

科學譯叢

示蹤原子在研究植物營養的 科學原理中的應用

庫爾薩諾夫院士 著



科學出版社

科 學 譯 叢

示蹤原子在研究植物營養的
科學原理中的應用

A. Л. 庫爾薩諾夫院士 著
龐士方、陸如山、慶太平 譯

科 學 出 版 社

1955年3月

內 容 摘 要

示蹤原子方法就是放射性同位素的應用方法，放射性同位素是原子能的和平利用的產物，我們可以利用它在研究植物生理學以及農業生產上，可以解決一些很重要的問題。也就是說原子能在農業方面的應用，是很有效的。

這本書蘇聯科學院植物生理研究所長庫爾薩諾夫院士 1953 年 10 月 22 日在蘇聯科學院大會上的報告，他明白地指出了用示蹤原子方法，可以把植物的新陳代謝、光合作用、營養物質在體內作用的運輸、農作物的施肥問題等弄得十分清楚的，這樣對農業生產的意義就是重大的。

這篇報告的譯文，曾以“同位素及其他生物學上最新的研究方法在解決農業方面的意義”為題，發表在“科學通報”1954 年 9 月號（蘇聯科學院又以“示蹤原子在研究植物營養的科學原理中的應用”為題，作為小冊子出版）。

此書可作 中學生物學教師、生物學工作者的參考書，同時也是宣傳原子能和平利用的良好資料。

示蹤原子在研究植物營養的 科學原理中的應用

МЕЧЕННЫЕ АТОМЫ В РАЗРАБОТКЕ НАУЧНЫХ
ОСНОВ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

原著者 庫爾薩諾夫院士
(Академик А. Л. Курсанов)

翻譯者 龐士方、陸如山、慶太平

出版者 科學出版社

北京東四區順兒胡同 2 號

(原文出版者：蘇聯科學院出版社)

印刷者 北京新華印刷廠

發行者 新華書店

書號：0173

(譯) 108

(京) 0001—2,270

字數：14,000

1955 年 3 月 第一版

1955 年 3 月第一次印刷

開本：787×1092 1/32

印張： $\frac{3}{4}$

定價：一角四分

示蹤原子在研究植物營養的 科學原理中的應用

A. Л. 庫爾薩諾夫院士

社會主義農業的首要任務之一，就是進一步提高各種糧食作物及工業原料作物的收穫量。政府在農業機械化與電氣化、灌溉系統的建立、沼澤排水工作以及利用各種肥料以保證耕作等等方面的廣泛措施，使在祖國各種氣候的地區中提高和鞏固收穫量創造了可能性。

但是，要善於利用這些可能性，首先就必須熟悉植物的需要，學會最有利於收穫地來滿足這些需要。

土壤學者、農業化學者、生理學者、育種學者、遺傳學者及生物學其他部門的科學工作者，以他們的巨大力量在農業各主要方面進行着許多研究工作，並已獲得不少成就，在這些成就的基礎上實現着土壤耕作進一步的合理化，創造了較完善的農作物撫育方法，達成改造農作物遺傳性的工作，以新的高產量的植物品種輸送給農業生產。

鑒於蘇共中央九月全會提出的這些重大任務，蘇聯生物學者應該更勇敢、更深入地鑽研植物生命活動過程，並在這一基礎上給農業工作者，指出更有效的植物營養和栽培的方法，用提高農作物收穫量的新的知識及方法來武裝他們。

經過認真地重新審查了許多一般性的生物學問題之

後，蘇聯的生物學者就開始進行這一重要的工作。由蘇聯學者所提出的關於生命的非細胞形態、獲得性遺傳、發育的階段性、有機體與其生活條件的相互聯系以及其他的一些概念，不僅對生物科學各部門的發展有重大的影響，同時對解決農業和醫學等的實際問題也有重大的影響。

此外，目前為蘇聯科學界廣泛利用着的同位素方法、色層分離法、光學方法、電子顯微鏡法、電泳法及其他研究方法的改進，使生物學者有可能運用新的技術來着手解決以前認為不能直接研究的一些問題。

所以目前蘇聯生物學者為了有成效地並迅速地解決擺在他們面前的新任務，都已用先進的理論概念和強有力的研究方法武裝起來了。

示蹤原子對這一類的工作提供了非常廣泛的可能性，示蹤原子與紙上色層分離法以及其他方法配合使用，即可直接而精確地來觀察在土壤中進行着的各種過程，觀察植物對營養元素的利用，觀察在植物組織中營養液的運動，並觀察在植物細胞中實現着的新陳代謝的最精緻的反應。

在生物學及農業研究機構的實驗室裏，應用放射性及非放射性同位素，還是不久以前的事情。但是在這一短短的時期中，從事研究植物生命活動的蘇聯生物學者，已經有可能更全面地、並且在很多情況下，完全用新的觀點來考察植物生活及其與周圍環境間的交換關係。

運用示蹤原子作進一步的研究，還可以使我們得到很多新的和意料之外的成果。僅就現在蘇聯科學院及我們國家其他科學機構的許多研究單位的工作結果加以分析與歸納，便能概述植物營養的概況，目前我們認為這就是有賴於運用同位素以及與其相關的色層分離法而獲得的。

根部營養是最便於控制植物生理活動的一個方面，農業就需要使用很多有效的方法來影響它。正因為這樣，大部分使用同位素的研究者，便集中注意來解決土壤中營養物質的分配和變化以及植物吸收營養物質的問題。

用放射性磷、鈣、硫、重氮及有機物質、示蹤放射性碳所作的實驗，在很短的時間中顯著地擴大了，並確定了我們對於植物由根部吸取營養料的知識，特別是運用示蹤磷，才使我們改變了那久已存在的、關於磷肥對植物的低同化性（10—12%）的概念。這一概念是根據在施肥和不施肥的土壤上栽培起來的植物，就其總磷含量的對比結果得到的，但是它並未對土壤本身的磷及施肥時增加進去的磷加以區別。而實驗證明，如果在土壤中加入帶同位素 P^{32} 的磷酸鹽肥料（例如過磷酸鹽），則小麥及其他植物首先是利用肥料中的磷，利用率達到48—68%，同時對土壤本身的磷的吸收降低了。

這個結果證實了植物對磷肥同化性比以前所推論的高得多。同時也促使我們尋找方法，來提高植物對原來土壤本身中貯存的磷的利用。

目前可以順利地、精確地來解決農業中重要的問題——如土壤中肥料的合理分佈，以保證幼苗植物根部最快、最完全地利用肥源，這一問題對目前廣泛推行着的顆粒磷肥具有極重大的意義。蘇聯學者把帶有示蹤放射性磷的顆粒狀磷肥分佈在土壤不同部位之後，他們證明：在小根與肥源相會合後經過15—20分鐘，就已經在葉子上發現了同位素 P^{32} ，因此示蹤在葉片上最初的放射性徵象的出現，便能確定根在土壤內達到肥源的時刻。而觀察放射性的繼續加強，便能估計該肥料被吸收的速率。

例如用燕麥作實驗，便證明了正確分佈肥料對植物營養的意義，這些實驗指出：若在種子下3—4厘米的土壤中放置示蹤同位素磷，則當種子發芽後經過2—3天，小根就與肥源開始會合。若將顆粒移置離種子5—6厘米的地方，那末這種“會合”就要推延3—4星期，因而幼年植物開始獲得它所迫切需要的磷素營養的時間也往後推延了。藉助於這種方法就能闡明某些肥料的最適當的分佈。無庸置疑，今後同位素在鑑定機械化施肥的各種方法中，將起更大的作用。

這種方法也可利用來觀察根系在土壤中分佈的情況，以前要解決這個問題，祇能用很艱鉅的而且很不完善的方法將根部從土壤中挖掘出來並把土壤除去。而將帶有示蹤放射性元素的肥源分佈在土壤的不同層次中，實驗者用不着損壞植物的完整性，只要示蹤放射性在它的葉子上的出現，便可順利地觀察到根部伸長到某一水平。利用這種方法便能研究植物根部的發育對土壤耕作、灌溉方法與期限、溫度以及其他因素的依賴性。這對於按照具體情況正確地組織植物營養的工作是極為必要的。

運用示蹤磷(P^{32})來研究根部的吸收功能，在這似乎是早已知道了的過程中揭露出新的、有趣的特性。這些特性在理論上論證了顆粒肥料的利用。舉春播小麥為例便可證明，若磷顆粒與任何一小撮小根——假定佔根系總面積的4—5%——相會合後，這撮小根的吸收功能隨即比平常加強20—30倍，因此這枝小根在頗大程度內就單獨地保證了整個植物對該元素的需要。顯然作為吸收器官的植物的根系具有巨大的潛能儲備，這種潛能是在小根與營養物質來源會合後才發生的，而且僅是局部地發生的。同樣以下這一事實也是極其重要的：禾本科植物的任何一個鬚根所吸

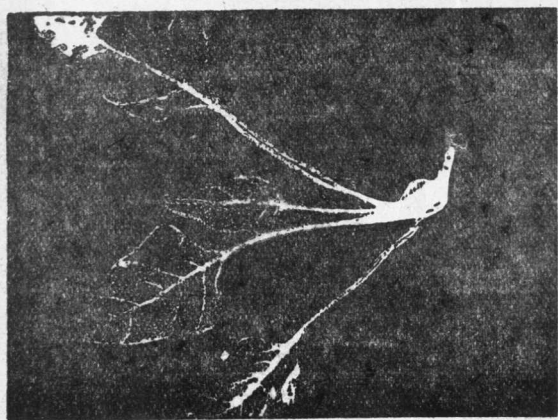
收的營養物質都在所謂的分蘗節中重新分配，再從這裏按照它們對該營養來源的需要分送至植物的各部分去（圖1）。

所以現在我們認為根系並不是平均地運輸水分及營養物質到地上部分的一個功能機構，而是一個非常不穩定的、非常能動的器官，它的活動視營養物質的情況及植物的需要，而在各部分迅速地改變。根部的這些特性便於它利用局部的營養物質來源，特別是利用顆粒肥料。

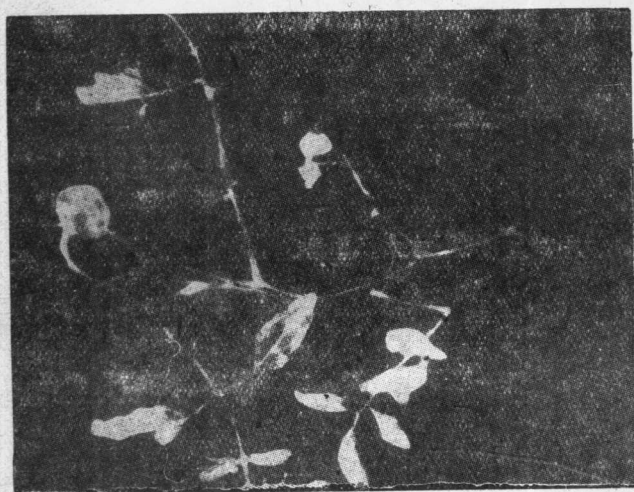


植物在一定的發育階段（通常是在果實子房受精之後），在頗大程度內喪失了自根部吸收磷和其他一些營養元素的能力。但是在這時期，在植物裏可塑性物質的移動及其沉澱為存儲物的過程正佔着優勢，同時還需要營養鹽類的輸入，當這些鹽類充分進入植物時，這個過程就能夠加強。

農業科學運用了所謂根外追肥以後（即以必需的營養物質噴射及撒佈在植物的地上部分），就解決了上述問題。特別是用磷作根外追肥的時候，能夠提高甜菜、馬鈴薯及棉花的收穫量，而銨鹽的根外追肥則可提高白菜和其他蔬菜的收穫量，尤其是在因土壤溫度很低而妨礙了氮素自根部正常輸入的蘇聯歐洲部分北部地區。



a



b

圖2 甜菜植株(a)及番茄植株(b)在葉子上施用了放射磷追肥以後的放射印痕

示蹤原子的應用，使上述這個有益的措施得到了很多的改進和論證。例如，採用放射性磷鹽作根外追肥，就能觀察肥料通過葉子透入植物內部及其在組織中分佈的情況。

在放射印痕中這種分佈的情況是很清楚的。植物藉既於透入其組織中的放射性元素，彷彿將自己“拍攝”了照片。圖 2 是 P^{32} 以鹽溶液形式輸入甜菜和番茄葉子後在組織各部中分佈情況：在甜菜幼株中，磷素進入植物後積存在根部，而在番茄中則積存在果實裏，這完全要看各部分對這元素的需要而定。當然，農業工作者遵循了這些記錄，就能更正確地測定根外追肥的時期和定額。

蘇聯生物學者運用放射性碳 (C^{14}) 與紙上色層分離法相結合的方法發現了根系的新的功能，這就是用根來吸收土壤中的二氧化碳，並把它運輸到植物的葉子和其他綠色部分。在光照情況下，土壤中的二氧化碳與自空氣中吸收的二氧化碳，原本就可以同樣地被利用來合成醣類及同化作用的其他產物 (圖3)。這樣，就揭露了植物碳素養分的一個補充來源，而過去並不知道這來源的存

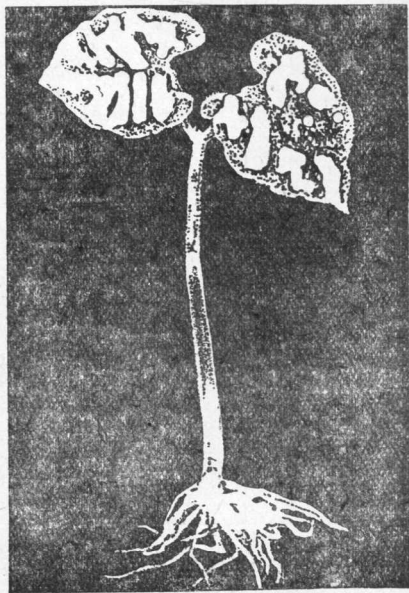


圖 3 菜豆植株由於自根部吸收 $C^{14}O_2$ 而增加了放射性碳。這是在第 12 天時的放射印痕

在。這個事實不僅有其理論上的意義，並且也有其實用的意義，因為它指出了土壤腐植質和微生物學變化過程，對作為植物二氧化碳營養的重要作用，同時對片面地理解應用礦物肥料的功用及其範圍提出了警告。

如果將植物作為綠肥埋在土壤裏（在其有機部分示蹤着放射性碳），就能按釋放 $C^{14}O_2$ 的速度來觀察有機殘餘物的分解。這些觀察有很大實用價值，因為通過這些觀察就能判斷腐植質形成過程的強度，而在土壤中這些過程的進行是依土壤耕作、濕度、溫度及其他因素為轉移的。同時，把植物種在帶有放射性腐植質的土壤裏，就能直接來觀察植物吸收及利用腐敗殘餘中的二氧化碳的情況。圖 4 示小麥幼芽的放射印痕，小麥是栽培在以放射性植物殘餘施肥過的土壤上的。在這種實驗條件下 $C^{14}O_2$ 除了通過根部進入植物外，其他的可能性是沒有的。

在一般植物碳素營養裏通過根部進入的二氧化碳的比值可能不同。闡明這一問題是有很大的實用價值，同時也是很值得注意的。在下表中列舉今年夏天在田間條件下用碳酸施肥過的土壤上得到的一些材料：

作物	收穫量（公担/公頃）		加 CO_2 後提高的產量	
	NPK	NPK + CO_2	公 担	%
馬 鈴 薯	291.1	311.1	20.0	6.9
大 麥	21.2	25.0	3.8	18.0
菜 豆	40.0	46.96	6.96	17.4

雖然這些結果還沒有完全肯定，但它已指出可溶性的和不可溶性的碳酸鹽與各基本營養元素一同施於土壤，則菜豆、大麥和馬鈴薯的收穫量在多數場合中，都有顯著的提

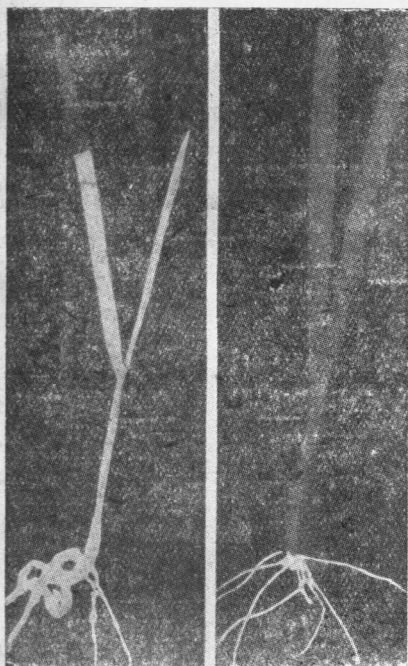


圖 4 栽培在含有具放射性的植物腐敗殘餘物的土壤中的小麥，第 6 天時的放印射痕
 左：放射性殘餘物分離出 $C^{14}O_2$ 的旺盛時期；
 右：在有機殘餘物分解末期。

高。而在某些情況下收穫物的絕對增產量甚至是超過施於土壤的二氧化碳量（例如在馬鈴薯的實驗中），這就說明了這兩者之間的關係，是非常複雜的。

的確，關於植物吸收土壤中的二氧化碳的生物化學方面的詳盡的研究，發現了二氧化碳不僅是與碳素營養，並且也是與植物的其他許多生理活動緊密相關的。

現在，由於採用放射性碳 (C^{14}) 和色層分離法，才得以很仔細地了解這一現象

的內在機構和它對植物生活的意義，這是過去所不知道的。

圖 5 是植物模式圖，其旁所列化學式表示（在土壤二氧化碳¹⁾參與下）植物中二氧化碳的轉化過程。大氣中的 CO_2 在葉子中經過同化作用而變成醣，醣沿着皮層（韌皮部）下行轉移到根部，進入最纖細、最活躍的根的分枝中。這個下行轉移的速度，可以利用示蹤碳原子來測定，例如在甜菜上

1) 在圖及說明裏的化學式中，土壤二氧化碳用*作了記號 (C^*)。

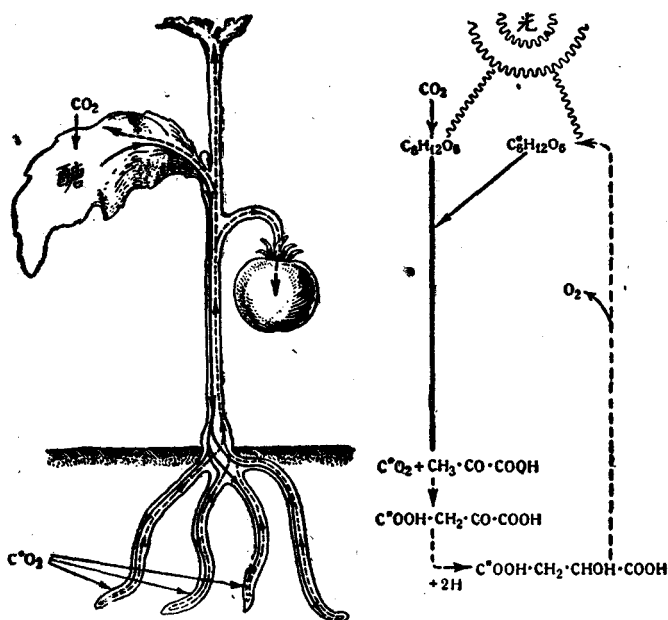


圖 5 在土壤二氧化碳參與下植物中醃類與有機酸的循環圖
(實線代表醃類下行途徑, 虛線代表有機酸上行途徑)

所測出的下行轉移速度是每小時 0.7—1.5 米。

在植物根部的醃經過步驟繁多的糖醇分解反應, 結果就形成丙酮酸。丙酮酸藉助於特殊的酵素獲得了二氧化碳, 二氧化碳是以羧基的形式與丙酮酸結合而使其變為草醃乙酸, 後者很容易還原成蘋果酸。蘋果酸是第一個較為穩定的帶有土壤二氧化碳的物質。土壤二氧化碳固定的第一階段可用圖 6 表示。圖中所示放射印痕說明以示蹤二氧化碳施肥時(例如, 施肥於菜豆的根部), 放射性首先集中在蘋果酸, 僅在以後由於酸類的相互轉變, 才部分地出現在檸檬酸以及醃戊二酸裏。



圖 6 有機酸放射印痕 (菜豆
吸收土壤內的酸後, 在
其根部形成有機酸)
1. 蘋果酸; 2. 酮戊二酸;
3. 檸檬酸。

應該注意到 CO_2 是以羧基而進入有機酸的, 實際上沒有提高物質的自由能, 所以還不能認為二氧化碳是植物的養分。然而在根部形成的帶有土壤二氧化碳的有機酸沿植物上行而進入綠色果實、生長點、特別是進入葉片中 (見圖 5)。在草本植物中, 這上行速度甚至能達到每秒 3—7 厘米或每小時 2—4 米, 因此土壤中的二氧化碳就能很快地進入具有同化作用的組織中, 在那裏由於去羧酶作用的結果, CO_2 又重新被釋放出來, 並在光合作用過程中被還原而合成爲醣類、蛋白質及其他含能豐富的產物。

這樣產生的醣, 也有一部分回到根部, 以便在根部的呼吸過程中變爲丙酮酸, 從而接受土壤中新的 CO_2 , 並把它們運輸到葉子裏去。這一過程的基本循環就是如此。但是它還須加上很多補充變化, 使二氧化碳對根部營養與植物生理活動的其他方面聯系起來。

用示蹤原子法就能確定: 在莖部和葉柄的綠色細胞中 (環繞在輔導途徑周圍而成層的綠色細胞), 一部分從土壤進入有機酸組成中的二氧化碳已被利用供光合作用之需,

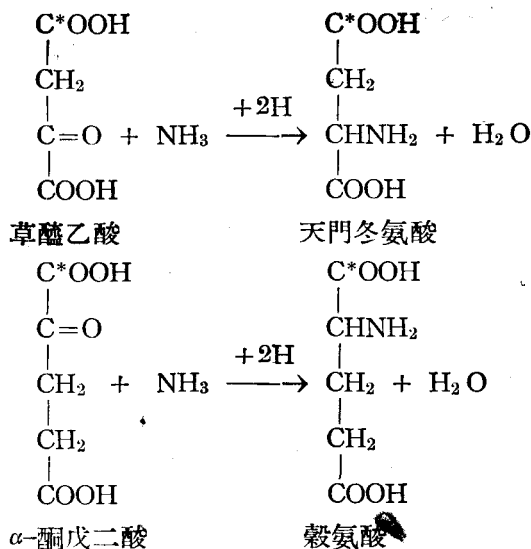
於是在通常外界空氣很難進入的緻密組織中，產生了大量的氧，爲了維持輸導途徑所固有的非常強烈的呼吸，這氧是必需的。因此估計維管束周圍的綠色組織的作用，可能就在於此，而這作用卻常使植物學者們困惑和發生自相矛盾的見解。目前已清楚地知道，這一組織的發展和活動對輸導系統的氧素供應具有重要意義，因而對植物中物質的轉移和對儲存產物的積聚也有很重要的意義。大家知道，收穫量高的春小麥品種的葉綠素層的發育，比收穫量少的品種要強得多。

由土壤中所吸收的二氧化碳有一部分進入了綠色果實，而綠色果實常具有緊密的被蓋層，因此空氣中的氧不能透入。所以在這裏葉綠素的生理意義首先在於它保證了多肉組織在 CO_2 同化過程中正常的氧素營養。據此，我們得出驟然看來難以置信的結論：即植物緻密器官和緻密組織（外界大氣很少通過）的獲得氧素營養，是有賴於來自根部的二氧化碳的。

自土壤中吸收二氧化碳與根系的重要功能如氮與磷的營養，有直接關係。蘇聯學者們的研究證明氨基氮利用的第一步是藉酮酸（如丙酮酸、草醯乙酸和酮戊二酸）的直接氨基化而完成的，同時這些酮酸也就變爲丙氨酸、天門冬氨酸和穀氨酸了，再通過以後的轉氨基作用就成爲其他的氨基酸。蘇聯學者運用紙上色層分離法發現在植物水液——即由根部上升到地上器官的液體中含有大量的各種氨基酸，這是組成蛋白質的基本成分。這些事實迫使我們承認根系在植物蛋白質代謝中所起的重要作用。

因此，土壤二氧化碳的作用就是在於使根部所形成的醣類不完全分解的產物，亦即在所謂二羧酸和三羧酸循環

中所形成的產物起羧化作用，這就形成了酮酸——草醯乙酸和 α -酮戊二酸，這些酸都是銨肥氮的主要接受者。



但是這整個系統只有在保證有足夠的磷酸情況下，才能在根部中起作用，因為磷是直接參與從醣類（進入根部的醣類）變成必需的有機酸的過程的。因此如果植物缺少磷素，則在其根部中酮酸的形成就中止，也就是說自土壤中吸收 CO_2 的作用即告停止。這樣的植物，即使在土壤中含有豐富的氮肥，其利用氮肥的能力也是很微弱的。爲了闡明這個問題，在圖 7、圖 8 中引證了南瓜液汁的色層分離圖，南瓜是栽培在含磷正常與含磷不足的营养溶液中的。在含磷正常的情况下，南瓜根部製造並輸送給地上器官 9—12 種氨基酸，用紙上色層分離法就能在植物的液汁中清楚地發現這些氨基酸的存在（見圖 7）。含磷不足的植物液汁中

幾乎不含氨基酸，但卻發現了大量醣類，這種情況在正常植物液汁中一般是不存在的（見圖 8）。因此，可以說，在缺磷的時候，從葉子輸入根部的醣類未經必需的改變仍以未被利用的狀態回到葉子。這樣的植物如以磷素追肥，則很可想像在其液汁中的醣類很快就會消失（見圖 8），而氨基酸（在羧基部分帶有土壤二氧化碳）和有機酸的混合物，就從

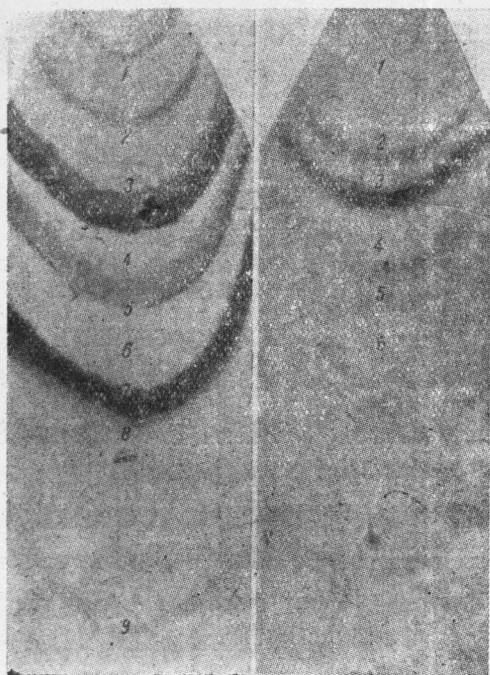


圖 7 含於南瓜液汁中的氨基酸紙上色層分離圖

左：在完全營養汁中；右：在缺磷的營養液中。每一條色帶相當於一種氨基酸

1. 胱氨酸； 2. 己氨酸； 3. 天門冬醯氨+天門冬氨酸；
4. 絲氨酸； 5. 甘氨酸； 6. 穀氨酸； 7. 丙氨酸；
8. 羥丁氨酸； 9. γ -氨基丁酸。