下的氮磷连应效应, 结果列于表4。

由表4所见, 在江西第四纪红色粘土发育的红壤上, 氮磷复合肥的相互效应非常显著, 尿素与枸溶性磷和难溶性磷肥的配合都有较好的相互效应。

从图1清楚反映单施氮肥没有磷肥配合时谷子的长势比空白处理更矮小, 而单施磷肥没有氮肥配合时, 前期长势尚可, 到后期叶色呈黄绿色, 即使抽穗, 很少得到灌浆成熟。唯有在氮、磷复合施用, 才有正常的叶色和饱满的穗子。

由于氮、磷的这种相互效应而明显地提高了各自的利用率。从表5所见, 单施氮肥时氮素利用率仅为21%, 单施磷时仅为3.5%。当氮磷配合施用, 各自的利用率有很大提高。所以氮磷复肥是一种经济用肥的措施之一。

(三) 氮磷复合粒肥与氮磷粉状混合肥对作物的效应与磷肥品种和土壤水分状况以及施肥方法有密切关系。制造氮磷复合粒肥的目的是希望通过氮、磷的相互效应来促进作物对养分的

表3 氮磷肥不同配合方式对水稻、大麦生长的影响

(田间试验, 1980)

处 理	水 稻 产 量 (斤/亩)	大 麦 产 量 (斤/亩)
不 施 肥		360
NP 粒肥条施	636	624
NP 粉肥条施	633	562
NP 隔行条施	634	489
LSD 0.05		2.1
0.01		3.1

以吸收磷为主, 这样不利于根系的发育, 进而影响了根系对养分的吸收。从我们所做的根系试验中非常明显地看到单施磷肥一边的根系生长量少于氮磷混施一边的根量。

在田间试验中, 氮、磷肥不同配合方式对大麦生长的影响, 氮、磷配合施用优于分别隔行条施的处理; 然而, 在水田条件下氮、磷不同配合方式施用, 对水稻产量结果无明显差异(表3)。这可能由于大田淹水的流动速度较大, 不象在盆栽或旱地中那样稳定, 致使氮素养分很快均匀地扩散, 掩盖了这种差异性。

(二) 复合肥养分供应不是机械相加而是相互增效。氮磷复合粒肥(或粉肥)含有作物生长所必需的主要营养元素, 植物体内一系列的转化都离不开氮和磷, 试验表明只有二者很好地协调供应, 作物才能正常生长, 并积累更

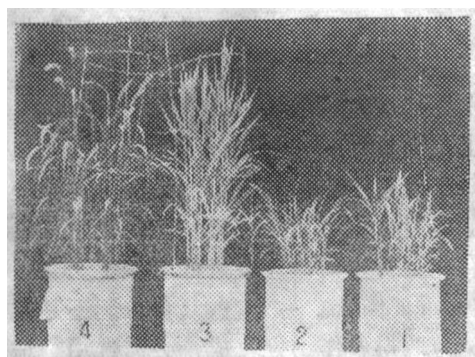


图1 氮磷复肥的相互效应

(盆栽试验, 谷子, 1982)

1. 不施肥, 2. 单施氮肥,
3. 单施磷肥, 4. 钙镁磷肥 + 尿素。

表5 氮磷复肥对谷子生长和养分吸收的影响

(盆栽试验, 1982)

处 理	N素积累量 (克/盆)	P素积累量 (毫克/盆)	N素利用率 (%)	P素利用率 (%)
不 施 肥	0.123	9.25	—	—
单 施 氮 U	0.333	8.77	21	—
单 施 磷 SP	0.132	22.56	—	3.5
CaMgP + U粒肥	0.700	60.83	57.7	11.8
CaMgP + U粉肥	0.835	68.12	71.2	13.5
RP(酸化) + U粒肥	0.670	25.22	54.7	3.7
RP(酸化) + U粉肥	0.845	79.12	71.7	16.0
RP + U 粒肥	0.549	28.24	42.6	4.3
RP + U 粉肥	0.763	49.71	64.0	9.3
1/4SP + 3/4RP + U粒肥	0.700	64.11	57.7	12.7
1/4SP + 3/4RP + U粉肥	0.814	75.45	69.1	15.2

吸收, 提高对肥料的利用, 同时制成粒肥后能改善单一肥料的某种不良的物理性状, 便于机械施肥。通过几年来的室内外的田间和盆栽试验所得的结果来看, 粒状与粉状之间的肥效差异不大。从表2、3看, 在无锡白土上种稻, 施用重过磷酸钙与尿素复合粒肥或粉状混合肥, 所得结果两者间没有差异, 而在江西第四纪红色粘土上进行的谷子试验中看出(表5), 氮磷复合粒肥或粉状混合肥两处理间有一定差异, 而且粉肥优于粒肥。造成这种状况可能是由于重过磷酸钙与尿素成粒后, 肥料的吸湿性能比较强, 故施入稻田中又在淹水条件下, 颗粒很快被分散, 其结果实际上与粉状混合条施无区别, 所以在产量上没有差异, 而在旱作上, 情况截然不同, 加之这些颗粒肥是由钙镁磷肥(或磷矿粉)与尿素组成, 不易吸湿, 施入旱地中不易很快被分散, 而作物对磷的吸收主要靠根系截获与磷素扩散, 所以施用水不溶性磷肥制成的颗粒肥料不利于根系对养分的吸收, 影响了作物更好的生长, 因此, 复肥颗粒化是有条件的, 在这种情况下, 不必制造颗粒复肥。

(四) 影响氮磷复肥肥效的因素

1. 土壤条件: 1980—1982年采用不同土壤进行了复肥对比试验, 肥效结果列于表6。

表6 不同土壤不同肥料配组的复肥效应

土 壤	作 物	产 量	增产%	复肥配组
白土(无锡)	大麦	不施肥 8.1(斤/区) NP粒 14.1	— 74	尿素与重 过磷酸钙
红壤(长沙)	水稻	不施肥 65 (克/盆) NP粒 92	— 42	尿素与氮 化过磷酸 钙
	谷子	不施肥 73 NP粒 115.4	— 58	
	大豆	不施肥 75.9 NP粒 74.2	— —	
红壤(江西)	谷子	不施肥 13.2(克/盆) NP粉 44.8 NP粒 33.9	— 239 157	尿素与钙 镁磷肥

不同土壤类型和土壤肥力条件对氮磷复肥效应的影响很大, 无锡白土在苏州高产地区来说该土属肥力水平较低, 在长江以南大面积耕地来说该土肥力水平处于中等, 故氮磷复肥效应也属中等。至于长沙的红壤肥力水平较高, 则复肥效应较白土为小, 其中随着作物品种不同, 复肥效应减少程度也不同。而江西红壤肥力水平最低, 复肥效应最为明显, 增产效果成倍地增加。由此可见氮磷复肥的施用首先应考虑土壤原有肥力水平。

2. 作物习性: 不同的作物对营养物质需求是不一样的。由表7所见该试验是在肥力较高的长沙红壤上进行的, 故相应地增产效果较小。用三种类型的作物, 在等同条件下进行对比, 同为禾本科的水稻和谷子, 其复肥效应是水稻小于谷子, 这可能是不同水分条件下, 由于养分移动和供应的差异所致, 而旱作大豆和谷子, 土壤中养分移动和供应的条件是相仿的, 但在增产

效果上有很大的不同，谷子的增产效果明显优于大豆，这与作物需肥特性不同有关。豆科作物根系有固氮能力，在植株分析中其氮磷比为7：1左右，而禾本科为3：1左右，因此，氮磷复肥的配比应该按作物生理习性的需要而确定，才能发挥其最大优越性。

可以认为，复合肥料的制备都应以特定的作物和土壤而设计配方。例如对于谷类作物以及对氮需要量大于磷钾的叶菜类作物适于高氮复合肥；对于氮素供应多的土壤或缺磷钾的土壤宜选用低氮复合肥；高磷复合肥适用于极端缺磷土壤；低磷复合肥适用于磷素供应充足耕作良好的土壤；又如2：1或1：1氮磷复合肥适于施用在有充足钾素而缺乏磷素的土壤上。

3. 肥料品种：肥料品种的搭配也是影响复肥效应的重要因素。另外，做复合粒肥还是复合粉肥都得依肥料本身特点而定。在大多数土壤类型上，为取得农作物好收成，必需选用合适的复合肥料，但不是所有肥料都可任意混合制备，要遵守肥料混合的规则：（1）不可把碱性肥料和氨盐混合，以防损失营养物质，如氨的挥发。（2）碱性肥料与过磷酸钙混合超过一定比例，即可导致营养物质转化为对植物有效性退化的状态。（3）防止肥料混合后的物理性状变差，如尿素和过磷酸钙复合后增加吸湿性，给施肥时带来困难。根据这三方面原则，我们把尿素作为氮源材料，把重过磷酸钙、过磷酸钙、钙镁磷肥以及磷矿粉等作为磷源材料，进行各种配组试验。当尿素与重过磷酸钙和过磷酸钙分别配合时制成的复合肥吸湿性太大，施用困难，为此事先把过磷酸钙进行氨化，这又不符合第二个原则，因过磷酸钙经过氨化，再与尿素制成复合肥后，吸湿性虽降低，但氨化过程中可促使磷酸一钙向二钙，甚至向三钙方向进行，使水溶性磷部分退化为枸溶性磷，从而降低肥效，因此氨化过程的控制是极为重要的，同时在工艺上又增加了复杂性。为此我们以尿素与钙镁磷肥和磷矿物分别配合制成复合粒肥和粉肥进行了比较，结果列于表8。

表7 不同作物不同配组的复肥效应

(盆栽试验, 1981)

作物	复 肥 配 组	产量(克/盆)	增产%
水 稻	不 施 肥	65	—
	钙镁磷肥—尿素	93.7	44
	氨化过磷酸钙—尿素	92.0	42
大 豆	不 施 肥	75.9	—
	钙镁磷肥—尿素	68.5	—
	氨化过磷酸钙—尿素	74.2	—
谷 子	不 施 肥	73.3	—
	钙镁磷肥—尿素	123.7	69
	氨化过磷酸钙—尿素	115.4	57

表8 复合肥配组和状态对作物增产效应

处 理	1981年 谷子产量 (克/盆)	1982年 谷子产量 (克/盆)
不 施 肥	73.3	13.2
氨化过磷酸钙—尿素粒肥	115.4	—
氨化过磷酸钙—尿素粉肥	119.4	—
钙镁磷肥—尿素粒肥	123.7	33.9
钙镁磷肥—尿素粉肥	122.5	44.8
磷矿粉—尿素粒肥	107.2	27.4
磷矿粉—尿素粉肥	113.6	40.1

一般说复合肥的配制要求产品有效成分总含量超过30%以上，这样就需要高浓度的速效肥进行配组。由于我国目前条件所限，相应地把枸溶性磷肥和难溶性磷肥与尿素进行配组，同时也制成粉状和粒状进行比较。由表6结果可见，在瘠薄土壤上比肥沃土壤上的复合肥肥效明显，粉状复肥比粒状复肥对作物的增产效果大。这不难理解，因为钙镁磷肥和磷矿粉肥的肥效，通常与其比表面有关，粒度越大，比表面越小，它的肥效就越低。

上述氮磷复肥试验说明复肥是有很多优点，但当复肥与等氮等磷混合肥相比较时，若两者对作物产量没有显著差异，建议可将现有的单质化肥因地制宜地配成混合肥施用。

施用复肥或混合肥应该考虑土壤类型、酸碱度及其肥力水平，同时注意作物品种习性及其对养分的需求，另外还需根据肥料特性进行配组。总之只有根据上述三方面因素施用复肥或混合肥，才能获得较高的经济效益及其现实意义。