

同位素在農業化學和土壤學 研究中的應用

A. B. 索科洛夫等著

科 學 出 版 社

同位素在農業化學和土壤學 研究中的應用

А. В. 索 科 洛 夫 編
И. П. 謝爾多布爾斯基

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р
ПОЧВЕННЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ В. В. ДОКУЧАЕВА

ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОТОПОВ
ПРИ АГРОХИМИЧЕСКИХ
И ПОЧВЕННЫХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ

Сборник статей



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
Москва—1955

Ответственные редакторы:
А. В. Соколов и
И. П. Сердобольский
**ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОТОПОВ ПРИ
АГРОХИМИЧЕСКИХ И ПОЧВЕННЫХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ**
ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА, 1955

內 容 提 要

本書收集了有關同位素在土壤研究和農業化學方面應用的八篇論文，1955年由蘇聯科學院出版，內容着重討論了示踪性 P^{32} 的應用，包括植物的磷素營養，有效性磷的測定，磷酸鹽溶解度和陰離子代換作用等幾個在農業上極為重大問題的研究。此外，對於重氫和放射性銻的研究也有專文論述。

在這本專集中可以看到原子能的和平利用，為土壤和農化研究開闢了多麼廣闊的前景，同時，由於同位素方法的運用，也解決了很多以前無法解決的問題。

**同位素在農業化學和土壤學
研究中的應用**

原著者	[蘇] А. В. 索科洛夫等
編輯者	蘇聯科學院土壤研究所
翻譯者	于 天 仁 等
出版者	科 學 出 版 社
	北京朝陽門大街117號
	北京市書刊出版業營業許可證出字第061號
印刷者	北 京 新 華 印 刷 廠
總經售	新 華 書 店

1957年3月第一版

1957年3月第一次印刷

(京) 0001—5,265

書號: 0680 印張: 8

開本: 850×1168 1/32

字數: 209,000

定價: (10) 1.40 元

序

示踪原子的方法，在農業化學和土壤學的研究中，獲得了日益廣泛的應用，這僅僅是因為這個方法使可能在土壤條件下測定肥料中營養物質的利用以及比較正確地來研究土壤和肥料的相互作用和植物由土壤中對水分和營養物質的吸收等複雜過程進行直接分析。

在這本文集中，刊載了在蘇聯科學院杜庫查也夫土壤研究所，蘇聯化學工業部肥料和殺蟲殺菌劑研究所，全蘇肥料、農業土壤和農業技術研究所，蘇聯農業部全蘇森林農業研究所等單位中所進行的研究工作，應用放射性同位素和重氫的研究，使得有關植物營養和土壤中營養物質吸收作用的很多概念，有了改變。希望這本文集的出版，將使同位素在農業試驗和研究機關實際工作中的應用，得到進一步的擴大。

目 錄

序.....	(i)
在盆栽試驗中應用示踪磷鹽測定土壤中有效性磷的含量.....	
..... A. B. 索科洛夫	(1)
論土壤中某些磷鹽的溶解度和陰離子代換作用.....	
..... И. П. 謝爾多布爾斯基	(9)
磷的植物營養及磷化合物在植物體內的代謝與磷酸鹽施用時 期和施用方法的關係.....	K. Ф. 格拉德科娃 (49)
農業化學中同位素 P^{32} 的應用.....	Н. И. 保里科娃 (112)
木本植物根系對礦質養分的吸收.....	
..... А. И. 阿赫洛明科、М. В. 茹拉甫列娃	(144)
鈣在生草灰化土中施用石灰的情況下對農作物的作用.....	
..... О. К. 凱得洛夫-齊赫曼、А. Н. 科惹芙尼科娃、 Л. Н. 普洛塔施克	(181)
植物水提取液中重氫的測定	Ю. А. 波里亞科夫 (202)
重水在研究鹽溶液中的普通水對農作物的有效性時的應用...	
..... Ю. А. 波里亞科夫、Н. С. 蓋爾莫根諾娃	(219)

在盆栽試驗中應用示踪磷鹽測定 土壤中有效性磷的含量

A. B. 索科洛夫

示踪原子廣泛地應用於農業化學的研究中，放射性同位素 P^{32} 的應用，使可能根據新的觀點來闡明土壤中有效性磷的測定和磷肥在土壤中的變化。放射性磷的測定是既簡單、準確而又極為靈敏，這就使得研討磷鹽進入植物的方式及其在植物體內的分佈和變化成為可能。

在分析化學和物理化學中應用的示踪原子的方法原理，已被採用於農業化學研究和盆栽試驗中，例如；同位素稀釋作用(изотопное разведение) 曾被用來測定土壤中的有效性磷 [這個方法的敘述，見 1948 年出版的卡敏 (Камен) 的著作]，這個方法使得不須將所欲測定的化合物分離而可在分析樣本中直接測定其含量，假若向待測物質的溶液中加入一定量的該物質的放射性同位素時，則放射性同位素即將溶液中所有的該物質 (“載體”) 加以標記，當取出少量待測物質並測定其比活度 (удельный активность) 之後，即容易知道原來該物質在溶液中的含量，假若令 a_1 為所加物質 (x_1) 的比活度， x_2 為在分析溶液中該物質的未知含量，而 a_2 為放射性物質加入溶液之後，該物質 ($x_1 + x_2$) 的比活度，則

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{x_1}{x_2 + x_1},$$

因而：

$$x_2 = \left(\frac{a_1}{a_2} - 1 \right) x_1.$$

將一定量的示踪磷鹽加入到土壤中去，然後用某種溶劑將其提取出來，則可根據溶液的比活度來測定土壤中磷鹽的含量(包括溶解的磷鹽和加入到土中的磷鹽)。也可以這樣假定；將少量示踪磷鹽加於平衡溶液中，並不能改變其濃度，而在土壤固相物質和溶液之間示踪磷鹽含量達到平衡後，即可測定溶液的比活度。這樣就不僅可以測定已經轉入溶液中之磷量，而且也可測出能够從土壤轉入溶液中的磷量 [謝爾多布爾斯基和西尼亞金娜 Сердобольский и Сянгина, 1954]。

研究土壤磷鹽溶解度的第二個方法將較第一個方法為合宜。第一個方法則可用來研究土壤中磷肥的轉化。

示踪原子的方法使有可能進行固相和溶液之間代換作用的研究，遠在 1922 年潘奈特 (Paneth and Vorwerk) 即曾用這個方法來測定鉛鹽結晶的表面，而科爾索夫 (Kolthoff, 1933, 1936) 繼續了這個工作，並確立了這個反應特性的概念。

當固相和含有兩個同位素的溶液之間達到平衡後，在固相表面和溶液中的同位素之間的比例應當是一樣的，應用於磷鹽吸附作用則應具有下述關係：

$$\frac{H_2 P^{32} O_4 (T)}{H_2 P^{32} O_4 (Ж)} = \frac{H_2 P^{31} O_4 (T)}{H_2 P^{31} O_4 (Ж)}.$$

假若加到平衡溶液中的 P^{32} 量和遺留於液相中 P^{32} 之量以及溶液中 P^{31} 的量為已知，那麼就很容易確定存在於固相表面的和與溶液中的磷進行代換作用的磷的數量。奧爾生 (Olsen) 1952 年曾用這個方法來測定氫氧磷灰石和磷灰土的表面，以後又用來測定石灰性土壤中的代換性磷 (1953)，其實，這同一個“同位素標記”的方法，可以不僅算出溶液中的磷量，而且也可算出與溶液進行代換的土壤固

* T——固相；Ж——液相。

相的磷量,亦即也考慮到了“固相”參與同位素標記作用。

用植物所做的試驗也同樣可以用來測定土壤中有效性磷的總量。在每個試驗中,植物根據試驗條件,可利用土壤的某一部分有效性的磷鹽。為了更完全的從土壤中提取有效性的磷,曾應用了很多方法:如用砂拌土,在少量的土壤上,播入大量的植物,為植物發育創造最合宜的條件。在某些方法中,則根據假定的公式和實驗結果的各種內插法來計算總磷量,如米希黎科 (Митчерлчх) 法即是如此。

把植物當作土壤有效性磷的提取工具,則當加少量示踪磷鹽於土壤中時,即可測定有效性磷的總量。根據上述討論,可應用類似於同位素標記的方法,也可測定交換性磷。假定植物利用肥料中磷(示踪磷)的程度和利用土壤有效性磷的程度一樣,則土壤中有效性磷量可根據納爾遜 (Larsen, 1950) 福列德和金氏 (Fried and Dean, 1952) 所建議的方程式測定出來:

假若令 A 為土壤中有效性磷量, B 為示踪肥料中的磷量, y 為示踪磷佔進入植物中磷量的%數,則

$$A = \frac{(1-y)}{y} \cdot B$$

假定有效性磷和施入磷鹽的利用程度是一樣的,則 A 的大小可以根據示踪磷鹽的利用係數算出。當然,這個假定是不正確的,因為磷鹽加入到土壤中以後就改變了植物對土壤磷鹽的利用程度,同時在不同酸度的條件下,也改變了土壤磷鹽的溶解度 [索科洛夫 1952, 1953; 保葛坦 (Богдан), 1953]。儘管像土壤這樣生成複雜的,多相的物質,同位素標記原理的應用是非常有條件的,但是這些方法在某種程度上仍然可使我們得以測定土壤中代換性磷的含量和在試驗的條件下其有效性與施入磷鹽相等的那些磷鹽的含量。

但是,土壤中並不止一種固相*而是有大量的各種各樣的固相存

*必須指出,通常在土壤學家的著作中“把土壤固相”用來指示土壤中存在於固體狀態的所有物質,這種表示方法是不正確的。

在,其中也包括很多磷的有機和無機的物質。磷進入植物的方式,並不是一個機械的過程,而是決定於根和整個植物的生命活動及其生長情況。因此, A 值的大小,亦即根據同位素標記理論(在這個理論中,把植物的作用看作是一個分析樣品的採集工具)所測定的有效性磷含量是非常有條件而且是不穩定的。

試驗所測出的 A 值大小的不穩定性,其原因是很多的,因為肥料中的磷參與植物營養的百分數決定於很多因子,如試驗的長短,磷肥形態,土壤與肥料的相互作用,植物的利用能力及其在不同生長期中對磷的需要性,以及很多其他的進行試驗時的條件等。上述福列德和金氏的工作證明: A 的大小決定於肥料用量,施用方法,磷肥形態,和收穫的時間等。

因此,我們應當搞清楚上述那些條件,才可能選擇測定 A 的大小的方法,也才可能將示踪磷鹽用於實驗中。當將磷鹽加入到一定部位時,我們就可以使其在與天然存在的磷鹽完全不同的條件下吸收。

因此,只有在均勻的施入並將施入的磷鹽與全部土壤小心混合時,植物的根才可能當作是一種從土壤中提取有效性磷鹽均勻樣本的工具,在任何一個土壤中都含有某些數量的(雖然是極為少量的)水溶性磷鹽,那些加入到土壤中去磷鹽,儘管很快的為土壤吸收,但畢竟仍然可以增加磷在土壤中的含量,同時也改變了其他有效性狀態磷鹽在土壤中的含量。

當在土壤中施用磷肥時,就增加了有效磷鹽的含量,這些磷鹽主要是進入土壤溶液和進入植物。因此,土壤磷鹽進入植物的量,在施入磷肥時要比不施磷肥時為少。在相應的試驗設計中,根據植物在幼年階段對磷肥的需要性和磷對植物發育速度的影響,得到了相反的結果,即當施入磷肥時,植物對土壤中磷鹽的利用增強了。

引用 K. Ф. 格拉德科夫 (Гладков) 設計的試驗為例。在這個試驗中,肥料的施用引起了土壤中磷鹽利用的減少,試驗所用的土壤是灰鈣土,供試植物是春小麥,施入了含 100 毫克 P_2O_5 的示踪性磷

酸—鈣，小麥在完全成熟後收割。

在這個試驗中，當不施磷肥時，從土壤中進入植物的磷量為每盆 166.3 毫克 P_2O_5 ，而在土壤施過磷肥的盆中，進入植物的磷量也只有 176.7 毫克 P_2O_5 ，則按照通常的方法（即根據在施肥和不施肥時，植物吸收磷量之差）來測定時，植物產品從肥料中所攫取的磷量只有每盆 10.4 毫克 P_2O_5 ，而在這個試驗中，實際進入施肥植物的示踪磷量達到 63 毫克 P_2O_5 ，即為施入量（100 毫克）的 63%。所以，在施肥的盆中，從土壤中攫取的磷量應該是 113 毫克 P_2O_5 ，而在不施肥的盆中，則是 166.3 毫克。則根據施肥植物產品分析結果測出的總磷量和示踪磷量的 A 的大小，應為 180 毫克 P_2O_5 。

因此，在施肥的盆中，有效性土壤磷鹽的利用率為 63%。因為，它應該和示踪磷鹽的利用率相等，所以在盛有不施肥土壤的盆中，有效性土壤磷鹽的利用率可達 93%，因為 A 為 180 毫克 P_2O_5 ，而進入到植物中的為 166.3 毫克。

在同一個試驗中，還有一個在土層中部位施磷的處理。這時，在早期收穫時，測出 A 的大小為 44.2 毫克 P_2O_5 ，而在不施肥的盆中，實際上由土壤進入植物的磷量則為 57.7 毫克 P_2O_5 ，這說明同位素稀釋的理論用於測定土壤中有效性磷，是極其有條件的。

土壤磷鹽進入植物的數量，要決定於磷肥施用量，根據磷肥用量不同，不論是有效性磷的總量以及植物對土壤磷鹽的利用率，均有所不同。應用示踪磷鹽來測定土壤中有效性磷的盆栽試驗方法必須加以改變。第一，施入的示踪磷鹽的數量，應該少到這種程度，即不致因示踪磷鹽的使用而影響到土壤磷鹽的利用。第二，應當保證示踪磷鹽能和整個土體相互作用，並使其均勻的分佈於土壤中。儘可能少量的示踪磷鹽〔每公斤土壤不應多於 1 毫克 P_2O_5 ，放射性磷量在 10—100 微居里 (μc)〕應該溶於裝盆時要加入的所有的水中，同時也要把所需量的氮，鉀和其他植物營養鹽類，都加入到這個溶液中去，在將這種溶液加入到一定量的土壤中，並小心地與土壤混勻之後，放入加蓋的盆中（避免變乾）1—3 天，然後再重新小心混合，並移入試

驗盆中，其餘即可遵照盆栽試驗的一般通則進行。

試驗結束時，即可測定產品乾物質的放射活度和其總磷量，根據產品的放射活度即可確定放射性磷的利用率。

一般認為放射性磷在土壤和植物之間的分佈是一樣的，土壤非放射性的有效（代換的）磷也是如此，土壤中非放射性有效性磷的含量以下式表之：

$$x = \frac{P \times 100}{K},$$

P ——進入植物的磷量。 K ——試驗中 P^{32} 的利用百分數。

下面引用一個燕麥的試驗結果為例：試驗是在盛有一公斤灰化壤粘土的小盆中進行的，總產量是 12.9 克，含磷 34.1 毫克，試驗中加入 P_2O_5 一毫克，（含 10 微居里 P^{32} ）示踪磷吸收了 31%，因而，每公斤土壤中“有效性”磷的含量為 $\frac{34.1 \times 100}{22} = 155$ 毫克 P_2O_5 。

在更加準確的計算中，可用進入植物中的示踪磷和種子中的含磷量來校正 P 的大小。

我們所建議的磷鹽選擇吸收法，曾在很多工作中被應用（保黎索娃 Борисова, 1954；科黎契卡姬 Коричкая, 1954）這個方法的基礎是同時施入我們要加以比較的磷鹽，其中之一是示踪性的，當同時同地地把兩種狀態的磷肥（一種是活性大的，一種是活性小的）施入土壤時則植物對活性較小的磷肥，吸收也就較弱些。當土壤中缺乏比較活性的磷鹽時，則比較活性小的磷鹽也可被較強烈的吸收。因此，若把要比較的磷鹽施入到不同盆子中時，是遠遠不能測定磷鹽的不同有效性的。

磷鹽選擇吸收法在下述情況下可以獲得結果，即在試驗中，並不服從於以同位素標記原理為根據的那些應用於示踪磷鹽的基本規律時，這時根據示踪磷鹽的利用量計算出土壤中有效性磷量，必須注意到土壤中有效性磷的狀態並不是一種，而是幾種。其進入植物的量，不但決定於試驗進行時的一般條件，而且也決定於土壤中其他狀態

磷鹽的含量。

因此，當施入極小量的示踪磷鹽以使其不致影響土壤磷鹽的利用時，所獲得的結果也是極為有條件的。雖然，這個結果可以給我們一個土壤中最有效狀態磷鹽存量的指標。

磷鹽選擇吸收的方法，可以得到兩種狀態的磷（示踪性的和非示踪性的）在極為相同的條件下，其相對有效性的結果，因為兩種狀態是施於同一盆中的。同時，當磷鹽共同施用和單獨施用時其有效性的改變也可以根據選擇吸收法來闡明磷鹽之間的差異，這用通常的方法是不能解決的。

結 論

1. 植物對土壤中不同狀態有效性磷的利用，決定於進行試驗時的條件，其中包括磷肥的施用。施入的磷肥可以改變土壤磷鹽進入植物的數量和其利用率。

2. 在盆栽試驗中應用示踪磷鹽以測定土壤有效性磷含量時，所施入的磷量應該儘可能的少，以免影響土壤各種狀態有效性磷鹽的利用和組成。

（魯如坤譯）

參 考 文 獻

- Богдан Е. В. Опыт использования изотопа P^{32} для характеристики методов извлечения подвижных форм фосфатов почвы. Изв. АН СССР, сер. биол., 1953, № 5.
- Ворисова Н. И. Поступление фосфора в растения из гранулированных и негранулированных фосфатов при их совместном внесении. Изв. АН СССР, сер. биол., 1954, № 1.
- Камен М. Д. Радиоактивные индикаторы изотопа фосфора для определения сравнительной усвояемости различных фосфатов. Изв. АН СССР, сер. биол., 1954, № 2.
- Корицкая Т. Д. Использование радиоактивного изотопа фосфора для определения сравнительной усвояемости различных фосфатов. Изв. АН СССР, сер. биол., 1954, № 2.
- Сердобольский И. П. и Сиягина М. Г. Об обменном поглощении фосфатов

- почвой. Изв. АН СССР, сер. биол., 1954, № 3.
- Соколов А. В. Задачи агрохимического изучения почв. Почвоведение 1952, № 7.
- Соколов А. В. Использование радиоактивного фосфора в агрохимических и почвенных исследованиях. Вестник АН СССР, 1953, № 9.
- Fried M. and Dean L. A. A concept concerning the measurement of available soil nutrients. Soil Science, 1952, v. 73.
- Kolthoff J. M. Adsorption ionic lattices. J. Physik. Chem., 1936, v. 40.
- Kolthoff J. M. and Rosenblum C. The adsorbent properties and the specific surface of lead sulfate. J. Am. Chem. Soc., 1933, v. 55.
- Larsen S. Studies on the uptake of phosphorus in plants with radiophosphorus as an indicator. Copenhagen, Mimeogr., 1950. Цит. по Фриду и Дину, 1952.
- Olsen Sterling B. Measurement of surface phosphate on hydroxylapatite and phosphate rock with radiophosphorus. J. Physik. Chem., 1952, v. 56.
- Olsen Sterling B. Soil and fertilizer phosphorus in crop nutrition. Symposium, N. Y., 1953.
- Paneth F. and Vorwerk W. Über eine Methode zur Bestimmung der Oberfläche adsorbierender Pulver. Zschr. physik. Chem., 1922, Bd. 101.

論土壤中某些磷鹽的溶解度 和陰離子代換作用

И. П. 謝爾多布爾斯基

在著者和西尼亞金娜 (Синягина) 以前的著作中曾證明: 在土壤固相的磷酸根和溶液中磷酸根之間存在着代換作用, 將一定量的黑鈣土, 灰化土和灰鈣土與放射性示踪磷鹽溶液共同搖動時, 土壤吸收磷鹽的同時, 還進行着土壤固相 $\text{HPO}_4^{=}$ 離子和溶液中 $\text{HPO}_4^{=}$ 離子的代換作用。

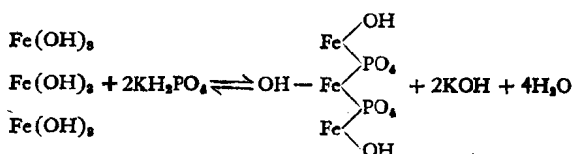
這個過程的本質, 不同作者有不同的看法, А. Ф. 丘林 (Тюлин) [參看 1950 年出版的施姆克 (Шмук) 的著作 (指 Шмук 著 Динамика режима питательных веществ в почве——譯者) 第八章的補充] 把這種 $\text{HPO}_4^{=}$ 離子稱為代換性磷酸離子, 他認為這種代換性磷酸離子可以把存在於高嶺石 (каолинит), 多水高嶺石 (галузит) 三水鋁礦 (гипсит), 水鋁石 (diaspor) 等膠粒中的 OH^- 離子代換出來。同時, 這種代換性磷酸離子也可為溶液中的另一些離子如 $\text{ASO}_4^{=}$, F^- , $\text{SO}_4^{=}$ 和有機酸根 (草酸, 檸檬酸) 所代換。在同一篇文章中, 作者肯定地認為這些代換性磷酸離子是存在於吸附體表面的擴散層中的磷鹽, 而不參與化學結合作用。С. Н. 阿列申 (Алешин) 則認為磷酸離子是作為定位離子 (определяющий ион) 吸附於荷負電的顆粒上。同時, 磷酸離子不是位於雙電層的擴散外層而是位於決定顆粒電荷的內層。

Д. Л. 阿斯金那濟 (Аскинази) (1949) 根據總結文獻的結果認為土壤和礦物對磷鹽的吸收作用 (代換性的和非代換性的) 可以按

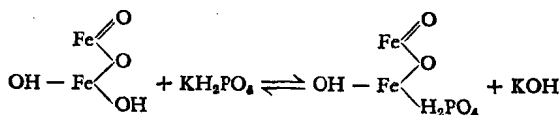
照不同的方式進行，如可按化學沉澱的方式進行，也可按吸附方式進行，(即土壤和礦物顆粒的表面力參與作用)同時，也可以按照磷酸離子與氫氧根，矽酸根和腐殖酸根的陰離子代換作用的方式進行。

磷酸的陰離子代換作用，也曾引起了國外學者的注意如金氏和羅賓斯 (Дин и Рубинс, 1947); 凱勒和米德勒 (Келли и Мидглей, 1943); 羅賓斯和金氏 (Рубинс и Дин, 1947); 帕依派爾 (Пайпер, 1942); 曼德遜 (Матсон, 1931); 鮑氏 (Пью, 1938); 等人，這些作者的工作，發現土壤和礦物對於磷鹽的吸收可能是磷酸離子與吸收在吸附體上的其他離子(如氟根，氫氧根，矽酸根)以及檸檬酸根，酒石酸根等有機酸離子相互代換的結果。這些作者還建議了測定磷酸吸收量的方法，這個方法簡單講起來是用碱把為吸附體吸收的磷酸離子代出。(帕依派爾, 1942)。也有用檸檬酸(金氏和羅賓斯, 1947) 酒石酸(羅賓斯和金氏, 1947) 氟根[季克曼和波勒 (Дикман и Брей, 1941)] 來代換的。這種代換的機構，凱勒和米德勒 (1943) 發現可能有下述三種方式：

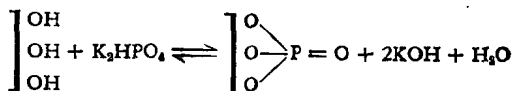
A. 與氫氧化物作用：



B. 與褐鐵礦作用：



C. 與高嶺土作用：



另外一些作者 [德莫隆和巴斯德 (Демолон и Бастис, 1934); 鮑氏, 1940 和米德勒的評述論文, 1940] 的工作, 將不在這裏提及, 可以這樣說, 即上述陰離子代換作用的機構仍然是沒有搞清楚的, 也可以認為這種代換作用是與溶解和固定作用密切相關並且是同時發生的。還必須補充一句, 即在某些作者的工作中, 是把代換性磷鹽當作是最活潑的土壤磷鹽, 即最容易為植物利用的磷鹽的, 雖然還缺乏直接的證據。

本文的目的在於研究磷鹽代換作用的可能的機構, 既然磷酸離子, 正如上面所講的, 可以為 F^- , OH^- , 草酸根, 酒石酸根, 檸檬酸根以及其他的酸根所代換, 那麼就必須研究一下磷酸進入含有上述陰離子溶液中的條件如何。為了使工作簡易起見, 我們的研究對象不用土壤, 而採用土壤中最常遇到的磷鹽, 即磷酸鈣 $[CaHPO_4, Ca_3(PO_4)_2]$ 和磷酸鐵、鋁*。

本文敘述的次序如下: 開始研究一下在水中磷鹽的溶解情況, 然後研究一下在含有氟根和有機酸根的溶液中, 其溶解的情況如何, 最後再研究一下在含有 KCl 和 Na_2SO_4 等中性鹽類的溶液中, 其溶解情況如何, 之後再來敘述一下磷酸離子與磷鹽化合物的代換試驗。

在不同 pH 的溶液中, 磷酸鈣的溶解度

難溶性鹽類的溶解度, 服從於溶度積原理, 假若這個鹽解離為 Me^{m+} 和 A^{n-} 離子, 則根據溶度積原理, 此等離子的活度積應該是一個常數, 即:

$$1) (Me^{m+})^n \cdot (A^{n-})^m = L_T, \quad (1)$$

或

$$2) [M^{m+}]^n \cdot [A^{n-}]^m = L_k = \frac{L_T}{f_{Me}^n \times f_A^m}. \quad (2)$$

在上述方程式中, 圓括號代表活度**, 而方括號代表濃度, n, m

*關於磷酸鐵、鋁溶解度的試驗, 將在以後的文章中論述。

**此處所指的活度請勿與放射活度 (活度) 相混——譯者。