

从土壤肥力、磷矿性质及农业条件 来看中国的磷肥问题

李 慶 達

(中国科学院土壤研究所)

世界上利用磷块岩来制造过磷酸钙的历史到今天还只有 100 多年,而磷矿粉的肥效研究,则在 1909 年才由普里亚尼什尼柯夫院士领导在苏联开始。但是最近 50 年来,磷肥的产量随着化学工业的发展而迅速地增长。根据 1956 年国内文献上所看到的数字,世界化学磷肥的产量约为 3500 万吨上下(其中包括 3000 万吨过磷酸钙及 350 万吨浓缩磷肥)*。

氮肥和磷肥产量比例的变化

但是在整个肥料工业中,磷肥增长的数字在比例上远远的落后于氮肥。这里我们首先简单的说明一下 30 年来氮肥和磷肥在产量比例上的变化情况,因为这些变化反映着土壤肥力和作物需要,表示农业上对于肥料要求的实际情况。

就世界上早期化学肥料的产量来分析,磷肥的产量远较氮肥为高**,在苏联 1913 年氮肥与磷肥产量的比例($N:P_2O_5$)为 100:420,1938 年为 100:145,1954 年为 100:122;在美国 1938 年氮肥与磷肥产量的比例为 100:224,1954 年为 100:126。在日本最近的统计数字为 100:57,氮肥的用量已经超过了磷肥。施用化学肥料最多的西欧国家(荷兰、比利时、丹麦),平均每亩施磷(P_2O_5)4.7—6.7 市斤,在美国平均每亩播种面积施用 2.6 市斤。苏联在经济作物上,如棉花、甜菜所施用的过磷酸钙量是很高的,在禾谷类作物施用,低于西欧和美国。

虽然在早期的肥料用量上磷肥超过了氮肥,但大田上作物对于磷肥的利用率,又大大的低于氮肥。国内外的试验材料普遍指出,在一般农业实践中的用量上,当季作物对氮肥的吸收率在 75—80% 以上,而对于磷肥的吸收率则只在 10—20% 间(指一般大田中条施时的利用率,中国农民的集中施用方法,如穴施及沾秧根等,磷的利用率可以略高于 30%)。

世界上有 90% 以上的化学氮肥属于铵态氮或硝态氮,其他类型的氮肥在施入于土壤后也迅速转化为铵及硝酸盐。全部硝态氮存在于土壤溶液中,土壤对于铵态氮的吸附性能也极为有限。因此,氮肥在土壤排水中的淋失很快。但是,磷肥的情况恰恰相反,可溶性的过磷酸钙在施入于石灰性土壤后,成为磷酸三钙;在施入于酸性土壤时,形成铁、铝的磷酸盐,都是活动性很弱,因此土壤排水中磷的含量总在百万分之 0.1 以下。几乎全部磷肥吸附在土壤中。

就作物对于氮肥和磷肥的需要量来讲,一般为 3:1 (在禾谷类及薯类的成分中,氮和磷的比例约为 2.5:1,棉花为 3:1),磷和氮的情况相类似,大都集中在籽实中。但是堆肥和杂肥等有机肥都以茎秆为主,因此氮和磷归还于土地上的都较少。

总结上述的情况:(1)磷肥在施入于土壤中对当季作物的利用率很低;(2)磷肥的施用量历来都高出氮肥;(3)作物对于氮素的要求超过磷素 2.5—3 倍。这样,在长期施用化学肥料的土地,就很自然地造成磷素累积的现象。在这些土地上继续加施磷肥便不能再行增产,而施用氮肥的效应却异常显著。这样,氮肥需要量的增长率便超过了磷肥,使世界肥料工业的发展中氮和磷的生产比例逐渐接近。

日本的土地利用情况,比较接近于中国,根据最近所看到的数字,氮肥和磷肥($N:P_2O_5$)的比例为 100:57 可以供我们参考。

* 有关磷肥产量的统计数字,文献上很有出入,这里引用伏尔科夫维奇院士:磷肥化学技术的进展,化工部 1956 年肥料技术报告会会刊,第三页的附注,1956 年。

** 梭柯洛夫:土壤中有活性磷的贮量及其在施用磷肥时的累积,苏联土壤学杂志 1958 年第二期;埃夫道宁:第三次国际肥料会议报道,苏联农业科学通报 1958 年第一期。

中国农地土壤的一般肥力

在简单地分析了国外磷肥工业发展情况以后，我們再研究一下国内的农业情况和磷肥給源。

农田土壤的肥力，是耕作所造成的直接結果。中国的土地利用是比较高的，南方亚热带和热带地区冲积平原上的水稻田每年 2—3 熟，长江流域水稻田平均每年种植两季作物，华北平原一般两年三造。最特出的是輪作制度中，禾谷类所占的比重极大，除了少数高产地区，如太湖流域，浙东，洞庭、鄱阳湖及长江冲积土区，四川盆地等以外，利用豆科綠肥的地区比較有限。这样造成了大面积农田表土含有机质极低，氮素显著缺乏的現象。所以就今天的农田土壤肥力来判断，氮肥是决定农业生产的主导因子。

土壤中磷肥給源有两方面，一方面在土壤矿质部分，另一方面是土壤有机质磷——它們是土壤矿质部分的磷，通过植物的吸收，再行归还于土壤的。除了有机质极高(在 4—5% 以上)的土壤外，大部分土壤的有机态磷含量在土壤全磷量的 1/3 以下。因此无论从直接或間接的角度看来，土壤矿质部分的磷素含量和状态，应该是农田土壤磷肥的主要給源。

例如就黄土母质来讲(黄土是华北平原及西北高原农田的主要成土物质)，磷(P_2O_5)的含量在 1.0—1.6% 間，其中 90% 以上为弱酸(0.1 N HCl)所能溶解，这样不但磷肥的給源比較丰富，并且所存在的状态大部分是有效性的。相反的，这些地区有机质通常在 1.0—1.2% 以下，全氮量在 0.06% 上下，有效态氮显得极为貧乏。因此在这些地区上，除非施用大量腐熟的厩肥或者在施用充分的化学氮肥情况下，单独地施用磷肥一般不能引起增产，而单独施用氮肥往往能有显著的肥效。这样，在化学氮肥的供应还不十分普遍以前，磷肥的消费量应该是极为有限。

就华南的酸性土壤来讲，土壤矿质部分的含磷量一般远较黄土母质为低，广东、赣南的花崗岩风化体，质地較細，土壤矿质部分含磷在 0.02—0.05% 間。华中地区由紅色粘土及紅砂岩而发育的紅壤，矿质含磷量一般在 0.05—0.06% 間。这些土壤的磷素，很难为弱酸(0.01 N HCl)所溶解，对于植物的功效是极低的。

热带地区由玄武岩的高度风化体而形成的砖紅壤粘土，其矿质部分的含磷量在 0.13—0.16% 上下，虽然为量很高，但是大部分与鉄质結合，极难供植物利用。

这样，就华南地区主要成土母质中的磷素含量和

状态来讲，可以看到土壤矿质部分中能供作物所利用的有效态磷一般都是很低。田间試驗也已經反复地証明在利用紅壤荒地的初期，磷肥的功效往往超过氮肥。在有机肥料中，适当地掺入过磷酸鈣、磷矿粉或骨粉作为基肥，通常可以获得显著的增产。

上面所說的是华南地区的旱地，包括一部分荒地。至于谷地和梯田上的水稻土，耕作改变了农田土壤的性质，它們的养分便不仅由成土母质来决定。首先，在水稻土中长期施用了有机肥料，由于所施入的磷素其利用率很低，使土壤中逐渐累积了一部分有机质磷和有机质矿化后的磷酸盐。第二，当土壤灌水以后，剖面中形成了嫌气性的还原状态，在还原状态下，磷素的有效性显然有所增加。例如在华中的紅壤丘陵地上(紅色粘土及紅砂岩母质)，旱作对于化学肥料的肥效試驗証明，如果不施磷，通常沒有收获；但是当灌水以后种植水稻，不施磷肥的处理上虽然产量很低，但缺磷的情况并不如旱作那样严重。土壤磷素的有效性显然的在嫌气淹水的情况下有所改善。

在浙江东部和太湖流域的高产水稻田上，紫云英的栽培比較普遍，农民在栽培紫云英时通常施入牛骨粉或草灰，使豆科綠肥在有足量磷素的供应下，发挥充分的固氮作用，获得每亩 5000 斤以上的高产。一般讲来，当綠肥栽培面积扩大时，保证磷肥的供应有助于綠肥产量的提高，也有助于氮肥的累积。

目前还没有充分的材料来说明我国主要成土母质中的磷素含量，以及磷素存在的状态。特别是对于华北土壤的磷肥需要性問題，我們的知識是极为有限的。因此，普遍开展主要土区的农业土壤需要磷肥情况的研究，是有一定价值的迫切工作。虽然在目前的生产水平上，有机肥料解决了极大部分的磷肥問題，但是进一步的提高产量，必須依赖于綠肥面积的扩大和化学氮肥的增加，在那时候磷肥的迫切性，一定远较当前明显。

中国的磷肥资源

就中国磷矿的资源来讲，解放以前所报导的不过是昆阳、海州、凤台等三五处。解放以来的十年中，已經勘察的矿床多至数百处，并且发现了极有价值的大型矿床。此外，小型和中型的磷矿更是不胜枚举。中国磷矿资源的发展前途是极为远大的。

地质工作者把“非晶质磷酸鈣盐”(或晶体小于 0.001 毫米)所組成的岩石叫做磷块岩。含結晶磷酸鈣盐的磷矿叫磷灰岩。在农业化学工作者过去所习用的名詞中，把前者叫磷灰土，后者叫磷灰岩或磷灰石，这

里我們按照地質上的術語來命名。根據葉連俊、鄭直和 S. N. 布申斯基等所總結的材料^{*}，中國磷礦的絕大部分是屬於磷塊岩，只有海州等少數礦床是經過變質的磷灰岩，結晶粗大(0.1—0.2 毫米)。

磷灰岩或磷塊岩經過工業處理以後，都形成可溶性的磷肥，在肥效上是沒有區別的，但以磷礦粉狀態直接施用時，它們的肥效便大有區別。在這裡我們總結一下農業化學工作者在磷礦粉直接利用上的研究成果。

(1) 非晶質磷酸鈣鹽所組成的磷塊岩，在直接利用於強酸性土壤時，有明显的肥效。如果以 2.5:1 (磷塊岩中含磷量：過磷酸鈣含磷量) 的比例來施用，在紅壤荒地上的第一年施用結果，對於吸收性能強的作物，其肥效很接近。

(2) 含結晶磷酸鈣鹽的磷灰岩，在施用於石灰性及中性的鹽基飽和土壤時，很難看到功效。在施用於強酸性土壤時 (如 pH4.5 的紅壤)，對於吸收性能較強的作物有顯著的肥效，但不如過磷酸鈣及骨粉。

(3) 磷礦粉在直接利用時，通常通過 80 孔的篩子 (徑 < 0.177 毫米)，但是它的肥效隨着粒徑的細度而提高。蘇聯的農業化學工作者，主張把磷礦粉與有機肥堆置，混合施用。

(4) 根據契里柯夫的研究結果^{**}，植物對於磷礦粉的吸收性能，和植物體中的礦質組成有關，植物組成中的 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 比例大於 1.3 者，吸收磷礦粉的性能較強，這個比例小於 1.3 的植物，吸收磷礦粉的性能便很弱，或不能吸收。

在中國的試驗結果證明，吸收磷礦粉中磷素的性能極強的作物有：蘿卜菜、油菜、蕎麥、苕子等，吸收性能強的作物有：豬屎豆類、胡枝子類、田菁、多年生禾本科牧草、甘薯、玉米等，而禾谷類作物對於磷礦粉的利用力是極為薄弱的。

中國科學院土壤研究所就國內主要磷礦進行農化及生物的試驗，按照磷礦粉在直接施用時的肥效分成等級^{***}。可以看到國內許多磷肥資源，雖然含磷的百分數不足以供工業上的精制，但是在直接利用時，是有一定功效的。

在製造過磷酸鈣的工業上，對於含磷在 28—30% 間的岩塊，一般認為是酸處理的最低要求。在磷礦粉的製造工業上，對於含磷在 18% 的磷塊岩，認為可以不經過選礦而直接磨研，具有這個含磷量的岩塊，其礦物組成中大約含有接近於 50% 的磷灰石。

國內發現的磷礦，大部分不足以精制化學磷肥，

也有一部分含磷很低，即使製成磷礦粉，在經濟價格上也不值得作為商品來運輸。此外，所發現的大型礦床中，岩塊的品質往往不很一致，許多低品位的岩塊，通常大量廢棄。

如何來對待品位較低、分布零星的磷礦，使它們成為國家有用的資源，便是農業化學工作者所應該考慮的問題。其實中國有大面積的酸性土壤，含磷量在 0.05% 以下，而地球化學中磷的“克拉克數值”是 0.11—0.13。含磷 2.5% 的岩石，它的濃縮度達到 20 倍，對於含磷較低的土壤來講，已經達到 50 倍。田間試驗及溫室試驗也已經證明，在適當的條件下施用低位磷礦粉，對於酸性的缺磷土壤是有增產作用的。但是問題在於施用上的經濟價值，第一，低位磷塊岩的施用範圍，僅僅局限於當地的缺磷土壤。第二，必須發掘簡易。在比較堅硬岩石中的少量結核狀膠磷礦，如在南京燕子磯所看到的，在農業上應用是極不經濟的。當然，最後還是決定於岩塊本身所含的磷酸鈣鹽的性質，因為磷礦粉在直接施用時的肥效，往往不是完全決定於含磷量的多少，在很大程度上是受磷酸鈣鹽晶體的影響，含非晶形（或晶體在 0.001 毫米以下）的磷酸鈣鹽的岩塊雖然含磷量低些，往往也有良好的肥效。因此，普遍鑑定低位磷塊岩的農業化學性質，並且根據當地的土壤條件及農作情況來進行生物試驗，使地質研究者所發現的祖國磷肥資源能充分發揮它的功效，是當前農業化學工作者的任務之一。

當礦物岩石的研究尚以顯微鏡為主要工具時，一般認為磷塊岩中的磷酸鈣鹽是非晶體，而磷灰岩中的磷酸鈣鹽是晶體。近 30 年來 X-射綫圖譜的技術日益進步，知道過去所認為非晶體的磷酸鈣鹽，實際上是微晶體，不能為顯微鏡所察視。借助於 X-射綫的研究，我們有可能來搞清楚磷塊岩中各種磷酸鈣鹽的晶體結構，明確磷酸鹽、氟、氯、氫氧類，鹽基類等在晶體中的分子排列。我們已經有條件來進行磷礦粉的物理化學性質，與土壤根系的接觸代換性能以及和土壤溶液、土壤膠體間的相互關係的研究。這樣應用現代農業化學的研究技術，從理論上來闡明磷塊岩在不同土壤上對於各種作物的肥效，對於改進磷塊岩的利用方法，將起很大的作用。

* 見中國科學院地質研究所資料。

** Ф. В. 契里柯夫：鉀及磷的農業化學，第四頁，莫斯科，農業出版社，1956。

*** 參看本期研究簡報中中國主要磷塊岩的肥效試驗一文及其參考文獻。

中国目前施肥制度下的磷肥問題

近来国内的土壤肥料工作者，在有机肥料和无机肥料的选择問題上，有不少的辯論，但是這個問題在农村中事实上并不存在。今天大面积的农田上普遍缺乏肥料，只要有肥料，农民都是欢迎的。由于肥料給源的限制，如何配合，如何施用，使目前所掌握的有限肥料，能發揮它們的最大的功效，却是十分现实的問題。很明显，在最近的一段时间內，我們將仍旧依賴有机肥料为主要肥源(特別是在粮食作物上)，化学肥料的比重势必随着工业发展而日漸增加。所以對於磷肥來講，今天的主要給源，也是依靠有机肥料。通过生物的物质循环，从有机态磷的矿质化来供給作物。而磷素的補助給源是磷块岩、磷灰岩和各种含磷岩石。

这里很难将中国农家肥料的成分加以詳細介紹，除了为量极少的人尿以外，一般講来，高氮品質的肥料是很少的，同时农家肥料在积肥及保存过程中，氮肥的损失也相当大，参考各地的分析材料，在堆肥、土粪、草塘泥、杂肥等的成分中，氮和磷的比例一般在 1.5:1 到 3:1 之間；而按照一般作物的需要量來講，氮和磷的需要比例在 2.5:1 到 3:1 之間。因此，如果以上面所講这些农家肥料为基础，单独掺入矿质磷肥，往往很难得到显著的效果。

过去农田上的肥料試驗結果，几乎有 50% 左右認為过磷酸鈣是有显著肥效的。但是这些試驗大都是以化学肥料硫酸銨、过磷酸鈣、硫酸鉀来做氮、磷、鉀的配合試驗。这些試驗，証实說明了中国土壤的肥力，是有一定价值的，但是并不完全符合于中国施肥的实际情况。除了过磷酸鈣及少数濃縮磷肥在当季施用时有-定的活性以外，其他磷肥，特別是磷矿粉，只通过根系的接触代換作用才能为植物所吸收。因此，中国农民沾秧根、塞肥等传统方法，对于磷肥來講，是特別經濟并且有效的。植物吸收磷肥最强烈的时期在幼苗阶段，秧田施肥的方法，可以保証这个阶段的磷肥給养，使幼苗干物質的含磷量(P_2O_5)达到近于百分之一，这样使植物保持有充分的磷素足以供孕穗以前的内部轉化。这些优良的传统方法，将使我国磷肥能經濟而有效地施用。

除了针对土壤肥力来施用磷肥外，矿质磷肥在促进有机肥的功效方面有一定作用，例如在制造堆肥时适当的掺入过磷酸鈣或磷矿粉(通常不超过 5%)和石灰，能促进堆肥的熟化。在泥炭中混入少量的过磷酸鈣(2.5—5%)及銨水，有助于泥炭中氮素的活化。以有

机肥料为主体，把有机-无机肥料适当結合，来增进肥料中每个养分的功效，是当前农业化学工作者的另一任务。

* * *

在扼述了土壤性質、磷矿給源、施肥情况以后，我們總結一下对于中国磷肥問題的不成熟意見，供作参考。

(1) 在大面积的耕作土壤上，目下起增产作用的主导因子在于氮肥。随着化学氮肥生产量的提高，磷肥的需要性将日益增长。

(2) 在强酸性的紅壤荒地上，当利用初期，磷肥的效应可以超过氮肥。在未曾深度熟化的紅壤性水稻土上，磷肥和氮肥有同样的效应。在这些土壤上，以有机肥为主来进行耕作时，适当掺入无机磷肥，能使作物增产。

(3) 在华北地区以黃土为主要成土母质的土壤上，在一般施肥及耕作情况下，磷矿粉的肥效将极不显著。在华南酸性土区，磷矿粉可以代替一部分过磷酸鈣。因此，我們首先将过磷酸鈣和氮肥在一起供給华北的經濟作物，在华南地区应该尽量利用邻近产区的磷矿粉。

(4) 由于作物对于氮利用率和需要量都較磷肥为强，同时土壤对于磷肥的吸附和固定性能又高出于氮肥，因此，土壤中氮肥的補給将是經常性的，而磷肥則在連續施用几年以后可停施一个时期。

(5) 磷矿粉的肥效不完全取决于含磷的百分数，非晶质或晶体极細的磷块岩粉虽然含磷量低些，也有一定的肥效。因此，判別各地岩块的农业化学特性，并分析矿区邻近土壤的肥力和作物的性質，对于低位矿床的利用是极为重要的(苏联的情况下，磷矿粉很少运输到 250 公里以外)。

(6) 要在全中国范围之内提高地力，豆科綠肥的种植面积必将扩展，磷肥的需要性将随着增长。紅壤区荒山荒地的綜合利用工作正在推进中，这些地区也迫切需要磷肥。此外，在以有机肥料为主的有机-无机肥料配合施用方法中，适当掺和少量过磷酸鈣或磷矿粉，可以增进氮素的矿化率和植物对于氮素的利用率。这些都将成为中国磷肥資源扩展利用的途径。

解放十年以来，地質工作者已經为祖国找到不少的磷肥資源。現在，农业化学工作者的任务，应该是就各地土壤的肥力、磷矿性質及农业情况，具体地提出这些資源的利用建議，使它在农业增产上能發揮最大的功效。