

生物學中的示踪原子

A. M. 庫津等著

科學出版社

生物學中的示踪原子

A. M. 庫 津 等著

A. И. 庫爾薩諾夫

姜 夢 蘭 韓 國 堯 等譯

科 學 出 版 社

1956年10月

內 容 提 要

本書一共選譯了七篇文章，這些文章都是發表在蘇聯通俗性的科學期刊中，著者以通俗而生動的筆調，介紹了原子能在生物學中的應用及其發展的遠景。在這些文章中我們知道了利用原子能可以在生物學、農學、醫學等領域中，獲得更顯著和迅速的發展。

生 物 學 中 的 示 蹤 原 子

МЕЧЕННЫЕ АТОМЫ В БИОЛОГИИ

原著者	[蘇]庫津等(A. M. Кузин и др.)
翻譯者	姜 夢 蘭 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

1956年10月第 一 版	書號：0550 印張：1 5/8
1956年10月第一次印刷	開本：850×1168 1/32
(京) 0001—7, 378	字數：40,000

定價：(10) 0.30 元

目 錄

生物學中的示踪原子.....	A. M. 庫津(1)
在植物生活研究中的示踪原子.....	
..... A. Л. 庫爾薩諾夫院士 A. Ф. 克列什寧(9)	
放射性元素和植物生活的研究.....	A. Л. 庫爾薩諾夫院士(16)
放射性同位素和植物的發育.....	П. A. 符拉修克(29)
原子能在醫學上的貢獻.....	A. 巴格達薩羅夫(34)
放射線手術刀.....	П. Ф. 米納耶夫(37)
關於在農業和食品工業中和平利用原子能.....	A. M. 庫津(42)

生物學中的示踪原子

A. M. 庫 津

(蘇聯科學院生物物理研究所所長)

在動植物生命活動中起重要作用的許多元素(例如:碳、磷、硫、鈣、碘等)現在都獲得了放射性同位素狀態。這就有可能廣泛地利用示踪原子法來研究生物界的各種過程。

Φ. 恩格斯在說明生命是蛋白體的存在方式時強調指出,生命的重要因素是在於與其周圍的外界自然界不斷的新陳代謝。有機體所接受的物質的吸收過程與生命活動所需能量的釋放過程的統一,是一切生物的主要特性——刺激、運動、生長、繁殖等——的基礎。

如果說科學早就告訴了大家關於新陳代謝及其對於生命活動的意義的一般概念,那末關於這一過程的機制、速度和範圍却只有在科學家們掌握了示踪原子法以後,才有可能來闡明。

例如:怎樣才能觀察從食物吸收來的物質滲透到生物各種組織中去的速度?如何能確定從有機體分離出來的氮是被吸收的食物中的氮,而不是分解組織中的氮?

只是由於利用了放射性同位素,科學家們才能獲得對上述這些以及其他許多問題的確定答覆。下面舉幾個最有代表性的例子。

大家知道,磷組成我們機體各種組織——腦、肝、骨骼、肌肉——中常見的許多物質。給供試驗的動物吃含有磷同位素的食物,以確定有機體吸收磷的速度,也就是磷的代謝作用強度。經過4小時後確定了,大量放射性磷滲透到肝和肌肉中。而且,它組成了這些組織的最複雜的有機物質,這說明在組織中進行的磷的代謝作用強度很大。然而最令人驚奇的是:大量放射性磷在骨組織內出現。甚至像

牙齒的琺瑯質這樣遲鈍的組織也含有從食物中吸收的磷。由此得出結論：磷之如此迅速地進入組織中，只可能是由於生物體各種組織內的物質不斷地分解又不斷地重新建設。

關於吸收和消化食物各個組成部分的速度，可按下述試驗確定：給某人喝含有少量放射性鹽的溶液，他手中握了表明放射現象的指



示器，在喝完溶液後 3—6 分鐘，指示器指出了鹽在手組織中出現。

放射性同位素的應用，顯著地加速了對這些物質進入有機體時的複雜變化的研究。例如：採用含有放射性碳的糖，可以觀察它在有機體內的吸收、變化和排出。在這些研究中獲得的新材料，多方面促進了對糖尿病的本質的了解。

在利用以放射性碳示踪的脂肪酸進行的實驗中，查明了這些物質在人體的肝臟和其他器官中經受着什麼樣複雜的變化，並確定了脂肪的代謝作用與醣和蛋白質的代謝作用之間的緊密聯系。

示踪原子法在研究生物體最重要的組成部分——蛋白質的合成方法時，起了重要作用。

現在我國的許多研究所和科學機構都利用放射性和穩定的同位素來對蛋白質的代謝作用進行全面的研究。

人體的某些器官和組織有選擇地集中着某種物質。例如：隨同食物進入的極微量的碘集中在甲狀腺內，並參與甲狀腺激素——甲狀腺素的形成。採用碘的放射性同位素可以觀察甲狀腺素形成過程的速度，以及示踪甲狀腺素以後的情況。

藉鐵、鈷及其他元素的放射性同位素之助，科學家們確定了微量元素在有機體生命活動中起着重要作用。

同位素方法在農業生物學和植物生理學上的成效也不小。大家都知道，及時而正確的土壤施肥，對於提高收穫量具有何等意義。在我們國內礦物質肥料的生產迅速地增長着，廣泛地運用着機械化的施肥方法。然而，要使肥料發揮最大的效用，農學家應該知道：在什麼時候採用肥料，用什麼方式施入能充分地為植物所利用，肥料施入的深度和間隔的距離對植物的吸收有什麼影響，以及植物吸收施入肥料的程度如何隨肥料的形態（液狀、粉狀、粒狀）而不同。

K. A. 季米里亞捷夫和 Д. П. 普良尼什尼科夫在研究植物從土壤中吸收營養物質的過程時，曾不止一次地說過：必須問一問植物本身對於某種施肥方式，對於某種土壤成分的“意見”。這種“意見”是很不容易知道的，尤其在田間條件下，那兒植物的發育同時要受許多因素的影響。繁重的化學分析只能作出對這一過程的間接報導。

利用示踪肥料可以在短期間內查明，在某些田間條件下該種植物消耗施入土壤中的肥料。標記使有可能將從肥料中進入的元素與那些由土壤中吸收來的元素區別開來，並能及時地在活植物體上觀察這些複雜的過程。

在採用以放射性磷示踪的過磷酸鈣進行的試驗中，闡明了許多實踐上的重要問題，例如：肥料施入的深度對於植物消耗肥料的影響程度如何；用什麼樣大小的顆粒施入能被完全吸收等。已經確定了，以過磷酸鈣溶液狀態加到棉花葉子上去的磷，比以肥料施入土壤中的磷吸收得快得多，並滲入花蕾中，因而防止子房的脫落。在這些研究中獲得的資料是農業中廣泛推行的農業技術方法的科學論據，如棉花的根外追肥，採用它收穫量可以提高 10—30%。

在研究灌木和果樹的營養過程中，新方法也起了不少作用。例如：在用葡萄藤進行的試驗中查明了，將磷施入深 30—35 厘米的土穴中時，磷進入植物的速度，比以磷酸鹽溶液從上面灌溉時快得多。科學家們在確定各種不同深度的土壤的放射性時，發現表面施入磷酸鹽的土壤表層的顯著的固定。在 11 天內磷酸鹽只滲入土壤 12—15 厘米，而在 30—35 厘米處發現它們是在試驗開始了 43 天以後。但是經過了 43 天也就可以清楚地看到，施入的磷酸鹽大部分依舊停留在表面。這樣證實了以磷酸鹽溶液灌溉葡萄藤和果樹是無效的。

示踪原子法對於研究微量元素在農作物發育中的作用具有特殊重大的意義。例如：銅、鋅、錳、鈷、鉬及其他元素在土壤中的含量是以萬分之一和十萬分之一計，但是如果沒有它們或含量不足時就會引起植物罹病。大家知道，甜菜心的腐爛、禾本科和豆科植物的罹病常常是由於土壤內缺乏某些微量元素。另一方面，在某些土壤中施入少量這些元素——微量元素肥料——可以顯著提高植物的收穫量。例如：硼肥料對於車軸草、羽扇豆及各種蔬菜種子收穫量的提高有強烈影響。錳肥料能大大地提高黑鈣土中甜菜根的產量。少量鉬對於紅車軸草、羽扇豆、苜蓿及其他豆科植物的產量有顯著影響，鈷對於車軸草的產量有影響等。

進入植物體的微量元素是極少量的。因此很難用普通的化學分析來觀察它們在植物內的分佈，確定植物在各個發育階段對它的需要，查明該種元素參與組成植物的那些系統。看來，這些問題和其他許多問題可以用放射性同位素來獲得詳盡的回答。蘇維埃科學家用

鈷的同位素詳細地研究了在施用石灰的土壤的不同條件下鈷如何進入牧草中，並對鈷微量元素肥料的應用作了實際介紹。

不久以前認為，碳只在空氣營養過程中經過葉到達植物內。現在蘇維埃科學家證明了，除了空氣營養外，植物的根不斷地從土壤溶液中的碳酸鹽吸收碳。如用放射性碳進行的試驗所證明的，大量碳可以經過根部進入植物（達所吸收的碳總量的 25% 和 25% 以上），其數量隨栽培條件而定。

所有這些使有可能完全重新估計土壤中的二氧化碳和碳酸鹽在植物營養中的作用。

現代生物學上基本問題之一，是植物的綠葉在日光能的作用下同化二氧化碳的問題。自 K. A. 季米里亞捷夫證明了葉綠素對於光合作用的意義後，許多科學家曾致力於闡明二氧化碳轉變為植物葉部的複雜有機物的途徑。然而不久以前才確定了，從前的認為碳水化合物合成是第一步而植物進一步利用它們來合成蛋白質、酸及其他化合物的概念，是與用放射性同位素試驗所獲得的資料不相符的。

我們的科學家在觀察光合作用過程中放射性碳在葉部各種物質中的出現時，發現二氧化碳中的碳同時在碳水化合物和蛋白質中出現，這就產生了存在着幾種吸收二氧化碳的途徑的想法，曾經進行了一些試驗，這些試驗中同時採用了蛋白質的兩個主要元素——碳和氮的標記。利用以放射性碳示踪的二氧化碳和以氮的同位素示踪的氮肥可以表明，蛋白質如同碳水化合物一樣，直接在植物葉綠體中由二氧化碳、水和流動的氮鹽合成。

同樣也研究了光合作用的極不穩定的中間產物的性質，並證明了：碳水化合物還原的第一種產物並不像以前所認為的是羧醛，而有機磷酸酯是重要的中間物質。

新方法的運用，本質上改變了我們的關於植物碳營養的概念，並且給農業理論和農業實踐帶來了許多新東西。

示踪原子法使有可能觀察光合作用過程中葉內形成的化學物質

(同化物質)在植物體內的移動速度。同化物質在植物體內的運動有特殊意義，因為它們對產量有重大影響。採用以放射性碳示踪的二氧化碳進行的研究指出了同化物質在植物某些部分的移動，以及這一過程的速度均直接決定於當地的溫度和氣候條件。

示踪原子不僅可以用來作為複雜的有機分子的標記，而且還可以作為各種有機體如病毒、細菌、昆蟲等的標記。運用放射性病毒可以迅速地確定病毒在罹病機體組織內分布的速度和方法，研究病毒在各種對它有影響的方法下的穩定性等。所有這些對於和病毒病害作有效的鬥爭具有重大意義。

同位素方法第一次使有可能觀察代謝作用的那些複雜反應，這些反應是病毒在生物有機體細胞內“生長”的基礎。科學家們查明瞭：在細胞內形成過程中病毒小體含有各種代謝產物，有機體細胞生命活動的產物。同樣確定了病毒小體在有機體細胞中經受了嚴重的分解。

我們的科學家用示踪細菌和示踪孢子來研究各種傳染病在動物體內傳播的方法，查明細菌在有機體內定位的部位，以及研究傳染病的傳播者。

也出現了以昆蟲——疾病的傳播者，農業害蟲——的放射性來標記的可能。

調查昆蟲的自然分布區域對防治昆蟲有特殊意義。

大家都很清楚，要正確地進行養蜂業，必須知道蜜蜂是如何管理自己的；必須善於選擇設置蜂房的地點等。其中某些問題已經用示踪原子法順利地解決了。以含有放射性磷的蜂蜜餵蜜蜂，可以使該蜂房的蜜蜂具有標記。對這些具有標記的蜜蜂可以進行確定它們的飛行距離，確定到達另外的蜂房以及某些花田的蜜蜂數目的試驗。甚至可以觀察蜂房的一些蜜蜂。例如：在某一次試驗中，指示器安裝在蜂房的入口處上面。每一次當以放射性同位素示踪的蜜蜂回到蜂房時，指示器自動地登記了它的出現。在任何遠的田野裏安放了餵蜜蜂的食物，而指示器裝置在蜂房上，可以正確地登記到達該處的蜜

蜂數目。

同位素方法也可用於解決對漁業有重大意義的許多問題。例如：用放射性磷來標記魚，就能製定出新的計算魚的方法，而毋須排出池中的水。為此撈出一部分魚，按種類計算並在半小時內將其標記，將示踪魚在流水中洗過後放到水池的各個角落去。經過了3—4天後，當示踪魚在水池內游散並和其他非示踪魚混雜時，在某幾處撈起一小部分魚。撈出的魚用指示器檢驗，指示器指出示踪的放射性的標本。確定了撈出的魚中示踪魚的數目，同時知道放入池中的示踪魚有多少，就很容易確定池中魚的總數。

現代醫學廣泛地利用放射性同位素來研究患病機體、診斷學，以及治療某些疾病。

目前擺在醫學面前的重要問題之一，是及時地辨認惡性腫瘤，正確提出的診斷常常使有可能及時施行手術，並因而拯救了患者的生命。在這方面放射性同位素能給予並正在給予人類以重大的幫助。

大家知道，以X射線或鐳治療惡性腫瘤用得很多，它們破壞惡性腫瘤的細胞，因而能幫助治好患者，然而這一方法的缺點是，在照射腫瘤時，特別是位於深處的腫瘤，不可避免的也要照射到健康組織，而這常常引起不良的併發症。然而難道不能在照射腫瘤時，其他組織依舊不受損傷嗎？看來這是可能的。例如：甲狀腺的惡性腫瘤的治療。在該種情況下，醫生利用了甲狀腺將碘的同位素集中在其組織中的能力。

科學家們指出了，當不活潑的、不溶解的、細小的物質，所謂膠體進入有機體時，肝和脾強烈地吸收它們。例如：在用法鼠和狗進行的試驗中，證明了肝內集中了含有磷的放射性同位素的膠體鉻磷酸鹽。而這就給治療原發性或轉移性腫瘤時肝的選擇性照射創造了可能。鋅和金在肺組織內集中使能將這些元素用於肺的選擇性照射。放射性磷的可溶性鹽已經有效地用於治療血液的一些危險的病症。如白血病和紅血球增多症。

某些皮膚病也藉助於含有放射性同位素的物質的溶液而得到有

效的治療。同時可以進行皮膚癌病淺層的強烈照射，而不損害內部的器官。

我們僅僅舉了生物學中運用放射性同位素的部分例子，然而從這裏面已經可以看到，我們的科學掌握了獲得放射性同位素的方法後，就增添了多麼強大的研究自然現象的工具。

[姜夢麟譯自蘇聯“科學與生活”(Наука и Жизнь)，1955年第4期，29—32頁；著者：A. M. Кузин；原題：Меченые атомы в биологии；原文出版者：蘇聯“真理報”出版社]

在植物生活研究中的示踪原子

A. Л. 庫爾薩諾夫院士 A. Ф. 克列什寧

(季米里亞捷夫植物生理研究所)

“生理學的一切輝煌成就是與在生理學中廣泛地採用物理與化學試驗方法以及在研究生理學的比較複雜而深奧問題的過程中這些方法在應用上的經常的天才改進有密切的聯系。”

——季米里亞捷夫——

季米里亞捷夫在 1907 年談到方法對於發展科學所起的作用時，寫道：“新研究方法的發現時常是比新理論和事實新解說的宣布更為重大的成就的泉源。”新研究方法的發展和改進是建築於科學發展的基礎上。物質不滅定律的確立和定量的科學試驗方法的引用打下了十九世紀前半期植物生理方面輝煌研究的基礎。由於季米里亞捷夫應用了光譜分析法來研究葉綠素光學特性，因而就能夠確立能量不滅定律也適用於植物中所進行的最重要過程——光合作用中。又由於 M. 茨維特的色層分離法，就確定了葉綠素和其他許多有機物質的化學性質。研究的歷史方法在植物生理過程研究上的應用，使許多廣泛的生物學上的總結得以確立。

由於示踪原子（放射性同位素）方法的發明和色層分離法的進一步完善，在植物生理學面前開闢了廣闊的遠景。最近 10—15 年內在植物生理學所獲得的一切最重要的發現，首先應當歸功於這兩個方法的出現。

早就知道，例如：在光合作用過程中，二氧化碳和水由於吸收輻射能而形成碳水化合物並放出氧氣： $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ ，還是在最近才確定，向外放出的氧氣是來自水，而參加至有機物質的氧則來自二氧化碳。解決這個問題，只有藉助示踪原子法才成

爲可能。

早在 1874 年，恩格斯寫道：“生命是蛋白質物體底存在方式，這個存在方式底根本契機是在於與其周圍的外部自然界不斷的新陳代謝……”。但是只有在我們這個時代，這天才的見解獲得了實驗的證據。已經確定了，特別是生長着的黑麥植株由於快速的代謝，蛋白質分子經常更新，本身只存在若干小時。這也是由於應用同位素法，才使問題的解決有了可能。

因而，示踪原子法，也就是同位素法，成爲強有力的、能够洞察植物的最重要和最密切的生命活動過程的奧祕的研究工具。

這個方法的實質是什麼呢？

早就知道，差不多每一種化學元素都由不同原子量的原子所組成的。具有不同的原子量，而化學性相同，並且在門捷列夫週期表中佔着同一位置的化學元素的這種變形物稱爲同位素。同一種元素的同位素的區別是在於和質子一起組成核的中子數不同。環繞核並按一定軌道週轉的電子數與核內質子數是相當的。

放射性，也就是自發地放射出一定射線的性能，是許多同位素的特點。

由於放射性或者原子量的區別，同位素很容易在植物體中發現。如果把放射性的同位素加入到任何元素的非放射性同位素的天然混合體中，那末在進入植物體時，所加入的放射性同位素將參加到該元素所固有的全部化學變化中去。元素的放射性使得在任何時候都能確定同位素的所在及其狀態。例如：將植物放在含有放射性碳同位素 (C^{14}) 的大氣中，就能够查明在植物體中碳的化學變化的全部鏈索。同時能顯示出它在植物體內的分布和移動。可以藉助於對感光板附加製劑的照相 (圖 1)，或者藉助特殊的計量器來顯示放射性同位素。而顯示僅是原子量大小有差別的非放射性同位素，則藉助於特殊的儀器——質譜儀。

植物生理學最重要的問題是礦物質營養。這個問題中的許多問題的正確解決，對擬定施肥制度以及獲得農作物的高產量來說，具有

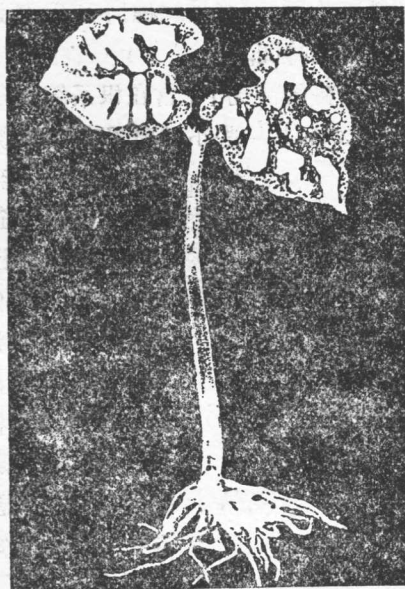


圖1 由於在根部吸收 $C^{14}O_2$ 而飽含放射性碳素的生長12天的菜豆植株的射線照相

特殊的意義。但是在不久以前，還有許多問題沒有弄清楚，而只有示踪原子法才能使這些問題明確。

例如：在很長一段時間裏認為，施入土壤的磷肥只有10—20%被植株吸收。推測其餘的80—90%轉變成難溶的狀態而留在土壤中。應用放射性磷素 (P^{32}) 證明了在施過磷酸鹽時，小麥以及其他植物吸收該肥料中所含磷素的48—68%。同時觀察到從土壤本身所吸收的磷素亦減少了。

在有示踪磷素 (P^{32}) 的粒狀肥料施入土壤的情況下得到了很有意思的資料。發現在施粒狀肥料時，顆粒的位置如何，具有非常重要的意義。如果顆粒離開燕麥種子3—4厘米時，那末幼根接觸到肥料需要2—3天；假如顆粒離開種子5—6厘米的話，那末必須經過20—30天以後幼根才能接觸到顆粒。在第一種情況下，就能保證幼齡植

株取得全部所需的營養物質，而在第二種情況下，延遲了幼苗開始攝取所必需的礦物質養料的時間。

在局部施用顆粒肥料的情況下，當在根系範圍分配不均勻而集中在整個根系的4—5%的某一些小根周圍時（圖2），發現這樣的小

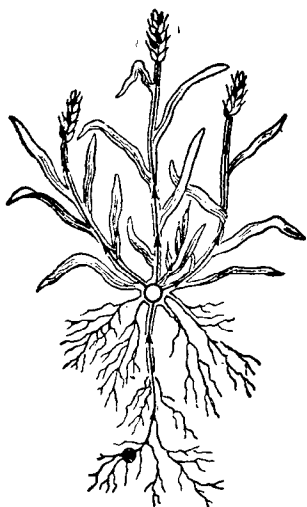


圖2 小麥植株利用磷肥顆粒的簡圖

根其吸收性能增強了20—30倍，並且能完全保證磷素對植株的供給。換句話說，根系具有巨大的潛能儲備，這種潛能是在小根和營養物質相接觸時才局部實現的。並且根系是高度不穩定和隨機應變的器官，這些器官在個別部分能很快改變的活動性，是由營養物質的存在和植株對營養物質的需要而決定。

應用放射性碳素（ C^{14} ），蘇維埃學者們發現了根系的新功能，它表現着根系不僅有從土壤中吸收礦物質和水的力量，並且還有吸收二氧化碳的特性。在光合作用過程中，對吸自土壤而達到葉片的二氧化碳與由大氣中進入葉片的二氧化碳的利用是一樣的。

現在藉助示踪碳素，十分詳盡地確定了通過根部而進入植物體的碳酸氣的變化（圖3）。來自大氣的二氧化碳在葉片經同化作用形成的糖沿韌皮部輸送到根系，在根系遭到有步驟的葡萄糖分解反應，由於分解反應的結果形成丙酮酸。丙酮酸與來自土壤的二氧化碳化合成草醯乙酸，然後變成蘋果酸。蘋果酸是第一個穩定的帶有吸自土壤的二氧化碳的物質。

在根部形成的蘋果酸還要沿着植株上昇，流入綠色器官（葉片、

果實等)之後放出來自土壤的二氧化碳,在光照條件下光合作用過程中,這二氧化碳被利用來形成碳水化合物和其他有機物質。

值得注意的,一部分來自土壤的二氧化碳已經沿着輸導組織在與外界大氣隔絕的莖、葉柄和其他綠色器官中被利用,由此可見,這不是通過氣孔以一般方式所取得的二氧化碳。由於依靠來自土壤的二氧化碳進行光合作用的結果,在這些器官裏放出氧,於是這些氧被用來進行呼吸。

因此,以往許多植物學家所感到困惑的分布於維管束四周葉綠素組織的作用現在得到了解決,並發現這種組織對輸導系統的氧的取得有重要的作用,因而對各式各樣物質的輸送具有很大的意義。在果實中也發生類似的現象,在大氣中所含的氧和碳酸氣很難透過這些果實的果皮。在這裏,葉綠素組織就變成了氧的泉源,這些氧就是依靠土壤的二氧化碳在光合作用過程中所產生的。

到目前為止關於物質在植物體內輸送的這一重要問題還研究得很不够。不久以前,在植物生理學上,物質輸運過程極端緩慢的觀念佔着統治地位。例如:假定針葉植物的水分沿木質部輸運的速度是每小時 5 厘米,而闊葉植物是每小時 20 厘米。認為糖的輸運以每小時 80 厘米的速度進行着。

藉助示踪原子法所得到的最新資料,指出了物質的輸運要比上面所說的快得多。其中值得注意的是發現同化作用的產物以每小時 70—150 厘米的速度由葉片至根部輸運着。這種情況就可以使一般農作物在光合作用過程中所形成的物質經過 30—60 分鐘就到達根

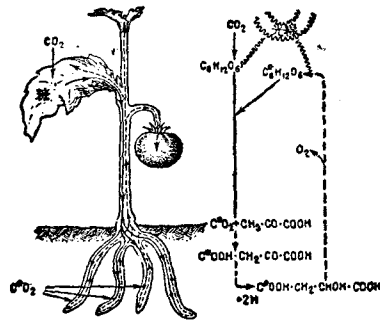


圖 3 在土壤二氧化碳參與下,糖和有機酸在植物體中循環的簡圖(實線表示糖的向下運行,虛線表示有機酸的向上運行)