

黄淮海平原土壤肥力状况和合理施肥

曹志洪 李仲林 凌云霄 李阿荣 徐志红

(中国科学院南京土壤研究所)

黄淮海平原是我国重要的农业区之一。其中小麦和棉花的产量分别占全国的39%和41%。但因旱、涝、盐碱、风沙等自然灾害频繁,严重影响农业生产,五十年代初粮食亩产平均仅100斤上下^[1]①。

三十年来,国家投入大量物力、财力和人力,对本地区的自然和农业资源,灾害及综合治理方案进行过多次调查研究。以各种类型的灌排水利工程为主的农田基本建设正日益发挥效益。农田生态环境已有所改善。化肥的投放量逐年增加,粮食产量逐年提高,平均亩产现已达400—500斤左右,但仍属中低产水平。

国内外的经验证明,农业生产从低产变中产主要靠改变不利的自然条件(例如建立排灌工程以解决旱涝为患)来实现。但是要巩固这初步的治理成果,使中产向高产发展则必须依靠高产的农业生物技术措施,包括合理施肥,选育和推广良种,加强病虫害防治,轮作复种,培肥土壤,调整农业结构等。根据联合国粮食组织、世界银行的报告及我们自己的实践认为,合理增施化肥在各种农业增产措施中占50%以上的作用^[2]。

为促使本区农业生产的迅速发展,建立稳产高产的农田生态体系,必须充分应用和加速已有科研成果的推广,必须加强适合于本地区的各种现代农业生物技术措施的研究。合理施肥和土壤培肥的理论与技术的研究是其中的重要课题之一。

一、黄淮海平原土壤肥力状况

(一)不同生产力的土壤肥力状况

所谓土壤肥力一般是指土壤向植物提供适宜的形态、数量、比例的各种营养元素的能力^[3,4],主要是以土壤中有效态营养元素的含量来量度。此外,土壤pH值及其他化学性质,结构,水分及其他一些物理性质都对营养元素的形态、数量、比例有深刻的影响,所以常常也是评价土壤肥力的重要依据。1983年初曾对河南省封丘县、河北省南皮县、山东省禹城县采集了九十多个土壤样品进行分析测定(表1)。

关于土壤肥力的分级众说不一,我们采用以土壤生产力水平来划分的办法。所谓土壤生产力是土壤滋养植物生长的能力,是以某一作物的产量来量度的,因此土壤生产力是所有生长因子综合贡献的结果。显然,生产力高的土壤必定是肥力水平相对较高的土壤(但肥力较高的土壤却不一定是生产力高的,这是因为土壤肥力只是促使作物高产的因子之一),所以用生产力来划分土壤肥力有一定的实用性,在其他条件相似的情况下,它能表征土壤肥力的当前情况(但有其局限性)。以小麦单产为例,表1中“高肥”是亩产小麦800斤以上,“中肥”是亩产小麦400—800斤,“低肥”则是亩产小麦低于400斤。根据这一划分,黄淮海平原以平均亩

① 中国农学会,中国水利学会,中国林学会:黄淮海平原农业发展学术讨论会论文集,第五卷,第27—49页,1982。

表1 黄淮海平原土壤肥力状况*

采样地点	肥力水平	有机质 (%)	全氮 (N%)	速效磷 P ₂ O ₅ (ppm)	速效钾 K ₂ O (ppm)	pH
河南省封丘	高	1.11	0.073	10.0	196	8.64
	中	0.88	0.062	7.05	153	8.49
	低	0.75	0.055	2.81	155	8.67
河北省南皮	高	1.22	0.074	15.6	181	8.66
	中	0.98	0.068	6.96	170	8.70
	低	0.75	0.054	4.43	142	8.63
山东省禹城	高	1.29	0.088	17.0	192	8.45
	中	1.09	0.076	8.35	144	8.56
	低	0.84	0.057	6.78	131	8.35

* 1983年1月采样(0—20厘米耕层)分析。

果与六十年代的一些分析结果(表2)的比较所证明。

1. 土壤有机质是一个相对稳定的数据。对某一具体的土壤,有机质含量可能有增有降,但增减幅度不大。例如本区域土壤有机质25年前后仍处于相同的水平(表1和表2)。当然土壤有机质是处于不断更新的动态过程中:矿化作用,生物合成及有机质(农家肥料)的添加则是三个主要方面。

表2

华北平原各区土壤肥力^[5]

土壤肥力区	有机质 (%)	全氮 (N%)	速效磷 P ₂ O ₅ (ppm)	代换量 (毫克当量/100克土)
冀东区	1.2~1.7	0.06~0.12	15~30	8~25
永定河、大清河区	0.7~1.2	0.05~0.08	10~30	8~25
黄河、漳河区	0.5~1.0	0.04~0.07	3~10	8~14

2. 全氮量变化很小。一方面是土壤有机质含量相对稳定,另一方面是化学氮肥的用量逐年增加,弥补了作物产量逐年提高所带走的大量氮素。据河北省土肥所等资料^{②③}认为,速效氮的水平还略有提高,当然这与采样的时间有一定关系。

3. 全磷含量没有多大的变化,速效磷含量略有下降(表1和表2)。这是因为本区土壤全磷水平较高,但长期偏施氮肥,不施或少施磷肥的结果。相反,另一些典型的社队,由于连续数年施用大量化学磷肥,土壤速效磷有较快提高。例如据分析化验表明,河南省封丘县三里庄大队,山东省禹城县杓头李大队,河北省南皮县刘夫青大队等速效磷含量约在12—18 ppm(Olsen法)。

4. 土壤速效钾含量稳定。本区土壤全钾含量都在2%左右,吸持的钾也较多。虽然长期不施钾肥,本区大多数土壤和作物仍未有缺钾症状。只有个别的报告认为在一些施高氮高磷的土壤上,钾肥的效应也开始表现出来。说明长此下去偏施氮、磷肥料,那么缺钾的问题可能会突出起来。

最近几年据有关部门的统计认为,本区的氮、磷循环大致上保持平衡,1979年的投入/移

② 赵哲权、李承德, 1982, 试论河北低平原土壤改良利用途径。黄淮海平原农业发展学术讨论会, 论文选集, 第五卷, 214—219页。

③ 江苏省土壤学会考察组, 1982, 江苏省徐淮地区改土培肥问题的商榷。同上论文选集, 第五卷, 219—225页。

产498斤看,大多是属于中偏低产水平,因此土壤肥力也以中低水平为主。例如河南省南皮县高肥水平的土壤约占20%,中肥水平的土壤约30%,低肥水平的约占50%。又如河南封丘县高肥水平的占5—10%,中肥水平的占45—40%,低肥水平的为50%左右。

(二)三十年来土壤肥力的变化

黄淮海平原的土壤生产力已从50年代初期的平均亩产100斤左右提高到目前的400—500斤。我们认为本区的土壤肥力一般是向着好的方向发展演变的。这不仅为土壤生产力的大幅度提高所旁证,也为我们的分析结果

出比值：N为1.09，P为1.16。总的来说，三十年来本区土壤肥力不仅没有恶化，相反却有所提高，这是与本地区生态环境的改善，水利工程措施日益收效，化肥投放量逐年提高有关的。但目前缺磷是农业生产的限制因子之一，氮肥的均衡施用，利用率提高和土壤培肥也是亟待解决的课题。

二、肥料使用现状

(一) 历年来化肥的投放及粮食产量

化肥对于作物的增产作用是众所周知的，黄淮海平原地区五十年代基本上不用化肥，六十年代始有应用。氮肥的普遍施用是在七十年代初，而磷肥只是到了八十年代才热起来。例如河南省封丘县97.6万余亩耕地，从1949—1968年的二十年间总共使用0.84万吨氮肥，每亩耕地每年只用了不到1斤氮肥，磷肥直到1974年才有少量销售。又如山东省禹城试验区在1966年建区前基本上不用化肥，1969年平均亩施氮肥不足半斤，磷肥也是1974年才开始应用。近十五年来本地区化肥用量急剧上升，促进了农业生产的发展。例如河北省南皮县1981年使用氮肥1.5万吨，为1961年的33倍，磷肥0.4万吨，约为1966年的5倍。又如河南省封丘县1983年化肥总用量为4.87万吨是1966年的11倍，其中磷肥为1974年的10倍。山东省禹城试验区1979年每亩施氮肥22.8斤，比建区前后增加了60倍^④。

黄淮海平原地区1981年消耗氮肥632.4万吨，磷肥120.2万吨。平均亩施化肥(实物量)为74.3斤。随着化肥用量的增加，粮食的单产、总产也大幅度上升。图1是河南省封丘县，1961年—1983年间化肥施用量(N、P、K实物量)与粮食总产量日益上升的关系。禹城试区的统计资料表明，粮食单产与化肥用量的相关系数达 $r = 0.9973$ ^④。说明在影响单产的诸因子中化肥的用量起到关键的作用。

但是与全国中、高产地区施肥水平相比，黄淮海平原地区的化肥施用水平仍然偏低，例如本区单位面积的化肥施用量只是长江三角洲地区的1/2或1/3。全国化肥网材料表明，高产地区每斤尿素的增产效率只有3—4斤粮食，而中低产地区可达6—8斤。肖克谦等于1978—1979年在封丘的试验指出，每斤尿素增产小麦5.5斤，玉米10斤^⑤。可见，本地区化肥投放量再提高一倍，达到或接近长江三角洲地区的水平，同时又注意氮、磷配合协调施肥的话，其增产的潜力及经济效益将比等量化肥投放到高产地区要大许多倍。

尽管本地区化肥用量水平不高，但同样存在着施肥不均衡的问题。有部分

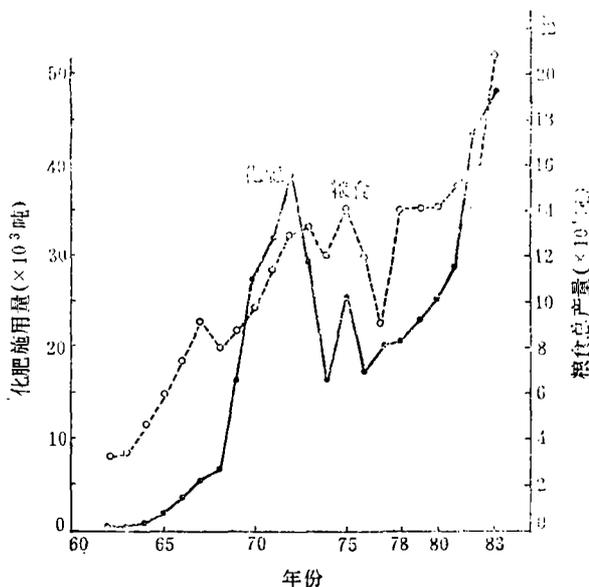


图1 河南省封丘县化肥施用量与粮食总产量 (1962—1983)

④ 张兴权、许越先，1982：山东省禹城实验区营养物质平衡的初步分析(油印资料)。中国科学院地理研究所，山东省禹城改碱实验区。

⑤ 肖克谦等，1982：关于提高土壤肥力的初步意见。黄淮海平原封丘县旱涝盐碱综合治理文集——封丘县科委印。

田块过量施肥(如城市郊区、原高产社队等),而大多数田块是施肥不足处于饥饿状态,更有田块还从未施过肥。此外,氮、磷比例失调,肥料利用率低等问题也普遍存在。因此在肥料施用上有很多工作要做,增产的潜力尚很大。

(二)氮肥问题

黄淮海平原的多数土壤有机质含量低,全氮不足。施用氮肥一般都有显著的增产效应,特别是大多数中等肥力以下的土壤,增产效应更为突出。1983年在河南封丘潘店示范区的试验表明,亩施80斤碳铵粒肥增产玉米33%,亩施30斤尿素增产玉米22%;另据肖克谦等在应举示范区的试验与不施肥的对照比较,亩施85斤碳铵增产小麦79%,亩施30斤尿素增产小麦75%^⑥。

本地区目前施用的氮肥品种有碳铵、尿素和硝铵,其中碳铵为氮肥总使用量的70—80%。河北省南皮县、河南省封丘县、山东省禹城县都有年产近万吨合成氨的小氮肥厂,它们生产的碳铵有力地支援了各县的农业生产。但碳铵不是一个理想的氮肥品种,在不合理的施用条件下其利用率很低,一般在30%以下。特别是本区多为石灰性土壤,pH高,撒施碳铵的挥发损失严重。根据1983年在河南省封丘县潘店、应举、水驿大队三个示范区的试验及1984年在全县56个点不同土壤不同作物上的中间试验表明:碳铵造粒深施是大幅度提高碳铵肥效、增产增收的科学施肥措施;100斤碳铵粒肥深施较等量粉肥深施每亩增产皮棉15斤,增产玉米籽粒75—149斤,水稻增产32—168斤,投资效益显著,氮素利用率提高一倍左右。因此在黄淮海平原地区有条件的地方可推广碳铵造粒深施技术。

尿素是另一个重要的氮肥品种,其占氮肥总使用量的比重正在逐年扩大。尿素与碳铵都不能做种肥用,做基肥时也要尽量避开播种行。在调查中不少农民反映尿素灼伤小麦幼苗的问题,估计是根系受到氨的毒害所造成的。在一般施用方法下尿素的肥效与碳铵相似或稍好。但在深施时,尿素因不易被土壤胶体所吸附,在雨后和灌水过量时可被淋失,因而尿素的肥效一般不如碳铵。群众说:“碳铵宜做底肥,尿素不宜做底肥。”就是这个道理。试验证明尿素做追肥撒施立即辅以适度的灌水是一种经济有效的施肥方法^⑦。

(三)磷、钾及微肥问题

1. 黄淮海平原土壤的全磷含量一般较高,达0.15%(P_2O_5)左右。可是土壤中可供作物吸收的有效磷(Olsen法)一般偏低,大多约5 ppm(P_2O_5)。在六十年代,作物产量不高,复种指数较低,土壤氮和肥料氮的供应也不丰足,所以当时生产上主要的限制因素是氮,而不是有效磷。到七十年代中期,氮肥用量增加了,产量从几十斤提高到几百斤,磷素供应不足的矛盾在生产上上升为限制因子。磷肥的效应非常显著,高达每斤磷(P_2O_5)增产粮食15—25斤。

在推行生产责任制后,广大农民竞相争购磷肥,使本地区磷肥供不应求。因此不少冒牌产品,不符合质量标准的磷肥涌上市场,而价格则没有相应的限制。目前本地的市售磷肥品种繁多,如各种牌号的钙镁磷肥、过磷酸钙、磷酸二铵、及进口的磷酸二铵、重过磷酸钙等。据我们采样分析其有效磷含量差距很大(表3)。看来应制订一个“管理肥料出售的法律和规章”,以保护农民利益,充分发挥社会主义的积极性。

^⑥ 徐志红等,1985:尿素粒肥石灰性砂壤土上对夏玉米的效应和氮肥去向的研究。

^⑦ 刘宗衡等,1983:河北平原合理施用化肥的探讨(摘要)。中国土壤合理利用和培肥,95—96,中国土壤学会。

一方面是磷肥供不应求，而另一方面是没有充分发挥磷肥的效益。例如有些田块是连续多年亩施150斤普钙，有的每季都施100斤磷肥，速效磷高达40ppm。而另一些田块或因远离村庄或缺乏灌溉或无力管理，则是长期不施磷肥，小麦亩产只有50—70斤，株高不到35厘米。从全面均衡增产的角度看，正是后一类田块最需要磷肥，那些已经施过几年磷肥的可暂缓或减少施用量，因为磷肥的后效大，有效磷也会积累而提高。石灰性土壤磷的形态，转化，磷肥资源的开发，全磷中某些磷的活化(例如菌根的利用)等都是应加强研究的课题。

表 2 黄淮海地区市售磷肥的质量分析

肥料品种	产地	有效磷(%)
磷酸一铵	上海化工研究院	51
磷酸二铵	南京化学工业公司	45.5
重过磷酸钙	美 国	46.2
	突 尼 斯	47.0
普通过磷酸钙	南京化学工业公司	15.6
普通过磷酸钙	四 川	9.0
钙 镁 磷 肥	四 川	12.6
钙 镁 磷 肥	湖 南	9.5
钙 镁 磷 肥	贵 州	8.6
钙 镁 磷 肥	四 川	5.5

2. 黄淮海平原的土壤全钾和速效钾含量都比较高(表1)。在目前的生产水平下，速效钾含量 $>80\text{ppm}(\text{K}_2\text{O})$ 的通常认为没有显著的钾肥效应。除了少数沙土或个别的高产田块(因大量施用氮肥和磷肥)外，本地区土壤估计在最近的五年内是不必施用钾肥的。市场上很少有钾肥出售，有一些是氮、磷、钾复合肥料，可能实际上是一种混合肥料。但这类肥料的配比一般缺少可靠的田间试验和土壤测试的根据，其合理性是值得怀疑的。对一般的大田作物来说，目前尚不需要施钾，因而施用三元复(混)肥时其中的钾是一种没有收益的投资。若把这些钾肥用到需钾迫切的作物(如烟草和甘蔗等)和土壤(如南方缺钾区)上，则将发挥更大的经济效益。

3. 从普查资料看，河南省土壤的全硼含量为43ppm，低于全国平均水平(64ppm)。而水溶态硼的含量有96%的样品是0.5ppm的临界值。豫东或豫东北地区的水溶态硼的含量平均只有0.3ppm，因此在这一地区硼肥的应用前景是比较广阔的。1983年我们在潘店示范区的棉花上用1%的硼砂溶液喷施，或与农药兑水喷撒，对防止棉花的蕾铃脱落有一定的效果。

根据南京土壤所，徐州地区农科所，河南农科院等单位的试验，在苏北、皖北、豫东地区施用锰肥对小麦、棉花都有一定的增产作用。

大面积缺锌的报告来自山东省，据测定该省有19个县的土壤缺锌，71个县有少量缺锌。21个县不缺锌。估计缺锌或少量缺锌的面积达1500万亩。河北省滨海稻区也报导有缺锌。值得注意的是冀鲁两省部份缺锌土壤中有效磷含量比较高，是否由于长期大量施用磷肥所诱发的缺锌，还是母质的地球化学条件所致，有待进一步研究。

三、有机肥料问题

黄淮海平原所习用的农家肥料有各种饼肥及土粪，以前也有过一定面积的绿肥。一般说来，这些肥料成本低，有机质含量高，营养成分虽少但比较齐全。长期施用此类农家肥有利于培肥土壤，改善土壤的物理性状。

饼肥的种类很多，如菜籽饼、棉籽饼、豆饼、花生仁饼、芝麻饼等。据各地分析结果来看各种饼肥平均含氮5.0—5.6%，全磷(P)0.11%~0.15%及数量和品种不等的微量元素。近年来该地区的棉花种植面积虽有增有减，但产量提高较快。此外花生、大豆、油菜等经济作物也有类似情况，因此饼肥的供应有较大的增加。饼肥是优质的农家肥料，目前存在的问

题是如何合理利用饼肥才能最经济有效。

土粪是我国北方农民应用最多的农家肥料，其施肥量是以几车，几方，数千或上万斤来计算的。主要的成分是土，少量的粪(禽畜和人的粪尿)及一些垫圈用的秸秆。在封丘县的潘店、应举、荆官、黄陵、獐鹿等五个示范区采集了约百余户农户的土粪样品，分析了全氮、有机质、速效磷等(表4)。结果表明，土粪中含有有机质1.43—13.47%，平均为4.69%；全氮含量为0.01—0.587%，平均为0.175%；速效磷含量为0.65—77.7毫克P/100克土，平均为10.65毫克P/100克土；其中有机质含量>10%的只占7%，全氮含量>0.3%的占15%，速效磷>20毫克P/100克土的占23%，它们大部份都集中在水稻产区的荆官乡，其次是黄陵乡。从绝大多数土粪来说质量低劣，基本上仍是黄土搬家。土粪的积制方法必须改进，否则是一种人力、物力的浪费。

表4 土粪的营养成份*

采样地点	样品数	全 氮 (%)		有 机 质 (%)		速 效 磷 (P毫克/100克土)	
		范 围	平 均	范 围	平 均	范 围	平 均
河南封丘潘店	5	0.068~0.180	0.13	1.92~4.83	3.52	2.36~11.4	5.80
潘店乡	5	0.010~0.200	0.11	2.15~6.22	3.53	0.65~7.03	3.40
潘店乡	5	0.095~0.272	0.16	2.42~7.92	4.03	2.53~19.6	7.59
潘店乡	5	0.081~0.188	0.12	2.11~5.39	3.00	1.53~4.71	3.18
应举乡	20	0.067~0.293	0.184	1.70~8.06	4.48	3.49~37.8	14.03
荆官乡	20	0.200~0.587	0.315	5.28~13.47	8.16	3.27~77.7	20.42
獐鹿乡	20	0.068~0.308	0.156	1.43~11.1	4.85	2.31~38.2	11.83
黄陵乡	20	0.122~0.420	0.224	2.38~12.1	5.94	2.18~55.5	18.92

* 标本采自河南省封丘县五个示范区

1978年以来，本地区大牲畜的饲养量有较快的增长，在封丘县马、驴、骡的存栏头数增长迅速，牛则有所减少，这是从役畜的力量和饲料消耗量平衡选择的结果。荆官乡的土粪质量高，除了因种植水稻而有大量稻草外，还由于他们饲养的大家畜较多。动物种类不同，饲料也有差异，其排泄之粪尿所含的养分量也不尽相同。就一般而论，固体状态动物排泄物中约含有20%的有机质，N:P:K为1:0.2:0.8。据国外资料认为即使是以厩肥使用，也约有1/2—1/3的养分在积制过程中遭到损失。如用禽、畜粪尿按当前的方法积制土粪，导致的养分损失则更大。

什么是经济、有效和科学的利用农业物质的途径呢？从生态平衡和物质循环的角度来考虑，各种饼肥、人畜粪尿可组成一个食物链。现以土壤、粮油加工、饲料和培养基、沼气发酵等作为四个中心环节，则有如图2所示的循环，它同时考虑了农村对肥料、饲料和燃料的需求可望达到最大的经济效益。

综上所述，合理增施化肥是获得农作物高产的关键措施之一，产量的增加使饲料资源大为丰富，同时亦创造出更庞大的根系残留于土壤中，综合利用后的有机废物也就可更多的归还土壤。因而无机促有机，无机有机相结合的肥料管理制度便建立起来了，并辅之以合理的

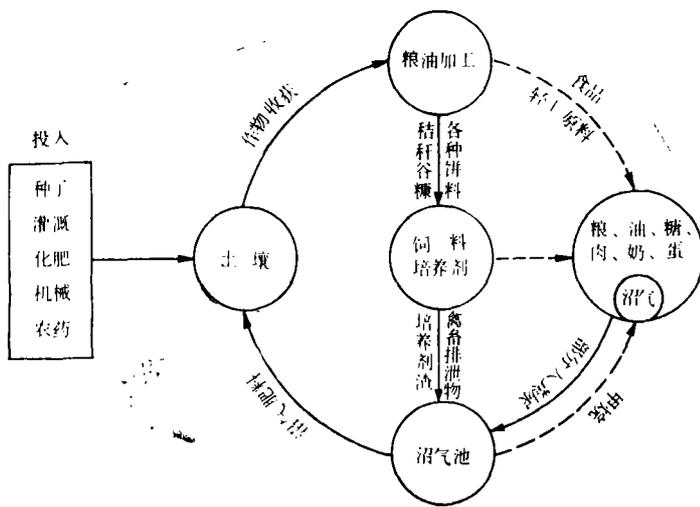


图2 农业物质的循环利用

轮作倒茬，则持续的稳产高产和不断培肥土壤的二个目标就有希望同时在握，而且也可实现良性的生态循环。

四、结 语

近年来，黄淮海平原大部分地区的农业生产有较大幅度的提高，基本上已接近中产水平。主要是由于多年来兴建的排灌工程、防护林带、农田基本建设等都在日益发挥效益，化肥投放量逐年增加等。就土壤肥力而论，肥力水平向提高的方向发展，高肥力水平的土壤约占20%，中肥的约30%，低肥的约50%，因此增产的潜力很大。

在初步控制了自然灾害的情况下，适当提高化肥施用量是主要的增产措施，本地区粮食产量与化肥的用量是同步增长的。本地区化学氮肥资源丰富，但氮肥利用率不高，碳铵和尿素的科学施肥技术有待推广普及。磷素营养是当前生产上主要限制因子，市售优质磷肥紧缺，磷肥质量有待提高，合理施用磷肥。调动土壤磷素是急待解决的课题。

由于无机肥料投放量的增加，创造了更多的有机物质。不仅留在土壤中的根茎，枯枝落叶增加了，而且农产品加工后的残留物和畜牧业的排泄物也大大增加。但是目前本地所采用的积制土粪的办法不合理，导致养分大量浪费，土粪质量差。为充分利用有机废物，本文从物质循环和生态平衡的观点绘出了一个农业物质循环利用模式图，可供有关部门参考。

参 考 文 献

- 〔1〕中国科学院南京土壤研究所，中国土壤，第79—89页，145—157页，538—546页，科学出版社，1978。
- 〔2〕李庆达、曹志洪，当前世界化肥供求和粮食生产概况。土壤，17(2):107—109，1985。
- 〔3〕S.L. 蒂斯代尔，W. L. 纳尔逊(孙秀廷、曹志洪等译)土壤肥力和肥料，第363—366页，科学出版社，1984。
- 〔4〕Brady, N. C., The nature and properties of soil, 136—138, John Wiley and Sons, New York, 1978.
- 〔5〕熊毅、席承潘等著，华北平原土壤，第6—32页，135—167页，291—310页，315页，科学出版社，1965。