

我国化肥的肥效及其提高的途径

——全国化肥试验网的主要结果

林 葆 李 家 康

(中国农业科学院土壤肥料研究所)

摘 要

本文简述了全国化肥试验网的由来、性质和任务,并对化肥网建立 30 多年来的试验研究按时间顺序进行了综述:大致是 50 年代以氮肥,60 年代以磷肥,70 年代以钾肥、80 年代以氮磷钾配合与复合肥为重点,开展了肥效和施用技术试验,为我国化肥生产、分配和使用提供了科学依据。

本文还提及化肥网目前的工作重点,总结了经验和不足,展望了未来的工作。

我国使用化肥并开展研究工作可追溯到本世纪初。1910 年清直隶保定农事试验场发表了化肥试验报告。1914 年伪满公主岭农事试验场开始进行氮、磷、钾三要素试验。1935—1940 年,前中央农业实验所在全国 14 个省开展了氮、磷、钾需要程度的试验,称为地力测定。当时化肥的进口和生产数量十分有限,唯一的氮肥品种硫酸铵仅在沿海各省有少量使用⁽¹⁾。

新中国成立后,国务院和有关领导部门预见到我国化肥的生产和使用将有一个大发展,于 1957 年指示,要在全国有组织地进行肥料试验和示范工作,以便找出不同地区、不同土壤、不同作物需要什么肥料、什么品种和最有效的施用技术,作为国家计划生产、合理分配和科学施用的依据。根据这一指示精神,1957 年 8 月中国农业科学院召开了全国肥料试验工作会议,同年 11 月农业部发出文件,建立全国化学肥料试验网(以下简称化肥网),由中国农业科学院土壤肥料研究所具体负责组织工作,各省、自治区、直辖市的农科院(所)土肥所(室)、中国农科院有关专业所和部分农业院校参加协作。30 多年来化肥网虽几经周折,但在协作单位的共同努力下,一直为实现国家提出的任务而努力工作,取得了不少研究结果和成果,对指导我国化肥生产、分配和使用起到了应有的作用。

化肥网是化肥使用协作研究的一种组织形式,在国家提出的化肥网的总任务下,根据国民经济发展的各个时期农业生产和化肥生产上提出的问题,确定研究内容,制定统一的研究计划和试验方案,并组织实施。化肥网承担的工作,一般是要通过较大范围,甚至全国范围的联合试验,才能搞清楚一些面上的问题。它的中心工作是研究氮、磷、钾化肥的肥效以及如何提高肥效的技术措施。按时间顺序大体进行了以下工作。1958—1962 年在十余种主要作物上,进行了氮、磷、钾化肥的肥效试验,进行了氮肥和磷肥品种的比较试验和氮肥在几种主要作物上的适宜施用时期和方法的研究,60 年代在磷肥的合理施用上

作了较多的工作,明确了磷肥肥效与土壤条件、作物种类、施用技术的关系,提出了一套施用磷肥的措施。70年代在20个省、自治区和直辖市开展了中低品位磷矿粉直接施用的试验和示范,进行了氮肥深施提高肥效的研究和示范推广,并以南方14个省、自治区和直辖市为主,开展了钾肥在提高作物产量和改善产品质量方面的试验。70年代后期,随着化肥用量的迅速增加,各地普遍反映肥效下降,化肥的氮、磷、钾比例失调,1981—1983年化肥网又组织了全国的氮、磷、钾化肥肥效,适宜用量和比例试验,并且在此基础上完成了全国化肥区划。同时,为配合复合肥料的发展,进行了复合肥肥效及品种的对比试验。从80年代初开始,在全国布置了肥料(包括有机肥在内)的长期定位试验100多个。这些试验研究与示范推广有较为紧密的联系,与全国同期各有关单位完成的为数众多的化肥使用方面的基础研究和应用技术的研究是相辅相成的。现将取得的结果分述如下。

(一) 50年代末、60年代初的氮磷钾肥试验,明确了氮肥的增产作用最为显著,是我国最为迫切需要的化肥。我国农民有施用有机肥的传统,除沿海少数地区外,直到新中国成立从未用过化肥。1957年我国化肥用量平均每亩只有1公斤(养分)。因此,要发展化肥工业和发挥化肥在农业生产上的作用,首先要搞清化肥的肥效和施用技术。1958年在25个省、自治区和直辖市共进行氮、磷、钾化肥肥效试验120个,1959—1962年又按不同作物继续进行肥效试验。50年代末到60年代初主要作物上的化肥肥效如下(表1)。

表1 氮、磷、钾化肥的肥效(1958—1962)

Table 1 Efficiency of chemical N, P and K fertilizers

作物 Crop	每斤养分增产*(公斤) Yield increase/kg nutrient (kg)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
水稻	15—20	8—12	2—4
小麦	10—15	5—10	多数试验不增产
玉米	20—30	5—10	2—4
棉花(籽棉)	8—10	—	—
油菜(菜籽)	5—6	5—8	—
薯类(薯块)	40—60	—	—

* 氮磷钾化肥的用量以营养成分计算,一般为每亩3—4公斤。

试验结果首先肯定了氮肥的增产作用最为显著,不仅对表中所列的粮、棉、油、薯类作物增产明显,对其他经济作物、果树和蔬菜的增产幅度也较大。磷肥肥效除在油菜上稍高于氮肥外,在其他作物上均低于氮肥。唯钾肥的肥效很差。

在此期间还对比了氮肥不同品种的肥效,看出硝态氮肥在水田的肥效不如铵态氮肥。碳铵在小麦、棉花、玉米等旱作上施用,增产效果不如硫铵。另外,还研究了一些主要作物的吸肥规律,初步明确了它们施氮肥效果最为明显的时期。例如水稻在幼穗分化期;北方旱地小麦用氮肥作基肥或种肥,水浇地在起身、拔节期;棉花在现蕾到始花期;玉米在抽雄前;油菜在抽苔初期施用氮肥,都能以较少的用量,获得较大的增产效果。这些技术已在生产上推广应用¹⁾。

1) 中国农业科学院土壤肥料研究所,1959: 全国肥料试验网试验总结。

(二) 60年代对磷肥施用技术的研究取得了较大进展。60年代初发现我国南方某些低产稻田施氮肥稻苗发生的“坐秋”、“僵苗”是一种严重的缺磷症，氮磷化肥配合使水稻大幅度增产。此后大量试验结果证实，磷肥肥效和土壤速效磷含量密切相关。例如土壤速效磷(Olsen法)含量 $< 5\text{ppm}$ 为缺，施磷肥增产显著； $5-10\text{ppm}$ 为中度缺磷，配合施用氮肥也有增产效果； $> 10\text{ppm}$ 施磷一般增产不显著或不增产。北方施有机肥少的离村远地，新开垦的盐碱荒地，南方的低产稻田和丘陵红壤等，土壤速效磷含量低，施用磷肥效果较好。试验还总结出作物种类与施磷肥的关系，在豆科作物(包括绿肥)、油菜施磷效果最为突出，冬小麦施磷效果也较好，夏玉米和水稻施磷效果比前几种作物稍差。同时，总结出低产田施磷，豆科作物以磷增氮，禾本科作物氮磷配合以及磷肥做基肥或种肥集中施，水稻蘖秧根等一套经济有效的施用技术，磷肥由南往北迅速推广使用^[1]。

(三) 70年代的磷矿粉肥的肥效试验取得了进一步的结果，明确了磷矿粉的施用技术。磷矿粉肥的肥效研究在我国开始较早^[2]。70年代前期化肥网为配合化工部在全国推广中低品位磷矿粉直接应用于农田，又在24个省、自治区、直辖市安排了1000多个田间试验，并参考以往的结果，对磷矿粉的直接施用问题研究得比较清楚。磷矿粉直接施用的效果，首先和磷矿性质有关，特别是它的结晶性质，在电子显微镜下结晶细小，结构疏松的磷矿(如广西的溶洞型磷矿、进口的摩洛哥磷矿)，枸溶性磷占总磷量的比例高(占15%或更高)，直接施用肥效较大；反之，结晶良好棱角清晰，结构致密，枸溶性磷占总磷量低的磷矿(如海州磷矿)，直接施用当季效果都不明显。其次，与土壤有机质有关，凡是酸性土壤，pH越低，施用磷矿粉的效果越好。如广东、广西的咸酸田，pH5左右，是适宜施用磷矿粉的土壤。一般pH5.5以下的缺磷土壤施用磷矿粉大多有效。反之，在石灰性土壤上施用磷矿粉的肥效尚有争论。第三，不同作物对磷矿粉中磷的吸收能力有很大差异。试验证实，肥田萝卜、荞麦、油菜、豌豆等吸磷能力强；紫云英、田菁、花生、大豆等次之；小麦、水稻、谷子等吸磷能力较弱。另外，磷矿粉有后效，连续施用或在多年生木本植物上一次高量施用，都可看出多年的后效。因此，只要磷矿选择适当，施用在酸性缺磷土壤上，种植吸磷能力强的作物，并采用适当的施用方法，一些不适合于工业加工的中低品位磷矿粉是可以直接施用的^[3]。

(四) 70年代到80年代的氮肥深施试验和示范推广，大幅度提高了氮肥肥效。70年代初化肥网曾组织过全国范围的氮肥深施试验。所谓深施，做底肥时不超过耕作层，作追肥时深度为6—10厘米。从南到北各种深施都明显提高了氮肥的肥效。例如福建省推广的碳铵加粘土等压球深施，广东等地的液体氮肥深度深施，上海、江苏、浙江、湖北的稻田全耕层(一次)深施，北方地区的底肥深施，犁沟溜施、追肥沟、穴施等，一般比表施提高肥效10—20%，因地制宜在全国进行了大面积推广^[4]。

直到80年代，为解决碳铵的深追肥问题，农机与农艺相结合，设计制造了用于粉状碳铵(不造粒)追肥的专用机器，解决了碳铵在机施中的阻塞和架空问题，排肥均匀，深度达6厘米以上。根据1984—1986年在黄淮海平原的76个小麦和34个夏玉米田间试验，碳铵深施比表施肥效提高近一倍。两次田间微区模拟机深施和表施的氮肥利用率和损失情

1) 中国农科院土壤肥料研究所, 1963: 土壤肥料科学研究资料汇编, 第2号(1963年3月全国化肥试验网工作会议资料)。

况的测定 (^{15}N 标记)表明: 碳铵深施比表施的氮素利用率提高 20% 左右^[5,6], 这项工作既是 70 年代氮肥深施研究的继续, 又解决了我国特有的碳铵深施(追肥)的难题。

(五) 70 年代到 80 年代的钾肥肥效试验, 明确了钾肥在我国南方的肥效。自 50 年代以来的化肥肥效试验, 明显反映出钾肥由无效到有效, 由肥效低到肥效逐步提高的过程。大致在 60 年代中到 70 年代初, 钾肥开始在长江以南显效, 到 70 年代中期以后, 施用钾肥的增产幅度增长。根据 70 年代广东、浙江、湖南等省的试验和 1982—1984 年化肥网南方钾肥协作组共计 2000 余次的田间试验结果, 明确了钾肥在南方的 16 种作物上不仅有增产效果, 而且可增强作物的抗病抗逆能力, 提高产品质量^[1,2]。同时, 在北方也发现了一些局部缺钾的地区。

从大量试验结果可以看出钾肥的有效施用条件。钾肥对当季作物肥效的高低, 主要取决于土壤中速效钾的含量, 同时也受土壤缓效钾含量及其释放程度的影响(表 2)。氮肥的施用水平和氮、磷、钾的合理搭配以及是否施用有机肥料, 也是影响钾肥肥效的主要因素。单施钾肥往往不增产, 随着氮肥用量的增加, 钾肥的肥效也有逐步提高的趋势。而且, 钾肥在施氮、磷的基础上, 比单施氮的基础上增产幅度大。施用含钾量高的有机肥后, 钾肥的肥效往往下降。此外, 对于高产矮秆品种和杂交种施用钾肥的效应也较为明显

表 2 南方各省主要土壤钾素含量和钾肥肥效

Table 2 K content and K fertilizer efficiency in main soils of the southern provinces of China

速效钾含量 (ppm) Rapidly available K content	缓效钾含量 (ppm) Slowly available K content	土壤钾素丰缺状况 Soil K status	水稻施钾效果 Response of rice to K application
<40	<160	极缺	增产极显著
40—80	160—240	缺	增产显著(10—20%以上)
80—120	240—320	施钾有效	有效(增产 10% 左右)
>120	>320	不缺	不增产

(六) 80 年代进行了全国规模的氮、磷、钾肥肥效, 适宜用量和比例试验, 分析了钾肥演变的原因, 完成了全国化肥区划。70 年代我国化肥工业发展很快, 化肥产量在 10 年间翻了两番, 加上每年进口大量化肥, 化肥的用量迅速增加, 在农业增产中发挥了重要作用。但是, 也普遍反映化肥的氮、磷、钾比例严重失调, 化肥肥效下降。为了搞清目前我国化肥肥效的现状和今后对化肥的需求, 我们于 1981—1983 年有组织地完成了氮、磷、钾化肥肥效、适宜用量和比例的试验 5000 余个, 15 种作物的肥效结果列于表 3。

试验结果表明, 目前反映化肥肥效普遍下降的说法不很确切。氮肥肥效确有下降, 不同地区, 不同作物的程度不一。磷肥肥效在南方水稻上下降, 而在北方的小麦、玉米上则有所上升。钾肥的肥效在南方趋于明显, 但在北方大部分地区和粮食作物上仍未显效。总的来看, 四十年来我国氮肥肥效大于磷肥, 而磷肥肥效又大于钾肥这个总的趋势没有改变。

1) 南方钾肥考察组科研组, 1982: 钾肥在发展我国南方农业生产中的作用(资料)。

2) 化肥网南方钾肥协作组, 1984: 钾肥在发展我国农业生产中的作用(资料)。

表3 不同作物的 N、P、K 肥效现状

Table 3 Responses of different crops to the application of chemical N, P, and K fertilizers (1981-1983, kg)

作物 Crop	N(NP-P)			P ₂ O ₅ (NP-N)			K ₂ O (NPK-NP)		
	试验个数 No. of experiments	亩用量 Dose/mu	公斤肥增产 Yield increase/kg fertilizer	试验个数 No. of experiment	亩用量 Dose/mu	公斤肥增产 Yield increase/kg fertilizer	试验个数 No. of experiments	亩用量 Dose/mu	公斤肥增产 Yield increase/kg fertilizer
水稻	896	8.4	9.1±0.20	921	3.9	4.7±0.15	875	5.8	4.9±0.16
小麦	1462	7.9	10.0±0.17	1851	5.4	8.1±0.16	678	5.7	2.1±0.23
玉米	728	8.3	13.4±0.41	1040	5.6	9.7±0.30	314	6.5	1.6±0.67
高粱	106	7.6	8.4±0.39	129	6.1	6.4±0.25	11	6.2	2.9±0.45
谷子	39	5.6	5.7±0.16	48	4.0	4.3±0.14	45	5.0	1.0±0.10
青稞	26	4.5	9.4±1.40	33	3.0	4.7±0.76	6	1.5	1.4±0.7
皮棉	45	11.3	1.2±0.12	97	6.6	0.68±0.05	57	9.0	0.95±0.08
大豆	87	7.8	4.3±0.42	134	6.3	2.7±0.69	64	8.0	1.5±0.07
油菜籽	68	10.6	4.0±0.45	97	4.4	6.3±0.83	39	5.9	0.63±0.08
花生	15	5.7	6.3±0.91	21	7.3	2.5±0.35	25	8.5	2.3±0.43
甜菜	36	7.4	41.5±0.8	51	6.3	47.7±5.8	6	6.5	17.9±2.7
胡麻	17	4.2	2.1±0.2	63	4.2	1.9±0.16	—	—	—
茶叶	15	12.5	8.3±1.03	9	8.0	5.3±1.3	6	7.5	5.8±1.4
马铃薯	16	4.2	58.1±15	44	8.0	33.2±6.9	3	6.0	10.3±5
甘蔗(茎)	17	7.0	150—160	46	3.0	75—85	156	6.0	90—95
合计	3573			4584			2285		

1981—1983年的试验结果,每公斤氮肥(N)增产稻谷9.1公斤,玉米13.4公斤,棉花(皮棉)1.2公斤,仅为50年代末—60年代初的一半左右;每公斤氮肥增产小麦10公斤,油菜籽4公斤,与20年前相比下降幅度较小。氮肥肥效下降的原因主要是近年来氮肥用量增加很快,分配不均衡,有些地区用量偏高。同时,南方钾肥、北方磷肥不足,也影响了氮肥肥效的发挥。

目前在我国南方,每公斤磷肥(P₂O₅)增产稻谷4.7公斤,也只有20年前的一半。但是在北方每公斤磷肥可增产小麦8.1公斤,玉米9.7公斤,略高于20年前的肥效。磷肥肥效出现“南降”和“北升”的情况是由于近20年来南方磷肥用量较高,土壤中磷素有了一定的积累,而北方磷肥用量较少,土壤缺磷有所加剧的缘故。

钾肥在水稻上的肥效与20年前相比有了明显提高,每公斤钾肥(K₂O)增产稻谷4.9公斤,在广东,广西达6.6公斤超过了磷肥肥效。但是在北方小麦、玉米上钾肥的增产效果大多数不明显。这是由于南方和北方的土壤类型不同,土壤中钾素含量和供钾能力高低有很大差别所致。

同期进行的200余个高浓度复合肥与等养分量的单元化肥混合的肥效对比结果说明,不论是氮、磷二元复合肥还是氮、磷、钾三元复合肥,与等养分的单元化肥混合施用比较,基本上是等量等效。

我们进行了三年化肥不同用量和比例的试验,大量结果可反映我国目前一个概况。

(表 4)。

表 4 不同作物适宜的 N、P、K 用量和比例

Table 4 Doses and ratios of chemical N, P and K fertilizers suitable for different crops

作物 Crop	试验个数 No. of experiments	对照产量 (kg/mu) Yield of CK	纯收益最高 The highest net profit			
			产量 (kg/mu) Yield	化肥用量 (kg/mu) Dose of fertilizer	N:P ₂ O ₅ , or N:P ₂ O ₅ :K ₂ O	公斤肥增产 Yield increase/kg fertilizer
水稻	829	277.8	391.2	12.2	1:0.34:0.35	9.3
小麦	1260	194.3	304.3	11.4	1:0.63	9.6
玉米	629	285.6	417.6	11.3	1:0.55	11.6
高粱	51	304.5	399.2	10.9	1:0.66	8.7
谷子	51	162.4	231.9	8.2	1:0.96	8.5
青稞	20	179.8	234.1	6.0	1:0.59	9.1
皮棉	62	43.8	65.1	17.3	1:0.54:0.36	1.2
大豆	115	121.2	142.9	6.0	1:1.5	3.6
油菜籽	64	84.5	138.9	11.0	1:0.67:0.22	4.9

根据三年的试验结果,在水稻上获得最高纯收益的化肥用量(我们作为适宜用量)为每亩 12.2 公斤(纯养分)氮、磷、钾比例为 1:0.34:0.35。小麦上的适宜化肥用量为每亩 11.4 公斤,氮、磷比例为 1:0.63。玉米上的适宜化肥用量为每亩 11.3 公斤,氮、磷比例 1:0.55。上述三种主要粮食作物的适宜氮肥(N)用量均为每亩 7—7.5 公斤。在适宜的氮、磷或氮、磷、钾配比下每公斤纯养分可增产粮食 10 公斤左右。

以 1981—1983 年化肥网的结果为基础,进行了分区整理,并收集了有关有机肥料、土壤养分状况、作物分布和产量的资料,参考了部分省、自治区、直辖市的化肥区划,于 1986 年完成了《中国化肥区划》。因已有专著,不在此赘述。

化肥网目前的工作重点是经济作物施肥和肥料长期定位试验。

结 束 语

30 多年的经验证明,化肥网作为全国化肥使用研究的一种组织形式是可取的。化肥网的试验研究内容应当面向经济建设,不断进行调整。在农业、化工、商业等部门的关心和支持下,化肥网虽然也取得了一些成绩,但本身也存在一些问题。例如有些肥料试验的土壤、气候资料不全,影响了应用效果。多数试验仍然布置在城镇附近和交通沿线,边远地区较少。在北方的一些单位,在水浇地上做试验较多,在旱地少。肥料试验针对粮、棉、油是对的,但经济作物、果树、蔬菜上试验做得不够。进入 80 年代才得以考虑肥料长期定位试验的问题,目前已初步形成一个肥料长期试验的网络,但坚持下去困难很大。化肥网今后应当引进或开发适合我国条件的土壤植株样品大量、快速、准确的测试技术和设备;在电子计算机上建立化肥试验结果及其他有关材料的数据库。化肥网在今后工作中,对上要能为国家解决化肥发展中的关键问题,进行决策服务;对下为县级单位建立化肥产、

销、用相结合的体系,为指导农民进行优化配方施肥服务。

参 考 文 献

- [1] 郭金如、林葆,1985: 中国肥料研究史料,第六辑,农业出版社。
- [2] 蒋柏藩,1988: 中国磷矿农业利用的研究。中国农业科学,第 21 卷 4 期,62—47 页。
- [3] 山东省土壤肥料研究所,1975: 磷矿粉肥的肥效试验。土壤肥料,第 5 期,21—26 页。
- [4] 山东省土壤肥料研究所,1976: 氮肥深施技术试验概况。土壤肥料,第 3 期,25—27 页。
- [5] 林葆、刘立新等,1988: 旱作土壤机深施碳铵提高肥效的研究。土壤肥料,第 4 期,1—4 页。
- [6] 李光锐、陈培森等,1988: 模拟机具追施碳酸氢铵对旱作土壤中氮肥去向的影响。土壤肥料,第 2 期,15—18 页。
- [7] 中国农科院土肥所化肥网组,1986: 我国氮磷钾肥化肥的肥效演变和提高增产效益的主要途径——全国化肥试验网 1981—1983 年试验总结。土壤肥料,第 1,2 期。

FERTILIZER EFFICIENCY AND MEASURES TO RAISE FERTILIZER EFFICIENCY IN CHINA —MAIN ACHIEVEMENTS OF CHINA NATIONAL NETWORK ON CHEMICAL FERTILIZER EXPERIMENTS (CNNCFE)

Lin Bao and Li Jiakang

(Soil and Fertilizer Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences)

Summary

This paper gives a brief review on CNNCFE's origin, characters and tasks.

Research work of CNNCFE in more than 30 years is summarized in chronological order: More stress of fertilizers research was put on N fertilizers in the 50's, P fertilizers in the 60's, K fertilizers in the 70's, and balanced use of N, P, K and compound fertilizers in the 80's. Many trials on fertilizer efficiency and fertilization techniques have been carried out during this period, providing a scientific basis for chemical fertilizer production, distribution and application.

Key point of the present CNNCFE's work is mentioned here, its experience, shortcomings and future are also focused in the paper.