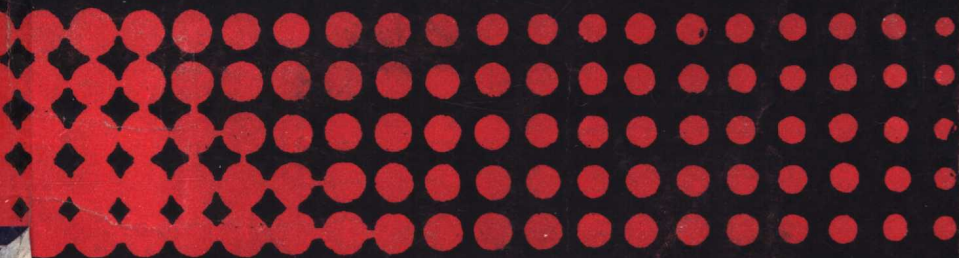


# 森林土壤与施肥

[日] 芝本武夫著 刘国光译 吴维中校



中国林业出版社

# 森林土壤与培肥

(日) 芝本武夫 著

刘国光 译

吴维中 校

# 森林土壤与培肥

(日) 芝本武夫 著

刘国光 译

吴继中 校

沈阳中国科学院林业土壤研究所

中国林业出版社出版 (北京朝内大街130号)

新华书店北京发行所发行 遵化县印刷厂印刷

787×1092毫米32开本 4.875印张 108千字

1982年7月第1版 1982年7月遵化第1次印刷

印数 1—7,000册

统一书号 16046·1086 定价 0.52元

## 自 序

林业和农业的最后收获物，不论是以木材为主的林产品（木本植物产物），或是以粮食为主的农产品（草本植物产物），都同样是在土壤上经营的植物性生产事业。因此，要求以较短的期间，在单位面积上，持续收获丰富的价值较高的产品来说，是没有什么区别的。

当然，植物是以根系伸进土壤中来吸收营养，并把土壤作为维持自己生存的场所。就是说，土壤为植物的“住宅”，且起到植物营养供给的“厨房”的作用。因此，农业上人们一般以最大的努力，采用耕耘或施肥等措施，以致力于土壤的培肥。但是，林业上人们既做不到也不可能进行象农业那样集约的土壤培肥。因此，不能不认为林业对于土壤的依赖性本质上远比农业为大。

人们一直担忧由于实际的森林生长量远远低于逐年增加的需要量，从而不久就会不可避免地出现世界性木材缺乏这种严重状况。为确保和提高人类的文化与生活水平，为了人类的持久幸福，现在就立足于抓林业的根本问题，努力推进合理的经营管理，确是当务之急。也就是说，加深各种还不完善的土壤肥料知识，广泛积极开展适宜的增强地力的方法，是非常重要的。

为适应世界上对于林业发展的要求，近年来欧美相继出

版了森林土壤及森林施肥的专著，这是可喜的，但是，我认为那些著作内容过于浩繁，用作林业专业学生的一般课本未必适宜。

本人不顾才疏学浅，根据自己四十多年的教学经验，出版此书，恐怕在内容构成及材料取舍上，多有不能令人满意或不少欠妥之处。

尽管本书在内容上有许多地方不够完备，但若有幸能作为各林业工作者、有志林学的各位同行一些参考，对我国林业的发展稍有帮助，作者将感到非常欣慰。

最后，当本书出版之时，对始终给予热心支持的农林出版株式会社的猪瀬寅三先生及有马瑞穗先生表示深切的谢意。

芝本武夫

一九七六年九月于荻洼

# 目 录

|                  |      |
|------------------|------|
| 绪 言              | (1)  |
| 第一章 森林土壤         | (5)  |
| 第一节 森林土壤         | (5)  |
| 第二节 岩石的风化        | (6)  |
| 第三节 粘土的生成与分解     | (14) |
| 第四节 有机物的分解       | (23) |
| 第五节 腐殖质的形成及其结合形态 | (29) |
| 第六节 土壤类型         | (32) |
| 第七节 土壤的机械组成      | (45) |
| 第八节 土壤的结构        | (50) |
| 第九节 土壤水分         | (56) |
| 第十节 土壤通气性        | (60) |
| 第十一节 土壤的反应       | (64) |
| 第十二节 土壤的离子交换     | (67) |
| 第十三节 土壤肥力        | (69) |
| 第二章 肥 料          | (79) |
| 第一节 植物养分         | (79) |
| 第二节 最少养分律与收益递减律  | (88) |
| 第三节 肥料及其主要要素     | (89) |
| 第四节 肥料的分类        | (92) |
| 第五节 动物质肥料        | (95) |
| 第六节 植物质肥料        | (99) |

|      |                   |       |
|------|-------------------|-------|
| 第七节  | 无机氮素肥料            | (101) |
| 第八节  | 无机磷酸肥料            | (110) |
| 第九节  | 无机钾肥              | (114) |
| 第十节  | 复合肥料              | (115) |
| 第十一节 | 石灰质肥料             | (120) |
| 第十二节 | 特殊成分肥料            | (121) |
| 第三章  | 林地培肥              | (124) |
| 第一节  | 林地培肥的基础           | (124) |
| 第二节  | 林木叶子分析的营养诊断       | (125) |
| 第三节  | 新植林地及未郁闭幼林地的培肥    | (130) |
| 第四节  | 壮龄林及老龄郁闭林的培肥      | (136) |
| 第五节  | 柳杉及扁柏林集约经营的林地培肥体系 | (141) |

## 绪 言

构成树木等全部高等植物的植物体成分，绝大部分是纤维素、半纤维素、糖、淀粉等碳水化合物，和木质素、蛋白质、精油、树脂、油脂、蜡、单宁、色素、生物碱、配糖体、苦味素等复杂的有机化合物，仅有少量的无机化合物。所有这些有机化合物，都是植物体在营养生长过程中，以二氧化碳、水、硝酸盐、磷酸盐、硫酸盐、钾盐等简单的无机化合物即所谓营养物质为原料所合成的。可是从缺少能量的无机物合成富有能量的有机物，需要供给一定的能量。而这所需要的能量，是由含叶绿素的绿色植物从太阳获得的，或是不含叶绿素的植物，通过分解有机物供给的。另外，为了在常温下能迅速合成有机物，还需要有催化剂。而能起到催化剂这种功能的则是原形质和多种酶类。因此可以认为，植物是标准的合成有机物的机器，同时也是能量的搜集存贮器。

绿色植物以它自身的叶绿素，巧妙地将太阳能用于有机物的合成，固定逸散着的太阳能，生成富有能量的有机物，将其用于植物自身的生理反应，并且也能用于人类和动物的生活。就此看来，植物起到的这种作用，确实是很大的。太阳供给的能量尽管极多，可是在地球上，实际被利用的部分则是较少的。植物维持生命活动所利用的数量就更少了，仅

约占太阳能供给量的八千分之一。然而，若通过下列太阳能的利用情况即可明显地看出，同人类活动相比较，植物在生命活动中究竟利用多少太阳能。

|                 |                          |
|-----------------|--------------------------|
| 太阳的辐射能总量        | $3 \times 10^{30}$ 万亿卡/年 |
| 进入大气层的太阳能       | $134 \times 10^7$ 万亿卡/年  |
| 水分蒸发消耗的太阳能      | $34 \times 10^7$ 万亿卡/年   |
| 植物碳素同化作用所消耗的太阳能 | .....                    |
| .....           | $162 \times 10^3$ 万亿卡/年  |
| 人类活动消耗的太阳能      | .....70 万亿卡/年            |
| 促进成煤化作用所消耗的太阳能  | .....                    |
| .....           | $66 \times 10^3$ 万亿卡/年   |

随着植物生长所累积的植物体增长量，是合成的有机物增长量和新陈代谢作用的有机物分解消耗量之差。制造有机物的作用，其内容至少包括下列三个过程：（1）植物组成成分的合成；（2）合成的植物成分的运输；（3）合成物质转化为植物组织或贮存物质。新陈代谢作用，是植物的呼吸分解作用，也就是植物吸收氧气，氧化分解碳水化合物，再释放出二氧化碳的作用。

植物成分的合成作用有两个方面，一是生成糖类的光合作用，另一方面是合成蛋白质的作用。光合作用，正如它的名称所表明，是仅限于光线存在的情况下进行的碳素同化作用，所以这种作用只同具有叶绿素的细胞有关系。在光合作用中，利用的原料是二氧化碳和水，最终的生成物是碳水化合物和氧气。光合反应是在瞬间进行的，其生成氧的数量同光合原料——二氧化碳是等量的。蛋白质的合成被认为是以蔗糖和硝酸盐为原料进行的，它同细胞所含有的叶绿素没有

关系，同时与光线之间也没有直接的关系。

为使已合成的物质能作为营养成分在植物体中运输，首先需要把它转化为较简单的可溶性物质。例如，淀粉需要转化成糖，蛋白质需要转化成氨基酸等其他分解生成物。这种转化作用要靠酶来实现。相反，为了贮存这些合成物质，又需要再把它们重新转化为不溶性的高级化合物。

植物的生长现象是极为复杂的，因而尚未搞清楚的问题是非常多的。一般我们把给予植物生长以某些影响的物理的、化学的、生物的因子一并称为生长因子。这就等于说，生长因子是具有促进植物的生长，或者相反起着抑制植物生长的作用的一种能力。在农林业生产中实际被重视的，与其说是植物个体外观的生长现象（即关于各生长时期的生长曲线形状），不如说是在一定期间内，由一定面积生产的植物的数量（即每公顷以千克数表示的干物质量），对木材来说，则是以立方米数表示的干材材积量。这里所说的干物质量或干材材积量，不单是重视其数量，而且也重视其质量。生产植物体的目的，就是为了供给我们人类与动物以营养、衣、住、器俱等以及其他生活上不可缺少的植物性有机物。因此，除了植物的数量之外，在决定植物品质的组成成分方面也是重要的。所以，生长因子当然也应称为收获因子，更正确地说，应当称为生产因子。这就是说，生产因子是影响收获植物物质数量及质量的一个“量”。

如把生长因子加以区分的话，则可分为内部的和外部的两种因子。内部的生长因子，是与植物的种类或品种，即与原来所固有的性质相关的因子，这无论怎样加以合理地培育，外加因素的作用所能给予的影响也是微乎其微的。外部

的生长因子，又可区分为气候的因子和土壤的因子。

气候生长因子中，最重要的是光线、温度、风等因子。土壤生长因子，有土壤的水分、温度、氧、二氧化碳、营养成分、有害成分等，它们能影响土壤的理化性质和生物学性质。

对土壤生长因子，能够人为地造成相当显著的变化。然而，对于气候生长因子，则几乎没有这种可能，因为在特定地区的气候是被自然决定的，通常用人工无论如何也是难于改变的。因此可以说，气候是左右植物的分布和生长量的主要因子。植物生长量逐年发生显著变动的事实，就已真实地反映着人力对于气候因子的影响是多么微小的。因此，对于强烈要求植物收获物能连年保持大体稳定的生产部门，需要尽可能选择适应气候的作业方法，而且在人力给予植物生长因子的影响越小的时候，对这一要求的必要性也就越来越大。

尤其在林业方面，对于土壤生长因子，人力能直接施加影响的程度，同农业方面相比，也是很小的。因此选择适合于气候因子及土壤因子的树种、品种以及作业方法，更是格外重要的。

为了在特定地区合理地经营林业，必须预先具备关于该地区气候因子及土壤因子的正确知识。根据这些知识，才能预防由自然灾害或生长不良造成的损失，使基本的计划能够建立起来，以便稳妥可靠地获得完满的成果。

实际上，选择适合于该地区气候和土壤的树种及品种，分别适地地进行栽植，合理地进行土壤的培肥管理与保护，这是针对着人力对气候因素及土壤因素的支配能力小的这一情况，最为有利地巧妙地利用该地气候因素及土壤因素的途径。

# 第一章 森林土壤

## 第一节 森林土壤

在大气的作用范围内，构成地壳的岩石长年累月地经受着风、水、热、生物等的风化作用，被机械地破坏之后形成了微小的颗粒。微小的颗粒再经化学的分解变化，逐渐地变为土壤物质。自然生长在这里的植物，其种类及其生长发育的状态，也将相应地随着这个变化过程发生各自的变迁。

最初生长在岩石表面的植物是细菌类，肉眼最早能辨认的是地衣类，接着是藻类及苔藓类。随着风化作用的进行，继蕨类植物之后，杂草类也繁殖起来，后来则见到树木的生长。

地壳的表层，随着高等植物的侵入并逐渐占优势，进入岩石风化产物中的有机物数量不断增加，微生物的分解活动也相继活跃起来。通过粘土及腐殖物质的生成，成土过程在迅速地进行着，直到地壳的表层为土壤所占有的。

一般说来，由岩石风化而形成的土壤物质，受到由微生物分解动植物遗体所产生的分解产物的影响，使其在形态上，在物理、化学、生物学的性质上发生变化，我们把这种变化称为成土作用，这就是说，土壤是由成土作用所生成的天然物质。

在自然状态下，土壤由固相、液相、气相这三相平衡系统所组成。固相是岩石风化物 and 来源于生物遗体的有机物所形成的固体成分，液相是土壤水分，气相则是土壤空气。这一平衡将随着温度、风、雨、雪等气象因素，以及植物根经吸收水分或微生物的活动等生物因素的改变，时时刻刻在发生变动。土壤水分和土壤空气的变动给予生物种类及其活动的影响很大，反映土壤特征的主要成分——土壤有机物，也按着这种变动而改变它的数量和性质。这就是说，土壤与气候及生物之间有着密切的关系，土壤在逐步分化发展着。

森林土壤是在森林植被的影响下形成与发展的土壤，它可以根据树种、林型、林龄、作业方法等来加以细分。

森林土壤学是以森林土壤为对象，研究以森林植物为主的树木生理和森林环境和立足于人工林业的林产品收获之间关系的科学。

## 第二节 岩石的风化

### 1. 主要的岩石与矿物

岩石是构成地壳矿物的集合体。因为它的性质受组成矿物的种类、数量、排列方式所决定，所以它也必定同它的成因及产状具有密切的关系。如按照岩石的成因加以分类的话，它可以分为火成岩、变质岩、沉积岩三种。

火成岩，是存在于地球内壳中熔融状态的岩浆，由火山爆发而侵入地壳，或者喷出地表，冷却凝固之后形成的。由于岩浆的分化，又由于岩浆侵入地壳的深度和侵入或喷出的数量多少不同，其冷却的速度也不一样，因而能够形成种类

繁多的火成岩类。

变质岩，是火成岩或沉积岩在地壳的深处，受到进入过热岩浆的影响，或者在较低的温度下，随着造山运动受到强大的压力，使其矿物组成、化学组分、岩石的结构构造等发生变化而形成的岩石。

沉积岩，是岩石的碎屑、岩石的崩坏分解物质、生物遗体等，经风或水的搬运，沉积于地面或水下之后，凝结形成的岩石。

构成地壳的岩石，95%是火成岩和变质岩，而沉积岩只不过占5%。即使就日本国来看，因为是火山国家，地壳岩石也是以火成岩为主体，其分布也最为广泛。

虽然组成火成岩的矿物种类为数很多，但其中数量较大的只有石英类、长石类、斜长石类、云母类、角闪石类、辉石类、橄榄石类等七种。其中，前三种属于浅色矿物即硅铝矿物，后四种属于深色矿物即铁镁矿物。由于所含上述矿物的种类和数量多少不同，岩石的颜色和化学组成就有差异，而风化产物的肥力基础也将不同。

若从火成岩的化学组成来看，认为二氧化硅含量同其他成分含量之间有着密切的关系，二氧化硅含量越多的火成岩，其 $\text{Na}_2\text{O}$ 和 $\text{K}_2\text{O}$ 的含量也多，相反， $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 的含量却很少。因此，依 $\text{SiO}_2$ 含量来区分火成岩时，则可以分为酸性岩（ $\text{SiO}_2 > 66\%$ ），中性岩（ $\text{SiO}_2$  66—52%）和盐基性岩（ $\text{SiO}_2 < 52\%$ ）。花岗岩、石英斑岩、流纹岩等属于酸性岩；闪绿岩、玢岩、安山岩等属于中性岩；斑粒岩、辉绿岩、橄榄岩、黑玢岩、玄武岩等属于盐基性岩。

起  
来  
44  
57  
58

对于岩石的种类同来源于岩石的土壤肥力之间的关系，过去地质学者们认为，钾是重要的成分，因而重视含钾岩石矿物的数量。可是后来土壤学家们已经证实，石灰和氧化镁，特别是石灰是重要的成分。因此，可以认为富含石灰的矿物——长石类、角闪石类、辉石类、云母类是重要的，至少在火成岩及变质岩中，这些矿物总量的多少，对土壤的肥力具有很大的影响。在火成岩中，由于盐基性岩含量特别大而酸性岩显著的少，因此，在不考虑其他性质而仅就成分而论，可以说盐基性岩比中性岩，中性岩比酸性岩原来就更具备形成富有肥力的土壤的素质。

即使在沉积岩中，按照组成粒子的大小，以及胶结物的种类和数量等关系，其种类也很多。但是，不论那一种其组成粒子都是以难于风化的石英和粘土为主体，不包含石灰丰富而易于风化之类的矿物。因此可以说，在沉积岩中，对形成土壤的肥力以很大影响的，与其说是粒子组成，倒不如说是胶结物。以硅酸物质为胶结剂的矿物同以石灰性物质为胶结剂的矿物相比，在素质上将是很差的。

## 2. 岩石及矿物的风化

就风化的内容来看，岩石及矿物的风化有崩裂、破碎而使岩石矿物形状发生变化的机械风化和使岩石矿物的化学成分发生变化的化学风化两种。

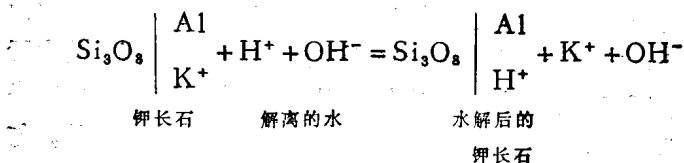
同机械风化相关的外部因子有：（1）受<sup>90分</sup>热和变冷的交互作用；（2）风；（3）雨滴、流水、冰河、波浪；（4）植物根系的伸展以及鼯鼠、鼠、蚯蚓、蚁类等<sup>在土中</sup>生息动物的活动，等等。

与化学风化相关的外部因子是雨水及含酸性质的水。起

风化作用的水的数量、期间、温度、酸度等，对化学风化有显著的影响。就其在化学风化中所起的作用，可举出如下内容：即（1）使无水物质成为含水物质的水合作用；（2）溶解氧的氧化作用以及有机物的还原作用；（3）溶解态碳酸的溶解作用；（4）水解作用等等。其中起主要作用的是水解作用。

由于组成岩石的矿物是硅酸盐，亦即由弱酸和盐基形成的盐类，所以能被水解。但由于其结晶格子是水不溶性的，因而同水解离出来的离子进行反应的部分，仅限于结晶格子界面的 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{++}$ 、 $\text{Ca}^{++}$ 等离子。这些离子先经水和作用从格子结合的晶格上松动之后，再开始同水解离出来的氢离子进行置换反应。

另外，如把粒径为0.002—0.0002毫米的钾长石粉末，在纯水中进行水解时，大量的 $\text{K}^+$ 离子则能置换到溶液中，使溶液的pH值达到10.76的强碱性。若将钾长石的水解作用模式的表示，则是



在钾长石里同硅酸根 $\text{Si}_3\text{O}_8$ 离子结合的铝和钾两种离子中，铝离子键极为牢固，钾离子键显然很弱，可说是近于离解的状态。因此 $\text{K}^+$ 离子易于由 $\text{H}^+$ 离子置换出来，随后 $\text{H}^+$ 则置换进入钾长石。另外，由于所生成的强碱氢氧化钾的解离，而使 $\text{OH}^-$ 离子增加，溶液将呈碱性反应。

钾长石的晶格结合，可因晶格界面钾的分离而显著变

弱，终于硅酸的一部分也能从晶格结合中分离出来。而且一定数量的钾和硅酸分离以后，剩下的晶格残基具有同白云母的粉末完全等同的性质。譬如，于pH10—6的范围，钾离子和氢离子就显出可逆置换的性质。置换进入晶格的一部分氢离子，一旦同中性盐（例如氯化钾溶液中的钾离子）发生置换反应的话，就又再次被置换出来。这种离子置换作用，就是经风化作用生成的粘土矿物所具有的特性之一，白云母粒子也是具有这种性质的矿物。白云母粒子通常在土壤中大量存在着，人们颇感兴趣的，是它由钾长石变来的这个事实。

作用于自然界的水并非是纯水，它包含着生物在生命活动过程中生成的碳酸、腐植酸等其他各种有机酸的酸性溶液。因此，在自然界所进行的水解作用就益发激烈。我们可以说，粘土主要就是由这种作用生成的。

### 3. 风化物的移动与堆积

岩石及矿物的固体风化物，在产生地或其附近残留下来形成的土壤称为残积土，搬运到其他地方再堆积起来的称为运积土。残积土也称定积土或原生土，一般土层薄，其中所含的石砾多少有些棱角，这与底层母岩的性质和成分之间多少有些关系。作造林地通常比崩积土和扇状堆积土还差。与此相反，运积土由于运搬过程中的磨损，所含的石砾多少有些变圆，并且混有各种岩石的碎片，而同下层的岩石之间没有一定的关系。

运积土，按着运搬堆积作用的不同，可以区分如下：

(1) 崩积土 是岩石或风化物主要由重力作用，滑落下来形成的。水的作用能促进这一过程。多数崩积土是呈半