



国外林木施肥经验

中国林业出版社

前 言

为了提高造林質量、加速祖國的綠化和早日解决木材不足的問題，各地正在开展林木速生丰产运动。在林木速生丰产中，除应認真貫徹造林六項基本措施，即适地适树、良种壮苗、細致整地、适当密植、撫育保护、改革工具外，有条件的地方还应对林木进行适当的施肥和灌水。过去我們在林木施肥方面的参考資料还很少。为配合生产和研究部門的需要，我們搜集了苏联、捷克、民主德国和西德、日本等国的一些有关森林施肥和土壤改良方面的技術資料，匯編成这本小冊子。

本書內“森林中氮素和灰分元素的生物学循环”一文从理論上闡述了森林中氮素和灰分元素的生物学循环規律，可幫助我們認識营养元素与林木生长的相互关系。“施用基性岩石粉改良灰化砂土的經驗”一文較詳細地介紹了玄武岩粉对改良森林土壤、促进林木生长的作用以及使用这种肥料的方法；“德国北部冲积区土壤改良的方法”一文列举了一些实例，說明各种不同含鈣物（高爐矿渣、碳酸鈣…等）的作用，并且就种植羽扇豆、草木樨、馬鈴薯…等作物对林木的作用作了較詳細的比較。这两篇文章對我們进行森林土壤改良和林地施肥的实际工作有一定的参考价值。其余几篇文章也介紹了有关森林施肥等方面的技術問題，但有些內容不一定适合我国的情况，只能供参考。

本書內除“日本林木施肥的技術問題”和“德国北部冲积区土壤改良的方法”兩篇文章外，曾請北京林学院馬太和先生校閱过，在此表示謝意。

目 录

森林中氮素和灰分元素的生物学循环

鄭均宝編譯…………… (1)

苗木代謝作用的改变与营养条件的关系

(苏联) 娃利科娃——康達烏罗娃著 涂忠虞譯… (11)

德国北部冲积区土壤改良的方法

(民主德國) 克劳斯著 丁乙譯…………… (20)

施用基性岩石粉改良灰化砂土的經驗

(捷克) 聶麥茨著 韓仁宇譯…………… (45)

林地施肥对消灭树冠害虫的作用

(西德) 奥尔狄盖斯著 韓仁宇譯…………… (64)

用实例說明施肥对于营林的意义

(西德) 浩澤尔著 韓仁宇譯…………… (68)

日本林木施肥的技術問題

(日本) 塘 隆男著 李世維譯…………… (76)

森林中氮素和灰分元素的生物学循环

为了设计造林类型，制定并论证抚育采伐以及其他提高林分生产率的措施，必须了解：1）各种乔灌木树种从土壤中吸取那些营养元素，吸取多少；2）这些被吸收的营养元素中有多少通过落叶、果实、小枝和枯倒木还给了土壤；3）被吸收的营养元素有多少保留在发育着的立木上；4）各种经营措施对生物学循环的影响如何。

在这以前，许多研究工作都未能解决以上问题。为了解决以上问题，莫斯科大学土壤教研组沃龙涅什与莫尔多夫斯克国家森林禁伐区以及中央森林禁伐区在卫国战争（1945）以后，共同将战争中断了的工作恢复起来，并加以完成。

在研究中，采用了专门设计的研究林分营养元素生物循环的方法，在松树、云杉、山杨、椴树、橡树等林内，在同一林型的条件下，按照不同龄级，研究了林木对元素的需要情况和元素的生物学循环。

根据对所有树种的研究，可以得出下面的一般性规律：

第一、树木不同部位氮素和灰分元素含量的百分比，不因年龄的变化而变化，或者变动范围大小在研究的精确度之内不能显出明显的规律性来，只有五年生以下的树木是例外。这样，在我们的论文中就可利用不同龄级的树木的平均材料。

第二、树木不同部分氮素和灰分元素的含量具有以下总的

区别：叶子中氮素与灰分元素含量最丰富，小枝、粗枝和树干的氮素和灰分元素含量依次减少，木材中的含量最少，细根中氮及灰分元素的含量近于细枝，粗根近于粗枝。

第三、在叶的全部元素中，氮的含量较多，钙较少，钾更少。枝、根和树干中钙的含量最多，其次是氮和钾。在树木各部分中，钙、氮和钾的含量最多。必须注意，硫的含量非常多，与磷的含量相近。三氧化二铝的含量大大地超过铁；硅酸的含量数量也很大，大大地超过三氧化二铝的含量；铁、锰和钠的含量很少。

第四、在被研究的乔木树种之间，发现个别元素含量有相当大的区别，特别是氮、钙、钾和二氧化硅。这种区别决定于树种的生物学特性和它们对营养元素的选择吸收性，见表1的材料：

不同树种的叶子和树干中氮和灰分元素的含量 表 1

(每一百克植物中的含量，单位：克)

树	种	N	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
叶											
松		1.28	0.15	0.02	0.31	0.06	0.47	0.15	0.64	0.33	0.33
云	杉	1.06	0.95	0.02	0.42	0.08	0.48	0.17	0.78	0.43	0.12
白	桦	1.44	0.12	0.01	0.33	0.20	2.02	0.30	0.43	0.30	0.15
山	杨	2.49	1.23	0.03	0.14	0.03	2.36	1.43	1.71	0.57	0.36
橡	树	2.54	0.93	0.03	0.06	0.05	1.63	0.38	1.29	0.24	0.22
椴	树	2.70	0.37	0.05	0.42	0.03	2.24	0.42	2.26	0.50	0.58
白	蜡	1.52	0.83	0.02	0.19	0.03	2.83	0.85	2.14	1.48	0.57
榆		1.31	5.50	0.03	0.17	0.01	3.37	0.56	1.97	0.82	1.02
藤 懸 木 槭		1.60	1.84	0.03	0.12	0.10	3.32	0.58	1.94	1.03	1.09

(續)

樹	種	N	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
樹		干									
松		0.17	0.01	0.005	0.03	0.01	0.15	0.04	0.10	0.03	0.08
云	杉	0.09	0.02	0.005	0.04	0.02	0.21	0.04	0.12	0.06	0.04
白	樺	0.19	0.01	0.003	0.05	0.01	0.25	0.06	0.08	0.09	0.08
山	楊	0.27	0.05	0.003	0.03	0.002	0.56	0.06	0.14	0.09	0.08
橡	樹	0.31	0.01	0.004	0.01	0.01	0.57	0.05	0.10	0.05	0.07
蠟	樹	0.32	0.03	0.003	0.03	0.002	0.52	0.06	0.29	0.06	0.24
白	蜡	0.24	0.02	0.004	0.05	0.001	0.45	0.05	0.36	0.16	缺材料
榆		0.20	0.02	0.003	0.04	0.002	0.92	0.06	0.39	0.19	
懸	木 槭	0.22	0.03	0.05	0.04	0.001	0.84	0.04	0.30	0.20	

从表1的材料中还可以看出，正如上面所述，树干部分氮素和灰分元素含量最貧乏，所以各树种之間的區別較小。各树种的叶子內氮素和灰分元素的含量的區別和它們的木材相比時是不完全一致的。

第五、生长在不同土壤上的乔木树种，一般說來，多数营养元素的含量百分比很相近。例如，生长在弱生草中灰化土上的越桔松林，弱潛育深厚砂質灰化土上的欧洲越桔松林，以及砂壤質灰色森林土上的椴树松林，土壤条件虽然不同，但是松树針叶中的氮素和灰分元素的含量却很相近。生长在不同土壤上的椴树和橡树叶子中，氮素和灰分元素的含量也沒有本質的區別。但是，土壤显著不同時，个別的元素可以有很大的差別。如溪旁云杉林和复层云杉林和眞蘚云杉林相比較，前者云杉針叶中含有比后二者較多的硅酸、鈣和鉀，这是由于春泛帶來了灰分营养元素，保証供应丰富的鈣和鉀。复层云杉林中的云杉針叶中，氮的含量比較高，这是由于这种林型的土壤中生

理可給态氮素化合物含量較多。

第六、每一种乔木树种，随着年齡的变化，氮和灰分元素的积累量也增加。我們所作的分析材料可以証实这一点，以松树为例，一株松树营养元素积累的过程可分为下列四組：

- 1) 积累量最少的—— $\text{Fe} < \text{Na} < \text{Mn}$,
- 2) 积累量不多的—— $\text{Si} < \text{Al} < \text{P} < \text{Mg}$,
- 3) 积累量相当多的—— $\text{S} < \text{K}$,
- 4) 积累量最多的—— $\text{N} < \text{Ca}$ 。

在下列表 2 中可以知道，在一棵松树中，鉄、鈉和錳的含量随年齡的增长而提高得很少。这說明对它們的需要量少。二氧化硅、三氧化二鋁、磷和鎂聚积量較多，这說明在松树的整个发育時期对这些营养元素的需要量較多。鉀和硫的含量更多，因而也就是对它們的需要量更多。松树需要和积累的氮的数量最大，尤其是鈣。

越桔松林中一棵松树氮和灰分元素含量 (克)

随年齡变化的情况

表 2

齡級和年齡	N	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Mn	OCaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
I 14年	26	1	1	8	1	16	5	21	1	8	11
II 32年	69	7	2	20	3	80	20	43	4	20	26
III 45年	215	53	15	84	22	280	72	169	14	69	182
IV 71年	787	93	21	125	51	691	121	426	21	174	448
V 94年	763	135	26	199	103	893	231	666	51	225	455

生长着的松树对各种元素的积累量是随着年齡增长而不断增加的，氮的积累量从IV齡級到V齡級時变得平緩了，这說明在V齡級時氮的含量有减少。

測定其他樹種的材料說明，在全部樹種中積累量最多的是鈣，氮占第二位；在松、雲杉、椴和橡樹中，鉀和硫的積累占第三位，而在山楊中却是鉀和磷占第三位。其餘營養元素的積累量更少。隨年齡變化，積累量最少的是鈉、鐵和錳。

第七、每一棵樹木，每年對營養元素的需要量是隨年齡而增加的，如表 3 所示：

不同年齡的一棵樹木每年對最主要營養元素的需要量 (克) 表 3

樹種和年齡		N	C ₄ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
松 樹 (I 地位級)	14	4	3	2	1	2
	32	11	15	6	3	4
	45	29	27	12	6	12
	71	29	35	12	6	12
	94	11	25	9	4	9
雲 杉 (II 地位級)	24	1	2	1	0.5	0.5
	38	12	14	9	6	5
	60	20	24	12	7	7
	72	23	31	13	7	9
	93	28	36	11	9	12
椴 樹 (II 地位級)	13	11	18	6	3	3
	40	57	106	40	15	22
	70	140	260	90	39	37
橡 樹 (I 和 II 地位級)	12	4	12	3	3	3
	25	43	84	21	12	12
	48	124	281	66	56	41
	93	122	295	61	66	43
	130	487	961	236	178	178

从表3可以知道：几乎所有的乔木树种从土壤中吸取量最多的是钙，其次是氮、钾、磷或者硫以及其他元素。阔叶树——椴、橡比针叶树——松和云杉从土壤中吸收的氮素和灰分元素要多得多。约一百年生的松树和云杉，每年每棵树需要钙30—40克，而橡树是300克左右；橡树到130年生时增加到一公斤。山杨在50年生时从土壤中吸收500克以上的钙。橡树在93年到130年生时对矿物营养物质的需要量显著的增加，这是由于在这个时期进行了抚育采伐、林内透光、留下来的林木增加了生长量的缘故。

第八、以下主要是研究营养元素在林分中的生物学循环。森林中营养元素的生物学循环用三个数量指标来表示：1) 在循环中被吸收的数量即立木从土壤中吸收的数量，2) 保留在立木中的，3) 从枯落物和死亡树木中归还给土壤的。

1. 根据全林分的计算，针叶纯林（松林，云杉林）需要营养元素最多的时期在Ⅱ龄级时，在Ⅱ和Ⅲ龄级以后逐渐减少。值得注意的是，某些松树和云杉几乎从土壤中吸收等量的营养元素，但云杉林分从土壤中吸收的营养元素的数量却比地位级相近的松树要多。这是由于在同一疏密度下云杉林分单位面积的株数比较多。云杉对土壤条件要求比较严格，这与它的根系分布浅有关。松树具有较深而强大的根系，能从更大体积的土壤中吸收水分和营养元素，因此松树林分能在比较瘠薄的土壤上发育。

针阔混交林，如松树-椴树林需要营养元素最多的时期是Ⅱ龄级。

在被研究的椴树林分中，13年到25年生时所需的大量营养元素是增加的，然后到40年生时有些降低，到70年生时又重新增加到最大量。椴树林后期对营养元素需要量的增加，是由于

一些74年生的椴树强烈的增加了对钙、氮和磷的需要量的缘故。

橡林从土壤中吸收营养元素即需要营养元素量最大的时期，也是在Ⅱ龄级时。

山楊林分对营养元素需要量的年龄变化的特点是这样的，在50年生以前，山楊林对氮、钾、硅酸和磷的需要量不断增加，在30—50年生的时期对钙的需要量有稍微的降低。这样，对营养元素需要量增长的时期延长到相当长的时间。

2. 在被研究的林型中，对于最主要的营养元素最大的需要量见表4。(单位：公斤/公顷)：

表 4

林 型	N	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
椴树-越桔林	44	60	23	14	18
云杉-真蕨林	62	73	49	23	23
松树-椴树林	90	160	57	31	29
云杉-复层林	101	132	38	13	22
山楊-莎草-節竹草林	120	253	103	29	37
椴树-節竹草-莎草林	78	160	48	24	33
橡树-莎草-節竹草林	156	315	82	46	51

从上表中可以知道，松树-椴树林、云杉复层林比松树和云杉的其他林型，从土壤中吸收的营养元素要多。这是由于前面所指出的，在闊叶树的叶子和木材中含有比針叶树多的营养元素。所以在針叶树种的林冠下长起闊叶树种时，必然会提高对营养元素的需要，并加强营养元素的循环。在复层林分下形成了森林植物特性較好的土壤。

3. 从土壤中吸取的大部分营养元素，又从落叶（針叶或闊叶）、果实、小枝以及在森林自然稀疏中死亡的树木中归还

給土壤。在被研究的針葉林中，从枯落物和枯死木进入土壤的氮素和灰分元素总量最多的時期，是在Ⅱ齡級和Ⅲ齡級時。在Ⅳ和Ⅴ齡級時實際上从土壤中吸收的所有营养元素都在当年由枯落物和死亡的树木归还給土壤。椴树林分是在70年生時归还給土壤的营养元素最多。橡林在大約Ⅱ齡級時从枯落物和枯死木中归还給土壤的营养元素最多，以后随林分年龄的增加变化很少。在100年生時，归还的营养元素的数量有些减少，然后到130年生時又重新增加。这是由于在Ⅱ齡級和130年生時，枯死木較多，从枯死木中归还給土壤的营养元素較多的緣故。山楊林則到50年生時归还給土壤的营养元素量最多，这是因为山楊从落叶中进入土壤的鈣、鉀和氮相当多，超过自然稀疏中由枯死木中归还給土壤的。

4. 每年从土壤中吸取的营养元素，其中很少的一部分保留在树木中。被保留的元素，在任何被研究过的林分中都是在头两个齡級時最多，大約在15—30年生時，以后随着年龄的增加，保留的营养元素的量逐漸减少。在成熟林中，从土壤中吸取的营养元素量几乎与归还給土壤的营养元素量相等。但是橡林是例外，它从Ⅰ齡級开始归还給土壤的营养元素大約等于需要量的80%。

5. 根据研究过的各树种的材料，将不同齡級的树木对营养元素的需要量和归还給土壤的营养元素量加以对照時，发现了一个普遍的規律。在林木开始发育的時期，从土壤中吸收的元素，并不是全部归还給土壤，其中相当大的部分保留在生长量的組成中。以后归还土壤的比較多了，而每年保留在树木成分中的营养元素就减少了。树种組成不同，这个轉折点开始的時期也不同。森林形成树种的結構和生物学特性决定着森林的阶段，在一定的阶段归还的营养元素和它的需要量相等，以后归

还给土壤的超过它的需要量。过熟林林分，由于林木的破坏，则增加了土壤的氮素和灰分元素，这时过熟林即被营养元素需要量多的、刚处于头几个龄级的新一代所代替。这样，新一代的森林则生长在含有丰富的营养元素的土壤上。

第九、在生物学循环中，营养元素的吸收和归还的绝对量随着森林的发育阶段而变化，但是参与生物循环的营养元素间的比例是经常不变的。仅在个别时期可以观察到有某些离开一般需要量的情况。例如，在Ⅱ龄级和部分Ⅲ龄级的云杉林、松林、橡林的林分里可以看到对氮和钾的相对需要量提高了，而同一时期对硅酸的需要量却减少了。以上所述情况，是由于竿材林阶段同化器官加强发育的结果。山杨和椴树具有均衡提高对营养元素需要的特点，而在研究过的整个时期中，参加生物学循环的营养元素之间的比例也是很稳定的。

根据不同龄级参加生物学循环的营养元素的比例的稳定性，可以算出森林对各种营养元素需要量的百分数。从得出的平均数中可以知道，林分组成不同及组成林分树种的生物学特性的不同，其数字也不同，如表5所示：

不同乔木树种的林分对氮和灰分元素
的平均相对需要量（佔总量的%） 表 5

林分类型		N	SiO ₂	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
松	林	24.8	6.4	7.0	28.5	6.1	11.5	6.0	2.8
云杉	林	20.8	12.2	8.6	26.2	4.8	11.9	7.7	8.2
椴树	林	21.3	4.0	2.8	38.6	6.4	14.5	5.5	7.1
山杨	林	17.9	9.1	3.1	38.8	5.0	15.7	5.1	4.9
橡树	林	17.0	11.0	2.5	36.4	5.5	8.9	7.6	6.3

从表5可明显的看出，闊叶林对鈣的相对需要量（36—39%）比針叶林高（26—28%），而松林需要氮的相对数量（25%）比云杉和椴树林高（17—21%），山楊林（9%）、橡林（11%）、云杉林（12%）对硅酸的需要量比松林（6%）和橡林（4%）高，針叶林比闊叶林对三氧化二鋁的相对需要量多等等。

从以上所述，可以得出这样一个結論，选择吸收性是形成森林的树种的生物学特性。在生物学循环的过程中，森林植物以它所需要的营养元素丰富土壤，在这个过程的經常影响下，逐漸改变了土壤的特性，这样就可以使对营养元素要求严格的树种生长，例如，在針叶林冠下可以生长起闊叶树。

第十、林冠下的苔蘚复盖物較少参与生物学循环。草本植物对鉀和氮的循环影响最大。

第十一、研究表明，撫育采伐对生物学循环有重大的影响。这种影响是由于在采伐時，会使营养物質随采伐剩余物（小枝，叶子和針叶）以及留在土壤中的根系归还給土壤。同时，撫育采伐运出木材，也就等于从生物学循环中运出了营养元素。

根据計算材料知道，疏伐時从采伐剩余物和根系中进入土壤的营养元素数量不大，針叶林分中比闊叶林分中稍大些。生长伐時，土壤从采伐剩余物和根系获得的营养元素比疏伐多。但是，在进行生长伐時，发育着的林木对营养元素的需要也显著地减少了。

第十二、主伐对于森林的营养元素生物循环的影响更为严重。主伐時，較多的营养元素从生物学循环中取走，其中有大量的鈣和氮，少量的鉀和其他元素。在山楊林中，由于采伐年齡（50年）比橡林（100年）小，因此，在山楊皆伐時，上述

的营养元素由生物学循环中取走得更多。其他树种的矮林作业也属于上述类型。

土壤在主伐以后从采伐剩余物和根系中获得大量的森林植物发育所必需的各种营养元素。留在伐区上的残余物，达到矿化的程度时，即释放出相当数量的植物可吸收的营养元素，这样就形成了对新一代森林发育的优良条件。在伐区上，火烧采伐残余物会丧失相当大量的氮，并且在某种程度上会丧失磷、硫和钾。

营养元素的生物学循环是威廉斯的草田轮作制的理论基础。了解了森林中营养元素的生物循环以及善于控制这一过程，对于提高森林生产力有着重大的意义。

（郑均宝根据苏联“森林研究所著作集”1935年第24卷H.Л.烈美佐夫、Л.Н.倍可娃和К.М.斯米尔诺娃所写“森林中氮素和灰分元素的生物学循环”一文翻译）

苗木代谢作用的改变与营养条件的关系

苏联 B.Ф. 佳利科娃——康楚乌罗娃

多年来研究施肥对乔木幼苗生长的影响，查明了施肥能增加叶量和树干生长，同时可使幼苗根系发育良好，提高苗木质量和标准苗木的产量。苏联科学院林业研究所在莫斯科省粘壤土上进行的试验，得到了很高的标准苗木产量（表1）。

从表1可以看出，由于施用了完全矿质肥料，并提高了磷肥的施用量或者是条施磷肥，因而幼苗数量最多，并且质量较好。

在提高磷肥使用量和条施磷肥时，矿质肥料所以有良好的

标准苗木产 (佔幼苗總量的%)

表 1

試驗处理	白 樺 (二年)	槲葉榆 (二年)	衛 矛 (一年)	尖葉槭 (一年)	松 樹 (二年)	西伯利亞 落葉松 (一年)
不施肥……	50.8	71.9	14.1	23.6	45.5	65.4
P ………	78.0	75.0	—	—	45.6	70.8
PK ………	88.3	84.3	—	—	41.8	59.4
NPK………	76.7	85.0	59.5	50.0	61.7	64.9
NP ₃ K ……	82.0	92.5	—	66.0	—	68.4
NP ₃ K ₂ ……	90.0	92.4	—	—	—	72.8
NK+ 条施 磷肥	—	—	74.5	—	—	—

註: 这里常用的是: P—过磷酸鈣, N—硝酸銨, 鉀—氯化鉀。

我們在謝尔巴科夫的領導下進行了这项工作, 研究礦質肥料对乔木幼苗質量的影响这一工作, 主要是苏联科学院林業研究所乔木生理實驗室完成的。

影响, 是与大量的磷进入植物体有关的。此外, 在植物体内磷和其它营养元素之間的比例也显然有很大的意义, 特别是磷和氮之間的比例。由于在肥料中或在植物体内营养元素有一定的比例, 因此創造这样的条件, 就会影响植物生长的过程。从文献資料看来, 磷是直接参与合成过程的复杂有机化合物的組成元素。在这种条件下, 对形成核蛋白有很大的意义, 而核蛋白是細胞原生質的重要組成部分, 并且在有机体生长形成新細胞过程中起着很大的作用。因此, 保証植物的磷素营养, 并有相应数量的氮和鉀, 便可創造幼苗生长初期最优良的生长条件。

幼苗質量取决于茎高、根頸直徑的大小和根系发育的程度。这些形态特征与植物的生理和生物化学特性密切相关。后者制約着栽植在造林地上的苗木今后的生长和发育。这些品質, 可通过幼苗营养以創造合适的条件來获得。但是, 創造这

样的条件，必須知道植物有机体的本性，即其生物的和生理的特性，以便使植物的要求符合于人們的願望，在某些方面加强，在某些方面减弱。

因此，研究乔木幼苗的生理过程，在很大程度上能揭发植物的本性。目前不少的研究工作已按照这个方向进行。例如，庫馬科夫研究了某些乔木树种碳水化合物貯藏量的变动指出，不同树种貯藏物的消耗和累积紧密地依赖于生长特性。例如，橡树、韃靼槭和白蜡的生长特性是很快地完成枝条长度和叶的生长，这在很大程度上依赖于貯藏的可塑性物質的数量和过去的营养条件。韃叶榆在枝条长度生长時，只有最初的叶子是依靠貯藏物形成的，以后生长是按累积貯藏物的方向进行。每一树种的碳水化合物貯藏量与它的生长特性和对不良条件的抵抗力有关。外界作用条件的变动，首先便明显地影响到树木的生长和抵抗力。因此，幼苗的生活力和抵抗力也同样依赖于聚积在植物体内的貯藏物的組成和一定的数量。

在这篇报导中，我們要研究的是土壤中不同比例的营养元素对植物体内氮和磷素化合物的累积和对于幼苗質量影响的問題。从試驗中对植物根、叶和茎进行化学分析，表明了施肥的最大有效度（表2）。植物試样是在九月采取的。在这个時期，植物已准备越冬，枝、叶的生长已經停止，芽已形成。

从表2列举的資料看来，化合物的总量和蛋白質的提高是依赖于使用的肥料的。虽然对于个别施肥处理來說，氮素含量的百分数沒有明显的区别，而在某些条件下它們甚至是很近似的，但是按各种处理来看，植株生长情况則相差很大。因之，仅仅是測定叶子中氮和磷总含量的百分数还不能完全說明植物的生理特性、生活力，及其生长与营养条件的关系。假若注意到叶子中磷和氮之間的比例，那么就会看出土壤中施入磷肥時，

2
4

(1950年契尔基作伏在坡德莫斯科林管區的試驗)

試驗處理	100 株苗木乾物質量			葉 子 分 析				100株苗木中的 含量(克)			
	葉 (克)	莖 (克)	根 (克)	整株植物 P ₂ O ₅ 總量 (%)	N (%)		$\frac{P_2O_5}{N}$	蛋白質氮 佔總量的 %	N	P ₂ O ₅	
					總 量	蛋白質的					
不施肥…	2.91	1.72	3.27	100	0.68	1.85	1.60	0.37	86.5	5.38	1.97
NK ……	1.97	1.72	3.22	87	0.70	2.05	1.68	0.34	82.0	4.04	1.38
NPK ……	3.98	2.22	4.01	129	0.80	2.10	1.85	0.38	88.0	8.36	3.22
NK+茶施磷	12.30	8.86	12.10	421	0.73	1.99	1.90	0.39	95.5	24.48	9.59
NP ₂ K ……	6.10	3.73	6.61	208	0.31	2.05	1.96	0.40	95.6	12.51	4.94

注：土壤—灰化壤土。肥料種類—硝酸銨、過磷酸鈣和氯化鉀。施用量（公斤/公頃）：

N-28, P-45, K-30.