

苗 圃 施 肥

南京林产工业学院土壤教研組編

前 言

种苗是植树造林的物质基础，也是保证造林质量的重要一环。要高速度地发展造林事业，种苗必须先行。没有充裕的良种壮苗，造林就是一句空话。为了提供大量健壮的苗木，在林木苗圃生产中必须重视合理施肥这一重要的技术措施。许多苗圃施肥的经验证明，合理施肥的苗木生长健壮，定植成活率较高。这是因为，合理施肥既能提高合格苗的产量，又能改善苗木抗性。如果施肥不合理，肥料三要素氮、磷、钾的比例失调（特别是氮素过多）也会对苗木品质和造林成活率产生不良影响。另一方面，在苗圃施肥中也常常会遇到施肥无效甚至出现苗木灼伤或发病等有害情况。因此，了解肥料的有关基本知识，掌握施肥技术，积累施肥经验，对搞好苗圃工作是很必要的。

我国劳动人民在长期的生产实践中，在施肥技术方面积累了丰富的经验。为了交流苗圃施肥的经验，介绍施肥技术知识，我们以各地场圃的生产经验和自己的苗圃施肥试验资料为基础，并吸取各地林业院校和科研单位的研究成果，以及适当参考国外有关文献编写了这本《苗圃施肥》。

本书阐述了苗圃施肥的基本理论，同时以一定篇幅分析介绍了苗圃常用肥料的种类、性质、使用技术和合理施肥的

试验研究方法，供从事苗圃生产技术工作人员参考。

本书是由我组罗汝英同志执笔编写的。书中所引用资料，除已注明引用单位者外，均为本组资料。由于我们水平不高，科研工作做得不够，这本小册子还会有相当局限性，错误之处请读者批评指正。

编 者

一九七七年十二月

目 录

一、矿质营养元素的作用和苗木缺肥症状诊断.....	1
(一) 主要矿质营养元素的作用	2
(二) 苗木缺肥症状诊断	7
二、苗木对矿质营养元素的需要	10
(一) 苗木对肥料的反应	10
(二) 苗木的需肥量和施肥量	13
(三) 苗圃施肥比例	16
三、苗圃常用肥料的种类及其性质	19
(一) 矿质氮肥、人粪尿和饼肥	19
(二) 矿质磷肥	30
(三) 矿质钾肥和草木灰	33
(四) 微量元素肥料	34
(五) 厩肥和堆肥	36
(六) 泥炭和森林腐植质	39
(七) 绿肥	42
四、苗圃施肥原则和技术	46
(一) 合理施肥的原则	46
(二) 苗圃施肥方法	49
(三) 苗木施肥时期	57
(四) 容器育苗的施肥方法	64
五、土壤与施肥的关系	67

(一) 苗圃土壤养分状况	67
(二) 土壤质地与施肥的关系	71
(三) 土壤pH值与施肥的关系	73
(四) 土壤结构性与施肥的关系	79
六、耕作管理与施肥的关系	82
(一) 耕作、灌溉与施肥的关系	82
(二) 化学农药与施肥的关系	85
(三) 前作与施肥的关系	87
七、施肥对苗木产量及品质的影响	90
(一) 群体结构和合格苗产量	90
(二) 生长量指标	94
(三) 生理指标	96
(四) 造林成活率	100
八、苗圃施肥试验研究方法	102
(一) 田间试验设计的原则	102
(二) 试验方案	104
(三) 试验地的布置	106
(四) 试验的观察记载和结果统计分析	108
(五) 正交设计的应用	115
附录 统计用表	
表 1 t 分布表	121
表 2 $P0.05$ 的F值	121
表 3 $P0.01$ 的F值	122

一、矿质营养元素的作用 和苗木缺肥症状诊断

苗木同其他高等植物一样，在它们的生命活动中需要碳、氢、氧、氮、硫、磷、钾、钙、镁、铁等元素。这些元素在自然界的含量都相对较多，而且除铁以外，植物的需要量也相对较大，因而称为大量元素。此外，还有一些在土壤中含量少，但以微量对植物生活起作用的元素，如锰、锌、铜、钴、钼、硼等，称为微量元素。铁在土壤中是大量存在的，但在植物体内的含量一般不超过万分之几，所以从植物生理学的角度来看，也应归入微量元素之列。在上述元素中，碳来源于空气中的二氧化碳，氧来源于空气和水中的氧气或氧原子，氢来源于水中的氢原子，除此以外，其他元素都是植物从土壤中吸收，并且绝大部分是以无机离子状态进入植物根内的，所以称为矿质营养元素。

上述各种矿质营养元素中对植物的生长发育影响最大的是氮（N）、磷（P）、钾（K），通常称之为肥料三要素。而钙（Ca）、铁（Fe）在苗木生长过程中也有较重要的作用，应予以重视。

(一) 主要矿质营养元素的作用

氮的作用 氮素是苗木体内化学成分中含量较多的元素，在苗木营养生理上具有很重要的作用（表1）。氮是原生质的重要原料，也是酶的重要组成部分。氮的相对增加可以使叶面积相应地加大，在一定范围内有利于进行光合作用，从而加速植物生长。原中国林业科学院曾对油松、侧柏、白蜡、臭椿树苗的缺素培养试验证明，缺氮对苗木生长的抑制作用最大。但是，氮素过多就会使叶部细胞壁变薄，叶嫩而多水，含钙量减少，因而易受病、虫、旱、寒之害。同时氮素过多还可能延缓苗木的木质化过程和推迟休眠期，并且不利于苗木贮藏养料。土壤中如果缺氮，对苗木生长的影响最大。苗木常因此而矮小纤弱，过早木质化。

表1 树木充分生长时成熟叶的含氮水平

树 种	N %	树 种	N %
椴 木	2.32	紫 树	1.83
白 栎	2.22	糖 槭	1.75
鹅 掌 楸	2.15	落 叶 松	2.80
白 蜡	2.01	赤 松	1.75
水 青 冈	1.95	云 杉	1.55

注：综合国外资料。

氮是以铵态 (NH_4^+) 和硝态 (NO_3^-) 通过根部进入苗木体内的。苗木不能直接利用空气中的氮气和大多数有机状

态的化合物，但一些能形成根瘤的苗木（如豆科的一些苗木），可以通过根瘤菌的固氮作用利用大气氮。叶面喷洒尿素时苗木的叶子也能吸收少量酰胺状态的氮 $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 。

磷的作用 磷在苗木体内的含量比氮少，它是细胞核的组成成分，在生命过程中起着重要作用，特别是在细胞分裂和分生组织发展过程中更为重要。它也是很多酶的组成部分，参与碳水化合物的转化和呼吸作用。因此，缺磷会抑制芽的分化，影响植株生长，对苗木生长的不利影响仅次于缺氮。磷能促进苗木根系（尤其是主根）的发展，并且对苗木的抗寒性和抗旱性有良好影响。苗木缺磷时的生态表现不象缺氮那么显著，通常表现为根系不发达，小根粗，呈黄棕色。严重缺磷时苗木侧芽退化，枝梢短，叶子为古铜色或紫红色，叶子与枝条的角度小，植株下部叶子易枯萎脱落，生长受抑制，成熟延迟。因为苗木对缺磷的生态反应比较慢，如果当开始表现缺磷症状时才施磷肥，就为时太晚，总要受到一些损害。由于磷素在增强根系的同时也能增加总叶面积（主要是增加叶子的数目），所以，单用磷肥并不显著改变苗木的冠/根比（即苗木地上部分与根部的重量比）。

磷主要是以正磷酸根离子状态（ H_2PO_4^- 为主）进入苗木根的，近年的研究表明，偏磷酸根离子（ PO_3^- ）也能被根吸收。有机化合物中，如磷酸脂、卵磷脂、腐植酸等也能被植物利用一些，但不是主要的磷源。从磷在植物各个器官中分布的状况来看，磷是氮的同伴，在繁殖器官和分生组织中含量最高。因此可以推测树木体内氮和磷含量之间有着某种固定的比例关系。例如，国外有人报道，生长良好的落叶松，

针叶中N/P比为12.6, 锡特加云杉 (*Picea sitchensis*) 为10左右。他们还指出, 落叶松针叶中P最适浓度为0.4%, 锡特加云杉为0.13% (Leyton)。原中国林业科学院曾对板栗、油松、钻天杨苗所做 P^{32} 示踪试验证明, 缺氮会严重影响苗木对磷的吸收, 缺钾也降低对磷的吸收。此外, 植物具有贮藏大量无机磷酸盐的能力, 这些磷素可供再利用。这一点对于育苗来说是重要的。

钾的作用 钾也是苗木体内含量较多的元素 (表2), 它主要以离子状态 (K^+) 进入苗木体内, 它参与部分代谢过程和起调节作用。它能促进苗木对氮的吸收, 促进茎干木质化, 使茎干粗壮坚韧, 增强植株的抗病、抗虫和抗机械损伤的能力。缺钾时苗木生长细弱, 根系生长受到抑制, 叶柔软, 早衰, 呈古铜色或叶尖呈亮黄色, 叶尖和叶缘先死亡。钾能平衡氮的作用, 若氮多钾少, 则叶大而光合作用能力弱, 叶内氮的浓度远较碳水化合物为大, 苗木就易受病虫害。适量的钾有助于加强光合作用, 并在生长季节末期促使淀粉转化为糖, 有助于植株抗寒。

表2 叶中钾含量的临界值

树 种	临 界 值 (K%)
黑 樱 桃	0.8
桦 木	1.0
红 花 桤	0.6
白 松	0.4

注: 国外资料, 叶中含量低于此值即出现缺钾症状。

钾在植物体内氨基酸的合成过程中有重要作用，因此钾可以促进苗木对氮的吸收。通常苗木体内N/K比有一定的平衡关系。例如，落叶松针叶中N/K的最适比率为2.4，锡特加云杉为1.4。钾与磷之间也有一定的平衡关系，例如，落叶松针叶中K/P的最适比例是5.4。

钙的作用 钙一方面作为营养元素直接影响树木生长，另一方面又与土壤反应及其他土壤特性有关，从而间接影响树木生长。钙对苗木茎干生长的作用也很显著。同时，钙又是影响土壤微生物活动和促进森林腐植质转化的重要因素之一。缺钙使苗木根系发育不良，针叶常形成黄尖或起棕斑；同时，缺钙使其他一些物质在叶部聚积，因而降低植株的活力。钙过量时有些树种的苗木就生长不正常，甚至不能生长。通常根据树种与土壤中碳酸钙含量的关系，把树种分为三种类型：嫌钙型——如马尾松、杉木、茶、油茶、云杉、杜鹃等；钙生型——胡杨、刺槐、青檀、油橄榄等；中间型或适应型——包括其他许多树种。同位素 Ca^{45} 示踪试验表明，钙生型树种白松 (*Pinus halepensis*) 吸收钙的速度和数量都远比嫌钙型树种海岸松 (*Pinus pinaster*) 为大。在钙质土壤上嫌钙型树种生长不良，原因有待进一步研究。其中一种影响是由于碳酸钙的存在使土壤变为偏碱性，因此 Ca^{++} 大量透入植物体内，从而使细胞内的氢离子浓度降低；另一种影响在于碳酸钙的存在使土壤中磷酸根和铁离子沉淀为难溶性化合物，不利于植物吸收；还有一种影响是过量的钙妨碍钾的吸收，使植物发生缺钾现象。在苗圃中，土壤富含碳酸钙时有可能引起针叶树苗的失绿症和猝倒病。

铁的作用 铁在植物体内的含量不过万分之几，但也是不可缺少的营养元素，它在幼嫩细胞中最多。铁参与呼吸作用，也是几种酶的组成成分。当苗木缺铁时，就表现为失绿症，症状首先从植株顶端开始，叶子变黄甚或近乎白色的极淡黄色，然后逐渐向下蔓延，最后整株黄化以至枯萎。

土壤中的铁主要是以亚铁离子状态 (Fe^{++}) 进入苗根的。同时，苗根也能吸收铁的络离子。因此，富含有机质的土壤，由于铁络合物（铁离子与有机酸如草酸、柠檬酸等相结合而生成的一类较复杂的离子或化合物）的存在，有利于铁的供应。通常土壤的含铁量是很高的，但是，如果土壤的pH值高，铁就大都变成不溶性的氢氧化物或碳酸盐而沉淀。在这种情况下，苗木就容易发生缺铁失绿症。在土壤呈中性到碱性反应条件下，失绿症是否出现，因树种而异。有些树种，特别是嫌钙型树种，如马尾松、柑桔、茶、杜鹃等，容易发生缺铁失绿症；而另一些树种特别是钙生型树种如胡杨、青檀、油橄榄等则不发生失绿症。同一树种，品系不同或嫁接的砧木不同，对铁素缺乏的反应也不一样。例如，在同一土壤条件下，一个种源的池柏苗表现失绿症，而另一个种源的池柏苗则生长正常。又如，甜橙接穗以枳 (*Poncirus trifoliata*) 作砧木时，对土壤缺铁很敏感；而以粗糙柠檬 (*Citrus jambhiri*) 为砧木时，却能适应缺铁的土壤而不发生失绿症。在植物体内磷酸含量很高时，由于铁与磷酸结合成难溶性磷酸铁而可引起失绿症，特别是在细胞液的pH值增高时容易发生这种现象。一般来说，凡是根的还原能力差、吸收铁的能力低、转运铁能力差的树种或品系，就容易发生

缺铁失绿症。

(二) 苗木缺肥症状诊断

苗木缺肥症状 当土壤某些矿质营养元素供应不足时，苗木常表现出一定的症状。例如，在土壤氮素不足的情况下，苗木矮小瘦弱，叶小而少，叶色黄绿，老叶枯黄或脱落，侧芽死亡，枝梢生长停滞，苗床上以二级或三级苗占多数；而在氮素充足的土壤上，苗木生长茁壮，叶大而多，叶色浓绿，苗床上以一级苗为最多。苗木的这种表现，不仅可以为当时追施氮肥提供依据，而且在一定程度上还可以作为后作苗木采取适当施肥措施的参考。当然，配合进行土壤的化学分析就更能说明问题。

根据水培和沙培试验的结果，苗木缺磷的典型症状是树叶发紫或呈古铜色。但是，在苗圃生产条件下，苗床上树叶发紫或呈古铜色固然表明苗木本身是缺磷，但却不一定意味着土壤缺磷。例如，南京附近马尾松育苗时，曾多次发现针叶颜色发紫的情况。化学分析表明，松针中的矿质养分较正常苗木为低，特别是磷的含量更低得多。然而，调查的结果表明，这种现象是在土壤过湿、过紧、pH值过高等情况下发生的。所以，遇到苗木叶发紫或呈古铜色的情况，要结合土壤性状作具体分析，不可一概而论。

在苗圃土壤不正常的情况下，有时苗木的叶子表现出黄化或白化现象，统称为失绿症。有些失绿症往往与土壤含游离碳酸钙、或者土壤过湿等条件有关。有些失绿症与土壤缺

乏某种微量元素有关，这就要通过对苗木注射或喷洒各种微量元素溶液的办法来诊断和治疗。在有些情况下，用铁的络合物（例如乙二胺四醋酸铁）的稀溶液或0.5%硫酸亚铁溶液喷洒或浇灌可以消除失绿症，而在另一些情况下使用少量钾盐稀溶液有效。要注意具体问题通过具体处理的试验来解决。

辨证施治 从大量水培、沙培和田间观察结果综合来看，各种苗木缺乏各个营养元素时，叶子大都呈黄或黄棕色，只是在缺磷的条件下有时也会呈紫红或古铜色，在缺钾的条件下有时呈亮黄色。除营养条件失调外，其他一些原因也可能引起类似的症状。因此，要注意区别下述现象：（1）缺肥症状与干旱、霜冻、烟害、病虫害和正常秋色等的类似表现形式；（2）不同缺肥症所表现的同样外观；（3）缺肥症状的季节变动；（4）种内遗传上的差异及其他原因导致同一缺肥症的不同表现；（5）同时缺乏几种元素与缺乏一种元素所表现的同等症状。

一般来说，实生苗缺氮或缺铁症状多发生在初夏或仲夏；移栽苗因根系未恢复而引起的叶色异常现象多出现在春季；苗木落叶前的自然变色发生在秋末冬初，而遗传原因引起的白化苗木，则只是单株发生，而且整株树叶白化，常年稳定不变颜色。在苗圃里，缺肥症状的出现通常是成片或成斑状分布的，但出现之后在同一面积上就只有症状强弱的变动，而不再蔓延，也就是出现症状的地块面积相对比较固定；而微生物侵染性病害或虫害通常是从若干点开始，逐渐因传染或害虫活动而向周围蔓延，并且往往能用生物培养方法分

离出病原菌，或在田间看到害虫或虫卵。

缺乏大量元素所引起的苗木黄化症状与缺乏微量元素所导致的失绿症状通常也是可以区别的。例如，缺氮黄化症状与缺铁失绿症的表现形式就有所不同。由于氮在苗木体内易于运转和再利用，所以缺氮往往表现为苗木下部的老叶先发黄枯萎，然后再往植株上部蔓延，严重时最后可以使整株苗木的叶子都发黄；而因为铁在苗木体内不易运转和难被再利用，故缺铁失绿症通常是苗木的顶芽和顶部叶子先发黄或发白，然后再向下蔓延，或者一开始很快就整株失绿。缺氮苗木在施用速效氮肥后短期内症状便消失，而缺铁苗木却可以用叶面上喷洒 0.5% 硫酸亚铁的办法矫正。

苗木灼伤 在苗圃施肥不恰当时，苗木也会表现出不正常的灼伤症状，甚至枯死，这就是通常所说的“烧苗”。例如，土壤中施化肥过量时，阔叶树苗会在夏季落叶；针叶树苗下部针叶尖端或整个针叶发黄，有时还可能卷曲，顶部针叶萎蔫，情况严重时苗木可能整株死亡。苗木追肥时，若化肥颗粒沾附在叶子上，遇到露水溶解之后，就会因水珠的浓度过高引起树叶组织局部坏死，呈黑色斑点或斑块，严重时也会引起苗木枯萎。根外追肥（叶面喷洒）浓度过高也有类似的情况。施用未腐熟的有机物质作肥料，由于这些物质在土壤中分布不匀，分解时产生的有机酸或生物碱在局部聚积，也可能使针叶树幼苗发生黄化现象。

二、苗木对矿质营养元素的需要

苗木对矿质营养元素的需要，一方面决定于苗木本身的生物学特性，另一方面也与环境条件和栽培技术措施有关，即气候、土壤条件以及耕作、灌排等措施都在一定程度上影响苗木对矿质营养元素的需要。这里着重说明其中与苗木本身生物学特性有关的问题。

(一) 苗木对肥料的反应

不同苗木对肥料的反应 同样的肥料各种苗木的反应是不同的。以一年生苗而言，通常对氮磷钾平衡肥料都有不同程度的反应（表3），实生苗对肥料的反应比扦插苗为大，小粒种子的速生树种（例如响叶杨）反应比大粒种子的（例如麻栎）为大。但是，有些树种（例如水杉）的移植苗，在移栽当年施肥效果不大，直到移栽次年根系发展健全之后，施肥才有显著效果（表4）。因此，苗圃施肥要看对象，对暂时不需要大量肥料的苗木，就不必施用速效性肥料，以免造成浪费和助长杂草滋生。

苗木对不同肥料要素的反应 在不同的气候条件下，苗木对不同肥料要素的反应是不同的。一般来说，由于苗木对

表3 各种一年生苗对矿质肥料的反应

苗木种类	处理	株高		基径	
		厘米	%	厘米	%
加拿大杨扦插苗	施肥	259.0	116	1.86	110
	无肥	224.6	100	1.67	100
二球悬铃木扦插苗	施肥	211.3	122	1.88	118
	无肥	173.8	100	1.60	100
麻栎实生苗	施肥	42.6	128	0.51	111
	无肥	33.3	100	0.46	100
白蜡实生苗	施肥	119.7	147	1.16	141
	无肥	81.5	100	0.82	100
响叶杨实生苗	施肥	84.7	167	1.11	166
	无肥	50.6	100	0.67	100
女贞实生苗	施肥	60.8	132	0.71	125
	无肥	46.0	100	0.57	100

注：每亩（毛面积）施肥量为硫酸铵30斤，过磷酸钙8.4斤，氯化钾3斤。

表4 水杉移植苗对速效氮肥的反应

类型	处理	施肥当年新梢长度		t 测验 ($P \leq 0.05$)
		厘米	%	
移栽当年	无肥	51.5	100	不显著
	N12斤/亩	54.9	107	
移栽次年	无肥	79.6	100	显著
	N12斤/亩	95.4	120	

注：肥料为硫酸铵。

氮的需求较高（表7），而耕作土壤中全氮量大都在0.1%以

下，因此，在苗圃施肥问题上，氮素常常成为主要矛盾。例如，我们在南京的下蜀黄土性冲积土上对枫杨和马尾松实生苗所作化肥试验表明，这两种苗木对单施氮肥都有反应，而氮磷钾全肥既同时具有各元素的单独效应，又有相互作用的增效效应，效果最好。单施磷或钾效果不稳定，在大多数情况下没有肥效，仅在一个试验中看到对马尾松苗单施磷肥有效，但是对火炬松苗单施磷肥却未见有同样效果。吉林省林业研究所在东北的暗棕色森林土上对一年生落叶松苗所做肥料试验，也是以氮肥的效果最好（表5）。

表5 暗棕色森林土上一年生落叶松苗对肥料要素的反应

处 理 (每13平方米 施用公斤数)	苗 高		基 径		根 系 状 况		
	厘 米	%	厘 米	%	主根长 (厘米)	侧根长 (厘米)	侧根数
硝 酸 铵 0.26	15.9	112	0.29	112	21.9	10.4	38
过磷酸钙 0.45	15.0	106	0.26	100	20.2	11.5	34
木 灰 0.90	15.3	108	0.28	108	18.8	9.3	35
对 照	14.2	100	0.26	100	19.4	11.0	33

注：开垦4年的森林腐植质壤土，pH值5.5，吉林省林业科学研究所资料。

以上是在一般情况下的试验结果。对于侵蚀型的红壤、赤红壤荒地，就需要考虑增加磷肥；赤红壤、砖红壤以及酸性沙土等，就可能需要较多的磷、钾肥。例如，原中国林业科学院和广西林业科学研究所曾在广西南宁赤红壤上对一年生窿缘桉苗所作施肥试验证明，磷、钾肥的效果都比氮肥大（表6）。此外，在寒冷的气候和土壤富氮的条件下，有时磷、钾肥也有特殊的意义。吉林省柳河三源浦苗圃，就有用磷、