

果樹植物的根系及其研究方法

沈 雋

(北京農業大學) (中國科學院植物研究所)

一. 研究果樹植物根系的重要性

最近兩年來,不少果樹工作者對果樹根系的觀察和研究給予了很大的注意。在這種情況下,作者認為把有關這個問題的文獻加以述評,對迅速開展果樹根系研究的工作將會是有利的。

各國科學家對果樹植物和其他植物的根系,雖然曾進行了大量的、精細的研究,但是和對植物地上部分的研究比較起來,根系的研究工作就顯得很不夠;對根系生長規律的了解,也就遠不如對枝、葉、芽、花、果、種子等部分那樣深入。造成這種情況的原因,首先是由於植物的根系是生長在土壤中的,人們不可能像觀察和研究地上部分一樣,用比較簡便的方法來進行工作;爲了研究植物的根系,常常需要用大量的勞力,把土壤這個“障礙”除去。其次,一些研究根系的方法,不可避免地要損傷或多或少的一部分根系,有時甚至需要把整株植物毀掉,這樣,就嚴重地限制了研究工作可能繼續的時間和可能利用的植株數目。

但是,人們早就知道,根系是植物的一個重要部分,它和地上部之間有着密切的相互關聯。我國古語“根深葉茂”不僅說明了根與枝葉之間的相互關係,而且也具體地指出要使植物的枝葉生長繁茂,就須設法使根的生長深入土層;這四個字扼要地總結了植物的生長規律和耕作的經驗。在農業和林業的實際生產中,許多現象的解釋和許多栽培管理技術的改進,僅僅在深入研究了根系的分佈與活動之後,才獲得徹底的解決。因此,根系的研究,無論在理論上或實際上,都有其特殊的重要意義。

蘇聯的卓越果樹學家 П. Г. 希特教授十分重視根系的研究。他指出,在果樹生物學調查的工作中,必須包括不同樹種、不同品種根系發育的特性。這種調查之所以必要,首先就在於揭發該果樹樹種和品種對土壤、地勢、坡度、坡向以及所採用的農業技術的關係。在果樹的根系上,應該反映出定植前土壤的準備和在植株整個生命中對土壤管理的情形^[18]。

B. A. 科列斯尼科夫教授^[6]在結束他的“果樹植物根系的研究方法和結果”一文時，強調這方面研究的重要性，同時提出了今後急待研究的課題。他寫道：“查閱關於果樹植物根系的許多研究資料，指出了這個問題的十分迫切性。這些研究工作者已經獲得了許多新的和寶貴的資料，但這僅僅是開始，繼此之後，應該對果樹漿果植物的根系進行更多的研究，包括：

1. 改進根系研究的方法
2. 根系年齡的變化
3. 根系的形成和衰亡
4. 吸收根、根毛、菌根、根周圍綜合體在一年中的生命活動
5. 根的吸收功能
6. 根系的生物化學
7. 根系在秋季的生命活動與枝條的木質化、果樹植物在冬季的抗寒力及抗旱力之間的相互關係
8. 葉子同化面積與吸收根之間的相互關係
9. 在蘇維埃聯邦不同地區內根系的結構（在不同土層中的結構和位置）
10. 園林中單純一種植物的根系之間和不同種植物的根系之間的相互影響。

“下列的問題也是重要的：1) 根系的修剪和再生；2) 預先熟化土壤對果樹漿果植物根系發育的影響；3) 生長刺激物對形成根的影響。”

從科列斯尼科夫教授所提出的一系列問題可以看到，關於果樹植物根系須待研究的問題是很多的。為了進一步揭發果樹植物生長發育的規律，為果樹生產實踐提供科學的根據，需要對果樹植物的根系進行大量的研究工作。示踪原子在農業科學研究中日益廣泛的應用，為根系的研究開闢了一條新的廣闊的道路，使研究者有可能用比較少的勞力，比較短的時間，透過深厚的土壤去研究根系的分佈與活動以及根系和環境條件、地上部分的生命活動之間的相互關係等等問題。正確地解決這些問題，在提高單位面積產量和提高果實品質的努力中，將發生重大的作用。

二. 根 的 功 能

大家知道，根的主要功能是：1) 把植株固定在土壤內，2) 從土壤內吸收水分，3) 從土壤內吸收各種營養元素，4) 貯藏一部分養料。但是，隨着科學的發展，特別是應用示踪原子進行研究所得的結果，證明了根的功能遠不止上述幾種。A. И. 阿赫羅米科教授在 И. Н. 拉赫欽科所著的“喬灌木的根系”^[17]一書的序言中概括地指出了根

在木本植物生命活動中的重要性：木本植物的根不僅是吸收和運輸水分與營養物質的器官，而且是使物質形成和新陳代謝的特殊反應集中的最重要的器官。試驗證明，根能夠把氮、磷等礦物鹽轉變成有機化合物；磷進入脂類化合物和核蛋白質的成分中，硝酸鹽被還原並參加了氨基酸的組成^[8]。甚至在秋季和初冬沒有葉子的期間，果樹根的吸收部分仍然沒有停止活動，繼續將無機鹽轉化成有機化合物，積累在根內，保持到春季^[6]。

蘇聯生物學者應用放射性碳 (C^{14}) 與紙上色層分離法相結合的方法，從根本上改變了過去關於植物碳素營養的概念。研究的結果證明根能吸收土壤中的二氧化碳，並把它運輸到葉子和其他綠色部分。這些來自土壤中的二氧化碳，與從空氣中吸收的二氧化碳同樣地可以被利用來合成醣類及同化作用的其他產物。庫爾薩諾夫、庫津、馬穆里^[14]把生長了 30 天的菜豆 (*Phaseolus vulgaris*) 的根浸在含有 $NaHC^{14}O_3$ 的諾潑營養液中，經過 18 小時後，發現在根、莖、葉內，都有 C^{14} 的存在。通過根所進入的 CO_2 ，被利用在光合作用過程中，因此可以作為土壤中的 CO_2 對植物有效性的直接證明。此後的研究進一步指出，根吸收 CO_2 及碳酸鹽是主動的代謝作用過程，與水的進入並無直接的關係；而且不需要光和綠色部分的參加，立刻轉變成複雜的有機物質。這說明了在根中也發生着複雜的綜合作用^[9,10,12,13]。

許多研究工作證明，根在進行異營合成作用方面有着很大的可能性。為了研究植物在哪一部分合成橡膠和根系在合成橡膠中的作用，余丹諾娃^[4]把金花菊 (*Rudbeckia bicolor*) 作接穗，橡膠草的根作砧木，進行嫁接。金花菊是一種菊科的草本植物，不含有橡膠。顯微鏡的觀察發現，嫁接後橡膠草根的乳管內正常地充滿了乳漿，化學分析也得到了同樣的結果。這就說明，橡膠草的根具有能利用從光合作用的非特殊產物來合成橡膠的特性。庫爾薩諾夫^[11]在研究榕屬植物 (*Ficus Sp.*) 氣生根的生理作用的工作中，發現氣生根內含有大量的各種有機酸，其種類和含量都與葉及莖內所含的有機酸大為不同。把氣生根、莖、葉內的氨基酸進行色層分析的結果表明，這三種器官中都有自由的氨基酸，但莖和葉中只發現 7 種氨基酸，而且含量較少，而在氣生根內則發現了 10 種氨基酸，其含量約為其他器官的 25—30 倍。由此得到結論，氣生根和正常的根一樣，具有合成氨基酸的能力，以供應枝條的迅速生長。

高等植物根的細胞分泌各種酶，如過氧化氫酶、轉化酶、氨酸酶等。這些酶的活動，使土壤內各種複雜的有機化合物分解為比較簡單的化合物。因此，高等植物通過它自己根部細胞所分泌的酶的活動，就有可能直接利用土壤中的有機化合物。拉德奈爾和沙摩伊洛娃^[16]用玉米及向日葵進行試驗，證明這些植物的根能分泌磷酸酶，把周圍的

含磷有機化合物分解為磷酸而吸收磷素營養。磷酸酶的活動度,隨植株的生長發育期而有變化。不同種類的植物,按其自己的特性,對各種含磷有機化合物的催化分解作用,可有很大的差別。根部酶的活動度,與植株的營養狀態也有密切關係;營養不足的玉米植株,其根部磷酸酶的活動度就要降低 10 倍左右。

偉大的俄羅斯學者、發生土壤學的奠基者和創造人 B. B. 道庫恰耶夫十分明確地指出了土壤微生物與高等植物營養之間的密切關係。B. P. 威廉斯院士指出,在自然的情況下,高等植物不僅進行着自養的營養,而且還有共生營養。當微生物與高等植物根部分離時,可能產生分居的共生營養現象;當它們直接在一起的時候,就有真正的共生營養現象。蘇聯科學家對於植物菌根營養問題給予極大的注意,並且積累了豐富的資料。米蘇斯金^[15]指出:共生營養是所有木本植物素有的特性;許多木本植物與真菌共生,形成菌根。這些共生真菌對木本植物無疑是有益的,它們能加速植物的生長並能供應水分和營養物質。斯密士^[35]認為,很多落葉果樹的根,正常地與真菌共生着,形成內菌根或外菌根。蔓越桔和越桔的根與內菌根型的真菌共生,對這些果樹吸收營養元素起了重要的作用,特別是氮和磷的吸收,它們把有機的氮和空氣中的游離氮轉化成植物能容易利用的狀態^[21]。蘇聯用“菌根處理”的方法來加速木本植物形成菌根的過程,已經獲得了良好的結果,目前正在研究利用形成菌根的純菌種來進行菌根處理^[15]。

三. 根系的分佈及生長

根系在土壤內的分佈受許多因子的影響,如種類品種、砧木、植株年齡、各層土壤的物理及化學性質、地下水位的的高低以及耕作、施肥、灌溉、土壤管理等農業技術。地上部分生長的強弱對根系的分佈也起着強烈的作用。

如所周知,在地下水位高的果園內,根系的分佈總是較淺;同樣的,在耕作較淺的情形下,根系往往集中在土壤的表層。在砂質土壤內,根系分佈的直徑一般較大,而在粘重的土壤內,根系往往較為密集,分佈的直徑也較小。果園內的實際工作者也經常觀察到,與樹冠內生長強壯的主枝相應的部位,常常發育着強大的主根。

許多挖根的工作證明:果樹植物的根系,無論在哪一種土壤上或哪一種砧木上,其直徑總是大於樹冠的直徑,平均為樹冠直徑的 1.5—3 倍。1955 年 6 月,作者^[1]與興城園藝試驗場合作,在該場砬子山山地試驗果園,研究幼年蘋果樹在等高撩壕條件下根系分佈狀況。5 年生的“金冠”(Golden Delicious)蘋果樹冠直徑為 1.77 米而根系直徑達 5.55 米,約為樹冠直徑的 3 倍。根系伸入土壤的深度為 2 米,但根系總重的 87.5% 分佈在 60 厘米以上的土層內。細根的分佈在 30—80 厘米土層內最多,約佔細根總重的

70%。根系的總濕重為 3,598.4 克,地上部的總濕重為 8,338 克,約為根系總重的 2.3 倍。科列斯尼科夫^[7]指出,根系直徑平均為樹冠直徑的 1.5—2 倍以上,例如在莫斯科省 13—20 年生的蘋果、梨、李、酸櫻桃的樹冠直徑為 2—5.2 米,根系直徑達 4.7—8 米,而在南部(克里米亞·庫班)則各為 2—7.5 米和 4.2—21.5 米。如其科夫^[5]在他的“果樹各論”一書中,敘述了各種果樹根系的分佈和生長情況:在烏曼,4 年生蘋果樹根的深度是 1.8 米,7 年生的 6.4 米,14 年生的 9.4 米。45 年生的“薩雷·西納波”蘋果樹冠直徑 7 米,根系直徑 21.5 米;根的總長度達 2.7 公里,其中垂直根 1.5 公里,水平根 1.2 公里。生長在礫質土壤上的 17 年生的桃,其根系的深度為 60—70 厘米,大部分的根分佈在 5—45 厘米的土層內;根系的半徑為 3—3.8 米,與樹冠半徑的比例為 1.5:1 到 2.2:1。勞吉斯及維範^[33]研究嫁接在不同砧木上的蘋果在不同土壤中根系分佈的狀況。砧木包括“馬林”Ⅰ號(喬化)、Ⅱ號(半矮化)、Ⅲ號(極矮化)、Ⅳ號(極喬化)4 種;樹齡 10—11 年生。所得的結果表明,在沙質土壤上,根系的直徑為樹冠直徑的 2—3 倍,在壤土和粘壤土上,約為 1.5 倍。根系的類型隨土壤性質的不同而異:在沙質土上,根細、長、直、開展;在粘壤土上,根相當短、分枝多、彎曲;在壤土上,根系的類型介於沙質土和粘壤土之間。由於砧木不同,根生長的最深度也不同;根據在沙質土壤上的觀察,Ⅰ號砧為 115 厘米,Ⅱ號砧 137 厘米,Ⅲ號砧 80 厘米,Ⅳ號砧 190 厘米,但根系總重的 75% 以上的根一般都不超 30 厘米的深度。

關於果樹及其他木本植物根系生長期的問題,幾乎所有的研究結果是一致的,即根系在 1 年中有兩個生長期:春季和秋季。根據科列斯尼科夫^[7]的敘述,在蘇聯南部乾旱的年分或在中部不灌溉的果園內,蘋果根系的兩個生長期是 5—7 月及 10—11 月;這樣,在 1 年內根可以有 5—6 個月的生長期。在土壤水分充足、農業技術較好、新梢生長健旺、葉面積較大的條件下,根系的生長期可以更長,約 7—8 個月,這在莫斯科地區多雨的年分或在進行灌溉的果園內就是如此。勞吉斯^[31]根據他在英國伊斯脫馬林試驗站所進行的蘋果根系研究工作得到結論:根系在展葉前開始生長,3 月或 4 月生長速度開始增加,至 6 月或 7 月達到第一個高峯。嗣後生長減緩,約 1 個月後又加快,達到第二個高峯。此後,在秋雨期間,根的生長又一次增加,但較前兩次為少。金曼^[25]觀察桃、杏、櫻桃李的結果表明,這些核果類果樹的根都有兩個主要的生長期,即春季和秋季。

許多環境因子影響根的生長,其中比較重要的是土壤的溫度、水分和通氣。一般說來,落葉果樹在土壤溫度攝氏 7—20° 時,根的生長最強,溫度為 0—7° 和 20—30° 時,根的生長較弱,當溫度低於 0° 或高於 30° 時,根就不能生長^[7]。南丁格爾^[28]觀察蘋果

和桃幼年樹根的生長,發現在華氏 45° (攝氏 7.2°) 時,根系幾乎沒有生長,在華氏 65° (攝氏 18.3°) 時,根系的生長最快:但在溫度較高的條件下,木栓化也加速。

納爾遜及杜蓋^[27] 測定 6 種蘋果砧木幼苗在 4 種不同溫度下根系生長的狀況,這 6 種砧木是馬林Ⅸ號(極矮化)、Ⅷ號(半矮化)、Ⅰ號(喬化)、Ⅱ號(半矮化)、ⅩⅦ號(極喬化)和普通的實生砧木。根系的溫度用特殊裝置分別保持在華氏 44° (攝氏 6.7°)、55° (12.8°)、66° (18.9°)、77° (25°),但地上部的溫度則完全相同。研究結果表明:各種砧木的根在華氏 44° 時生長很少。馬林Ⅷ號、ⅩⅦ號和實生苗的根在溫度從 44° 升高到 77° 時,生長增加。馬林Ⅰ號、Ⅱ號、Ⅸ號的根在 55° 的溫度條件下,生長最多;但當溫度升高到 55° 以上時,馬林Ⅱ號和Ⅸ號的根全部死亡。在較高的溫度下,根的皮層變成褐色,裂開而脫落。在 44° 時發生的根粗,乳白色,不分枝;在 77° 時發生的根細,分枝多,色澤也不是完全乳白色。隨着溫度的升高,根先端細胞的分化也相應地加速。

不少研究者認為果樹植物的根沒有休眠期。北京農業大學果樹教研組在觀察“龍眼”葡萄根系生長的研究中,發現甚至在凍結的土層中,仍然有少量新根的生長。這些新根都很細,1 星期內就木栓化。還有一些較粗的主根,在冬季低溫下,雖然沒有生長,但保持着白色,沒有木栓化。

格里郭羅也夫^[2] 報導在北極圈的一個區域中所進行的試驗結果。佛子茅、野薔薇以及木賊屬、薹屬、桑懸鈎子等植物的根,雖然在整個夏季都處在零度下的溫度中(-0.5°, -0.8°C),但這些根仍然是富有生活力的,它們的組織細胞中含有大量的澱粉。試驗證明,在凍結的土層中,這些植物的根在整個生長過程中都未陷入休眠狀態,而是參加整個植物體內發生的新陳代謝作用。由此可見,植物的根是善於改造自己的生理活動去適應周圍的環境條件的。

土壤水分對根的生長也有重要的影響。最近確定,最適於根生長的土壤水分含量約等於土壤總含水量的 75—85%^[6]。當土壤水分降低到一定程度時,即使溫度、通氣及其他因子是適合的,根就停止生長。這個成為限制因子的乾旱程度,根據勞吉斯^[31] 的研究,相當於土壤水分張力 30—40 厘米水銀柱,也就是說,早在土壤水分降低到使地上部分呈現萎焉現象以前,根的生長就已經停止。

根的生長同樣地也受土壤內通氣狀況的影響,這種狀況決定於土壤內空隙(沒有被水所充塞的部分)的比例及分佈。研究證明,不良的排水或心土通氣不良,限制蘋果根系向周圍和深處生長,因而造成減產和樹的壽命縮短的現象^[30,36]。韓尼蓋及包英頓^[23] 把一年生的“旭”蘋果幼苗,栽植在粘重的土壤上,一部分有專門的心土通氣的裝置,另一部分則沒有。連續 2 年比較在不同通氣條件下幼苗的生長情況和葉片面積的結果證

明，在沒有通氣裝置的條件下，幼苗生長不良，特別在多雨的年分，表現得更明顯。測定土壤內 O_2 和 CO_2 的數字表明，在沒有心土通氣裝置的小區上，土壤內 O_2 的百分率較低，而 CO_2 的百分率則較高。爲了促進大量的新根的生長和發揮根的最高度的功能，根系對氧的要求是很高的。用人工控制通氣的研究指出，在氧的含量低於 10% 的處理下，幾乎沒有新根的生長；但把氧的含量增加到 15—20% 時，新根的生長就隨着增多。在氧的含量較低的情形下，根只能維持它的生命或只能有少量的生長^[19,20]。

四. 研究果樹植物根系的方法

在過去研究果樹植物根系的許多工作中，按照研究者所要解決問題的不同，曾設計了各種不同的方法。下面介紹的是比較成功的幾種方法。

1. 根系觀察箱或觀察窖：爲了連續地、直接地觀察一部分根系在自然狀態下的生長動態，許多研究者在根系附近的土壤剖面上裝置玻璃，觀察和記載出現在玻璃面上的根的生長、木栓化、死亡的情況。勞吉斯^[32] 記述了一種特製的根系觀察箱；箱用木製，長方形，長 24 吋 (61 厘米)，寬 7 吋 (17.8 厘米)，高 17 吋 (43.2 厘米)。在木箱長的兩面，都安裝 23.5×15 吋 (59.7×38.1 厘米) 的玻璃。玻璃的底部向內縮進 $\frac{3}{4}$ 吋 (1.9 厘米)，成一斜面，這樣，可以避免當土壤乾旱時縮離玻璃面的困難。玻璃上劃分成許多每邊長 $\frac{1}{2}$ 吋 (1.27 厘米) 的方格，玻璃的外面加裝可以取下的木門，使不透光。箱內裝土，將所要觀察的植物栽種在箱的正中，箱底應有排水孔。

觀察時將木門取下，把出現在玻璃面上的根描繪在與玻璃同大的方格紙上。根據定期觀察所得的結果，可以計算出根在不同時期的生長速度、部位以及木栓化的速度及多少。

西德列斯^[34] 描述了一種可以研究個別的根的活動的觀察箱，箱的四壁可以隨時分別取去，以觀察根的生長情況。每一箱壁上有 5 個圓孔，平時用軟木塞塞緊。當種在箱內的植物開始生長後，每隔 2 天把四壁打開，檢查土面有無根出現。倘發現有根，就把它引到一個適當大小的玻璃管內。這個玻璃管通過箱壁預鑽的孔，進入盛有營養液或土壤的玻璃瓶內，玻璃管是用橡皮塞或軟木塞固定在箱壁的孔內的。此後，已經引入到玻璃管內的根繼續生長，與玻璃瓶內的營養液接觸。通過玻璃瓶，可以觀察在不同處理下根的生長情況。西德列斯所研究的植物是鳳梨，箱的大小是長寬各 6 吋 (15.2 厘米)，高 8 吋 (20.3 厘米)。

亨德和凱萊^[24] 爲了研究銀膠菊 (*Parthenium argentatum* A. Gray) 的根系在不同深度土層中吸收水分和養分的能力，設計了一種分層的觀察箱。箱是木製，四壁和底都

用雙層，長寬各 6 吋 (15.2 厘米)，高 72 吋 (182.9 厘米)。箱壁的一面用 9 塊 8 吋 (20.3 厘米) 寬的木板組成，每一塊木板都能隨時取去。箱內盛預先準備的土，分為 9 個 8 吋高的土層，各層之間用 3—5 毫米厚的粗冷布分隔，冷布上塗抹一層柏油和石蠟的混合物。這種橫隔可以容許根通過，但對不同土層內水分和養分的轉移則起限制的作用。每一層土壤內，裝設可以從外面加入溶液和通氣的設備，同時也裝置可以連續測定土壤含水量的儀器。這種根系研究箱的特點是可以獨立地控制每一層土壤內的水分、養分和通氣情況，也能獨立地、連續地測定每一層土壤的水分含量。

由於任何一種形式的觀察箱的體積都比較小，這種方法只適用於幼齡苗木和草本果樹植物。這個方法另一個缺點是在箱內生長的植株，其環境條件如土壤溫度、濕度等都或多或少不同於果園內的條件，因此觀察的結果缺乏代表性。

為了克服根羣觀察箱的缺點，一些研究者改用根羣觀察窖的方法。此法基本上與根羣觀察箱的方法相同，但不是用木箱而是直接在果園內根系附近裝置玻璃進行觀察。這種方法在蘇聯及英國曾被應用，勞吉斯^[31]詳細地敘述了裝置的方法。北京農業大學果樹教研究組應用這個方法，進行蘋果和葡萄（葡萄的工作和中國科學院植物研究所合作）根系的觀察，裝置方法如下：

在植株根系範圍的外圍，挖掘一條深溝，逐步向主幹的方向挖掘，注意土壤中根的多少。在到達離樹幹一定距離，土壤中有着適當數量的細根和主根時，就停止挖掘，將土面切平。在這個土面上安裝固定的玻璃框，每一個玻璃框有四塊玻璃，每一個玻璃面是由兩層玻璃所組成的；裏面一層（緊貼土面的一層）是普通的玻璃，外面一層是較厚的玻璃（5 毫米厚），玻璃的大小是 60×44 厘米。在厚玻璃上劃分許多小方格，每一方格的面積是 4 平方厘米，用氟氯酸刻劃。裝置時把有刻痕的一面向內，緊貼裏面的那塊玻璃。所以要用兩塊玻璃的原因是土壤的壓力很大，易於把玻璃壓碎，特別在冬季土壤凍結之後，玻璃面有時因受壓力而呈弧形，倘玻璃厚度不夠，更易破碎。

安裝玻璃框時應注意兩點：（1）玻璃面必須垂直，否則細小土粒會積在玻璃的內面，把根遮蓋，妨礙觀察。（2）玻璃面必須與土壤緊密貼合，不留空隙。為了做好這一點，先從初步切平的土壤切面上分層取出一定數量的土壤。玻璃框固定後，就將取出的土壤，按原來層次逐層填入玻璃面和土壤切面之間的空隙內，稍稍搗緊，要求儘可能與原來的土壤緊密度相似。每塊玻璃的外面應加裝不透光的木門，以避免由於光的照射而影響根系的生長。為了防止雨水落入窖內，同時也為了加強保護玻璃面不受光的照射，窖頂應裝活動的屋頂。屋頂刷白漆，以免窖內溫度升高而影響根的生長。窖的大小以能容納一人在內工作為標準，長寬各約 1.5 米，深度則按照根系所達到的深度決定。

所有的玻璃面應向北，這樣，觀察時根系不致受陽光的直接照射。

這個方法的優點是：(1) 所觀察到的現象比較接近於果樹正常生長的狀態；(2) 能對同一條根進行連續的觀察，從它的開始出現、在不同時期內生長的速度和方向和木栓化的速度、發生側根的多少和部位、以至它最後的死亡；(3) 能比較不同深度的土層內根系活動的情況；(4) 結合土壤溫度和水分含量等的測定，可以研究這些因子對根系生長和木栓化的影響。這個方法主要的缺點是通過玻璃面所觀察到的根，只是整個根系的很小的一部分，這個局部的現象是否就能代表整個根系的活動情況是值得研究的問題。其次，玻璃面的性質與溫度、濕度，都或多或少不同於土壤，當根沿着玻璃面生長時，可能會不同於在土壤內生長的情況。再其次，觀察時根不可避免地要受到光的照射，也會影響它們正常的生長，特別是在旺盛生長期間，由於根的數量很多，觀察的時間勢必延長，也就延長了根受到光照的時間。關於這個問題，勞吉斯^[32]曾進行了檢查性的試驗，結果指出，在連續光照的情形下，根系的生長嚴重地受到抑制，側根的形成也受到抑制，木栓化加速。但是如果光照的時間每星期在半小時至 2 小時之間，雖然對根的生長發生一些影響，但並不顯著。

2. 壕溝法：奧斯康普和貝局^[29]在他們研究土壤與果樹生產的關係的工作中，曾廣泛地應用了壕溝法。這個方法比較簡便；先在果園內選定具有代表性的果樹，在離樹幹一定距離處挖掘一條溝，這條溝應與以樹幹為中心所劃的一個圓的圓周正切。溝長約 10 呎，寬度以能容納一人在內工作為準，約 2 呎。溝的深度應達到根系分佈的最深處。把靠近樹幹一面的溝壁，用鏟削平，與地面垂直，然後在切面上用細繩劃分為每邊約長 5—10 厘米的方格，把每一方格內所有的根的斷面按其直徑大小和地位分別記錄在相應的方格紙上。不同直徑的根的分類，可按具體情況決定。奧斯康普的分類是：1) 0—2 毫米，2) 2—5 毫米，3) 5—10 毫米，4) 10—20 毫米，5) 20—30 毫米。各類的根用大小不同的圓圈或圓點記錄在方格紙上。

用這個方法，可以比較簡便地觀察根系在不同深度和不同性質的土層中的分佈情況，了解根系分佈的深度和分佈最集中的部位。此法另一個優點是雖然在挖掘壕溝時損傷了一部分根系，但對果樹不致發生嚴重的損害。由於這些優點，此法不僅可以在研究工作中應用，而且在實際生產中，也可以廣泛地應用來了解果園內不同小區、不同種類、不同品種、不同樹齡的根系在土壤內分佈的情況，從而有區別地進行不同深度的耕作、施肥、灌溉等農業技術。

3. 方塊取根法^[18, 33]：這個方法是把整個根系或一部分根系所佔據的土壤，按一定大小的方塊挖掘出來，計算每個方塊內根的重量來分析根系分佈的狀況。在開始挖

掘之前,先把地上部分的情況按研究需要加以測定,如樹高、樹冠直徑、幹周、骨幹枝的分佈及數目等。然後把地上部分全部鋸去,只留約 10—20 厘米高的一段樹幹。樹冠及樹幹的重量須在鋸下後立即測定。在根系分佈的範圍內,用細麻繩在地面上劃分為許多大小一致的方格,方格的大小可按研究的目的和要求而不同,一般為 30—50 厘米。在外緣挖一條溝,溝與樹幹之間的距離應略大於根系所達到的最大的距離。溝的深度約等於根系分佈的最深度。從這條溝開始,逐步向樹幹的方向挖掘土塊,每一個土塊的面積與預先用麻繩在地面上劃分的方格相同。土塊的厚度一般是 10—50 厘米;在根系分佈較多的土層內,以 10 厘米厚較好,以便較詳細地分析根系的分佈情況,在根系分佈較少的土層內,可適當增加土塊的厚度,以節省一些時間。每一方塊帶有根的土壤,應立即放在紙袋或布袋內,編定號碼,從這些號碼可以確定每一塊土壤原來的位置。盛土的布袋或紙袋應立即放在可以防止水分蒸發的箱內,送到實驗室內檢查土塊內所含有的根。按這個步驟,逐層逐塊地挖取土壤,直至這株樹的根系所佔據的土壤全部或一部分挖完為止。

土塊送到實驗室後,將所有的根由土內揀出,用水沖洗掉附着的土粒,然後按直徑大小分為幾類,稱定每一類根的濕重。當然,更準確的方法是稱定根的乾重而不用濕重,但由於根的數量很多,要把這大量的根放在一定的溫度下烘乾,在實際工作中是有着很多困難的。

方塊取根法能把整個根系在土壤內每一部位的分佈情況用數字詳細地表示出來,因此是一個比較最精細的方法。但是這個方法也有其缺點,首先是需要大量的勞動力和時間;可以設想,把幾十噸土挖掘出來,再從這些土壤中把全部根系分離出來,是一件何等艱巨的工作。在作者與興城園藝試驗場合作的研究 5 年生金冠蘋果根系的工作中,挖掘的工作就用了 150 個人工。其次,如果相隣接的植株的根交錯生長,則在交錯地點所挖掘到的根,很難把從不同植株所發生的根加以區別。

拉赫欽科和阿赫羅米科^[17]設計了一種塊狀切根器,專為切取帶根的土塊用的。切根器用 2 毫米厚的鋼板製成,長 25 厘米,寬 20 厘米,高 10 厘米。底邊的邊緣應很銳利,以便切斷土壤和土壤中所含有的根。切取土塊時,把塊狀切根器用木槌打入土內,達到 10 厘米的深度,再沿切根器底部的凹槽,把底板用木槌打入。這樣,就取到了體積為 25×20×10 厘米的一塊帶有根的土壤。切根器的大小可按研究的需要而有所不同,但為切取土塊便利起見,體積不宜過大。

科列斯尼科夫^[7]介紹了他們所研究出來的隨機取土法。在樹冠範圍內 30—40 厘米深的土壤內,用鐵鍬挖掘整塊土壤,放入盛水的桶內,把土洗去,計算吸收根(白色

的)與輸導根(褐色的)的長度和數量。科列斯尼科夫指出,這個方法是根據部分根系能正確地反映整個根系的很多規律性的假定而制定的。此法簡而易行,可以隨時了解一部分根系或全部根系是否在休眠狀態或生長狀態(吸收和同化有機物質的狀態)。用這個方法,也易於確定某一種農業技術措施(修剪、施肥及其他)對根系的影響。

福特^[22]在研究甜橙和葡萄柚的衰亡病時,進行根系的觀察。他們用一種土鑽,在樹冠下鑽取整段土壤,把根從土壤中分離出來,比較受病樹和健康樹在不同土層中吸收根的多少。每株樹鑽 9 個穴,其中 3 個穴與樹冠的邊緣相齊,3 個穴在向內 3 呎處,3 個穴在向外 3 呎處。每個穴的直徑是 10 吋(25.4 厘米)。取土時分為 4 層,即 0—10 吋,10—30 吋,30—60 吋,60—108 吋。由於每一段土壤的直徑和深度是固定的,所以就可以計算在不同土層中每立方呎土壤內所含有吸收根的重量。

杜勃雷甯^[3]介紹了一種洗滌根系的方法,不僅能夠分離土壤微粒,而且又能保持根系原來的形態。洗滌用的藥液是 3—15% 的過氧化氫的水溶液。把帶根的整塊土壤放在大孔眼的金屬網上,浸入預先配好的溶液中,洗滌時間約為 3—24 小時,視土壤的機械組成、水分含量、土塊大小、植物的種類和年齡以及溶液的溫度及濃度而有不同。為了加速洗滌過程,可以在溶液內加入催化劑, $\text{Ca}(\text{MnO}_4)_2$ 和 KMnO_4 。

4. 全根法: 此法又稱“骨骼法”^[33]。挖掘前的準備工作與方塊取根法相同:將植株地上部分如樹高、樹冠直徑、幹周等加以測定,然後把地上部鋸去。鋸時應保持地上部的完整狀態,以便在全部根系挖出之後,重新把地上部接合上去,供攝影或陳列之用。挖掘工作從根系分佈範圍的外緣開始,先挖一條深溝,然後按 30—50 厘米的距離,逐段向內挖掘。為了保持整個根系的完整,挖掘時須很仔細,避免損傷細根。與挖掘同時,把每一條根的位置和深度隨時記錄在方格紙上。這樣,就可以得到整個根系的分佈圖,作為進一步分析的基本材料。此外,根據這個圖,也可以把挖出的根系,按原來的分佈狀況,加以整理,懸掛在空中,供以後參考。

此法的優點主要是能用實物表示整個根系在土壤內分佈的範圍、深度、密度、各級根的關係以及根系與地上部的關係。這樣,不僅便於研究者的分析,而且在教學上也是一個很好的直觀教材。

5. 示踪原子法: 洛特、薩契爾和哈爾^[26]用放射性磷來測定圓葉葡萄(*Vitis rotundifolia*)根系分佈的狀況,供試植株用籬架整枝,行距 14 呎,株距 18 呎。5 月 25 日把每 100 克 P_2O_5 內含有 2 微居里的 P^{32} 的過磷酸石灰均勻地施在植株 A(圖 1)周圍的土壤表面,施肥的面積是以主幹為中心、半徑 6 呎的一個圓圈,每株的施用量是 3/10 磅 P_2O_5 。供試用的植株分成幾個組,每組 11 株,但只在中央的一株施用含有 P^{32}

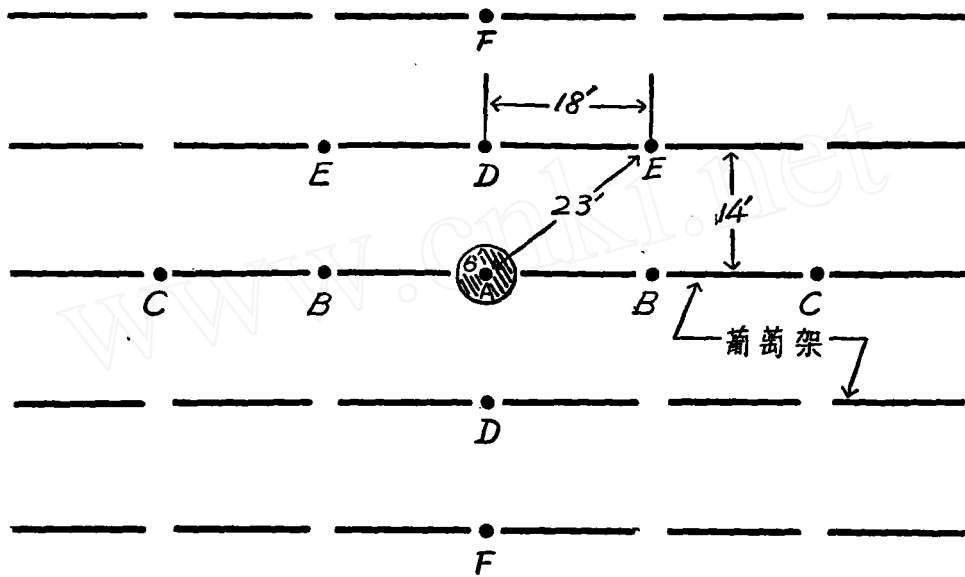


圖 1 接受放射性磷的植株 A 與同一組中周圍植株的排列方式
(按照洛特、薩契爾、哈爾原圖)

的過磷酸石灰。施肥後 27 天，從各個植株採取新梢的先端部分，測定放射性磷的含量。根據測定的結果，就可以計算根系在土壤內分佈的距離。

以上所列舉的幾種研究果樹根系的方法，各有其優缺點，有其特長，也有其限制性。因此，在考慮採用哪一種方法時，首先要明確該項研究工作的目的性和所要完成的任務。在許多情形下，往往需要同時採用兩種或兩種以上的不同方法，來解決研究者所要解決的問題。由於每一種方法都有着一一定的缺點，所以在分析所得結果時，還必須充分估計所用方法可能發生的誤差，加以適當的校正。

參 考 文 獻

- [1] 沈雋、魏振東等。幼年蘋果樹在等高撩壕條件下根系的分佈。1955。未發表資料。
- [2] Григорьев, В. Г. 寒帶土壤中植物根的生命活動。Природа 1955(1) [科學文摘——植物學 1955(1): 5—8.]
- [3] Добрынин, Г. М. 植物根部生物學的研究方法。Ботан. Ж. 1955(5) [科學文摘——植物學 1956(2): 106—107.]
- [4] Жданова, Л. П. 關於根系合成作用問題。Докл. АН СССР 94(2): 337—340, 1954 [科學文摘——植物學 1955(4): 26.]
- [5] Жучков, Н. Г. Частное Плодоводство. Москва, 1954.
- [6] Колесников, В. А. Методы и результаты изучения корневой системы плодовых культур. Известия Тимирязевской о-х Акад. 1955(2): 35—48.
- [7] Колесников, В. А. 果樹根系新的研究。Сад и Огород 1955(5) [蘇聯農業科學 1956(5): 257—259.]
- [8] Колосов, М. М. и Ухина, С. Ф. 根系在植物同化礦物質中的作用。Физиология раст. 1(1): 37—46, 1954 [科學文摘——植物學 1955(4): 29.]
- [9] Кузин, А. М., Меренова, В. И. и Мамуль, Я. В. 論植物的根對二氧化碳的吸收。Докл. АН СССР. 85(3): 645—647, 1952 [科學文摘——植物學 1955(1): 35—36.]

- [10] Курсанов, А. Л. 植物通過根系利用二氧化碳. Тр. Ин-та физиол. раст. АН СССР 1955(10): 150—155 [科學文摘——植物學 1956(1): 34—36.]
- [11] Курсанов, А. Л. 榕屬植物氣生根的生理作用. физиол. раст. 2(3): 271—276, 1955 [科學文摘——植物學 1955 (4): 26—27.]
- [12] Курсанов, А. Л., Крюкова, Н. Н. и Вьюкребенцева, Э. И. 在通過根進行碳酸營養時植物中所形成的 CO₂ 黑暗固定的產物. Биохимия 1953 (18): 632—637 [科學文摘——植物學 1955 (1): 36.]
- [13] Курсанов, А. Л., Крюкова, Н. Н. и Пушкарева, М. И. 經過根進入植物的二氧化碳的黑暗固定與游離. Докл. АН СССР 88 (5): 937, 1953 [科學文摘——植物學 1955 (1) 36—37.]
- [14] Курсанов, А. Л., Кузин, А. М. и Мамуль, Я. В. 關於植物同化土壤溶液中碳酸的可能性. Докл. АН СССР 79 (4): 685, 1951 [科學文摘——植物學 1955 (1): 37.]
- [15] Мишустен, Е. Н. 樹木的菌根營養及其在森林繁殖方面的意義. 植物病理學譯報 1956 (1): 10—20.
- [16] Ратнер, Е. И. и Самойлова, С. А. 根部細胞外磷酸酯的活動度. физиол. раст. 2(1): 30—41, 1955 [蘇聯農業科學 1956 (5): 260.]
- [17] Рахтеенко, И. Н. (趙興樑譯) 喬灌木的根系. 中國林業出版社, 1955.
- [18] Шитт, П. Г. Биологические основы агротехники плодового сада. Москва, 1952.
- [19] Boynton, D. Soil atmosphere and the production of new rootlets by apple tree root systems. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 37:19—26, 1940.
- [20] Boynton, D. and Compton, O. C. Effect of oxygen pressure in aerated nutrient solution on production of new roots and on growth of roots and tops by fruit trees. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 42:53—58, 1943.
- [21] Cain, J. C. and Galletta, G. J. Blueberry and cranberry. In Mineral nutrition of fruit crops, Chap. 3, pp. 121—152, 1954.
- [22] Ford, H. W. Effect of spreading decline disease on the distribution of feeder roots of orange and grapefruit trees on rough lemon rootstock. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 61:68—72, 1953.
- [23] Heinicke, A. J. and Boynton, D. The response of McIntosh apple trees to improved sub-soil aeration. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 38:27—31, 1941.
- [24] Hunter, A. S. and Kelley, O. J. A new technique for studying the absorption of moisture and nutrients from soil by plant roots. Soil Sci. 62:441—450, 1946.
- [25] Kinman, C. F. Preliminary report on root growth studies with some orchard trees. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 29:220—224, 1933.
- [26] Lott, W. L., Satchell, D. F. and Hall, N. S. A tracer-element technique in the study of root extension. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 55:27—34, 1950.
- [27] Nelson, S. H. and Tukey, H. B. Effects of controlled root temperatures on the growth of East Malling rootstocks in water culture. Jour. Hort. Sci. 31(1): 55—63, 1956.
- [28] Nightingale, G. T. Effects of temperature on growth, anatomy and metabolism of apple and peach roots. Bot. Gaz. 96:581—639, 1935.
- [29] Oskamp, J. and Batjer, L. P. Soils in relation to fruit growing in New York. Part II. Size, production and rooting habit of apple trees on different soil types in the Hilton and Morton areas, Monroe County. Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. Bul. 550, 1932.
- [30] Oskamp, J. and Batjer, L. P. Soils in relation to fruit growing in New York. Part III. Some physical and chemical properties of the soils of the Hilton and Morton areas, Monroe County, and their relation to Orchard performance. Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. Bul. 575, 1933.
- [31] Rogers, W. S. Root studies. VIII. Apple root growth in relation to root stock, soil, seasonal and climatic factors. Jour. Pom. Hort. Sci. 17:99—130, 1939.
- [32] Rogers, W. S. Root studies. IX. The effect of light on growing apple roots: A trial with root observation boxes. Jour. Pom. Hort. Sci. 17:131—140, 1939.
- [33] Rogers, W. S. and Vyvyan, M. C. Root studies. V. Rootstock and soil effect on apple root systems. Jour. Pom. Hort. Sci. 12:110—150, 1934.
- [34] Sideris, C. P. Container for the study of the behaviour of individual roots. Pl. Physiol. 7:173—174, 1932.
- [35] Smith, A. H. Fruit-tree mycorrhiza around Ann Arbor, Mich. Mich. Acad. Sci. Arts, and Letters, Papers 11:243—248, 1929.
- [36] Sweet, A. T. and Oskamp, J. Soils in relation to fruit growing in New York. Part I. A detailed soil survey of the Hilton area, Monroe County. Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. Bul. 541, 1932.

THE ROOT SYSTEMS OF FRUIT PLANTS AND METHODS OF STUDYING THEM

Summary

SHEN, TSUIN

This paper is a review of available literature on various aspects of root growth and the methods employed in root studies.

It is pointed out that notwithstanding the wealth of literature on root systems so far accumulated, it has to be admitted that many phases of the problem have yet to be explored. More knowledge of the growth and habits of fruit tree root systems is not only necessary to a more complete understanding of the performance of the tree, but is also fundamental to improvement of cultural practices in the orchard. Therefore, such studies are of importance both theoretically and practically.

The well-known functions of roots, anchoring the plant in the soil, absorbing water and mineral nutrients from the soil and storing a part of the synthesized products are, with the rapid progress of science, found to be far from complete. More and more new role played by the roots in the life of plants is being discovered. By the use of radioisotopes, it is proved that roots are capable of absorbing CO_2 from the soil and synthesize them into complex organic substances. Likewise, synthesis of mineral salts into organic compounds takes place also in the roots. The possibility of heterotrophic synthesis in the roots is shown by many experiments. Excretion by the roots of various enzymes enables them to oxidize, reduce or digest organic compounds in the soil, making the latter directly available to the plant. It is considered that the roots of most deciduous fruit trees associate symbiotically with mycorrhizal flora, both of the ectotrophic and endotrophic types. The mycorrhizal fungus transforms organic and atmospheric nitrogen into forms that can be utilized by the plants.

Root excavation studies have all shown that the root system of fruit plants is generally much more extensive than the branch system, regardless of the kind of stock or the nature of soil. On the average, the stem: root ratio is 1:1.5—3. However, the interaction of a number of factors such as varietal habit, stock and soil control to a great extent the spread, amount, position and type of the root system. All investigations on the root growth period of fruit plants noted two main periods of growth, in spring and autumn. Many investigators supposed that the root of fruit plants does not have any definite period of dormancy. The growth of root is influenced by a number of soil factors, notably temperature, moisture and aeration. All these factors must be within certain favorable limits to allow root growth to proceed satisfactorily.

In accordance with the scope of investigation, various methods have been devised to study the root systems of plants. In this paper, five different methods and their modifications are reviewed, namely, root observation boxes and root observation trenches, the trench method as devised by Oskamp, the "block" method, the "skeleton" method and the tracer-element technique. In addition to describing the procedures of these methods, their relative merits and limitations are also discussed.