

文章编号: 1000-5692(2006)04-0393-07

香榧林地土壤养分、重金属及对香榧子成分的影响

戴文圣^{1,2}, 黎章矩², 程晓建², 喻卫武², 符庆功²

(1. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037; 2. 浙江林学院
浙江省现代森林培育技术重点实验室, 浙江 临安 311300)

摘要: 通过对香榧 *Torreya grandis* ‘Merrillii’ 林地土壤及香榧子的取样分析得出: ①香榧林地土壤中的全氮、全磷、全钾和水解氮的质量分数较为丰富, 速效钾相对不足; 铁(Fe), 硼(B), 锰(Mn) 等营养元素丰富, 且变异系数较小; 镉(Cd)和汞(Hg)没有检出, 砷(As), 铬(Cr)和铜(Cu)的变异系数较大, 而锌(Zn)和铅(Pb)的变异系数较小; As, Cr, Cu, Pb 的质量分数有个别土样超标。②香榧子中氮(N), 磷(P), 钾(K), 钙(Ca), 镁(Mg)等元素的质量分数较高, 且样品间变异系数均在 16%以下; Mn, Cu 和 Zn 的质量分数也较丰富, 样品间变异系数小; Fe 和 B 等元素的变异系数较大, 分别为 147.69%和 112.99%; Cu, Zn 和 Hg 的质量分数在安全范围以内, Pb 和 Cr 未检出, 仅个别样品 As 超标。③除了土壤中的 Ca 与香榧子中的 Ca, Fe 和 N 等元素间存在极显著和显著的相关性外, 多数元素在土壤与香榧子之间相关性不显著。表 8 参 19

关键词: 土壤学; 香榧; 土壤养分; 重金属元素; 营养元素; 施肥

中图分类号: S664.5; S714.8 **文献标识码:** A

香榧 *Torreya grandis* ‘Merrillii’ 为我国特有的珍稀干果, 是榧树 *Torreya grandis* 中的优良变异类型经人工选育后嫁接繁殖栽培的优良品种。香榧子是我国加入世界贸易组织后最具国际市场竞争力的特色产品之一。浙江会稽山区的诸暨、绍兴、嵊州、东阳、磐安等 5 县市是我国香榧的集中产地^[1,2]。香榧主要分布在海拔 200~800 m 的低山丘陵, 成土母岩有凝灰岩、流纹岩、流纹质凝灰岩、辉长岩及局部的安山岩、玄武岩。土壤类型主要为黄红壤及黄壤。20 世纪 90 年代以来, 随着香榧子价格的大幅度上升, 香榧林的管理水平特别是施肥水平大幅度提高, 土壤的营养水平较之以前有了很大变化^[3]。这些人为的干扰, 在使香榧子产量得到较大幅度提高的同时, 也不可避免地带来一些负面影响。姜培坤等^[4~11]研究了雷竹 *Phyllostachys praecox* 林地的土壤化学性质和酶活性的变化后, 认为长期超量施肥使竹林土壤养分积累、生物学活性异常和雷竹笋硝酸盐含量超标, 重金属增加。香榧林地土壤养分状况和香榧子的成分分析已有研究^[3,12], 但有关香榧林地土壤养分、重金属与相应土壤上生产种子质量的研究则未见报道。因此, 有必要对香榧产地的土壤和相应土壤上的香榧子进行元素分析, 以探求香榧林地土壤养分、重金属及其对香榧子产量和品质的影响。

收稿日期: 2006-02-17; 修回日期: 2006-04-21

基金项目: 浙江省科学技术重大招标项目(021102537); 浙江省林业厅重点林业科技攻关项目(01A02)

作者简介: 戴文圣, 副教授, 博士研究生, 从事经济树种良种选育、栽培生理和生态研究。E-mail: daiwsh@zjfc.edu.cn

1 研究材料与方法

1.1 采样地点的确定

2003年8月,对香榧子主产区的诸暨、绍兴、嵊州、东阳、磐安等5县(市)11个乡镇的香榧子主产村进行了实地调查,根据地质、土壤类型和管理水平,按每县(市)选择3~5个采样地点的要求,最终确定了19个采样地点。

1.2 采样方法

在400 m²样地范围内设4个采样点,用竹片分层采集0~20 cm及21~40 cm土层土壤。每层土壤要求采集1 kg以上土样。所采集土壤样品,带回实验室进行处理和分析。香榧子成熟采收时,在该样地中心植株上随机采集香榧种实1 kg,及时脱去假种皮,晒干备用。

1.3 分析方法

蛋白质采用《GB/T 5009.5-2003 食品卫生检验方法:理化部分》标准检验方法;全氮用凯氏定氮法;水解氮用碱解扩散法;速效磷采用盐酸氟化铵浸取,分光光度计法;速效钾用乙酸铵浸取,火焰光度计法。土壤和香榧子的元素分析用ICP法,分析仪器用IRIS/AP型电感耦合等离子体原子发射光谱仪(ICP-OES)^[13]。

2 结果与分析

2.1 香榧林地土壤养分和重金属分析

2.1.1 香榧林地土壤养分质量分数 根据19个土壤剖面38个分析样品,取每个剖面分析数据的平均值,得19组数据(表1)。从表1可见:在香榧林地土壤样品中,土壤全氮、全磷、全钾和水解氮的质量分数较为丰富,其平均值均超过一般山地红黄壤水平^[14];各土样之间差异很大,全氮为0.83~3.25 g·kg⁻¹,全磷0.37~3.34 g·kg⁻¹,全钾1.60~13.88 g·kg⁻¹,水解氮105.00~490.00 mg·kg⁻¹,高低之差从几倍到近10倍;氮(N)磷(P)钾(K)比例失调,表现为氮的质量分数过高,而速效钾不足。出现这些情况,一方面与成土母岩和母质有关,另一方面是由于20世纪80年代以后,香榧树分到户管理,特别是20世纪90年代以后,香榧子价格大幅度上升,管理加强,施肥量大增而不平衡,特别是偏施氮肥,忽视钾肥所致^[3]。另外,在香榧林地土壤养分中,锰(Mn)的质量分数变幅为207.76~1785.30 mg·kg⁻¹,高低相差8倍之多;钙(Ca)的质量分数变幅为1.30~5.90 g·kg⁻¹,镁(Mg)2.40~6.10 g·kg⁻¹,硼(B)73.41~250.50 mg·kg⁻¹,高低相差三四倍;铁(Fe)的变幅为13.80~22.40 g·kg⁻¹,钼(Mo)仅有1个土样测出,变幅为0~2.55 mg·kg⁻¹。以上元素的变异系数在50%以下,说明个别土壤差异较大,但总体较为一致。

2.1.2 香榧林地土壤重金属(和砷)质量分数 香榧林地土壤重金属(和砷)的质量分数变化情况见表2。从表2可知,有毒重金属镉(Cd)和汞(Hg)没有检出;砷(As),铬(Cr)和铜(Cu)的变异系数较大,范围为137.18%~214.17%,锌(Zn)和铅(Pb)的变异系数较小,分别为30.03%和18.86%;锌(Zn)没有超标,As, Cr, Cu和Pb除个别土样超标外,绝大部分符合绿色食品土壤环境质量标准《GB15618-1995 土壤环境质量标准》的2级标准要求。

2.1.3 香榧林地土壤养分和重金属元素变化的原因分析与评价 从分析结果可以看出,不同土样中养分元素的质量分数均有一定的差异。究其原因,首先,是由于成土的母岩、母质不同所致。以表1资料为例,石灰岩发育的土壤速效磷和速效钾显著低于其他土壤;而石灰岩与辉长岩发育的土壤所含钙、镁又显著高于其他土壤。其次,是由于过量施肥而引起某些元素的积累。从分析的土样中可以看出,土壤全氮、全磷、全钾和水解氮的质量分数均较丰富,其平均值均超过一般山地红黄壤水平,就是由于过量施肥所致。再次,施肥有导致土壤重金属质量分数增加的趋势。据初步分析,同样土壤类型香榧林地土壤重金属Pb的质量分数高于榧树林地土壤,前者为63.12~65.30 mg·kg⁻¹,而后者为41.50~50.68 mg·kg⁻¹,这种差异也是由于施肥造成的。一方面是因为化肥、有机肥特别是垃圾肥中的塑料、油漆中含有Pb,造成Pb的累积;另一方面可能是有机肥的增施,通过螯合作用提高了重金

属元素的有效性^[15]。Fe, Zn, Cu 和 Se (硒) 是 21 世纪世界食品中最易短缺的微量元素^[16], 因此 Fe, Zn, Cu 和 Se 的质量分数及其有效性是体现土壤健康的重要质量指标。从香榧林地土壤养分元素分析结果看, 除 Se 没有检出外, Fe, Zn 和 Cu 等元素的质量分数丰富而鲜有超标, 说明香榧林地土壤的环境质量指标和健康质量指标是好的^[17]。

表 1 香榧林地土壤养分质量分数

Table 1 Contents of nutrient elements in *Torreya grandis* 'Merillii' forest soil

样地 序号	全氮/ (g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	全钾/ (g·kg ⁻¹)	水解氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	钙/ (g·kg ⁻¹)	镁/ (g·kg ⁻¹)	铁/ (g·kg ⁻¹)	硼/ (mg·kg ⁻¹)	锰/ (mg·kg ⁻¹)	铝/ (mg·kg ⁻¹)
1	1.78	2.04	6.15	105.00	3.90	49.80	4.50	3.00	20.30	182.84	345.78	—
2	1.44	0.37	7.13	248.50	57.50	72.50	3.30	3.10	14.10	86.87	1 000.92	—
3	1.53	0.76	4.68	210.00	44.20	73.80	2.80	3.50	15.70	104.79	1 136.20	—
4	0.83	0.71	2.58	122.50	38.90	125.00	3.50	4.40	17.70	137.12	1 016.50	—
5	1.09	0.35	3.44	192.50	2.70	41.30	3.80	3.30	13.80	89.60	684.27	—
6	1.12	1.07	9.45	154.00	67.00	65.00	2.40	5.60	22.40	239.16	1 773.20	—
7	0.87	0.55	3.75	105.00	16.80	122.50	1.70	2.40	11.90	118.70	574.06	—
8	1.37	0.53	5.76	168.00	89.00	102.20	2.40	3.50	11.60	92.13	1 015.25	2.55
9	3.25	3.34	5.43	490.00	418.60	166.30	1.70	3.10	15.50	98.30	207.26	—
10	0.99	0.87	1.60	133.00	55.50	130.00	2.50	6.10	20.80	250.51	870.00	—
11	1.29	0.50	8.45	156.50	75.95	55.00	1.50	4.20	21.40	168.20	628.30	—
12	2.21	1.31	4.31	259.00	39.80	107.50	5.90	6.00	21.10	196.19	1 785.28	—
13	1.57	0.59	7.55	220.50	14.35	112.50	1.90	2.70	14.50	92.40	665.36	—
14	1.25	0.55	4.85	178.50	13.05	97.50	1.30	2.80	19.30	164.90	368.50	—
15	1.20	1.08	11.08	308.00	255.80	243.50	1.40	3.20	15.60	117.04	684.32	—
16	1.56	1.33	4.15	171.50	73.50	147.50	3.70	5.10	22.30	224.46	1 110.58	—
17	1.14	0.57	9.74	171.50	125.10	126.30	1.90	3.00	12.80	88.93	777.62	—
18	0.98	0.32	6.23	136.00	45.80	36.25	2.00	3.50	12.60	73.41	792.19	—
19	0.85	0.80	13.88	108.50	16.80	67.50	2.80	3.00	23.00	220.01	819.25	—
平均	1.39	0.93	6.33	191.50	76.54	102.21	2.68	3.76	17.20	144.47	855.54	0.13
变异系数/%	41.20	77.82	49.13	47.50	129.87	49.39	44.59	30.37	23.12	40.78	48.32	26.72

表 2 香榧林地土壤重金属(和砷)质量分数

Table 2 Contents of heavy metals in *Torreya grandis* 'Memilii' forest soil

项 目	重金属/ (mg·kg ⁻¹)						
	As	Cd	Cr	Cu	Zn	Hg	Pb
平均值	24.22	0	44.19	11.18	100.08	0	49.76
变异系数/%	214.17	—	151.81	137.18	30.03	—	18.86
变幅	2.57~233.10	—	0~203.40	0~70.08	65.04~181.59	—	34.30~70.01
绿色食品产地环境质量标准	<20~25	<0.30~0.40	<120~150	<50~60	<200~250	<0.25~0.30	<50

2.2 不同土壤上香榧子的营养元素分析

2.2.1 不同土壤香榧子蛋白质和营养元素的质量分数 在 19 个土壤样地上采集 15 个香榧子样品(其他 4 个为榧树子)进行分析, 其蛋白质和营养元素的质量分数列表 3。

从表 3 得知, 香榧子中蛋白质以及 P, K, Ca 和 Mg 等营养元素的质量分数丰富, 且样品间变异系数均在 16% 以下, 说明这些元素为香榧所必需且吸收利用稳定。Fe 和 B 的质量分数在不同样品间波动大, 变异系数分别为 147.69% 和 112.99%。Se 的质量分数较小, 但变异系数达到 136.71%, 样品间的波动也很大。Mn 的质量分数变幅为 7.1~51.77 mg·kg⁻¹, 大小相差 7 倍多, 但变异系数为 60.37%, 说明个别样品差别较大, 大多数样品相对一致。Mo 没有检出。

表3 不同土壤上香榧子蛋白质和营养元素的质量分数

Table 3 Contents of protein and nutrient elements in *Torreya grandis* 'Merillii' seeds from different forest land types

项目	蛋白质/ (g·kg ⁻¹)	P/ (g·kg ⁻¹)	K/ (g·kg ⁻¹)	Ca/ (g·kg ⁻¹)	Mg/ (g·kg ⁻¹)	Fe/ (mg·kg ⁻¹)	B/ (mg·kg ⁻¹)	Mn/ (mg·kg ⁻¹)	Se/ (mg·kg ⁻¹)
平均值	136.00	2.72	8.90	0.93	2.57	8.79	1.90	21.38	0.0021
变异系数/%	4.46	9.58	13.69	16.02	7.84	147.69	112.99	60.37	136.71
变幅	127.6~147.2	2.15~2.96	6.73~1.40	0.70~1.40	2.30~3.10	0~33.61	0~5.84	7.1~51.77	0~0.008

2.2.2 不同林地香榧子中重金属(和砷)的质量分数 不同林地上香榧子中重金属(和砷)的质量分数见表4。从表4中可以看出,香榧子中Zn和Cu的质量分数较高,但样品间变异系数小;As,Cd和Hg等重金属元素的质量分数较低,但变异系数在87.66%~149.56%,样品间变异较大。Pb和Cr等两种重金属元素未检出。按国家绿色食品卫生标准(目前尚无干果国家标准,暂以粮食、豆类为准)衡量^[18],重金属元素Cu,Zn和Hg的质量分数均在安全范围以内,仅个别样品As超标。

表4 不同林地上香榧子重金属(和砷)的质量分数

Table 4 Contents of heavy metals in *Torreya grandis* 'Merillii' seeds from different forest land types

元素	平均值/ (mg·kg ⁻¹)	变异系数/ %	变幅	国家卫生标准(粮食、 豆类)/(mg·kg ⁻¹)
As	0.260	149.56	0~13.40	<0.70
Cd	0.060	87.66	0~0.206	<0.2~0.7
Cr	—	—	—	<0.2~1.0
Cu	9.260	13.94	6.89~11.39	<10~20
Pb	—	—	—	<0.4~0.8
Zn	34.110	23.55	22.46~49.68	<50~100
Hg	0.004	292.30	0~0.046	<0.05

2.3 土壤和香榧子之间养分和重金属元素的相关性分析

2.3.1 土壤养分与香榧子营养元素的相关性 香榧林地土壤中各营养元素之间的相关性分析见表5。香榧林地土壤中的N与P,K的关系密切,其中N与P的相关系数达到极显著水平;P与K的相关系数也达到显著水平。这可能与香榧林地的施肥有关,由于施肥显著提高了香榧林地的N,P和K的营养水平。Mg和Fe,B,Mn的相关性明显,其中Mg和B,Mn的相关性达到极显著水平;Fe和B的相关性也达到极显著水平。K和Ca与其他营养元素之间的相关性不明显。N和P等两种元素与其他元素之间的相关系数均为负数,这是否意味着施肥管理促进了树体对其他营养元素的吸收,还有待于进一步研究。

表5 香榧林地土壤中各营养元素之间的相关系数

Table 5 Correlation coefficients between various nutrients in *Torreya grandis* 'Merillii' forest soil

元素营养	N	P	K	Ca	Mg	Fe	B	Mn
N	1	0.855**	0.597*	-0.089	-0.145	-0.382	-0.435	-0.168
P		1	0.597	-0.289	-0.038	-0.146	-0.185	-0.278
K			1	-0.069	0.266	0.169	0.219	-0.058
Ca				1	0.351	0.195	0.212	0.472
Mg					1	0.549*	0.679**	0.717**
Fe						1	0.949**	0.319
B							1	0.384
Mn								1

说明: $r_{0.05}=0.514$ $r_{0.01}=0.641$, **表示极显著水平, *表示显著水平。

土壤与香榧子中营养元素之间的相关关系分析见表 6。由表 6 得知, 土壤中 P 与香榧子中 K 存在显著的相关性; 土壤中的 Ca 与香榧子中的 Ca, Fe 之间存在极显著的相关性, 土壤中的 Ca 与香榧子中的 N 也存在显著的相关性, 说明土壤中的 Ca 不仅能被香榧树体吸收, 而且能提高香榧子蛋白质的质量分数, 从而提高香榧子的品质。

表 6 香榧林地土壤与香榧子中营养元素之间的相关系数

Table 6 Correlation coefficients between nutritions of seed and corresponding soil

土壤营 养元素	香榧子营养元素							
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	B	Mn
N	-0.090	0.394	0.395	0.031	-0.167	0.170	-0.181	0.187
P	-0.315	0.361	0.616 *	-0.092	-0.207	-0.172	-0.114	0.279
K	-0.036	0.388	0.283	-0.210	0.037	-0.238	0.151	0.155
Ca	0.617 *	-0.065	0.023	0.682 **	0.277	0.758 **	-0.269	-0.063
Mg	0.255	0.503	0.324	0.037	-0.090	-0.012	0.136	-0.035
Fe	0.001	-0.182	0.112	0.055	0.196	-0.271	-0.015	-0.300
B	-0.033	-0.108	0.111	0.005	0.155	-0.280	0.071	-0.253
Mn	0.444	0.266	0.280	0.114	-0.200	0.219	0.292	-0.007

说明: $r_{0.05}=0.514$ $r_{0.01}=0.641$; **表示极显著水平, *表示显著水平。

2.3.2 土壤重金属(和砷)与香榧子中重金属元素之间的相关性 香榧林地土壤中重金属(和砷)间的相关性分析见表 7。香榧林地土壤中 As 和 Cr, Cu, Zn 的关系密切, 相关系数达到极显著水平; Cr 和 Cu 之间相关系数也达到极显著水平; Cu 和 Zn 之间的相关性也达到极显著水平。造成这种现象的原因尚有待于进一步研究。

香榧林地土壤与香榧子中重金属(和砷)之间的相关性分析见表 8。从表中可以看出, 香榧林地土壤与香榧子中重金属元素之间的相关性不显著。除了土壤中的 Cr 与香榧子中的 Hg 有极显著的相关, 土壤中的 Pb 与香榧子中的 Zn 有显著的相关性外, 大多数重金属元素之间没有表现出明显的相关性。

香榧林地土壤和香榧子中的重金属元素质量分数之间的关系表现较为复杂。土壤中 Cr, Pb 等重金属元素有或含量较高, 而种子中未检出; Cd 在土壤中未检出而香榧子中较高, Hg 也有类似现象。说明香榧对重金属元素有选择吸收特性, 特别是 Cd 在生物体内具有富集作用^[8], 某些水草中 Cd 的量可高于水中 Cd 的量 4 500 倍, 而某些贝类 Cd 的富集系数高达 $10^5 \sim 2 \times 10^6$ 。目前香榧投产树中有 50% 左右为 100 年生以上大树^[19], Cd 的质量分数较高, 可能与富集作用有关。

表 7 香榧林地土壤中重金属(和砷)之间的相关系数

Table 7 Correlation coefficients between heavy metals

in *Torreya grandis* ' Merrillii' forest soil

元素	As	Cr	Cu	Zn	Pb
As	1	0.678 **	0.958 **	0.745 **	-0.003
Cr		1	0.721 **	0.463	-0.288
Cu			1	0.755 **	0.011
Zn				1	0.126
Pb					1

说明: $r_{0.05}=0.497$, $r_{0.01}=0.623$; **表示极显著水平, *表示显著水平。

表 8 香榧林地土壤与种子中重金属(和砷)的相关系数

Table 8 Correlation coefficients between heavy metals of

seed and corresponding soil

土壤中重 金属元素	香榧子中重金属元素				
	As	Cd	Cu	Zn	Hg
As	-0.211	-0.135	-0.018	-0.179	-0.139
Cr	-0.063	-0.291	0.285	0.195	0.689 **
Cu	-0.131	-0.057	0.030	-0.148	0.212
Zn	-0.178	-0.341	0.202	-0.360	0.233
Pb	-0.337	0.144	-0.227	-0.555 *	-0.029

说明: $r_{0.05}=0.497$, $r_{0.01}=0.623$; **表示极显著水平, *表示显著水平。

3 结论与讨论

香榧林地土壤养分分析表明: 土壤全氮、全磷、全钾和水解氮的质量分数较高, 其平均值均超过一般山地红黄壤水平; 但各土样之间差异很大, 高低之差从几倍到近 10 倍。这一方面与成土母岩和母质有关, 另一方面是由于香榧树分到户管理, 特别是香榧子价格大幅度上升后, 管理加强, 施肥量大增而不平衡所致。

土壤重金属(和砷)中, Cd 和 Hg 没有检出, Cr, Pb, Cu, Zn 和 As 的质量分数除个别土样外, 全部符合绿色食品土壤环境质量指标。而作为土壤健康质量指标的 Fe, Zn 和 Cu 等丰富而不超标, 说明香榧林地土壤的环境质量指标和健康质量指标是好的。

不同土壤上香榧子营养元素分析表明: 香榧子中 N, P, K, Ca 和 Mg 丰富而稳定。土壤中的 Ca 与香榧子中的 Ca 和 Fe 之间存在极显著的相关性, 土壤中的 Ca 与香榧子中的 N 也存在显著的相关性, 说明土壤中的 Ca 不仅能被香榧树体吸收, 而且能提高香榧子蛋白质的质量分数, 从而提高香榧子的品质。

香榧子中的重金属(和砷)Pb 和 Cr 未检出, Cd, Cu, As, Hg 和 Zn 中除 As 个别样品超标外, 均符合绿色食品的安全标准。香榧林地土壤与香榧子中重金属元素之间的相关性不显著。除了土壤中的 Cr 与香榧子中的 Hg 有极显著的相关, 土壤中的 Pb 与香榧子中的 Zn 有显著的相关性外, 大多数重金属元素之间没有表现出明显的相关性, 说明香榧对重金属元素有选择吸收特性。大量施肥, 特别是有机肥与化肥混施, 有提高土壤中 Pb 质量分数的趋势, 应引起重视。

参考文献:

- [1] 黎章矩, 程晓建, 戴文圣, 等. 香榧品种起源考证[J]. 浙江林学院学报, 2005, 22 (4): 443—448.
- [2] 黎章矩, 程晓建, 戴文圣, 等. 浙江香榧生产历史、现状与发展[J]. 浙江林学院学报, 2004, 21 (4): 471—474.
- [3] 戴文圣, 黎章矩, 程晓建, 等. 香榧林地土壤养分状况的调查分析[J]. 浙江林学院学报, 2006, 23 (2): 140—144.
- [4] 姜培坤, 俞益武, 金爱武, 等. 丰产雷竹林地土壤养分分析[J]. 竹子研究汇刊, 2000, 19 (4): 50—53.
- [5] 姜培坤, 叶正钱, 徐秋芳. 高效栽培雷竹林土壤重金属含量的分析研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17 (4): 61—63.
- [6] 杨芳, 徐秋芳. 不同栽培历史雷竹林土壤营养与重金属含量的变化[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20 (2): 111—114.
- [7] 姜培坤, 徐秋芳, 钱新标, 等. 雷竹林地覆盖增温过程中土壤化学性质的动态变化[J]. 浙江林学院学报, 1999, 16 (2): 123—130.
- [8] 姜培坤, 徐秋芳, 钱新标. 雷竹林地覆盖增温过程中土壤酶活性的动态变化[J]. 林业科学研究, 1999, 12 (5): 548—551.
- [9] 姜培坤, 俞益武, 张立钦, 等. 雷竹林地土壤酶活性的研究[J]. 浙江林学院学报, 2000, 17 (2): 132—136.
- [10] 徐秋芳, 叶正钱, 姜培坤, 等. 雷竹笋营养元素含量及其与土壤养分的关系[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20 (2): 115—118.
- [11] 姜培坤, 徐秋芳, 罗煦钦, 等. 雷竹笋重金属含量及其与施肥关系的研究[J]. 浙江林学院学报, 2004, 21 (4): 424—427.
- [12] 黎章矩, 骆成方, 程晓建, 等. 香榧种子成分分析及营养评价[J]. 浙江林学院学报, 2005, 22 (5): 540—544.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 100—145.
- [14] 叶仲节, 柴锡周. 浙江林业土壤[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1986.
- [15] 杨玉爱, 王珂, 叶正钱, 等. 有机肥料资源及其对微量元素的螯溶和利用的研究[J]. 土壤通报, 1994, 25 (7): 21—25.
- [16] 格雷厄姆. 富足之灾[N]. 参考消息, 2003-01-15 (7).
- [17] 黄昌勇, 石伟勇. 新世纪现代农业与土壤肥料[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [18] 王肇慈. 粮油食品卫生检测[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001: 374—376.

[19] 孟鸿飞, 金国龙, 翁仲源. 诸暨市香榧古树资源调查研究[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20 (2): 134-136.

Mineral elements in *Torreya grandis* ‘Merrillii’ seeds and their forest soils

DAI Wen-sheng^{1,2}, LI Zhang-ju², CHENG Xiao-jian², YU Wei-wu², FU Qing-gong²

(1. College of Forest Resource and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China;

2. Key Laboratory for Modern Silvicultural Technology of Zhejiang Province, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Studies were carried out on mineral elements in *Torreya grandis* ‘Merrillii’ seeds and their forest soils. The results are the following. (1) In the soils, total nitrogen, total phosphorus and hydrolytic nitrogen are rich, while available potassium insufficient. Ferrum, boron, manganese are rich and coefficients of variation are small. Cadmium and hydragyrum are undetectable, coefficients of variation of arsenic, chromium, cuprum are big while those of zinc and plumbum small, and in some soil samples, the contents of arsenic, chromium, cuprum and plumbum exceed the standard. (2) In the seeds, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium are abundant and their coefficients of variation are under 16%. Manganese, cuprum and zinc are plentiful, and the coefficients of variation are small, while those of ferrum and boron are between 147.69% and 112.99%, respectively. Among the heavy metals, cuprum, zinc and hydragerum contents are under the safe line, and plumbum and chromium are undetectable. Only arsenic content exceeds the standard in some samples. (3) Of most mineral element contents, there are no correlations between the soils and the seeds, except those of calcium and ferrum and nitrogen. [Ch, 8 tab. 19 ref.]

Key words: pedology; *Torreya grandis* ‘Merrillii’; soil fertility; heavy metal; mineral elements; fertilization