

主 要 果 树 砧 木

ZHU YAO GUO SHU ZHEN MU

郝荣庭 韩其谦 主编

前 言

砧木是果树嫁接的基础和嫁接果树的重要组成部分,与果树的生长、发育,栽植方式,整形修剪,果园管理以及区域化栽培都有密切关系。因此,一直成为国内外果树生产、教学和科研工作者所关注的热点,并倾注了巨大的努力。

中国果树种类和砧木资源极为丰富,曾对世界果树生产和发展做出过很大的贡献。新中国成立以来,广大科技工作者在果树砧木选育、砧木区域化、生物学特性、砧穗关系、脱毒技术、亲和性和抗逆性研究等方面,作出了令人瞩目的成绩,对推动和促进世界果树事业的发展,作出了应有的贡献。

近年来,许多国家和地区的果树工作者,从选择具有优良特性和广泛适应性的砧木需要出发,在果树砧木根系结构和特点、砧木与接穗间亲和力、野生砧木资源利用及其对果树生长结果的影响等方面,进行了大量的研究和报道,并取得了丰硕成果,对我国果树砧木的研究、开发、引进和利用,有重要的参考价值和借鉴意义。

本书从我国果树生产实际和需要出发,参阅了国内外有关果树砧木著作和最新科研资料,比较全面地介绍了主要果树砧木(包括苹果、梨、桃、杏、李、葡萄、柑桔、核桃)的起源、用途、选育成果、应用现状及发展动态。较详细和深入地阐述了砧木根系结构、繁殖原理、砧木与接穗间亲和力以及砧穗间相互影响等基本理论和实践问题,努力反映当今世界各国在主要果树砧木研究和应用方面的新成就、新观点和新水平。希望对我国果树砧木资源的开发利用、选育和引入适于我国的优良果树砧木、推进我国果树砧木研究,起到积极的作用。

本书可作为高等和中等农林院校师生和果树、林业科技工作者的参考书。

本书初稿由李树仁教授审阅,并提出宝贵修改意见。在出版过程中得到中国林业出版社的精心指导和大力支持,在此一并深表谢忱。

限于我们专业水平和收集资料的局限性,错漏和不妥之处,恳请同行专家和读者不吝指正。

编著者

1996年4月于保定

目 录

前言	(1)
第一章 果树根系	(1)
第一节 根系的形态结构	(1)
第二节 根系的功能	(5)
第三节 根系的生长	(8)
第四节 果树菌根	(11)
第五节 影响根系生长及吸收的因子	(14)
第二章 繁殖	(22)
第一节 有性繁殖	(22)
第二节 无性繁殖	(26)
第三章 果树嫁接亲和力及砧木与接穗的相互关系	(43)
第一节 果树嫁接亲和力	(43)
第二节 嫁接不亲和的表现和原因	(45)
第三节 砧木和接穗的相互关系	(49)
第四章 苹果砧木	(55)
第一节 起源及历史	(55)
第二节 砧木应用现状	(56)
第三节 砧木的适应性	(57)
第四节 砧木对生长结果的影响	(68)
第五节 主要砧木种类及特性	(71)
第六节 砧木研究和利用前景	(79)
第五章 梨砧木	(82)
第一节 起源、分布与产量	(82)
第二节 砧木应用现状	(87)
第三节 砧木的适应性	(89)
第四节 主要砧木的特性和对树体表现的影响	(97)
第五节 梨砧木的主要植物学特征	(101)
第六节 砧木的繁殖	(104)
第七节 新砧木研究现状	(106)
第六章 桃砧木	(109)
第一节 起源及历史	(109)
第二节 砧木应用	(110)

第三节	砧木的适应性	(111)
第四节	与砧木利用的有关因子	(115)
第五节	砧木对接穗的影响	(117)
第六节	砧木特性	(118)
第七节	新型和未来的砧木	(120)
第七章	杏砧木	(122)
第一节	起源、产量与分布	(122)
第二节	砧木的应用现状	(123)
第三节	砧木的不亲和性	(124)
第四节	砧木的适应性	(128)
第五节	砧木对生长结果的影响	(135)
第六节	主要砧木种类及特性	(137)
第七节	新砧木的研究现状	(141)
第八章	李砧木	(142)
第一节	起源和生产现状	(142)
第二节	砧木的利用	(144)
第三节	砧木的适应性	(146)
第四节	生理适应性	(148)
第五节	各种砧木的特性	(149)
第六节	李树砧木展望	(155)
第九章	葡萄砧木	(157)
第一节	栽培起源、历史和分布	(157)
第二节	葡萄根瘤蚜及其对葡萄栽培业毁灭性的破坏	(158)
第三节	抗葡萄根瘤蚜砧木的起源及有关土壤的几个问题	(161)
第四节	葡萄砧木种和品种	(164)
第五节	砧木和接穗相互关系	(167)
第六节	繁殖	(170)
第十章	柑桔砧木	(171)
第一节	起源及历史	(171)
第二节	砧木的基本特性	(172)
第三节	主要砧木种类及特性	(176)
第四节	柑桔的矮化砧木	(186)
第五节	砧木研究和利用前景	(188)
第十一章	核桃砧木	(191)
第一节	起源及历史	(191)
第二节	世界核桃生产概况	(192)
第三节	砧木应用	(193)
第四节	砧木种类	(193)
第五节	砧木与接穗的相互作用	(199)

第六节 土壤环境.....	(200)
第七节 砧木与病原体的相互影响.....	(203)
第八节 新型砧木和未来砧木.....	(206)
主要参考文献.....	(207)

第一章 果树根系

根系是果树有机整体的一个重要组成部分，对果树的生长发育起着不容忽视的作用。尤其是当一种特定的砧木与接穗品种相互结合成为一体时，其作用的表现更加复杂和明显。所以，为了正确有效地利用果树砧木，对有关果树根系的全面了解是十分必要的。

第一节 根系的形态结构

不同果树根系的形态结构既有个性，又有共性；既受自身遗传因子的影响，也受接穗品种、栽培技术和环境条件的制约。

一、类 型

果树的繁殖方法很多，而用不同方法繁殖的果树根系有着明显的不同特点。根据根系发生及来源，可分为3类（图1—1）：

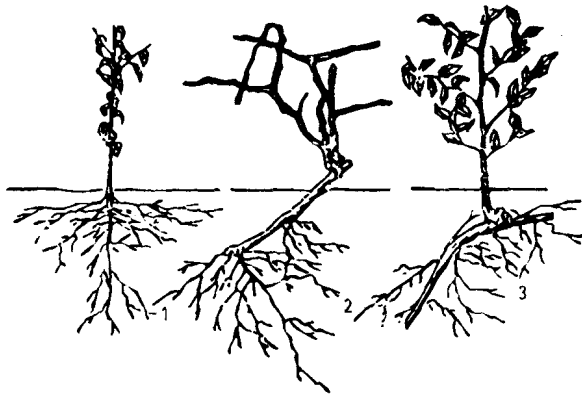


图 1—1 果树根系的类型

1. 实生根系 2. 茎源根系 3. 根蘖根系

（引自《果树栽培学总论》）

（一）实生根系

实生繁殖和用实生砧嫁接的果树的根系为实生根系。其特点是：主根发达，根系分布较深，生理年龄较轻，生活力强，对外界环境有较强的适应能力。实生根系个体间的差异要比无性繁殖的根系大，在嫁接情况下，还受到地上部接穗品种的影响。

（二）茎源根系

用扦插、压条繁殖所形成的根系，称为茎源根系。如葡萄、无花果扦插繁殖，荔枝、龙

眼高压繁殖，苹果矮化砧压条繁殖，草莓的匍匐茎繁殖，香蕉、菠萝的吸芽繁殖等，其根系来源于母体茎上的不定根。广义地讲，茎尖培养（包括花药、叶培养等）的组培苗也可归为此类。其特点是：主根不明显，根系分布较浅，生理年龄较老，生活力相对较弱，但个体间比较一致。

（三）根蘖根系

有些果树在根上能发生不定芽而形成根蘖，将其与母体适时分离即可获得新的带根系的个体，称为根蘖根系。如枣、石榴、樱桃等树种的分株繁殖。这种根蘖根系主要由原来的部分母根组成。有时可利用这种根蘖苗作砧木再进行嫁接，如山楂、杜梨就地或归圃育苗。广义地讲，一些果树（如板栗、杏等）的根接也可归为此类。根蘖根系的特点与茎源根系相似。

二、结 构

（一）根系组成及级次

果树的根系通常由主根、侧根和须根组成（图 1—2）。主根一般由种子胚根发育而成，在它上面长出的各级较粗大的分枝，统称侧根。按侧根发生的先后顺序可划分为不同的级次：由主根上直接发生的侧根，称一级根，着生在一级根上的侧根，称二级根，依此类推。苹果和梨的根系在一个生长季内可分生多至八级根。主根和一二级侧根构成根系的骨架，称骨干根。这类根粗长而色深，寿命长，起固定、输导等作用。主根和各级侧根上着生的细小根，统称须根。这类根短而细，长度一般为 1 至几个厘米，直径不超过 3 毫米，是第三、第四甚至更高级次分枝的根，一般寿命较短，大部分须根在营养生长末期死亡，未死亡的则发育成骨干根。

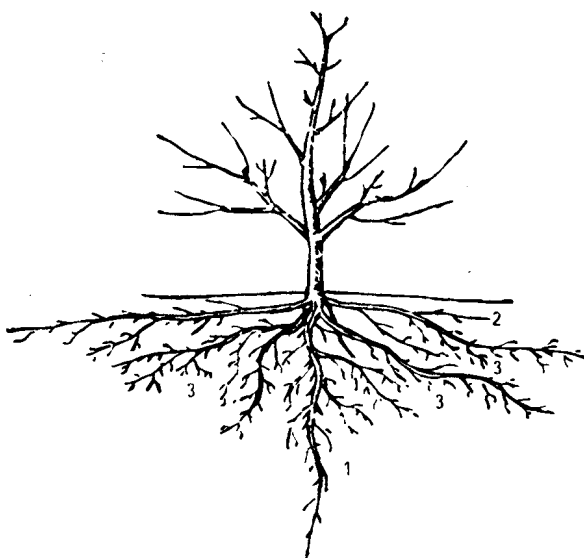


图 1—2 果树根系结构图

1. 主根 2. 侧根 3. 须根

（引自《果树栽培学总论》）

（二）须根的类型

根据须根的形态、构造和功能划分为生长根、吸收根和输导根三类（图 1--3）：

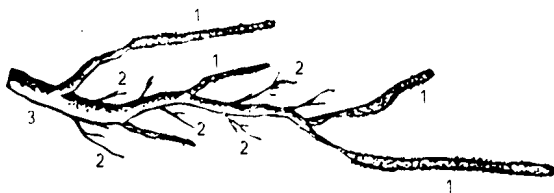


图 1—3 苹果的须根

1. 生长根 2. 吸收根 3. 输导根

（引自《苹果优质丰产新技术》）

1. 生长根（轴根或延伸根） 最初是初生结构的根，但以后能转变成次生结构。色白，粗而长，生长较快，有分生新根的能力，也有吸收能力。梨的生长根直径在 0.6mm 以上，吸收根一般在 0.3mm 以下。幼年梨树单一生长根年生长量有时可达 80cm 以上，一般均在 30cm 以上。生长根的主要功能是向土壤纵深处生长和分生新根（吸收根）。

2. 吸收根（营养根） 是初生结构呈白色的根，较细，无分生新根的能力，主要功能是从土壤中吸收水分和矿质营养，并具有将其转化为有机物质的功能。吸收根具有高度的生理活性，数量最多，在根系生长旺季，吸收根可占总根量的 90% 以上。就一株成龄苹果树而言，数量可超过一百万根。吸收根寿命较短，仅数天至几个星期。

生长根和吸收根的先端密被根毛，是果树吸收水分和养分的主要部位，其表面积相当庞大。以苹果为例，每 1mm^2 根表面有 300 根根毛（穗状醋栗为 669 根），每一根毛表面积为 $6800\mu\text{m}^2$ ，折合吸收表面积 $20.4 \times 10^5 \mu\text{m}^2$ 或约 2mm^2 。由此可见，由于根毛的存在，使根系与土壤的接触面扩大了数倍。另外，根毛细胞壁的外层主要由果胶钙构成，这种物质易与土壤胶粒紧密粘着，使土壤中的水分和养分易于通过根毛而进入根部。

生长根和吸收根的发生量及比例与地上部的生长发育密切相关。旺长树比衰弱树、小老树的生长根多，地上部旺盛生长的幼旺树生长根量远远高于成龄树。因此，生长根可能与地上部枝条的旺长相关，而网状吸收根的大量形成则意味着地上部生长势趋于缓和。旺长树、弱树、衰老树等植株类型的改造除了对地上部修剪调节外，还必须调控根系类型的转化。

3. 输导根 由生长根转变而成，浅褐色或深褐色，也有一定的吸收作用，其初生皮层已经脱落，经加粗生长后形成骨干根，主要起输导养分和水分的作用。

三、分 布

（一）水平分布

果树根系在土壤中的分布，一般越接近上部的侧根，根倾角（向地角）越大，几乎与地面平行，称水平根。水平根位置较浅，但分布范围广，一般都超过树冠枝展范围 1~3 倍。水平根分支多，着生细根也多，在地表下至 30cm 的范围内，通常分布着 70% 以上的根群（表 1—1），因此是构成土壤中根系分布的主要部分。

表 1—1 果树根在土内不同深度的分布比例 (%)

树 种	深 度 (cm)						
	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70
梨	18.9	28.1	26.0	9.7	6.8	7.9	1.8
葡萄	20.3	35.4	11.9	7.4	9.5	13.1	8.7
桃	20.8	43.5	14.8	15.3	4.5	0.7	0.3
苹果	39.4	45.6	12.3	3.0	0.5	0.2	0

(二) 垂直分布

在土层中位置越向下的侧根,根倾角越小,几乎垂直向下生长,这种根称垂直根,其分布深度一般小于树高。垂直根能把树体固定于土壤中,并从深层土壤中吸收养分和水分。

(三) 分层分布

果树的根系在土壤中的分布具有明显的层次,一般分 2~3 层。表层根分根性强,根量大,但其生长易受环境条件的影响;深层根分根性弱,根量小,受环境条件影响也较小。所以,充分利用表层根,适当加深根系分布层,对满足果树正常生长发育、提高果树抗逆性具有重要的意义。

根系分布特性随砧木种类而有不同。我国华北地区常见的苹果实生砧木,据其根系生长特点,可分为深根型、浅根型和中间型 3 种类型。深根型的砧木,一年生苗的根,深可达 100cm,约为苗高的 3 倍,属于此类型的有小海棠(*Malus soulardii* Britt)和难咽(*M. micromalus* Makino)等;浅根型的砧木,一年生苗根深 70cm 左右,约为苗高的 2 倍,属于这一类型的有山定子、甜茶(*M. hupenensis* Rehd)和红果三叶海棠(*M. sieboldii* Rehd.)等。中间型的砧木,表现介于上述两类型之间,如沙果(*M. asiatica* Nakai)、茶果(*M. prunifolia* Borkh.)等。不同根分布类型的砧木,在须根量上也存在差异。大致上是浅根型的须根总长分别是地上部枝条总长的 1867.6 和 741.4 倍。而深根型的小海棠,须根较少,总长仅为地上部枝条总长的 442.8 倍。

四、密 度

果树根系大小和密度,影响根系对水和矿质元素的吸收。主根和侧根的发育,是遗传性以及根系生长环境相互作用的结果。它们的多少基本上决定了占据土体的大小,而这些根吸收能力不大,主要是固定树体和贮藏营养。根的吸收表面的增加主要靠长出大量吸收根。根分枝的长度和密度,部分决定于土壤肥力状况,也要有利于使根的传导阻力降低。故为避免竞争,这些细根要保持一定距离。其必须保持的距离是活动期长短和吸收活力的函数。细根群在一定土体中也应充分地分布,合理的密度应是 0.1~5 根/cm³ 土体。如果土壤贫瘠所需土体就大。

当植物竞争时,氮的吸收有赖于不同植物的相对根量;而磷总是有赖于根的长度;钾的吸收随根密度增加,每单位根表面积摄取量下降。因此,根总长度对吸收磷很重要,在竞争情况下对氮、钾也重要。苹果和很多果树根的总长小于其它作物,但其单位长度根吸收能力要比其它作物高。

密植树比稀植树在短期内根的密度大,但稀植树最终也能达到相似密度。乔砧比矮砧根系深而密。

第二节 根系的功能

果树根系的功能是多方面的，它除了把植株固定在土壤内，吸收水分、矿质营养和少量有机物质，以及贮藏一部分养分外，还具有合成有机物及改善根际环境的功能。此外，有些果树的根也能用作繁殖。

一、吸 收

(一) 水分的吸收

根系的主要功能之一是吸收水分以满足树体蒸腾的需要。果树的木质部是一个由叶到根尖连续的系统，但它并不直接通到土壤中。水分进入根内不是一个简单的过程，而必须依次穿过根系的皮层、内表皮和中柱细胞后才能进入木质部导管中。水分进入根中以及在根内的移动主要是由于蒸腾作用，使木质部导管中水势低于土壤中水势的结果。

根际条件（土壤通气、温度和含水量等）对根系的水分吸收有很大影响。随土壤含水量降低，根表面的水势急剧下降，根系发生收缩。这样，根与土壤交界处便形成空隙，进一步增加了水分进入的阻力。由于水分在土壤中移动缓慢，根系向土壤中无根区的迅速延伸对于连续吸收水分显得相当重要。因此，在果树最大需水期，当枝条生长达到高峰时，蒸腾速率可能也处于最高状态时，新根的生长则处于最低水平。由于新根的生长有赖于地上部合成的有机营养，所以，降低果树光合作用的各个因子会首先减少新根的生长，其次才抑制枝条的生长。此外，由于在单位土地范围内，果树根系的相对长度比草本植物低，所以，老龄根也必须吸收水分，才能满足蒸腾的需要。

根的尖端部位（4~6mm 区域）对水分的吸收力最强，原因是此区细胞的透性最低。然而，在根系的其余部位，也能以较为相似的速率吸收水分。在次生加粗过程中，内皮层断裂或脱落，木质部被韧皮部形成层和栓化细胞层所包被。木栓质是一种充满细胞壁的脂肪类物质，但其中的裂缝可使水分直接进入薄壁组织。在侧生根形成期间，内皮层细胞也会破裂。

果树所需的大部分水分很可能是通过已次生加粗的老根吸收的。尽管未木栓化的根吸水能力最强，但对于果树来说，这类根仅占总根表面积中很小的比率，因此其吸收的水分也只占其中的一小部分。

(二) 营养的吸收

根系是吸收营养的主要器官，其吸收能力不仅取决于根系的长度、分布深度以及与土壤接触的程度，而且也受土壤温度、氧气含量、土壤水分和营养浓度等条件的制约。

营养元素离子在土壤溶液里可借助非原生质途径，通过简单扩散的方式进入根系或共质体中。后一种进入和移动类型是在根毛、表皮和皮层细胞上发生的。从某种意义上说，具有完整凯氏带的根系或进行过次生加粗的根系，营养元素离子必须通过皮层和中柱之间连续的原生质膜。因此，根的原生质膜的特性对于土壤溶液与果树地上部的离子交换是重要的。膜透性的差异是上述细胞的一个重要特征。

离子可以主动方式和被动方式穿过膜。由于无机盐可溶于水，故能通过细胞膜中亲水的蛋白质通道移动。某些离子通过上述通道的移动速度比其它离子为快。离子移动的速率和在平衡时的分布受膜的特异性、膜两侧的离子浓度以及电荷平衡的制约。植物细胞内部带有负

电荷，因而，细胞能沿着电化学梯度吸引阳离子。

在膜的某些位点上会发生能量传递，进行电能运输（营养泵），它可逆电化学梯度引导阴离子或阳离子通过膜而移动和进出细胞。电能与电化学这二者在进行中，能使细胞内部对其外部保持负电荷的状态。离子的主动吸收（特别是二价离子）取决于呼吸作用。离子吸收能力随幼根到老根的距离而逐渐降低，也可进行选择吸收。钙容易被根的最幼嫩部位吸收。

营养元素一旦进入木质部后，细胞膜的选择作用就会抑制其反向扩散。之后，营养元素便在蒸腾流中进行流动。然而，有些营养元素可进入韧皮部细胞，并移向根尖的“韧皮部库”或营养贮藏部位。此时，所有离子都是可流动的。

低分子量的有机分子从根细胞渗出会导致所吸收的微量营养元素（稀有金属阳离子）的流动，继而有效地向根内移动。

果树的茎和根之间对水分吸收要连续不断地保持着功能性平衡，营养元素的吸收也存在着类似的关系。根系中的细胞激动素和其它激素在维持上述生长平衡中起着一定的作用。

二、合 成

（一）激素的合成

根系的一个重要功能是进行植物激素（生长素、赤霉素、细胞分裂素、脱落酸和乙烯）的生物合成和运输。这些天然激素能显著地影响果树的生长和发育。

1. 生长素 吲哚乙酸（IAA）存在于根尖、中柱和皮层中。它可从根基到根尖向顶运输，穿过维管系统或在中柱的活细胞中移动。通常认为：生长素是在较成熟的根系组织中合成的，而不是在根端。除最低浓度（ 10^{-8} ）以外所有浓度的生长素都会抑制根系的生长，而在根系中其常常可超过适宜浓度水平。生长素对生长的刺激作用可能受乙烯调节。从枝条运送到根部的生长素由于可减少细胞分裂素的合成而对根的生长起作用。施用到枝条上的生长素通过极性运输可迅速运输到根内。根系实际上是作为一个库来容纳茎中合成过多的生长素，或作为氧化失活的场所。根内生长素的不对称分布是造成向地性的原因。然而，有三种现象与此结论相抵触：即根冠有限的生长、激素反向运输以及不能刺激足够的乙烯产生。

2. 赤霉素 在木质部汁液中移动的赤霉素类的来源地之一是根系。关于赤霉素在根内进行生物合成的证据是间接的。业已发现：根系木质部浸出液中含有类赤霉素物质，其含量随根际条件而变化。虽然其生物合成地点可能在根尖，但更可能的是根尖将叶部合成的赤霉素转变为更加活跃的形式。赤霉素对根系生长的真正作用尚不清楚，它对侧生根分化并无作用，对根伸长的作用还有疑问。

3. 细胞分裂素 细胞分裂素在根的顶端分生组织内合成。其含量随生长阶段、发育程度以及根系水分胁迫而变化。在植物遭受干旱、水涝、营养贫乏和较高土壤温度时，细胞分裂素和赤霉素的生物合成均会减少。这一有力的证据说明细胞分裂素是在根尖合成的，尽管目前尚未得到直接证实。细胞分裂素对根生长的作用，与其说是直接促进伸长，不如说是与其它激素互作而影响细胞分裂。此外，可能有抑制侧根分化的作用。根系合成的细胞分裂素经过木质部运输，通过控制叶片中蛋白质和 CO_2 代谢及酶的合成、侧枝发育、芽解除休眠状态和坐果等方面，影响枝条的生理活动。

4. 脱落酸 脱落酸（ABA）是一种细胞分裂和伸长的抑制剂。对其它代谢过程的刺激作用取决于这种内源激素含量水平以及与其它植物激素的相互作用。ABA 存在于根系木质部提

取液中，是在根冠细胞中合成的。也可在植物的其它器官中合成。ABA 以各种浓度可从多方面对树体生理产生作用：如抑制根的生长和茎的伸长；抑制 K 和 P 离子的吸收和积累；增加细胞壁透水性；加速叶片衰老；促进叶片脱落；诱导芽休眠以及抵消赤霉素的活性。引起植物胁迫的条件均会导致 ABA 水平增加，而在根中合成它时却不受水分胁迫的影响。

ABA 可能对根系向地性反应起作用，因为它在根内下侧呈不均匀分布。赤霉素分布也不均匀，主要集中于根内上侧。ABA 在树体内流动性强。在幼根中的移动方式是经木质部和韧皮部向基部运输，但也可进行某种侧向运输。

5. 乙烯，严格地讲，不是一种真正的植物激素，但它可在全树产生，并具有特殊的调节作用，如打破休眠，诱导开花，控制成熟和衰老以及诱导不定根的形成。乙烯不进行定向运输。当发生效应时，这种气体便可在树体不同器官中检测出来。根系对高于内源水平的乙烯非常敏感，它能抑制根系的伸长。内源乙烯只有在保持低浓度时（特别是在气体能够迅速扩散的土壤条件中是这样），才能促进根系的伸长，但其作用机制目前尚不清楚。人们据此推测：正常的乙烯浓度低于抑制临界点，但具有生理活性或较高浓度的生长素，可使乙烯含量达到临界点以上。乙烯可干扰生长素的运输，所以，根内生长素与乙烯之比会控制两者各自的作用。生长素可加重乙烯对根系生长的抑制。而乙烯通过抵消生长素的作用，可减轻生长素对乙烯产生的刺激。

侧根的发生是乙烯的一种反应。例如，在根原基出现期间根系受自然损伤或由于弯曲致使根系皮层或中柱鞘细胞受伤均会使乙烯浓度增加，从而促进侧生根的伸长，而不是根的分化。后者可能是由生长素诱导而促进乙烯产生的反应。

（二）有机物的合成

根系是合成有机物的一个重要场所。如将无机氮转化成酰胺、氨基酸、蛋白质等。苹果和桃等树种甚至在不叶的状态下，均能把所吸收的无机氮转变为有机氮，并在根内加以贮藏。根能把磷转化为核蛋白和拟脂，能把从土壤中吸收的 CO_2 和碳酸盐与从叶下移的光合产物——糖结合，形成各种有机酸，并且将其转化产物送入地上部参与光合作用和其它代谢过程。

三、贮 藏

果树根系是重要的贮藏器官。全树淀粉贮藏总量的一半以上是在根内（表 1—2）。初生根

表 1—2 三年生国光苹果各部位淀粉分配率
（占全树贮藏淀粉总量的%）

部 位 \ 日 / 月	10/4	28/5	28/6	2/3	10/10	26/11
叶	—	2.25	0.37	0.40	11.8	3.69
新梢	—	1.43	1.58	13.1	9.4	11.7
枝干	43.6	51.5	36.0	35.0	27.5	26.0
地下部	56.4	44.9	62.0	51.5	51.3	58.5

可将养分（主要是淀粉）贮藏在皮层中，而经过次生加粗的根可将淀粉贮藏在木质部和韧皮部的薄壁组织和厚壁组织细胞中。根系与茎相比（尤其是苹果无性系矮化砧木），具有较高比例的薄壁组织细胞。贮藏营养是果树区别于其它一年生作物的重要特性。它能稳定地供应果

树一年中生长结果的需要，并能在落叶后至翌年叶幕形成前供应果树所需营养。

四、改善根际环境

根际环境是指紧靠根系的土壤区域，它会受到所有果树根系的影响。根际和非根际土壤之间并无明显界限。一般说来，根际只包括根毛所占有的区域。在根尖粘液、根毛分泌液、活细胞渗出液以及皮层细胞降解释放物的溶解作用下，有机质可进入根际环境中。这样，为根际异养生物提供了能量基质，所以，使根际环境中的生物数量大量增加而超过根际以外。渗出物的数量值得注意，因为它能刺激根系周围植物的活动，使其和根系竞争土壤中的矿物质，从而抑制了根的生长。幼龄苹果根系在第一个生长季中所积累的干重几乎有一半会丢失到根际土壤中。根系分泌物有利于土壤植物和根系之间建立共生关系，但分泌物中也可能包括一些对其它植株根系发生生化相克作用的化合物。根系的迅速生长可使根系分泌物增加，而氮和磷（尤其是磷）的缺乏会减少根系的分泌作用。某些除草剂可促使根系分泌物增加。

五、繁殖

许多果树可利用根系进行繁殖，如枣、山楂、无花果、李、酸樱桃和石榴等。由于根蘖苗来自同一母体，所以能保持母株原有的优良特性。

六、固地

根系的主要功能之一是把果树固定在土壤内。由于果树树大招风，所以，固地性强弱就显得比较重要。

各种砧木的固地性有所不同，良好的固地性与土壤质地和土层深度有关。随土壤质地由沙土→壤土→粘土的变化，根分布深度逐渐增加，通常以壤土中根系生长（以总重计）为最多。固地性与遗传特性有关，它决定着根系的空间分布、根系密度、根的长度以及发根深度。影响果树总生长量的因子也会影响固地性。苹果树深栽时，可在近地表处形成新的根系，但最初是在适当深度大量发根，以保证良好的固地性。苹果接穗品种能够影响根系发育。良好的固地性取决于不定根的发育和像须根那样的根系分支。根毛在固地中起着重要的作用，而老龄根上厚壁组织的发育决定着根的长度。苹果无性系矮化砧木具有较高的根皮率（皮层/木质部）。随着韧皮部活组织与木质部组织比率的增加，根系变得更加脆弱（如M₉），从而导致固地性降低，需要进行支柱栽培。在自然状态下研究根系，获得根系空间分布的准确资料是困难的。大多数研究只涉及到数量分析，而不是固地性。

第三节 根系的生长

果树根系没有自然休眠，在满足其所需要的条件时，可周年生长。但其生长规律却随砧木种类、自然条件和栽培技术的变化而有所不同。

一、单根生长过程

从根窖观察，开始出现的根为白色，富含水分，具有很短的根毛，生长季一般1~4周即木栓化变褐，根毛萎缩，冬天可维持3个月以上不木栓化。木栓化由老的部分呈波状向前进

行,可达2~3mm/小时。木栓化后初生皮层解体、腐烂(主要被土壤真菌或一些昆虫作为食物)。随后出现次生增粗,成为多年生根系的一部分。

由初生根到次生根其解剖结构重新排列。按其形成层与木栓形成层出现情况可分为两个类型:

(一) 同步型

形成层与木栓形成层在初生皮层死亡后同步形成,开始活动,如苹果、梨、榲桲、酸樱桃、李、杏、桃、穗醋栗、醋栗、葡萄、无花果和石榴。

(二) 不同步型

木栓形成层的形成和活动迟于形成层,内皮层的细胞木栓化在初生皮层解体之前。又可分成几种情况:

(1) 木栓形成层分化略迟于形成层,相差3~10天。初生皮层解体在栓皮形成之前,而与韧皮部和髓形成同时,如核桃、欧洲榛和板栗。

(2) 木栓形成层分化迟于形成层很多天(30~100多天),初生皮层存留时间长,只在根系次生增粗,形成木栓之后才解体。如草莓、树莓、露莓、鳄梨、柠檬。

(3) 皮层解体在木栓形成层分化之前,木栓形成层形成第一层栓皮细胞在死的初生皮层内侧,该死皮层长期不脱落,如柿树。

落叶果树根系的一个重要特点是它的初生皮层生命周期短,其后内部出现上述重新排列现象,吸收根无木质化外皮层。白根到冬天重要性下降,在休眠期白根数量及吸收表面大大减少,初生根与输导根相比重要性下降,它也不是重要贮藏部位。而常绿果树特别是在热带、亚热带地区原产的果树,在冬天白根仍有重要作用。根的初生皮层生命周期为落叶果树的3~60倍。苹果、酸樱桃、葡萄初生皮层生命周期为12~30天,而草莓为90~150天,鳄梨为80~120天,柠檬为300~600天。常绿果树初生皮层内还含有淀粉或油等物质。常绿果树白根的外皮层木质化明显,可保护白根,并增强抗逆性。落叶果树中有少数树种如树莓、穗醋栗,初生根外皮层细胞壁木质化,皮层内也有少量淀粉,其白根生命周期较长而抗寒。

根由初生结构转为次生结构后,含水量下降,输导组织和贮藏组织增多。一个根生出后,一级根的生长量逐渐减少,以葡萄为例,每10天为1个单位,计算其平均日生长量则第一旬可达16.1mm,第二旬12.4mm,第三旬7.9mm,第四旬4.9mm,第五旬2.5mm,第六旬0.7mm。随一级根生长量减小,其上发生二三级根的数量增加。在适宜条件下,吸收根总量和总长度的增加,在整个生长季是通过高级次根的分支形成的。根在一日内的生长多在午后到深夜进行,或只在夜间。

根系的增粗生长由于初生皮层的脱落,先是由粗变细,随后再增粗,一般增粗生长在7~8月,一个根在其多年生长中增粗呈波状。可以增粗一二年然后停长几年后再增粗,苹果最多每年可增粗3.7mm。

二、根系年生长动态

果树根系在一年中的生长是不均匀的,常出现1~3个高峰(图1—4)。第一次发根高潮多在萌芽前开始,到新梢旺盛生长期转入低潮。这次高潮时间短,发根多,主要依靠树体内的贮藏营养;第二次发根高潮,出现在春梢缓长及花芽分化之前,此次发根高潮生长势强,时间也长,是全年发根最多的时期,主要生长细根及网状根。以后,随着秋梢生长的开始和果

实膨大及花芽大量分化而转入低潮；第三次发根高潮，多在秋梢缓长之后出现。此次发根时间较长，但随土温下降，根的生长越来越慢。然而，并不是所有果树都遵循同样的季节性周期变化规律。根系年生长动态依果树砧木种类而有所不同，还会受到树势、环境条件及栽培措施的影响。

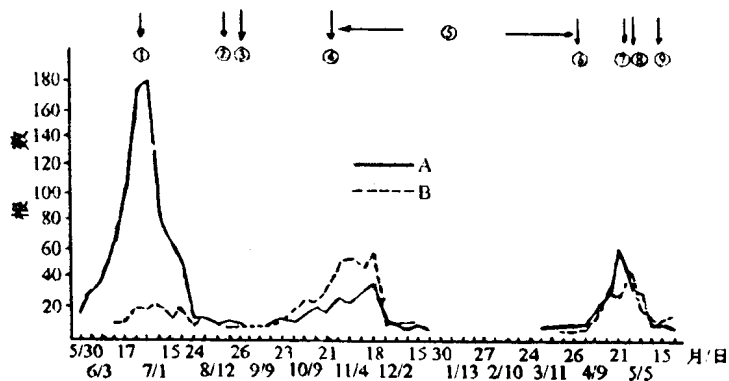


图 1—4 金冠苹果根系的生长动态

A. 土深 0~50cm 新根生长 B. 土深 50~100cm 新根生长

①秋梢开始生长，花芽分化 ②长枝停止生长 ③果实采收④落叶
⑤休眠期 ⑥萌芽 ⑦初花 ⑧枝条开始生长 ⑨果实发育

(引自《果树栽培学总论》)

三、不同深度根系生长动态

土壤上层和下层的根，在一年内有交替生长现象。上层根开始活动较早，下层根较晚；在夏季上层根生长量较小，而下层根生长量较大；到秋季上层根的生长又加强，这无疑与土壤温度、水分、通气等条件有规律的变化有关。

四、根系的自疏与更新

(一) 根系死亡的类型

根系死亡、自疏现象以及新根的生长都是根系年生长周期表现的一部分。它可将矿质元素回归土壤中，为土壤动植物提供营养，改善土壤的结构。根系死亡可分为以下 3 种类型：

(1) 旺盛生长根在短期生长后（苹果为 7~14 天）发生木栓化，致使其上着生的短根全部死亡。上述根通常具有 2 级分支。

(2) 主根和高级次根的根尖通常干枯，而由侧生根代替主根向前生长。

(3) 老龄须根（5 年生以上）完全死亡，继而由新的须根来取代。

骨干根或半骨干根也会发生死亡，特别是苹果根龄达到 5 年生以后更是如此。死根与活根的比例是距树干愈远愈大；距地平面最浅处和最深处大。至于根系最长寿命和其维持功能的时间，可参考的资料为数极少。果树萌芽时即可观察到根系脱落或自疏，但其高峰发生在生长季早期。任何环境胁迫的条件均会加重根系脱落。

(二) 须根的生命周期

须根形成及衰亡的过程有一定的规律。据对苹果的观察，须根原是由缓慢生长根转化而来的。缓慢生长根在形成须根中轴过程中，在头半年至一年增长较快，至两年半达到最大体积。在以中轴为骨架的发育过程中，头两年在其上出现不多的初生结构的吸收根和生长根。前者由于中轴木质化而迅速死亡，但后者能在两年半内继续生长并布满吸收根。从第三年起，在须根的中轴或生长根上，在迅速衰老的同时，也出现更新以稍微减轻其衰老过程。但到第四年末，就终止了发根能力。关于根系死亡的情况，在须根形成的头一年，只是小吸收根的死亡并很快地矿质化；从一年半开始，整个或部分生长根死亡；到第三年须根中轴开始枯死，它的长度减少，到第四年彻底死亡（图 1—5）。各种果树根系的生长、更新与死亡的过程，可人为加以促进或延缓。

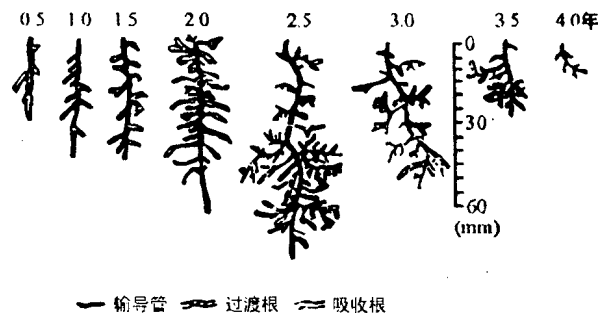


图 1—5 苹果须根的生命周期

（引自《果树栽培学总论》）

(三) 吸收根的死亡

吸收根的死亡几乎从生命开始最初一段时间里就已出现。吸收根发生后经过或长或短的一段时间，逐渐木栓化变成褐色。随木栓化程度的加重，吸收根逐渐减弱其吸收功能，有些轴根转变成输导根，有的则失掉吸收功能而死亡。据对国光苹果的观察，新根发生后 1~4 周开始木栓化，细根比粗根快。木栓化和死亡的速度受土壤条件影响很大，高温和干旱加速木栓化，当土壤水分降到田间持水量 40% 以下时，新根发生少而木栓化加速。秋季发生的根本栓化缓慢，有一部分根在冬季一直保持白色活跃状态，至次年还继续生长。

第四节 果树菌根

菌根是指有益真菌（菌根菌）与果树根部形成共生的合称。菌根的种类很多，果树上最常见的是丛枝菌根（简称 VAM）。菌根菌与果树根系的共生现象十分广泛，对果树生长发育具有重要影响。

一、共生原理

果树根部表皮受菌根菌的菌丝侵染而形成“穿入点”，接着菌丝穿入皮层而分叉，形成丛枝体（形状如菜花），随后在菌丝尾端膨大而形成囊状体，因而得名囊丛枝菌根菌。丛枝体是

果树与真菌养分交换的主要场所，即果树把光合作用形成的养分供给真菌，而菌根菌靠着根外菌丝的延伸，到根外土中吸收磷及微量元素进入体内供其发育所需，但其寿命一般只维持数天，此构造就会自行分解，而将其内所含各种养分及酶“还给”寄主植物，因而形成共生关系，寄主植物的生长从而受益。囊状体为贮藏器官，寿命较丛枝体长。

二、菌根的类型

根据菌根的着生方式可分为内生菌根、外生菌根和过渡菌根（内外兼生）三种。

（一）外生菌根

外生菌根的特征是菌丝高密着生在根的表面上，形成结构致密的菌丝套（菌鞘），从菌鞘产生菌丝束或菌丝，同土壤或有机物结合在一起。只有少数菌丝能深入根组织，但一般在细胞间隙中而不能伸入细胞内部（图 1—6）。形成外生菌根的真菌大部分属于担子菌类，特别是口蘑目。在果树中仅有山毛榉科的栗树和桦木科的榛子具有外生菌根。

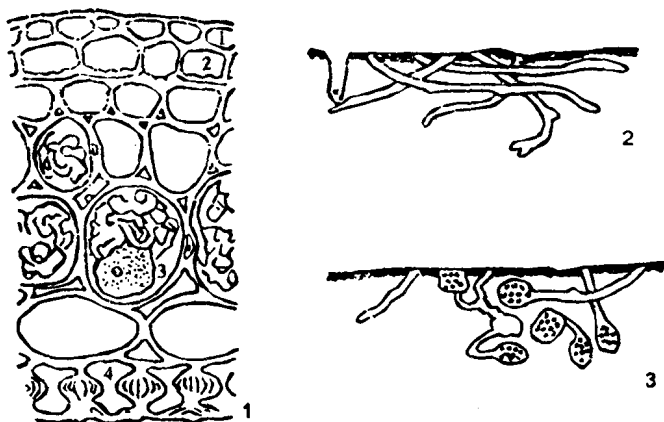


图 1—6 果树的菌根

1. 野生甜樱桃的内生菌根 2. 森林苹果的菌根（外生） 3. 红色速熟李的菌根（外生）

（引自《果树栽培学总论》）

（二）内生菌根

内生菌根的特征是真菌侵入果树吸收根的组织后，菌丝体主要存在于根的皮层而不进入中柱，在根外也较少。在皮层，菌丝形成吸器，侵入的菌丝可将根外菌丝吸收的水分和营养供给果树根系。内生菌根的菌丝体可进入细胞内。与外生菌根不同，根毛和内生菌根可以并存。形成内生菌根的真菌主要属于藻菌类。果树植物中普遍存在着内生菌根与根系共生现象。其中包括：柑桔、梨、葡萄、桃、杏、李、樱桃、毛樱桃、梅、山楂、杜梨、山杏、石榴、猕猴桃、核桃、枇杷、香蕉、凤梨、荔枝、龙眼、芒果、椰子、鳄梨和草莓等。

（三）过渡菌根

过渡菌根的特征是既有外生菌根，又有内生菌根。据记载，苹果属于这种类型。

此外，人们通常将由放线菌与根系所形成的瘤状共生体也称作菌根（瘤状菌根），其实，这是非豆科植物固氮根瘤。形态特征是：近乎球形，直径在几个 cm 以内，呈浅褐色或淡黄褐色。在果树植物中具瘤状菌根的有杨梅属的 10 个种，沙棘属中的沙棘，胡颓子属中的 25 个种，悬钩子属中的黄喜马莓。另外，在鼠李科中似乎也存在瘤状菌根。