

科學譯叢

示蹤原子与植物根部
碳素營養的研究

科學出版社

科 学 译 丛

示蹤原子与植物根部
碳素營養的研究

A. И. 庫爾薩諾夫等著
吳 相 鉦 譯

科 学 出 版 社

1955年7月

內 容 提 要

本書共包括五篇關於植物根部吸收二氧化碳的問題的著作，都是在庫爾薩諾夫院士等的領導下，用碳的放射性同位素所作的研究。他們利用示蹤原子，不但証明了植物根部能吸收二氧化碳和碳酸鹽，而且初步闡明了根部固定二氧化碳的途徑，這些二氧化碳如何運送到葉中去，又如何參加光合作用。這些工作，不但大大豐富了植物營養的理論，而且也為農業實踐上的二氧化碳施肥開闢了新的可能性。從這一部分工作中，就可看到放射性同位素在解決農業問題上的巨大作用，從而了解蘇聯在和平利用原子能的這一方面的成就。

本書可供植物生理工作者、農業科學工作者、高等學校學生和中等學校教師參考。也是宣傳原子能和平利用的參考資料。

示蹤原子与植物根部 碳素營養的研究

原著者 庫爾薩諾夫院士等
(Академик А. Л. Курсанов и др.)

翻譯者 吳 相 銓

出版者 科 学 出 版 社

北京東四區帽兒胡同2號

印刷者 北 京 新 華 印 刷 廠

總經售 新 華 書 店

書號：0233	1955年7月第一版
(譯) 145	1955年7月第一次印刷
(索) 0001—4,270册	開本：787×1092 1/32
字數：20,000	印張：1 1/16

定價：(8)一角七分

目 錄

- 論植物同化自土壤溶液中吸收來的碳酸鹽的
可能性.....
.....А. Л. 庫爾薩諾夫、А. М. 庫津、Я. В. 馬穆里 1
- 論植物的根对二氧化碳的吸收.....
.....А. М. 庫津、В. И. 梅倫諾娃、Я. В. 馬穆里 8
- 由根部進入的二氧化碳在植物中的運轉.....
.....А. Л. 庫爾薩諾夫、Н. Н. 克柳科娃、
Б. Б. 瓦塔別江13
- 由根部進入的二氧化碳在黑暗下的固定和釋放...
.....А. Л. 庫爾薩諾夫、Н. Н. 克柳科娃、
М. И. 普什卡列娃19
- 論植物的根自有机肥料中吸收碳素.....
.....А. М. 庫津、В. И. 梅倫諾娃26

論植物同化自土壤溶液中吸收 來的碳酸鹽的可能性

A. Л. 庫爾薩諾夫 A. M. 庫津 Я. В. 馬穆里

發現綠色植物同化 CO_2 的時候，距現在已有 170 多年了。在這一段時期內，有關這個問題的大量的文獻中，很多是以測定植物光合作用強度與外界和內在條件的關係為題材的。在這方面，生物學家和農學家們曾企圖建立自己的關於栽培植物的生產力的概念，並企圖尋找進一步提高其生產力的方法。但是在所有這些著作中幾乎專門是注意於葉子之吸收空氣中的 CO_2 ，因此之故，這個過程本身也獲得了植物“空氣營養”的名稱。

但是，許多種土壤，特別是鹼土，含有大量自由態的和結合態的二氧化碳，它們大概是與土壤溶液一道被植物的根所吸收的。因為植物中因蒸散作用而引起的水分運輸，其方向主要是走入葉中並且在白天進行得特別激烈，所以可以設想，通過根系而自土壤溶液進入葉中的溶解的二氧化碳，是會像由空氣中擴散至葉子中的二氧化碳一樣，被植物同化的。

這兩種 CO_2 來源的比例，會因條件而改變，但毫無疑問，在許多情況之下通過根的二氧化碳的供應可以轉化為植物的重要的碳源。

可惜的是，這 CO_2 進入植物的第二種途徑完全沒有引起研究工作者的注意，因此在目前我們只有很少數的觀察——還是遠遠不足的——令人滿意地說明了現象的這一方面。

但是，可以設想，植物的通過根系的二氧化碳的補充營養，特別是在灌溉區中，應該顯著地影響植物的產量。現時這更具有特殊的意義，因為建設了龐大的灌溉系統，因之蘇聯的灌溉區的比重將大大提高。

根據這些理由，我們進行了目前的研究，我們應用近代的同位素方法，首先設法確定 CO_2 通過根而進入植物這一事實本身，並闡明它在照光時為綠色部分同化的可能性。進一步的試驗應該得出植物營養中這種碳源的比重的概念。

為了研究土壤溶液中碳酸鹽的碳的利用，我們利用克諾普 (Knop) 培養液，培養液中含有 C^{14} 的重碳酸鈉。重碳酸鹽的總含量為 0.2%。所取用的放射性碳的含量很低，以使植物不致受到強烈的放射綫。10 毫升培養液中含有 0.5 微居里。

用 30 天的菜豆 (*Phaseolus vulgaris*) 植株作研究。植物的根部放在含有培養液的廣口瓶中，使莖的基部附近穿在軟木塞內，軟木塞嚴密地蓋住廣口瓶，以避免放射性 CO_2 進入莖和葉子所存在的大氣中。用 300 瓦的電燈在距離 20 厘米處照射植物。曝光 3 小時後取下一片葉子來，18 小時後將試驗停止。在流水中小心沖洗植物 10 分鐘，然後在數張濾紙之間將其乾燥。

植物的放射自攝像如圖 1 所示。

從放射自攝像中可以看到，放射性碳分佈在整個植株

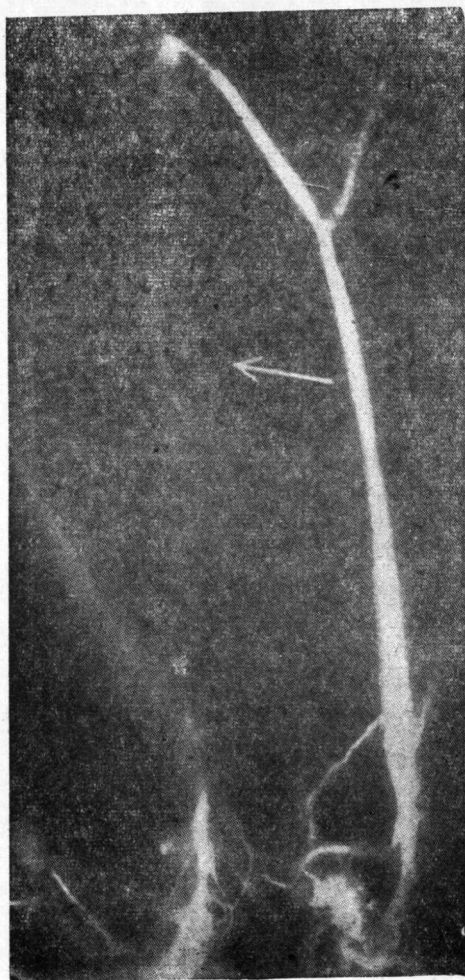


圖1 箭头表示曝露3小時後所取下來
的葉子的位置。

內：在莖中特別多而葉中較少。實驗開始後 3 小時所取下來
的葉子，幾不含放射性碳。爲了定量測定，將葉、莖和根
分別磨碎，並用計數器測定其相對的放射性（爲了測量，取
用 10 毫克組織，做成直徑 2 厘米的小圓片）。爲了闡明有
多少放射性是屬於被吸收進來的碳酸鹽的，將組織與 10%
鹽酸共熱，然後在真空中乾燥，並再行測量其放射性。所得
到的結果列在表 1 中。

表 1

	放射性，撞擊數/分鐘/10 毫克組織	
	HCl 處理前	HCl 處理後
曝光 3 小時後的葉子	56	44
“ 18 ” “ ”	292	279
“ 10 ” “ ” 莖	3,246	2,969
“ 18 ” “ ” 根	1,463	1,407

從表 1 的數字可以看出，莖中所同化的碳的量（所用的植物的莖是富於葉綠素的）約爲根的兩倍，而且這些碳在用鹽酸處理時幾乎沒有變化，這就證明碳酸鹽已轉變爲不揮發的有機物質了。爲了證明植物所吸收的 $\text{CO}_3^{''}$ 離子也像大氣中的 CO_2 一樣被使用了，即是參加了光合作用，曾作了重複試驗，這時一株植物在照光下處理 10 小時，而另一株植物則放在黑暗中。這兩株植物的放射自攝像如圖 2 和圖 3。

這兩張像片指明，在 10 小時內在黑暗之中，莖內幾乎沒有固定所吸收的碳酸鹽，在綠色的莖被光照射時，則碳酸鹽存在於莖的組織中，不過在根部最上端的葉綠素少的部分中，則沒有固定碳，而在莖的綠色的上部，則碳的固定作用進行得很激烈。 $\text{CO}_3^{''}$ 的固定對光合作用的依賴性在下

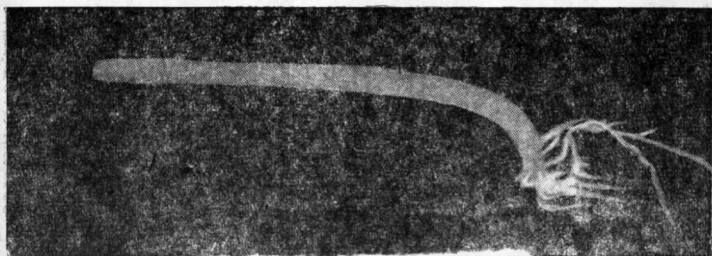


圖 2 在黑暗中曝露 10 小時後的植物。

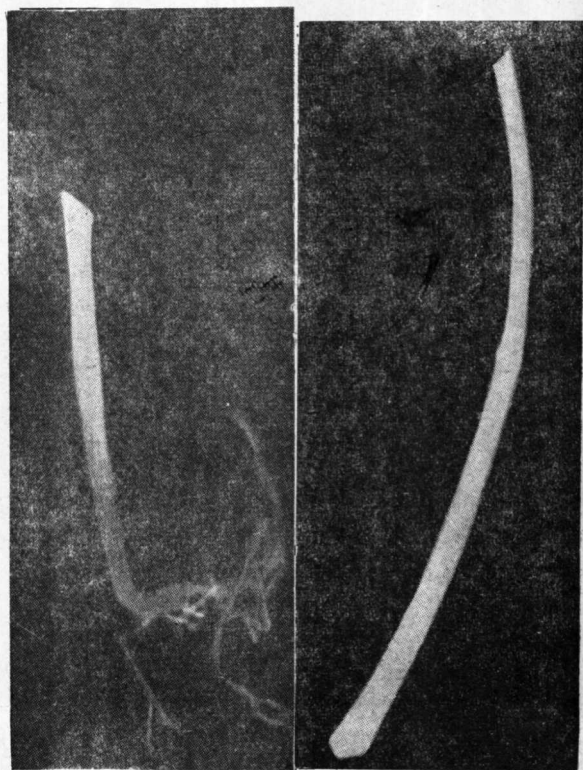


圖 3 在光照下曝露 10 小時的植物。左. 莖的下部與根；右. 莖的上部。

列試驗中看得更為明顯，在這個試驗中，植物的根浸在含有碳酸鹽的培养液中，碳酸鹽中有示蹤的碳，照光 5 小時後，摘取了半片葉子並將其固定。此後將植物放在黑暗中过夜，然後再將另一半片葉子固定，再照光 3 小時，再將整株植物固定。所得到的放射自攝像如圖 4 所示。

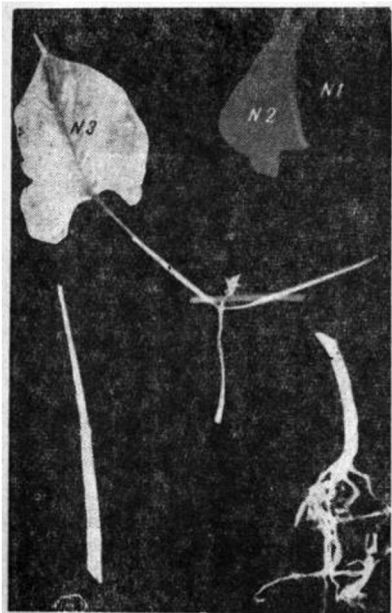


圖 4 1. 試驗開始 5 小時後的葉子；
2. 在暗中过夜後的半片葉子；
3. 補充照光 3 小時後的整株植物。

从這張像片可以看出，照光 5 小時後碳酸鹽還未達到葉子裏面。如上一試驗所證明的，它被綠色的莖所激烈地固定了。在黑暗中放置过夜後，極少量的碳酸鹽聚積在葉子裏，但是已可看到半片葉子上的微弱的痕跡。繼續照光則引起被吸進來的碳酸鹽的激烈的同化作用，這可以从第三片葉的強烈的放射清楚地看到。這就證明通過根而進入植物的碳酸鹽能像空氣中的二氧化碳一樣被植物同化，即是轉變為醣。

我們曾進行根部放在含有同位素的碳酸鹽培养液中一晝夜的植物中醣的分離。用 N 鹽酸將磨碎了的乾燥的植物（莖和葉子）煮沸 30 分鐘。使所得到的酸提取液通過陰離子吸附器和陽離子吸附器以除去酸和鹼，在真空下濃縮並向所

得到的溶液中加入 100 毫克化學純的葡萄糖以爲載體。當葡萄糖溶解後用苯胼使它沉澱。沉落下來的脘呈特殊的針狀，並聚成小束，將它分離出來，小心洗滌並用含水酒精重結晶。它的放射性爲 112 次撞擊 / 分鐘 (10 毫克材料作成直徑 2 厘米的圓片)。用含水酒精將脘重結晶 5 次。在同樣條件下測定其放射性爲 100 次撞擊 / 分鐘。脘有放射性即證明醣有放射性，即是證明了通過根而進入植物的碳酸鹽形成了醣。上述研究證明了，土壤溶液中的碳酸鹽，可能像空氣中的二氧化碳一樣地被植物同化。

〔譯自蘇聯科學院報告 (ДАН СССР) 1951, 79(4): 685—687; 著者: А. Л. Курсанов, А. М. Кузин, Я. В. Мамуль; 原題: О возможности ассимиляции растением карбонатов, поступающих с почвенным раствором. 原文出版者: 蘇聯科學院出版社〕

論植物的根對二氧化碳的吸收

A. M. 庫津 B. И. 梅倫諾娃 Я. В. 馬穆里

在庫爾薩諾夫,庫津和馬穆里的著作中已証明了,溶液中的碳酸鹽能夠通過根系統而進入植物,並且這時大部分已進入植物的碳酸鹽都會被植物的綠色部分所利用,像由空氣中進入植物的 CO_2 一樣。因為根同化 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 離子的速度與同化氣態的二氧化碳的速度可以相差很多,所以我們認為不用碳酸鹽的溶液,而用氣態的 CO_2 來重複這一試驗是有意義的。由於土壤空氣中 CO_2 的百分含量相當高,所以植物根之同化氣態的 CO_2 毫無疑問是有興趣的。

試驗在專用的小室中進行,小室中含有為水蒸汽所飽和的空氣和含有放射性碳(C^{14})的 CO_2 。

供研究用的 30 天的菜豆 (*Phaseolus vulgaris*) 植株的根放在小室中。莖的基部在軟木塞中,莖基部以上的部分則在軟木塞上,軟木塞為易熔的蠟所固封,這就使莖和葉與含有 $\text{C}^{14} \text{O}_2$ 的大氣完全分開了。植株的莖是用錫箔小心地遮蔽起來的。葉子則用距 20 厘米處的 300 瓦電燈照射着。在將植物固定好之後,再向放根的小室內施放放射性的二氧化碳,施用量為每株植物 7—8 微居里 (μCu)。

試驗開始後 2 小時,用鑽孔器在一片葉子上切下直徑為 1.4 厘米的兩小塊來,乾燥後用計數器測量,測量結果

是：第一塊 147 次撞擊/分鐘（底數 [фон] 爲 13 次撞擊/分鐘）第二塊 58 次撞擊/分鐘。然後將整片葉子取下來並攝製放射自攝像（用愛克斯射綫的底片，曝露時間 20 天），所得到的這種像片如圖 1 所示。

由上述結果可以看到，氣態的 CO_2 在 2 小時後就分佈到整個植株中並滲入葉中，而在施用碳酸鹽的溶液（ $\text{pH}7.6-8.0$ ）時，要在經 12 小時後才觀察到這種現象。

植物放在小室內 24 小時後即停止試驗，而將莖、葉和根分開。根用流水小心沖洗，並將試驗植株的各個部分放在乾燥的空氣流中乾燥。它們的放射性的測定結果列在表 1 中（2 個試驗）。

比較根放在 CO_2 中與浸在碳酸鹽溶液中時所分別得到的碳的分佈情況，加以比較即證明，在沒有蒸散作用時，由根系進入莖和葉中的碳要少得多，而根所吸收的 CO_2 的主要部分都固定在根中。所得到的結果使我們設想，植物的根本身就具有自土壤氣體中同化 CO_2 的能力。

爲了驗證這種推測，我們重複了上述試驗，不過除去正常的植株外，還取用分去了莖和葉的根。在放射性二

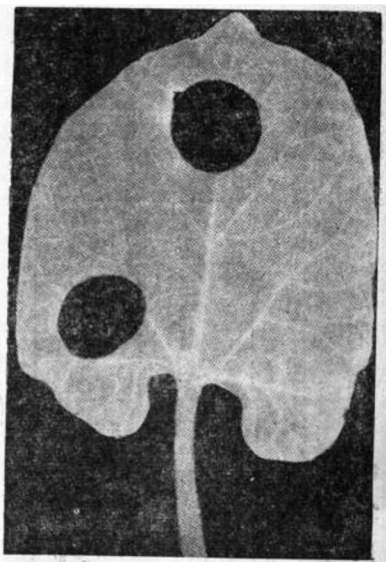


圖 1

氧化碳的存在下照光 24 小時後，將其乾燥並磨碎。測量這樣所得到的材料的放射性，再用 1 N HCl 水解 3 小時。將酸水解液中和，並加入 50 毫克化學純的葡萄糖（作為載體），然後製得葡萄糖脲。用含水酒精將脲重結晶三次，小心洗滌然後進行放射性的測定。酸水解後的剩餘物則用 1% NaOH 溶液提取。

被提取出來的蛋白質則用三氯醋酸沉澱，用離心機將所得到的沉澱分出來，用三氯醋酸溶液洗滌之並再將其溶於鹼溶液中。用三氯醋酸自鹼溶液中沉澱蛋白質的手續共重複三次。將所得到的蛋白質溶於 80% 酒精中。再用乙醚使其自酒精溶液中沉澱出來。

放射性測定（用計數器進行，樣品的圓片直徑 2 厘米距計數器的小孔 1 毫米）的結果列在表 2 中。

表 1

材 料	試驗號數	重量毫克	放 射 性 撞擊次數/分鐘/10 毫克	
			HCl 處理前	HCl 處理後
葉	1	40	45	38
	2	458	40	37
莖	1	90	425	206
	2	890	236	178
根	1	180	2300	2027
	2	550	3240	1936

自所得到的數字可以看出，去掉了莖葉的根，是活躍地吸收二氧化碳的。根所固定的、用 HCl 處理並隨後在真空中乾燥時不自根中逸去的 CO₂ 的量，達到整株植物的根所固定的 CO₂ 的量的 50%。我們在根的碳水化合物中（葡萄糖脲的放射性）和蛋白質中都發現了根所吸收的 CO₂ 中

的碳素,不超过所分離出來的脛和蛋白質的放射性,而且在離體的根和完整植株的根方面,大小相差不多。

表 2

測 定	確 鑒 的 材 料	
	發 芽 的 根	去 掉 了 莖 和 葉 的 根
乾重, 毫克	60	110
放射性, 撞擊次數/分鐘		
HCl 處理前	230	166
HCl 處理後	202	109
所得到的酸水解液, 毫升	14	15
酸水解液的總放射性撞擊次數/分鐘	11340	10575
重結晶三次並洗滌後所得的脛, 毫克	16	17
所分出的脛的放射性撞擊次數/分鐘	35	58
沉澱三次後所分出的蛋白質毫克	8	4
蛋白質的放射性, 撞擊次數/分鐘	417	318

因爲上述結果是用豆科植物而得到的, 所以可能有根瘤菌參加二氧化碳的固定作用, 雖然在根上沒有發現看得見的根瘤。放根的小室中有散射光透進去, 這也未能避免光還原反應的可能性。

爲了消除這些推測, 用櫻草 (*Primula obconca*) 重複試驗。將兩株植物的根分離下來, 用流水小心沖洗, 並放在盛有氣態的放射性二氧化碳的小室中。在完全黑暗和 19°C 之下, 放 18 小時。以後的處理與上述者相同。根的放射性爲 140 次撞擊/分鐘/毫克。葡萄糖脛 (加入 50 毫克化學純葡萄糖作爲載體後) 的放射性爲 34 次撞擊/分鐘/毫克, 自根中所分出的蛋白質 (沉澱 4 次後) 的放射性爲 200 次撞擊/分鐘/毫克。

本文證明了二氧化碳的碳能組成根中的複雜的有機物

(醣、蛋白質)，这种作用在黑暗下發生，並不需要植物的綠色部分參加，这就表明在根中有複雜的合成过程發生並証明植物的根能自土壤氣體中吸收二氧化碳。

〔譯自苏联科学院報告(ДАН СССР), 1952, 85 (3): 645—647;
著者: А.М. Кузин, В.И. Меренова и Я. В. Мамуль; 原題: Об
усвоение угольного ангидрид корнями растений; 原文出版者: 苏
联科学院出版社〕

由根部進入的二氧化碳 在植物中的運轉

A. Л. 庫爾薩諾夫 H. H. 克柳科娃 Б. Б. 瓦塔別江

从發現了綠色植物能够自空氣中吸收 CO_2 並造成其身體內的有机物時起，这一过程的研究幾乎完全是在“空氣營養”的觀點之下進行的，而未考慮到土壤中的 CO_2 或碳酸鹽通過根系而進入植物體內的可能性。因此關於植物通過根而進行 CO_2 營養的問題到我們的時代為止仍未肯定。但是，農學先進分子的斯達漢諾夫式的收穫量常使生理學家陷入絕境，他們不能解釋，空氣中0.03%的 CO_2 如何能在採取了大規模的農業措施後，保證廣闊的地區內有机物質的大量增加。

土壤中 CO_2 的利用問題之未被肯定常常使得我們對於腐植質的作用估計不足，對土壤中的生物學过程對於收穫量的作用估計不足，並成爲過分片面地了解施用礦質肥料的作用和可能的理由。植物的“空氣營養”的概念獨佔地統治着世世代代研究者的智慧，以至像法國的西納比葉 (Senebier) 德國的薩克斯 (Sachs) 這樣的當時的權威學者們的預見都不能影響已有的思想，而與他們同時代的人把這種預見看作是企圖使已被放棄的植物營養腐植質學說復辟。甚至在近15—20年中所得到的關於 CO_2 可能通過根而進