

植物体内营养物质的运输

M. B. 阿法纳西耶娃著

科学出版社

植物体内营养物质的运输

M. B. 阿法纳西耶娃 著

閻龙飞 曾令程 韓雅珊 譯
张伟成 孙健民

科 学 出 版 社

1959

М. В. АФАНАСЬЕВА
ПЕРЕДВИЖЕНИЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ
ВЕЩЕСТВ В РАСТЕНИЯХ
ИЗД. ЛЕНИНГРАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА, 1955

內 容 提 要

本書叙述了植物体内的物質运输,概括地介紹了近代以及过去植物生理學对于这方面的研究成就;討論了植物体内可塑性物質、礦物質等的运输途徑和方向以及机制。

此書可作为植物生理學工作者、高等学校生物學系和农业院校師生的参考材料。

植物体内营养物質的运输

[苏] М. В. Афанасьева 著

閻 龙 飞 等 譯

科学出版社出版 (北京朝陽門大街 117 号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

1959 年 1 月第 一 版

1959 年 1 月第一次印刷

(京) 0001—2,090

書号: 1527 字數: 184,000

开本: 850×1168 1/32

印张: 6 3/4

定价: (10) 1.20 元

目 录

序言	1
第一章 植物体内可塑性物质运输的途径和方向	3
一. 17—18 世纪学者们关于植物体内物质运输的途径和方向的概念	3
二. 木质部是植物体内物质运输的唯一通路	6
三. 木本植物中物质的运输	16
四. 皮层是可塑性物质上行流和下行流的通道	20
五. 皮层内可塑性物质在水平方向上的运输	40
六. 皮层与木质部间物质的运输	43
七. 可塑性物质运入果实的途径	46
八. 韧皮部的各个成员在物质运输中的作用	48
九. 乳管在植物运输中的作用	62
第二章 矿物质在植物体内运输的方向与途径	67
一. 矿物质上昇液流的途径	67
二. 矿物质下行液流的途径	79
第三章 表征出植物体内物质运输的其他现象	90
一. 运输的不均衡性	90
二. 运输速度	104
三. 各种物质沿韧皮部而同时逆向运输	108
第四章 植物体内物质运输的机制	110
一. 植物体内可塑性物质运输的原始概念	110
二. 原生质运动在物质运输中的作用	113
三. 物质运输中活组织的作用	123
四. Münch 的假设	128

al

五. Münch 假說的批判	138
六. Crafts 的工作	144
七. 特里尼达德学派学者們的研究工作	149
八. Van den Honert 的假說	163
九. 螢光素——物質運輸的指示剂	165
十. 可以作为物質運輸指示剂的其他物質	174
十一. Mangham 的假說	179
十二. A. Л. Курсанов 的研究工作	181
十三. W. H. Arisz 及其学派的工作	189
結論	192
参考文献	201

序 言

如果考虑到需要营养物质的組織，經常是距离制造或者貯藏它的組織很远的話，那末在高等植物体内各式各样营养物质运输的必然性，就成为很明显的了。在木本植物内，土壤的灰分元素应当完成很长的路程才能达到树冠。另一方面，被叶子制造的有机物质应当供給植物的根系。

植物能够以必要的速度，調运必需数量的营养物质，到需要它的組織和器官去，这在其生活中具有重大的意义，因为这种能力在很大范围内，决定了植物的大小和結構。Crafts (1951) 說过，物质运输对于植物有如血液循环对于动物那样的意义。

高等植物运输营养物质的能力，是受着許多内部和外部的能調节运输速度和方向的因素所影响的。为了解释植物的許多生命現象，知道是什么力量引起物质运输，以及如何和怎样的因素对它发生影响是很重要的。人們希望向有利于他們的方面控制植物的发育和生长过程，因之，善于控制营养物质运输到植物某种器官中去的方向和速度，是很重要的。

人們在以某些方法破坏营养物质的正常运输方向之时(环割、摘心、修剪等等)，已經学会了在某种程度上改变植物的习性，但是在这种情形下所得到的結果，由于在这一领域中我們的知識还不完全，仍旧是很不充分的。俄国学者始終对植物中物质运输問題很感兴趣。关于这一問題的許多研究工作，在 19 世紀末和 20 世紀的前四分之一就已出現了。

在 1937 年就已經把 Curtis 的“植物中可溶性物质的运输”翻譯成了俄文(农业出版社)。在其后 15 年間，在刊物中出現了很多苏联和外国研究者关于植物中物质运输問題的重要著作。在記述的許多試驗研究中，研究者們采用了示踪原子。但是苏維埃学者参与研究

这一重要和迫切的植物中物质运输的问题还是很少。令人满意的应当注意到在刊物中出现了 Курсанов (庫尔薩諾夫院士)在这一领域中許多重要的研究。

由于苏維埃学者对研究这一问题兴趣的增长,以及由于向讀者介紹文献中已有的試驗資料的需要,在本专論中将十分詳細地說明外国研究者的工作。

可以希望的是,苏联和国外研究者們共同的努力,在最近的时间內得以解决这一复杂的关于植物中营养物质运输机制方面的问题。

还书日期

讀者注意：本书請于下列应还日*

第一章 植物体内可塑性物質 運輸的途径和方向

一. 17—18世紀学者們关于植物体内 物質運輸的途径和方向的概念

植物体内物質的運輸，是最老的植物生理學問題之一。約莫300年以前，英国学者 Grew (1862)和意大利学者 Malpighi (1679)就已利用 Hooke (1660)所設計造成的显微鏡，研究植物組織的构造。在这时，已經知道植物借助于根系由土壤中吸收大量的水分，并把它轉运到地上部分的器官中。发现在莖部的皮层和木質部中，沿着器官的縱長方向有延长了的細胞体系，Grew 得出結論說，在植物的根尖和叶子之間，應該存在着二个方向汁液的運輸——即上行与下行。上行流由根部沿着树干的木質部運輸，下行流沿着皮层運輸。

Malpighi 在 1679 年，关于植物中物質運輸提出了同样的观点。根据 Malpighi 的看法，植物的根部能够由土壤中吸取营养汁液，它們局部地沿着木質部成分上升到叶子中去，在莖部橫的方向是沿着木質部和皮层的髓射綫細胞局部地传布。营养汁液达到叶子以后，就沿着叶內細胞分布开来，与原先在这些細胞中的內含物相混合，并且是在太阳光的影响下完成，轉变成为一种建造性的汁液。营养汁液在髓射綫細胞中，能够同样的得到改造，而变成建造性的汁液，用在树干在粗度方面的生长上。

在叶內形成的建造性的汁液 (Malpighi 还不知道从土壤中吸取的营养汁液加工制造的特点；Ingen-Housz 百年以后，即 1779 年，才解释了光合作用)，沿着莖部皮层下降到根部。除了建造性的汁液沿着皮层下运之外，Malpighi 假定它也沿着皮层上运到枝条頂部和其

他位于高于叶子的器官。这种沿着皮层汁液的上行运输,按照 Malpighi 的意见,是围绕在皮层复盖层外面的空气压力改变的影响之下实现的。此外,在植物的组织中,由于其进行呼吸作用结果,也常常有在温度变化的影响之下,改变其体积的空气存在。这种内部空气体积的改变也能够促进汁液的运输。

Malpighi 在试验上,首先采用了环割木本树干的方法,证明了在植物体内存在着两个方向相反的物质流。他在槭树、桦树、柳树、杨树、榛、李、槲寄生及其他树木的个别新梢和分枝上沿着枝条的整个周围,作了两个平行的水平的皮层切口,限制这个切口在皮层,而与木质部分开。由于这样的处理,在伤口的上部边缘很快地(特别是槭、李、槲寄生)进行了树干粗度方面的生长,形成了所谓树瘤。在苹果和李树螺旋线似的环状剥皮和葡萄捲鬚纏繞在槭树上时,同样也可以发现树干局部地加粗。位于环割伤口上面的那部分枝条继续加粗,此时也发现在割环伤口处的木质部、以及在伤口下的那部分枝条均停止了生长。在割环上方形成的树瘤, Malpighi 解释为组织营养的加强,是由于建造性物质累积所引起的,建造性物质的下运,由于皮层通路的受到破坏而停止。在割环下面的树干区段其粗度方面生长的停止,被解释为缺乏对于生长所必需的建造性物质流。 Malpighi 发现被环割的植物顶端,能长期地保持着膨压和继续生长与发育,表示说根部由土壤中得到的水分和营养汁液对其供应是充分的。在这个观察的基础上, Malpighi 得出结论说,水分和土壤中的营养汁液是沿着树干木质部上升的。

因此, Malpighi 认为在植物中两个方向相反的物质流——即沿着树干木质部运输的上行流和沿着皮层运输的下行流的存在是已经被证明了。对某些树木,特别是槭树幼嫩枝条的观察,可以作为建造性汁液由叶子沿着树干皮层下降的补充证明。当取消了皮层的割环而如果在伤口的上沿和下沿留下一个垂直的有指头宽的皮层横桥的话,则幼嫩枝条就不能产生树瘤。在这种情况下,沿着剩下的皮层横桥进行建造性汁液的运输。

在那时,当在植物生理学领域中还完全没有这种认识的时候,

Malpighi 就正确的指出了关于植物体内物质运输以及叶子在这一过程中的基本原理,不由的令人惊讶。

Malpighi 关于植物体内物质运输所作的观察,已经为 18 世纪的许多研究者所证实和扩展。园艺家为了增加果实的产量,也开始采用环状剥皮的方法,来增强果树结果枝的营养。已经肯定地证明了在完全环状剥皮的情形下,位于环割伤口下面区域的树干停止了在粗度方面的生长,而在不完全环割的情形下时,亦即保留垂直的皮层横桥时,就继续的变粗,可见,是得到了所有对于其生长所必需的营养物质。当在树干上缠以金属的环带时,这个环带挤压皮层,也可以得到如同在完全环割时同样的结果。在这种情形下,当环割伤口的边沿,彼此已经愈合时;在伤口上面边沿的树瘤就停止增大,而伤口下面的树干就重新恢复粗度方面的生长。如果在树木的主干上作成的环割伤口没有长满,那末树木经过一定的时间以后就死亡,但是当它仍然存活的时候,在其割环上面的顶部,可以得到比同样的但是未环割植株的相应部分较为强壮的类型。在树木侧枝上所作成的环割伤口,还没有愈合的情形下,无论被环割的枝条或者树木本身,都没有受害症状出现。结果枝的环割使得果树产量增加。植株在主干完全环割的情形下,发生死亡是由于阻止了植株地上部分所制造的物质对根系的供给。Perroult 已经指出根系营养依赖于由地上部分器官所流出来的物质。Perroult 将植物的根部从土壤中游离出来。使它不与植株分离而将它放在潮湿的空气中。虽然失掉了与土壤的接触,但是根系仍旧能继续生长。并且也指出过如果将树干环割的区域,复盖以湿润的泥土,则在树干上就形成了根,但是它们的形成仅仅发生在环割伤口的上沿。

所有例举出来的 18 世纪研究者所作的观察,都证明了 Malpighi 关于在植物体内两个相反方向营养物质液流的观念。也就在 19 世纪初叶,这一观念亦被英国学者 Knight (1801) 所证实。在那时光合作用过程已经得到了解释(1779),而 Knight 在试验上证明了营养物质的可塑性(有机的)物质,事实上是被叶子制造的,而沿着皮层运输到了其他器官。Knight 指出当在木本树干上,作了两个平行的皮层

割环时，树瘤形成的地方决定于在环間树干区域上有没有叶子。如果在这些区域上没有叶子，那末树瘤仅在上面一个割环的上部边沿上形成，如果在环間有叶子，那末树瘤就在上面的割环和下面的割环的上部边沿上出现。位于二个割环間树干上的叶子供給这些区域以可塑性物质，下面的割环妨碍了这些可塑性物质沿着莖部向下运输。Knight 在环割馬鈴薯的莖部时，发现了在这种情形下，地下的块莖不能发育，但是块莖能够在环割伤口上面的莖部出现。馬鈴薯枝条的地上部分在环割主莖之后，发展得很繁茂，而且大量的开花和结实。Knight 的实验証明了从叶子制造的营养物质沿着莖部皮层轉移到其他器官。

Knight 利用有颜色的溶液証明了在树干木质部存在着上行的水流。他发现了当把枝条的切端浸在染料的小溶液中时，染料就上升到上面去了，而仅仅是将在其通路上的木质部成分染上了颜色。

所有被 17 世紀末和 18 世紀的研究者們，所获得的涉及到植物体内物质运输途径的試驗材料，都被現代学者的研究所証实了，虽然这些材料的解释曾多次遭到了重新审定。

二. 木质部是植物体内物质运输的唯一通路

17 世紀末和 18 世紀的大多数植物学者，完全贊同 Malpighi 及其拥护者們关于在植物中为了上行和下行流传递，存在着两个不同的途径的观念。其中只有为数不多的人，否定了 Malpighi 及其拥护者們所得到試驗材料的正确性，使其具有另外的解释，认为木质部是作为对于无论水分或可塑性物质运输的唯一途径。S. Hales (1727) 解释环割伤口上面边沿上形成的树瘤，是由于受伤的结果。按照 Hales 的意见，被叶子制造的可塑性物质沿着树干，沿着木质，内层向下运输，而且树干的活組織，从这里吸取可塑性物质。由于环状剥皮的结果，所形成的树瘤挤压割环上面的树干而这种压力就促进了正在生长的組織，比較容易的吸收营养汁液。由于营养良好的结果，就发生了被环割的植株上部比較强大的发育。Hales 认为象由环割伤口上边截下的大麻伤流液，比从割环下面切下的大麻要强得多的这

种事实,就可以作为树瘤形成了对树干压力的証明。

Schleiden (1890)不同意 Hales 这样的观点,而断言在环状剥皮时裸露的木质部丧失了让可塑性物质正常的沿着它通过其中的能力。在环状剥皮时所发生的空气泡和各种的物质,阻塞了导管,因而阻止了在环割区域内上行的水流。由于植株继续蒸发水分,割环上面的营养汁液浓缩并变得更有营养价值。由于这样位于割环上面的植株部分,开始了强烈的生长,割环下面的树干,由于其中水分的累积,得到的是被冲淡了的营养汁液,这种汁液不能够保证正常的营养和生长。

19 世纪的某些学者(Frank, 1890; Blass, 1890 等等),在木质部导管是无论对于植物体内水分或者可塑性物质运输的唯一途径的概念上有些分歧。Blass 认为筛管能否实现输导成分的功能,是令人怀疑的。引起他怀疑的是这些情形,如许多植物中,完全分化的筛管只在离茎部生长点,和离需要大量和迅速的流入营养物质的区域,有相当大的距离处才出现。黄瓜和紫丁香最初形成的筛管只在距离枝条顶端第三节间才能发现,椴树和槲树在第二节间。此外许多植物筛管中的筛板在夏末就被胼胝物质——胼胝体所塞满了,因而阻塞了各个部分之间的流通。木本植物筛管的数量,比之于木质部输导成分的数量要少得多,而且筛管的生命很短促,内含物迅速消失,并被周围膨压充足的细胞所压扁。按照 Blass 的意见,筛管很浓的蛋白质内含物是没有通透性的,而贮藏的物质是作为供给邻近它的形成层细胞的养料。Blass 认为这些事实证明了他的这种观点,在直接邻近形成层的筛管中常常较之于比较远的蛋白质要多。在形成宽的木质年轮的树木中,筛管会有比形成窄的年轮的树木蛋白要多些。Blass 由环割木本茎干的试验,表明了,在割环的上面没有任何蛋白质的累积,或者在割环下面也没有发生蛋白质的减少,使得 Blass 得出结论,认为可塑性物质的转移不是沿着筛管进行,而是沿着木质部进行。筛管是对于供给形成层营养必需的贮藏物质的组织。

Blass 的环割木本茎干试验的结果,可解释为塞满筛管的蛋白质,不是一种通透类型的含氮物质,因而不受环状剥皮的影响。

在 20 世纪的最初 25 年中 Birch-Hirschfeld (1920)、Dixon (1922)

及許多其他的研究者同意木質部是可塑性物質運輸通路的觀念。按照 Birch-Hirschfeld 的觀點,到20世紀初植物體內物質運輸的問題,無論在運輸的途徑方面和這一過程的機制方面都沒有得到解決。解決這一問題僅只能借助於向植物體內引入物質,在運輸這些物質的時候就可能易於進行觀察。研究者選擇了硝酸鋰作為這種物質,這種溶液在採用 0.13 M 的濃度下,對植物很少有毒,而其特點是有很大的能動性以及用分光鏡法,在植物組織中很容易觀察到。Sachs 就已經指出過,硝酸鋰的溶液很容易被植物未受傷的根部所吸收,而很快的上升到相當大的高度,可見硝酸鋰很容易通過根部皮層的活細胞層。活細胞對於硝酸鋰 (LiNO_3) 的滲透性同樣也被 Fitting (1917) 用質壁分離法所確定。因為 20 世紀初葉大多數的研究者認為物質沿着植物的皮層運輸,是借助於擴散所實現的, Birch-Hirschfeld 創造了所有的條件以便他所選擇的物質的溶液能夠僅僅借助於擴散在植物的組織內轉移。為此由塊根(蔓菁、球莖甘藍),由馬鈴薯的塊莖或者由接骨木的髓部切下長為 8—10 厘米,橫切面為 1 平方厘米的薄壁組織的小柱放在水中,以消除細胞的吸取力和細胞間隙的毛細管上升。為使鹽溶液不能沿着組織小柱的外表面上升,用濾紙吸干小柱外面的水分塗上凡士林。只留下小柱下面的橫切面沒有塗上凡士林。在這樣的處理之後將組織小柱懸掛在容器邊緣的玻璃毛細管上,在這個容器中裝有鋰鹽的溶液。僅僅將小柱的下端沒有被塗凡士林的橫斷面浸在溶液中。在某些試驗中硝酸鋰溶解在 10% 的明膠溶液內,在凝固以後,將這種明膠的切塊貼附到小柱的下部切面上。將被試的薄壁組織小柱放於恆溫下潮濕的空氣中。經過一定時間的間隔,將小柱之一切成許多橫斷薄片,厚為 0.2—0.3 厘米,將薄片放到本生燈的火焰中,檢查其中是否有鋰元素的存在。發現所有被研究的對象中,鋰的縱向轉移速度平均為每晝夜 2 厘米。在外面溶液中增加硝酸鋰的濃度由 0.3 到 1.3 M,它的擴散就增加了半倍。比較在活的和被殺死的組織中擴散速度表明,發現在死組織中擴散,比在活的中快一些,但是就是這樣,它的速度也不超過每晝夜 3 厘米。用長為 10—15 厘米寬約為 1 厘米帶有嫩枝的皮層小條,檢查

了这样的試驗。沿着皮层小条, LiNO_3 扩散速度与其沿着薄壁組織的扩散速度沒有差別。由皮层小条一端的蒸发, 捆縛和弯曲小条, 都不显示加速鋰盐轉移的作用。

为使試驗条件接近于正常的条件, Birch-Hirschfeld 将切下的或已經生根的带有大量叶子的紅端木(*Cornus alba*)和稠李(*Prunus padus*)枝条的树皮小条局部地分离, 留下枝条的一端或两端与剩下来的树皮相連。在被分离的树皮与木質部之間嵌入粘土块, 将枝条的施行过手术的部分放在玻璃管中, 用切开了的軟木塞将枝条固定。在切下来的枝条, 鋰經过切口表面进入, 已生根的枝条, 經过侧枝的切口得到它。切下来的枝条甚至才經过 45 分钟就在它的頂端发现了鋰。它沿着木質部扩展, 而在木質部与树皮沒有破坏接触的地方, 迅速地轉移到树皮中, 但是鋰沿着与木質部分离了的树皮部分扩展的速度, 大約与在切下来的树皮小条, 或者在薄壁組織小柱中的扩展速度是差不多的, 不超过每昼夜 5 厘米。就是鋰扩展的这种速度(每昼夜 2—3 厘米)也在这种情形下观察到了, 当在切下的枝条下端上, 除去了木質部中柱而只剩下树皮, 为了保护这样的树皮也如在前述的試驗中一样, 防止溶液沿着在其中的毛細管上升, 然后只是使枝条下端的树皮浸入盐溶液中。試驗的另外一些布置, 包括将长达 2—8 厘米的木質部小柱纵切下来的枝条上不是由它的底端, 而是由其距离底端 15 厘米远处去掉, 将进行了手术处理的枝条底端浸入硝酸鋰溶液中。在除去了木質部中柱长为 2 厘米的情形下, 經过一昼夜鋰才在枝条的所有部分直到它的頂端发现。因为在除去了木質部的游离的树皮, 在一昼夜之内才能通过 2 厘米, 所以它沿着木質部扩展的速度要大得多, 在除去更长的木質部小柱的情形下, 經过一昼夜后, 在施行手术区段的上方沒有鋰的存在。鋰沿着游离的树皮扩展限制为 2—3 厘米。

为了測定鋰沿着树皮的橫向运输的速度, Birch-Hirschfeld 将一滴鋰盐溶液, 滴在紅端木(*Cornus*)和蓖麻(*Ricinus*)預先除去了部分表皮的枝条的皮层上。紅端木(*Cornus*)枝条皮层的厚度为 0.4 毫米。鋰經过了 22—25 分钟进入枝条的木質部。可見, 鋰在橫的方向扩展

的速度,平均大約为每昼夜 2 厘米。Birch-Hirschfeld 同样也証明了,与木质部分开了的皮层吸取水分要比木质部慢 1,000 倍。

Birch-Hirschfeld 所进行的大量試驗,表明盐类和染料沿着植物体活組織的运输,借助于扩散是完成得很慢的,这种运输的速度無論在何种范围内,都不能保証植物体内物质运输的进行。Birch-Hirschfeld 計算了同化物质由大豆叶子运出的速度。他采取在光合过程中每小时每平方米叶面积上形成 0.5 克碳水化合物,在 10 小时内光合作用形成的同化物质,要在 24 小时内由叶子中运完时,发现经过 1 平方毫米叶柄的横断面积上,流出的速度为每小时 0.7 毫克。而经过筛管时平均为每小时 6 毫克。硝酸鋰轉移的速度经过組織横断面 1 平方毫米每小时为 0.005 毫克,亦即比自然条件下碳水化合物的运输慢 1,000 倍。因为不能設想糖分的扩散比矿质盐类的扩散为快, Birch-Hirschfeld 得出結論說,可塑性物质不是沿着筛管以扩散的方式轉移。Birch-Hirschfeld 作出的結論:不是筛管而是木质部导管,是可塑性物质运输的通道,他借这一結論来代替,不是扩散,而是其他的机构参与着植物体内可塑性物质运输的那种假設。某些研究者的这种材料可以作为 Birch-Hirschfeld 这种假設的理由之一。这些研究者(Fischer, 1885, 1888 等)表明,在木质部的汁液中在整个生长期間都含有糖分。此外, Hales (1727) 表明木质部無論对于上行或下行方向的液流,都能够同样进行。为了証明在同时有蒸騰的上行流存在的情形下,沿着木质部有下行流存在的可能性, Birch-Hirschfeld 将切下来的带有叶子的各种乔木和灌木枝条的下端浸在水中,而经过剪过的侧枝引入硝酸鋰。在強烈的蒸騰下经过了 1—2 小时发现鋰已經到距离由它扩展进去的地方 30—50 厘米的枝条頂端,但是直接位于侧枝下面吸取溶液的叶子,只有经过 20 小时之后才能查出有鋰的反应。鋰無論在上行或下行方向中,只沿着枝条的一边扩展。当采用較高的盐浓度 (5—20%) 时,在树枝相对一边也出現有鋰的反应。生了根的枝条在經過侧枝引入 0.05% 硝酸鋰溶液时,在植物体的中部也可以找到,要經過了几小时之后,鋰才扩散到無論在引入它的地方的上面或者下面的所有枝条中。在某些試驗中,經過未受伤

的叶子将鋂引入枝条，为此把这些叶子的一半入盐溶液中。鋂经过叶子沿着莖部向下轉移达到很大的距离，各种植物有所不同，决定于叶子角質层的渗透性。鋂向下轉移的速度，比正常的蒸騰流的速度要小些，而各种植物平均变动在每小时由 1 到 10 厘米之間。这个速度超过扩散速度 20—200 倍。在将各种植物切下来的枝条，使其下端吸取水分，而同时由側枝获得曙紅溶液的試驗中表明，顏料仅沿着吸取它的小枝的一边轉移。Birch-Hirschfeld 在这样的基础上，假定在正常的条件下，木质部导管的工作互相間沒有影响，可見，在木质部中柱里能够同时存在着相反的液流。因为木质部輸导成分的横断面超过皮层輸导成分的横断面很多倍。下行方向物质的轉移通过木质部导管比沿着皮层可能要多得多。按照 Birch-Hirschfeld 的意見，物质沿着木质部下运行輸，完全能够保証同化物质由叶子里的流出。

Birch-Hirschfeld 发现鋂沿着皮层和植物体的其他活細胞轉移的速度很小，使得他得出結論說，篩管不能作为可塑性物质運輸的通道，首先解释为鋂对于植物細胞原生质的毒害影响，是很明显的。Sachs 指出，以 3% 的硝酸鋂溶液灌溉过一次的植物的叶子，布满了褐色的斑点，并且迅速地死亡了。Birch-Hirschfeld 在自己的預备試驗中，发现在強烈的蒸騰时，剪下来的天竺葵和紅端木(*Cornus*)的叶子，当把叶柄放在 0.5% 的硝酸鋂溶液中时，就迅速的变黄而死亡。在水培中的幼嫩的大麦植株，当在营养液中加入 0.1% 的硝酸鋂溶液经过一周后，开始出现受害的症状，经过二周就死了。但是作者认为在他的短时间的試驗中，鋂盐的毒害作用还来不及表現出来。

鋂沿着活植物組織轉移速度小的其他原因，可能是塗了凡士林的組織通气不良之故。現在已經确定(Curtis, 1929; Mason and Phillis, 1936 等)植物組織通气程度不良，大大地降低了物质的轉移速度。

Dixon (1922)拥护 Birch-Hirschfeld 关于木质部是植物中水分和可塑性物质運輸的唯一通道的观点。

Dixon 和他的同事們认为，可塑性物质不能沿着篩管迅速轉移，是由于篩管的直径很小，橫的篩板数量很多而且为浓厚的胶体内容物所充滿。按照 Dixon 的观点，环状剥皮的試驗是不能令人信服的，

因为当环剥时裸露的木质部特别是它的外层导管，都被各种物质塞满，这些物质是木质部薄壁组织和髓射线细胞病理活动的产物 (Strasburger)。Dixon 假定在环状剥皮时，塞满木质部导管的物质不妨碍水分的运输，但是使可塑性物质的运输停止，此外，按照 Dixon 的意见，所有的木质部都能够完成水分的运输，而有机物质主要沿它的外层转移。整个木质部有能力运输水分解除了位于割环上面植物区段水分供应充分的原因。木质部外层在环剥时的阻塞解释了位于割环下面的植物器官可塑性物质供应的缺乏。Dixon 所指的，木本植物，特别是在春天，木质部是可塑性物质向上运输的途径之说，为大多数的生理学者所公认了。伤流液的分析表明，在其中含有碳水化合物和蛋白质 (Schroeder, 1871; Jones et al., 1903; Dixon and Atkins, 1915, 1916) 没有根据认为可塑性物质的下行流不能沿着木质部实现。

为了说明植物内可塑性物质大规模的运输，Dixon 计算为了使马铃薯块茎重量达到 210 克的，而位于其上向外茎灌输的匍匐茎，横断面的直径为 0.16 厘米，在 100 天的生长期中必须流入 50 克碳水化合物。如果采用匍匐茎的筛管作为运输的通道，即横断面为 0.0042 平方厘米，并且如果认为碳水化合物在植物体内以 10% 溶液的形式运输，那末块茎内液流运输的速度应为每小时 50 厘米。为了从旱金莲 (*Trapaeolum majus*) 叶子流出其在白天形成的同化物质的数量，其运输的速度应为每小时 140 厘米。在许多其他的测定中也发现了碳水化合物在植物体内同样的运输的速度。各种植物碳水化合物运输的平均速度已确定为在每小时由 20 到 140 厘米的范围内。按照 Dixon 的意见，筛管的结构不能允许溶液沿着它以类似的速度运输。扩散是完成得如此之慢，以致不能与实际上在植物中所存在的物质运输的速度相比。在这种见解的基础上，Dixon 假定植物内可塑性物质的运输是沿着木质部的毛细管进行的。为了证明在木质部中溶液下行流的存在，Dixon 利用了曙红染料。他在曙红溶液内切去了马铃薯叶子的尖端，而注意染料沿着植物的叶子、叶柄和茎部分布的情况。染料由叶子流到茎中作为接受者的叶子的支配而分布到上边或