

林業部林業科學研究院

研 究 報 告

1958年營林部分

**缺乏不同礦質營養元素對油松、側柏、檜
及白蠟四種樹苗生長的影响**

(形态解剖及生理研究室)

內 部 刊 物

林業部林業科學研究院

1958.10.編印

缺乏不同矿质营养元素对油松、侧柏、桧 及白蜡四种树苗生长的影响

录 目

一、引言

二、材料与方法

三、试验结果与讨论

- 1、缺乏不同矿质营养元素对桧幼苗生长的影响。
- 2、缺乏不同矿质营养元素对白蜡幼苗生长的影响。
- 3、缺乏不同矿质营养元素对油松幼苗生长的影响。
- 4、缺乏不同矿质营养元素对侧柏幼苗生长的影响。

一、引 言

自从 Liebig (1840) 强调了矿质营养对于植物营养的重要性以来, 植物生理学中矿质营养研究逐渐引起了人们的注意, 特别是在 Sacks (1860) 及 Knop (1860) 先后创立溶液培养及砂基培养的实验方法以后, 使个别元素对植物的生理作用问题能更为明确。使用这一方法对农作物施用肥料的原理得到了更多的理论根据。但就树木而言, 由于其生活年龄较长, 植株形体巨大, 在研究方法上尚不能照此方法进行, 因之我们对森林树种的矿质营养知识极为贫乏。由于研究方法的限制, 对树木矿质营养进行研究多只能自幼苗开始。在这方面, 国外已有相当数量的工作, 如美国 Mitchell (1939) 对于北美白松幼苗的培养研究, Worley 等 (1941) 对于桧、榆及黄金树, 日本 Sato 等 (1951) 对于落叶松, 及苏联 Щербаков (1951) 关于各种森林树种的矿质营养研

究。但在国内除最近有卓仁松、蔣美玉(1957)对桉树的工作外, 尙少見有类似的工作。

树木矿质营养問題在林业生产中具有相当重要的意义, 特別在苗圃施肥方面, 因为苗木的健壮与否直接影响造林的成活率和幼林的生长状况。为了給苗圃等施肥提供理論基础, 我們在北京林业科学研究所形态解剖及生理室的溫室中, 进行了有关油松、側柏、櫟及白蜡四种华北習見而常用的造林树种幼苗的矿质营养的初步研究, 試驗开始于1957年11月, 結束于1958年6月。茲將所得結果报告如下。

二 材 料 与 方 法

供本試驗用的四种种子(油松*Pinus taebulaeformis*, 側柏*Biota orientalis*, 櫟*Ailantus altissima*, 白蜡*Fraxinus chinononsis*) 1957年秋在北京采集, 系由北京林学院供給*。四种种子品質不一, 其中油松在播种后發芽率90%左右, 側柏80%左右, 櫟40%左右, 白蜡最低只有15%左右(未經层积处理, 出苗很不齐)。

本試驗系用人工培养的溶液培养与砂基培养方法进行, 共分五种处理: 缺氮, 磷, 鉀, 硫, 鈣, 并以全溶液作为对照, 同时 附以土壤栽培作为补充比較。各种处理作二个重复。櫟和白蜡二种闊叶树苗采用溶液培养, 油松和側柏两种針叶 树苗采用 砂基培养。由于在溶液培养中櫟开始生长不良, 出現黃叶現象, 又补作了砂基培养, 以作比較。

关于进行砂基培养的基本方法系参考 E, J, Hewitt (1952) 所述方法进行, 由于国内关于这方面的詳細記載尙少, 因此較詳細地介紹如下:

1. 培养用幼苗的准备: 1957年11月29日, 將种籽用0.25%的甲登消毒后, 进行一般的浸种催芽处理, 当30%左右的种籽突破种皮时(櫟和白蜡只有5—10%), 播种在盛有預先用水洗过的木屑的种子箱中、播种日期是:

油松、側柏——1957年12月6日

櫟——1957年12月15日

*笔者在此謹向北京林学院林場致以謝意。

白蜡——1957年12月19日

播种后，注意澆水，保持木屑經常处在湿润状况，直到定植时为止，出苗日期是：

油松——1957年12月16——21日

侧柏——1957年12月21——27日

栲——1957年12月27——1958年1月6日

白蜡——1958年1月4——2月4日

用木屑培养幼苗来准备人工培养研究的材料，有下列的优点：（1）可以在培育过程中控制幼苗对矿质营养物的吸收；（2）水分和空气条件适合于种籽的萌發；（3）定植时，幼苗便于掘取，其根易于洗滌。

2.砂基的准备：本試驗采用从北京公私合营石粉厂購得的粗细适中的石英砂作为砂基（顆粒直径約为0.2——0.3厘米）。先用人工拣出其中含有各种黑色杂质的砂粒然后用自来水冲洗至水不变混濁，以5% HCl浸洗一星期以上，并經常进行搅动，促进酸与杂质起作用。酸洗之后，再用自来水大加冲洗，并繼以小股自来水自动濾洗数昼夜，至靜置数小时后濾出液的PH值与所用自来水的PH相近时为止。最后把石英砂濾干备用。在使用时，將洗好的石英砂放入培养容器內，并用相当的培养液濾洗二、三遍，使其PH值与培养液原PH值相一致。每一容器約用石英砂5斤克。

3.培养液的配制：培养液系按照B、S、Meyer等（1955）所述的方法配制的。在配制过程中容易产生沈澱，因此必須注意母液加入的速度不能快，并随时搖盪，特別当加入磷酸盐和鈣盐时，更为重要，以免产生大量沉澱。所用配方如下：

鉄溶液：1升蒸餾水中加 FeCl_3 和酒石酸各5.0克。

微量元素溶液：1升蒸餾水中加：

H_3BO_3 2.5克； MoO_3 0.05克； ZnCl_2 0.10克

$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.05克； $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1.5克

1升中需加毫升数 配溶液	全溶液	-N液	-P液	-K液	-S液	-Ca液
化学药品						
KNO ₃ IM	2		2		2	2
KH ₂ PO ₄ IM	2	2			2	2
Ca(NO ₃) ₂ IM	3		3	3	3	
MgSO ₄ IM	2	2	2	2		
KCl IM		2	2			
CaCl ₂ IM		3				
NaSO ₄ IM						2
NaH ₂ PO ₄ IM				2		
NaNO ₃ IM				2		
Mg(NO ₃) ₂ IM						3
MgCl ₂ IM					2	
Fe溶液	1	1	1		1	1
微量元素液	1	1	1		1	1

4. 培养容器及装置：培养容器的选择对试验的成功与否有很大关系，我们的试验中采用了去盖的大浸液标本瓶作为培养容器，瓶高21厘米，直径为17厘米，容积约为3.8升。其四周用黑色厚油纸紧密包住，防止光线透入瓶内，以免培养液内生长藻类。容器上口用特制木盖盖上，盖备有移植幼苗和安装排水等设备用的大小适合，方位恰当的孔眼七个。在使用前，木盖经过加热石蜡的煮浸处理，以防止其吸水变形。

溶液培养的通气装置系用一个容积为25升左右的大瓶、一套连通系统和一套能伸入容器溶液中的毛细放气管所组成。通气时，密闭大瓶与外界空气的通路，然后用自来水压缩瓶内空气通过连通系统、毛细放气管，缓慢地通气于溶液中。通气的快慢由水龙头开放程度的大小和放气管伸入溶液的深浅来控制。通气时放出气泡的大小由毛细管口的大小来控制。通气完毕，把外界通路打开关闭自来水龙头，取下皮管，让瓶内水自动流乾，以备下次使用（见图1）。

在砂基培中排水与灌水装置：排水装置系将虹吸管一端插入容器的砂基中，另一

端用皮管连接于一滤出液接受瓶。接受瓶放置在一个处于较低处而且可以移动的小木架上。排水时，从接受瓶里抽气后，则砂基中的培养液自动滤出。

灌水装置分二部分。从木盖孔中插入一大小适当的漏斗作为接受器，平时用表皿盖上以防灰尘侵入。同样在滤出液接受瓶上也装上虹吸管（在瓶外的一端接上附带有螺旋夹的皮管一段），作为灌水时从接受瓶内引出培养液之用。灌水时，将接受瓶并木架移置于安置培养容器的试验台上，打开螺旋夹，让培养液自动流入接受器内因而灌入到砂基中。（参看图版工）

5. 树苗的定植：定植时，需选择合乎一定标准的植株、对油松、侧柏培养液的选择标准是：

油松——种壳仍留在子叶上，子叶伸展的程度相近似，根颈粗壮、根系完好。

侧柏——刚露出真叶，根颈粗壮，根系完好。

对栲、白蜡由于出苗不齐，供选择的幼苗不多，因此无法取一严格的标准。栲一般是植株子叶已伸开，真叶正在伸展中，但根颈长短与真叶伸展的程度不一样。白蜡差别更大，只能在定植时尽量使各处理中大小幼苗配匀。

定植日期：油松——1957年12月27日

侧柏——1958年1月4日

栲——1958年1月14日

白蜡——1958年2月16日

定植手续：每一容器中定植5株，一种处理二个重复共10株。在砂基中进行定植是相当麻烦的工作。因我们定植时，幼苗很小，所以采用先按与木盖孔眼相对应的位置把幼苗定植在砂基中，后加木盖的办法。在加上木盖时，必须十分小心地轻轻将植株的上部分从木盖孔中同时引出到外面来。然后用少量干净的棉花包裹植株的幼嫩部分以固附于木盖上，可以防止植株受伤害和灰尘落入砂基中。最后随即灌入培养液，并多次震动容器使里边的砂基密接于定植幼苗的根部。

6. 日常管理与观察：对溶液培养。每两个星期（植株长大后，改为10天）换一次培养液，每个星期用0.2N NaOH; 0.2N HCl（后改用0.2N H_2SO_4 , NaOH, 与0.2N HNO_3 , 0.4N NH_4OH 。）调整培养液的PH值2——3次，使PH保持在6.5——7.0。每天通气一次。发现植株叶色变黄后，在调整PH值时，还加入少量（约0.3毫升）的铁

溶液。每10天观察植株生长情况一次，测量根和茎的长度、记载叶片的数目。

对砂基培养：每隔二个星期（后改为一星期）换一次培养液。同样用上述方法调整培养液PH值保持在5.7—6.2。每隔一天用循环法将培养液灌入和滤出一次。每星期观察生长情况一次。

另外进行温室的一般管理工作，记载室内温度和湿度。其情况如下：

1958年1月3月，气温平均最高约为 23°C ，最低为 14°C ，平均约为 19°C 。

1958年4月——5月，气温平均最高约为 27°C 。最低约为 20°C ，平均约为 24°C 。

1958年6月，气温平均最高约为 34°C 最低约为 25°C ，平均约为 30°C 。

在整个试验期间，湿度平均约为60—80%。

三、試驗結果与討論

1. 缺乏不同矿质营养元素对榕生长的影响

对于榕的观察是从1958年1月14日定植后开始，水培10天后，发现在缺Ca溶液中的幼苗约有70%的植株子叶凋萎，因此不得不重新补植，但此后仍有死亡，虽继续补植，仍不能保持成活。在14天后，开始发现各种处理的幼苗，部分叶子普遍产生变黄现象，后来逐渐加剧，但各处理间变黄程度和株数多少不相同。因认为这可能是由于铁的供给不足，遂采用增加供给酒石酸铁的办法来予以补救，每周向营养液增加2—3次，每次数滴（约0.3毫升）。在30天后看出各处理间的不同反应，其中以缺P的转绿最快，而缺K的最迟，其他各处理则居于中间，都陆续转绿，恢复正常。

榕对不同矿质元素的需要首先可以由其外部形态的病征上看出。对于缺乏不同元素的形态改变列在下表中（参看图版II—VII）

处 理	根	茎	叶
全	粗短, 长支根数目与—S,—K相同, 短支根数最多。	粗大, 高度高于其他各种处理。	叶片肥大, 数目最多, 呈鲜绿色。
—N	细长, 支根最少。	最矮小。	叶片特别狭窄, 数目最少, 呈黄绿色, 大多数植株老叶黄落。
—P	细长, 长支根最多。	高度和粗细仅较—N为好。	叶片较—N稍大, 数目也多于一N, 呈暗绿色, 幼叶特别厉害。大多数植株老叶都有干落。
—K	最短, 但长的支根数与全及—S相同。	高度仅次于对照, 而粗细次于对照和—S。	叶片大于一N,—P的, 数目与—S相同, 大多数植株老叶始终有大部分呈黄色或黄白色, 并最后从尖端开始枯萎。
—S	根最长, 但较全溶液细, 长支根数目与全相同, 但短支根数目少得多。	高度次于对照与—K, 粗细仅次于对照。	叶片大小与对照相近, 数目也与对照相同, 呈鲜绿色, 植株的老叶很少脱落。只有少数叶尖干枯, 少数叶边缘干萎呈白色。
—Ca	曾先后补植3次, 始终不能生长, 最后只剩下二株未死, 死亡的过程是: 首先子叶变干萎, 然后从下往上, 叶一層層干落, 最后生长顶端也干死, 有些死亡的植株根茎部发紫或腐烂。		
土壤	根长于所有的溶液培养处理, 但长支根数与—N差不多。	茎仅高于一N。	叶片小于全溶液, 数目仅多于一N, 但颜色, 深绿。

缺乏不同矿质元素的影响除在形态上发生变异外, 在茎和根的生长方面也可以看出一定的差异。生长情况调查结果如表(1)。

表(1) (栲) 溶液培养生长情况 (10株平均)

日期 处理项目	58, 1,14	58,1,24,			58,2,3			58,2,13			58,2,23			58,3,5			58,3,15			58,3,25		
	根长	根长	茎长	根长	茎长	叶长	根长	茎长	叶长	根长	茎长	叶长	根长	茎长	叶长	根长	茎长	叶长	根长	茎长	叶长	
全	6.2	6.2	0.34	6.5	1.13	4.0	8.3	1.66	4.5	13.0	2.1	6.0	15.6	2.33	7.5	17.2	2.54	8.0	20.2	2.64	8.5	
-N	5.6	5.6	0.24	8.2	0.68	3.0	14.2	0.82	3.0	19.6	0.89	4.0	20.9	0.88	4.0	23.1	0.90	4.0	23.6	0.93	4.0	
-P	5.0	5.1	0.27	6.7	1.08	4.0	13.0	1.40	4.5	18.0	1.61	5.0	21.1	1.60	5.0	20.8	1.61	5.5	22.2	1.62	5.5	
-K	5.2	5.3	0.26	6.4	0.87	3.5	8.9	1.46	4.0	12.2	1.72	5.5	15.0	1.98	6.5	17.5	2.23	7.5	17.7	2.34	8.0	
-S	5.3	5.5	0.25	7.2	1.04	3.5	10.1	1.44	4.5	12.7	1.63	5.5	17.6	1.86	7.0	23.2	1.95	8.0	25.5	2.19	8.0	
-Ga	多次重新补植, 无法计算生长情况																					

(表内长度单位为厘米, 叶数是指叶片的个数)

不同处理中茎的生长情况可由图(2)的曲线看出,图中纵坐标代表增长量(厘米),横坐标代表培养的天数。曲线表明:在全溶液中茎的生长最快,其他处理的生长快慢依次为—K、—S、—P、—N。但在—K中的茎增长于前26天比—P的慢,前30天比—S的慢。在—Ca处理中,因幼苗很快死亡,根本没有增长。图(3)的曲线表示根的生长情况。从图上可以看出,根的长度增长,不同于茎的生长,在前40天,以—K和—P的最快,以后才逐渐缓慢下来。而—S的在40天以后增长变为最快,—K的在前60天虽较全溶液的快,但以后却增长很少。全溶液的根增长虽不很快,但始终很平稳地增长,尤其在最后10天内显示出它的速度来,与—S的相差不多。

由于茎及根的长度测定只是以最长的部分为标准,所以不能完全代表其生长的真实情况,为此,在每一处理中又选择生长最好的五株,测定其全株及地上、地下两部分的鲜重和干重加以比较,其结果见表(2)

表(2) 椰各部分鲜重,干重比较(5株总重)

处 理	全 株		地 上		地 下		地上/地下%	
	鲜 重 (克)	干 重 (克)	鲜 重	干 重	鲜 重	干 重	鲜 重	干 重
全	8.45	1.450	3.90	0.814	4.55	0.636	86	128
—N	1.16	0.202	0.42	0.087	0.75	0.115	56	76
—P	1.66	0.348	0.47	0.129	1.20	0.219	40	59
—K	3.20	0.498	1.90	0.352	1.30	0.146	150	241
—S	5.53	0.951	3.06	0.585	2.48	0.366	123	160
—Ca	0.48	0.048	0.11	0.032	0.38	0.016	30	200
土	4.71	0.916	2.66	0.548	2.15	0.368	124	149

从表(2)可以看出:全株的干重或鲜重,以全溶液的为最重,其后顺次—S,—K,—P,—N,—Ca逐一减轻。地上部分的干重或鲜重的差别趋势与全株的差别趋势完全相同。地下部分干重量减轻的顺序是全,—S,—P,—N,—K,—Ca。鲜重方面只有一P,—K两种处理特殊,—K的重于一P的,这可能是由—K的根组织含水量较高的原因。虽然如前述—N和—P的根从长度增长来看是最快的,可是从其干重或鲜重来看都是比全溶液和缺S的少得多,尤其是一N的仅重于一Ca的。这说明—N,—P只是促进根向纵的方向伸长,而且在试验末期,这种现象消失,根几乎停止伸长。

地上地下的比值是以-N, -P处理的最小, -K, --Ca的最大, 而全溶液、土壤, -S的适中。各种植物的地上与地下部分经常保持一定的协调关系, 生长才最有利。全溶液、土壤及-S处理中的植株良好, 它们的地上/地下的比值相差不大, 也就是地上与地下部分的关系协调。缺N, P, K, Ca等营养元素都破坏了这种关系, 因此不利于生长。

从以上几方面的观察和测定结果可以得出下列几点:

1. 桧对缺Ca最敏感, 缺钙极端严重影响它的生长, 以致很快死亡。
2. 桧对缺S最不敏感, 很少影响其生长。
3. 缺N缺P严重抑制桧地上部分的生长, 影响合成作用的进行, 也就影响干物质的积累。对根的纵向增长有一定的促进作用, 但从干重增加来看仍大大低于全溶液或缺硫的处理。
4. 缺K严重抑制桧地下部分的生长, 破坏了地上、地下两部分的协调关系, 也就不利于整个植株的生长。

另外从以砂基培养方法作为比较的试验中也得相似的结果。特别在外部形态上的病征表现得明显(参看图版Ⅲ—Ⅶ), 尤以缺K缺Ca两种处理病态严重。在缺K处理中, 植株高度虽仅次于对照, 但在培养60天后, 所有植株的中部叶片都先后出现黄色斑点, 这些斑点逐渐向四周扩大, 其中心成为白色的圆斑核, 最后使整个叶片干枯而脱落。在缺Ca处理中, 植株高度次于全溶液和缺K处理, 培养50天后, 半数植株的中部叶片开始出现黄色斑点, 其中一株的幼叶从边缘起变干黑, 此后这种现象逐渐出现在其他植株上。

在叶上发生黄斑的情况: 大多数都从侧生小叶开始, 然后扩展到顶生小叶, 黄斑也逐渐扩大成白色块斑, 最后自行穿破而形成一个个洞眼。幼叶变焦黑是从叶尖逐渐扩展到叶柄, 最后整个焦黑的叶片脱落掉, 除上述叶的病征外, 各株茎的顶端也在幼叶干焦之后, 先后变成黑色而干死。顶芽干死之后, 侧芽尚能生长出来, 但不久也逐渐与顶芽同样地干死。

如比较两种不同培养方法的缺S处理的影响时, 可以看出在砂基培养中, 缺S处理的幼苗生长与全溶液相比则显著减低, 但在溶液培养中, 缺S处理的幼苗生长减低并不如前者显著。存在此种差异的原因不太明了, 推想可能是在进行砂基培养幼苗定植时, 由于操作的偶然不慎把已定植好的幼苗从砂基中拔出了一次, 可能伤及根部, 因而对幼苗生长产生不良影响。

2、缺乏不同矿质营养元素对白蜡幼苗生长的影响

白蜡幼苗于二月十六日移植到培养液中，四天后发现各种处理的幼苗伸展的新叶都有变黄现象其中以全溶液变黄程度最严重，其次是一P的，其它处理变黄现象较轻，一Ca仅在开始几天有几株幼苗呈淡黄色，以后自幼叶开始到老叶渐萎蔫干枯保持暗绿色，在生长过程中各种处理的幼苗缺绿现象渐有改善，其中仍以全溶液的缺绿现象较重，虽补加铁溶液也没有恢复，这可能是由于培养液的PH不适于幼苗生长而引起的缺绿症^①。经过六个月的培养以一S的生长最高大，一Ca的最小，全溶液中的生长高度与一N，一K相近，实验结果与其它四种幼苗不同处理的生长情况有差别，外部形态的改变及病征，分述如下：

缺乏不同矿质元素对白蜡幼苗外部形态的影响

处 理	根	茎	
全	根黄白色，长度，比一N—K—S的短。	茎较—S矮，呈深绿色。	幼叶变成黄绿色与黄白色，幼叶有些没有伸展开即停止增大或变萎蔫少数幼叶呈紫红色，老叶呈不新鲜绿色，叶片小数量较多。
—N	根黄白色，根长但较细。	茎矮小，一月后茎全部由红变紫色，紫红色。	幼叶呈浅黄色，老叶绿色，叶片小。
—P	根黄白色，最长重量仅次于—S。	茎一月后变成紫红色。	幼叶黄绿色，老叶暗绿色，叶片少后期叶片增加很少。
—K	根黄白色，根之长度重量仅多于—Ca。	茎绿色。	幼叶多呈黄色或白色，只有叶脉呈绿色，幼叶尖端有的变枯黄，叶片少。
—S	根黄白色，侧根发达，根长度重量最高。	株高大，茎全呈绿色。	初期几株幼叶变成黄色，未伸展之幼叶呈绿色，十天后转成鲜绿色，叶片犬層次多无病态。
—Ca	根褐色短小。	茎二月后变成紫色或棕色，叶同时变干。	初期叶略带黄色，叶脉更浅，十天后果叶先干，幼叶与老叶相繼变干，有的叶尖与边缘枯黄，呈灰绿色，三十天后开始死亡，幼叶无缺绿现象，干后叶灰绿色。
土壤	根与—S生长相似。	茎之生长较溶液培养高。	茎叶绿色，叶没有缺绿现象。

① 見作者的“楊樹、檉及白蜡幼苗在不同PH培养溶液中的反应”一文。

表(3) 白腊溶液培养生长情况10株平均

日期 项目 处理	58.2.16.			2.26.			3.8.			3.18.			3.28.			4.10.		
	根长	茎长	叶数	根长	茎长	叶数	根长	茎长	叶数	根长	茎长	叶数	根长	茎长	叶数	根长	茎长	叶数
全	7.6	2.58	1.5	9.2	3.12	2.0	11.5	3.26	2.5	14.3	3.57	3.5	16.4	3.71	3.5	18.8	3.81	4.0
-N	9.1	2.60	1.5	12.4	3.12	2.0	17.8	3.35	2.0	18.4	3.36	2.5	19.6	3.53	2.5	20.1	3.51	2.5
-P	7.3	2.06	1.5	11.6	3.02	2.0	15.5	3.62	3.0	18.8	3.75	3.0	20.5	3.76	3.0	24.0	3.77	3.0
-K	8.1	2.25	1.5	10.4	2.90	2.0	10.8	3.23	2.5	10.5	3.4	3.0	12.8	3.48	3.0	13.1	3.48	3.0
-S	8.8	2.19	1.5	11.1	3.04	2.0	16.2	4.05	3.5	18.2	5.09	4.5	21.5	5.29	5.0	23.2	5.28	5.0
-Ca	9.1	2.17	1.5	8.9	2.60	2.0	8.3	2.66	2.0	7.4	2.35	2.0	—	—	—	—	—	—

(表内单位为厘米, 叶数是指叶片的对数)

不同处理中茎的生长由表(3)及图(4)曲线可以看出, 图中纵坐标代表增长量横坐标代表天数, 曲线表示—S 溶液中茎的生长最快, 植株比全溶液增高38%, 其它处理, 依次为—P, 全, —K—N—Ca, 而—Ca 幼苗生长缓慢增长很少, 经一个月培养相继死亡, 所以生长曲线不能明显表示出来。

图(5)曲线表示根的生长情况, 由图可以看出根的长度增长与茎的增长有些区别其中以—P的处理根最长, 其次是—S, 全, —N, —K处理的根增长少而—Ca 的根没有生长因腐烂根不断的折断, 培养一个月后, 根比原长反减少了。在全溶液中的根始终平稳增长, —N处理的在一月前增长比全溶液增长快以后生慢减慢了。

由表(3)中可看出叶的生长速度与最后数月比较以—S 最好其次全, —P, —K, —N, —Ca 没有新形成的叶子。

由于根茎生长的长度可能与生长的总量不完全一致, 地上与地下部生长的比较有差别, 因之选择五株生长最高的, 测其鲜重与干重加以比较:

表(4) 白蜡各部分鮮重与干重的比較(5株总重)

处 理	全株重(克)		地上部分重(克)		地下部分重(克)		地上/地下%	
	鮮	干	鮮	干	鮮	干	鮮	干
土	4.70	1.125	3.07	0.761	1.63	0.361	188	209
全	2.80	0.748	1.81	0.503	0.99	0.245	183	205
-N	1.61	0.550	0.83	0.329	0.78	0.231	107	142
-P	2.12	0.650	1.39	0.409	0.73	0.249	190	164
-K	1.78	0.580	1.23	0.407	0.55	0.173	224	235
-S	4.30	1.130	3.00	0.795	1.30	0.335	231	237
-Ca	0.66	0.245	0.28	0.176	0.38	0.069	74	255

由表(4)可以看出全株鮮重,干重,趋势相同其中以-S最重,其次是全,--P,--K,--N,--Ca,处理。地上部分重量与全株趋势一致,地下部分以-S最重,其次-P-N-K-Ca,其中-K根重量显著减少,而根的长度增长也最少。

以地上及地下部分比較指出全溶液与土壤相近似,--Ca-S,--K处理较高,--N--P較低,說明缺乏不同矿质元素破坏地上地下协调的情况是不同的,其中-K与-S比值相近,全株的生长与全溶液的比較-K明显受到抑制,地下部分更严重,--S全株生长比全溶液的好,但以地上地下比值看,根部的生长也受到影响,根据以上观察与测定結果得到以下几点看法:

1.缺S植株高度,叶量颜色及根系的生长最好而全溶液的次之,可能因在全溶液中幼叶發生缺綠病妨碍生长,而在-S时何以能避免缺綠的原因还不清楚,若与櫟,油松,側柏在-S处理的生长情况相比,都对-S的反应不灵敏能正常生长,这說明可能-S对树木幼苗的生长影响不大。

2.缺Ca几天后茎叶变干,十天后叶萎焉脫落,茎成紅棕色根随之腐烂成褐色,不能生长。

3.白蜡幼苗普遍有缺綠現象,缺乏不同营养元素的病态显著,除-Ca以-N,--K株矮,--N根系最长,以地上/地下%分析-N抑制地上較地下严重。--K相反。--P植高,根系长。

4.生长总的趋势参閱图版(IX)

以-S最好其次全溶液再其次-P,--K,--N,--Ca。

3、缺乏不同矿质元素对油松生长的影响

在175天的培养过程中，油松的生长可以分为二个阶段，从1957年12月27日——1957年4月20日左右，植株的生活力强，生长较迅速，称为第一生长阶段，此后直到5月中旬左右，植株的茎和叶基本上没有什么增长，从5月中旬以后至6月20日结束，植株换出新叶，茎有迅速的生长，称为第二生长阶段。各种处理并不都这样一致，存在着先后的不同。在培养56天后，开始可以看出各处理之间的区别，以后区别越来越显著。缺乏不同矿质元素，在外部形态上的反应变化列于下表中（参看图版X，XI）

阶段 处理	第一阶段		第二阶段		
	茎	叶	根	茎	叶
全	是各处理中最高的。	针叶最长，呈鲜绿色。	粗大，但不长，支根发达，根上部呈黑褐色下部呈黄褐色。	大多数植株的茎增长很多，比其他处理高。	生长停止期呈暗绿色，从叶腋换出的新叶鲜绿，老叶尖发黄。针叶长度次于-S-Ca处理。
-N	为各处理中的最矮小者。	针叶最短，呈黄绿色，老叶尖有些变黄。	根系发达，与全溶液相似，但较细小，大部呈黑褐色。	部分植株进行生长，因而比-K高。	针叶短，呈黄绿色，少数植株换出新叶，老叶尖干黄。
-P	茎高次于全，-S，-Ca。	针叶呈暗绿色基部发紫，老叶尖变黄，长度大于-N-K。	根发达，粗大而分枝多，且是各处理中之最长者，根的大部分呈黄褐色。	只有少数植株的茎增长，仍次于-S-Ca。	只有少数新叶换出，针叶短，仍呈暗绿色，基部发绿，老叶尖黄。
-K	比-N高。	3月20日起，老叶尖变黄的越来越多，幼叶微绿色以致可以明显地与其他处理区别开来。	粗大，但不发达，根的大部分呈黑褐色。	没有增长是诸处理中之最矮者，一株干死，一株濒于死亡。	针叶大部分上部焦干，基部发紫，极少数植株换出新叶，针叶长短与-N相同。
-S	高度次于全溶液。	针叶长度仅次于全溶液，鲜绿。	根系发达，粗大分枝多，但并不长，根的少部分呈黑褐色，大部分呈黄褐色。	大部分植株都增长，高度仅次于全溶液。	新长出的幼叶比全溶液长，叶鲜绿，老叶尖发黄，其余部分呈暗绿色。
-Ca	开始生长次于-P，后来逐渐高于-P，后期，有几株茎顶端也分泌树脂。	3月27日起，绝大部分针叶都分泌黏性大的树脂成珠状，之后，该分泌部分有的变黄，变褐，并逐渐变干。	根发育中等，粗短，绝大部分呈黑褐色。	半数植株的茎增长，但次于全及-S。	所有植株都换出新针叶，叶鲜绿而且特别长，但有些新叶的尖端部分干黄。
土壤	生长很慢。	有一段时期，幼叶特别发黄。	特别细长，分枝不很多，呈黑褐色。	增长够快，次于全溶液。	叶鲜绿，有一部分植株换出新叶。

最后的生长情况调查结果如表 (5)

表 (5) 砂基培养油松生长情况 (10株平均)
(6月20日)

处 理	莖长 (厘米)	根长 (厘米)	针长 (厘米)
全	5.5	24.8	7.3
-N	1.85	24.0	3.9
-P	2.5	26.7	4.9
-K	1.1	24.1	3.9
-S	3.4	23.6	8.1
-Ca	2.9	19.4	8.4
土壤	5.4	37.5	5.1

缺乏不同矿质元素的反应, 也可以从植株的全株、地上、地下部分的重量比较上看出差异来。见表(6)

表 (6) 油松各部分的重量比较 (5株总重)

重 量 目 处 理	全 株		地 上		地 下		地上/地下%	
	鲜 重	干 重	鲜 重	干 重	鲜 重	干 重	鲜 重	干 重
全	17.10	3.484	10.0	2.410	7.10	1.074	141	224
-N	7.60	1.486	2.35	0.729	5.25	0.757	44.8	96
-P	12.95	2.504	4.15	1.305	7.80	1.199	53.2	109
-K	5.05	1.314	2.45	0.818	3.10	0.496	79.0	165
-S	17.25	3.581	10.40	2.534	6.85	1.049	152	242
-Ca	13.45	2.896	8.55	2.042	4.90	0.854	174	239
土	7.10	1.643	3.90	1.083	3.20	0.560	122	193

(表内重量单位为克)

从表 (6) 中可以看出: 全株的干重或鲜重, 全溶液与-S处理相近, 比其他各种处理重得多, 其次是-Ca, -P, -N, -K顺次重量递减。地上部分的干重或鲜重是全溶液和-S处理的最重, 其次是-Ca, -P, -K, -N, 顺次重量递减。地下部分的干重鲜重是-P处理的最重, 其次是全溶液和-S处理, -Ca, -N, -K顺次重量递减。

地上地下的比值则是: -N和-P处理的最小, 而全溶液, -S、-Ca的相差不多且居其他处理之上, -K处理居于中间。与樟的情况不同, 油松生长良好的植株, 其地上

地下比值比其他生长不良的反而大得多。—N, —P, —K 降低了地上、地下两部分的比值, 是由于不同程度地破坏了植物本身特性所要求的这种协调关系。

根据上述几方面观察与测定的结果, 可以得出:

1. 缺S, 对油松幼苗的生长没有什么不良影响, 似乎还表现些微的刺激作用。
2. 缺Ca, 对油松幼苗叶生长有些不良影响, 但对地上地下比值影响很小, 未见有其他恶劣作用。油松幼苗对缺Ca的忍耐性比桧、白蜡、侧柏大得多。
3. 缺N和缺P严重抑制油松幼苗地上部分的生长, 破坏了地上与地下部分的生理协调关系。
4. 缺K对油松地下部分有严重的抑制作用, 对地上部分的生长也有一定的不良作用, 因此缺K处理中的油松幼苗是各种处理中生长最不良者。

4、缺乏不同矿质营养元素对侧柏幼苗生长的影响

经过六个月砂基培养, 侧柏植株的高度分枝的大小有显著的差别, 每种处理十株反应应一致可参阅图版(XII)缺乏不同营养元素在侧柏幼苗外部形态的反应如下表:

处 理	根	茎	叶
全	根呈褐色, 侧根数量多又粗壮。	茎最高, 分枝最多最长, 四个月生出二级分枝分化最早,。	叶鲜绿色, 五个月后下端老叶与子叶尖端变黄色。
—N	根最长, 但侧根少又纤细。	茎矮小五个月生出二级分枝, 分枝均短小。	经三个月时全变成黄绿色, 子叶四月后变黄脱落。
—P	根之长度次于—N, 根系比地上部分发达。	茎之分化慢, 五月末生出二级分枝, 只有—P六个月没有生三级分枝。	叶经过二至三个月全变成暗绿色, 子叶四个月变黄脱落。
—K	地上部分较根系发达。	分枝较早, 四月有二级分枝。	老叶尖端先变黄从茎部向上逐渐发展, 叶子尖端都变成黄色, 是特有病态。
—S	侧根数量多又粗壮仅次于全。	四月生出二级分枝, 枝的数量长度仅次于全, 茎高仅次于全。	叶鲜绿色, 四个月后子叶尖端变黄与全相似。
—Ca	根由褐色变成深褐色, 很少生新根, 三个月后开始死亡。	枝分化早, 四个月分化出二级分枝, 但分枝短发展慢。	叶绿色渐暗发干, 渐成棕色, 叶干枯, 有些有叶脱落, 叶片少。
土壤	根系不如全, —S发达。	茎之高度与—S相似。	叶之绿色与全—S相似。

在缺乏不同矿质元素处理下侧柏的生长情况总结在以下表中:

表(7) 砂基培养侧柏幼苗生长情况

处 理	茎 长 (厘米)	根 长 (厘米)	主茎叶的层次	分 枝 数		
				一 級	二 級	三 級
土	6.6	29.2	17.5	10.5	26.1	20.0
全	7.5	30.5	20.9	19.7	71.9	82.9
-N	2.4	35.3	12.0	3.4	6.4	2.0
-P	1.7	32.0	8.6	3.9	3.3	0.0
-K	3.2	27.9	13.8	7.4	18.7	1.1
-S	5.1	29.6	15.4	12.8	41.0	33.0
-Ca	2.4	14.8	9.5	9.5	2	0.5

从表(7)可以看出,茎之长度以全溶液的最高依次-S, -K, -N, -P, -Ca。根之长度以-N最长依次-P, 全, -S, -K, -Ca, 但-N, -P之根细又长, 远不如全, -S量多, 主茎的分枝以全溶液的最多, 其次是-S与-K, -N, -P分枝少株矮小, -P没有第三级分枝形成。

缺乏不同矿质元素对幼苗鲜重及干重的影响, 也可明显的看出生长受抑制的情况, 见表(8)

表(8) 缺乏不同矿质元素侧柏幼苗干重鲜重的比较:

处 理	全株重(克)		地上部分重(克)		地下部分重(克)		地上/地下%	
	鲜	干	鲜	干	鲜	干	鲜	干
土	4.9	1.488	3.9	1.252	1.0	0.236	390	531
全	8.5	2.281	6.7	1.883	1.8	0.398	372	479
-N	1.5	0.471	1.0	0.303	0.5	0.168	200	180
-P	2.2	0.551	1.1	0.289	1.1	0.262	100	110
-K	2.8	0.805	2.0	0.608	0.8	0.197	250	309
-S	5.7	1.566	4.4	1.250	1.3	0.316	338	396
-Ca	0.93	0.309	0.6	0.238	0.3	0.071	200	335

从表(8)看出全株之鲜重及干以全溶液的最高, 其次是-S的, 再其次是-K,