

福建滨海木麻黄林下土壤性质的变化 及其对林带更新的影响

郑达贤 沙济琴

(福建师范大学地理研究所, 福州 350007)

提 要 研究了福建滨海沙地木麻黄防护林 Mo 的生物地球化学循环特征和林下土壤 pH 的变化, 发现因 Mo 的生物地球化学循环不平衡引起的土壤微量元素 Mo 的耗竭和土壤的酸化是木麻黄林早衰和迹地更新生长不良的重要原因。提出了相应的对策建议。

关键词 木麻黄林带更新 Mo 的耗竭 土壤酸化

闽东南沿海突出部和岛屿是雨量较少、风力强盛、风沙危害较严重的半湿润区域^[1]。自 50 年代末成功地引种木麻黄树(*Casuarina equisetifolia*), 并逐步建成滨海防护林带以来, 这些地区的生态环境得到根本的改善。目前, 木麻黄林大多已是 20—30 年树龄的成熟林, 有的已经衰老和死亡, 不少林片需要更新^[2]。但是, 许多地方在沙质迹地上重新营造木麻黄林时, 发现苗木成活率低, 生长不良, 甚至生长不起来。由于目前直接临海的滨海风沙区尚未找到合适的替代树种, 沙地上木麻黄防护林更新困难, 影响这一地区已改善了的生态环境的维护。因此, 二茬木麻黄生长不良原因的探索引起林学、地学和环境科学工作者的普遍关注^[3]。我们注意到: ①这些二茬木麻黄生长不良的土地均为滨海风积沙地, 土壤贫瘠; ②木麻黄在营造后的几十年内属于森林生态系统的集累期(aggradation)^[4,5], 生物量增长很快, 不但元素的生物地球化学循环十分迅速, 而且土壤-植物之间营养元素的交换呈现明显的不平衡特征; ③这些地区人口密集, 燃料缺乏, 每年木麻黄的枯落小枝(木麻黄叶已退化, 小枝是光合器官)均被用作农家燃料, 其所含矿物质并未返回林下土壤, 造成生物地球化学循环的人为中断, 加剧了土壤-植物之间营养元素交换的不平衡。为此, 我们从分析海坛岛木麻黄林的生物地球化学循环和林下土壤环境的变迁入手, 来探索二茬木麻黄生长不良的原因, 以期提出针对性措施。1984—1990 年笔者等系统研究了木麻黄林的 N、P、K、Na、Ca、Mg、Cu、Zn、Fe、Mn、B、Mo 等 12 种元素的生物地球化学循环^[6]和土壤性质, 发现土壤中的营养贫乏是由于木麻黄对 Mo 的大量摄取, 引起土壤中 Mo 的耗竭和林下土壤的酸化是导致木麻黄成林早衰和迹地更新困难的重要原因。本文仅从木麻黄林 Mo 的营养循环和林下土壤 pH 的下降两方面试作分析。

* 福建省自然科学基金项目, 参加工作的还有黄义雄, 方祖光, 谢皎如。

来稿日期: 1993 年 1 月; 收到修改稿日期: 1993 年 9 月。

1 研究区环境和实验方法

1.1 研究区的自然环境

研究区位于福建省海坛岛。该岛面积 251.4km²。由丘陵、台地、风积和海积平原构成,其中滨海风积平原面积 48km²,占全岛面积的 18%。据县气象台 1954—1980 年气象观测资料统计,该岛年均温 19.6℃,2 月均温 10.2℃,7 月均温 27.9℃,年降水量 1 172.2mm,年均风速 7.0m/s,每年 8 级以上大风日数 89 天,按彭曼法估算,该岛年蒸发力 1 325mm,故年干燥度 1.13,属风力强的南亚热带半湿润季风气候区。该岛土壤主要有三类:半干润老成土(砖红壤性红壤,赤土,赤砂土等),盐化潮湿始成土(咸土、埧土等)和石英砂质新成土(滨海风沙土)。主要种植木麻黄的土壤——石英砂质新成土中植物必需营养元素贮量很少,肥力低下(表 1)。

表 1 海坛岛石英砂质新成土代表性剖面的基本性质
Tab. 1 The characters of quartzipsamment in Haitan Island

上层深度 (cm)	机械组成(%)							代换量	
	>2.0mm	2.0—1.0	1.0—0.5	0.5—0.25	0.25—0.10	0.10—0.07	<0.07	pH	(m.e/100g)
0—20	1.21	0.15	2.62	19.71	72.21	0.54	3.68	6.32	2.14
20—80	0.00	0.00	1.01	20.83	76.90	0.27	0.99	6.20	

土层深度 (cm)	有机质 (%)	全氮 (%)	水解度 (μg/g)	土壤全量(%)					
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO
0—20	0.44	0.04	32	90.0	4.12	0.77	0.009	0.19	0.16
20—80	0.24	0.02	20	92.5	3.55	0.31	0.005	0.15	0.07

土层深度 (cm)	土壤全量(%)				微量元素(μg/g)								
	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cu	Zn	Ni	V	Co	Zr	Sr	Ba	Mo
0—20	2.62	0.20	0.16	0.05	6	27	<10	13	<5	26	41	329	0.131
20—80	2.35	0.20	0.10	0.04	<5	21	<10	<10	<5	18	40	366	0.194

自 50 年代末以来,岛上丘陵大量种植黑松,风沙平地种植木麻黄,森林覆盖率从原来的 0.6%提高到 28%,生态环境明显改善。在林被中,木麻黄林 27km²。

1.2 实验方法

本研究采用以下三种实验方法:(1)木麻黄林生物地球化学循环的定位实验;(2)木麻黄林迹地和相邻的相同初始土壤的非林地同时种植木麻黄后土壤和植物化学成分的对比较分析;(3)根据初步结果进行改良土壤以改善木麻黄生长状况的正交试验。土壤和植物样品测定方法如下:土壤机械组成用岛津 RS-1000 型粒度仪测定;pH 值用 1.0N KCl 浸提,pH 用 S-3C 型酸度计测定;全量用等离子体光谱测定,其余按土壤常规分析法测定;植物样品经干灰化或湿灰化,除钼用极谱催化波法,磷用钼锑钒比色法测定外,其余元素用原子吸收光谱测定;水样测定方法与土壤测定同。

2 结果和讨论

2.1 风沙地木麻黄林的 Mo 营养循环

2.1.1 土壤中有效态 Mo: 滨海风沙地石英砂质新成土中有效态 Mo 十分贫乏。测定 16 个土壤剖面 0—20cm 土层有效态 Mo 几何均值为 $0.028\mu\text{g/g}$, 20—80cm 土层为 $0.019\mu\text{g/g}$, 其中未种植过木麻黄的土壤相应土层含量为 $0.035\mu\text{g/g}$ 和 $0.034\mu\text{g/g}$ 。均低于土壤有效态 Mo 含量的临界值($0.10\mu\text{g/g}$)^[7], 也低于海坛岛其他主要土类的有效态 Mo 含量值(表 2)。

表 2 海坛岛三种主要土壤有效 Mo 含量($\mu\text{g/g}$)

Tab. 2 The content of available-Mo in three soils on the Haitan Island

土壤类型	土 层	样品数	几何平均	几何偏差
石英砂质新成土	0—20cm	16	0.028	1.70
	20—80cm	16	0.019	2.51
半干润老成土	A	5	0.058	3.03
	B	5	0.052	3.52
盐化潮湿始成土	A	5	0.148	4.56
	C	3	0.254	2.82

2.1.2 木麻黄的生长和 Mo 的积累: 根据 1984—1990 年在海坛岛对总长 4km 的防护林带木麻黄生长的定位观测(按总株数 10% 抽样)、各种树龄木麻黄生物量测定和解释木的分析, 确定在海坛岛滨海沙地正常条件下。第一代木麻黄在 30 年林龄内总生物量的增长遵循 $BT_i = 350 e^{(-11/i)}$ 指数函数模式(式中, BT_i 为 i 年总生物量, 单位 t/ha, i 为林龄)。至种后 20 年, 每公顷木麻黄总生物量达 202t。

木麻黄各器官的含 Mo 量差别很大。据我们测定, 各器官含 Mo 量($\mu\text{g/g}$) 顺序为茎(1.995) > 根(0.550) > 皮(0.430) > 枝(0.290) > 种子(0.275) > 小枝(0.261, 四季测定值平均)。按 6 年—10 年生木麻黄各器官生物量比例加权平均, 全株平均含 Mo 含量为 $1.250\mu\text{g/g}$ 。根据木麻黄的生长和含 Mo 量, 则可以估计出在木麻黄营造后 20 年, 大约每公顷林地的木麻黄中将积累 250g 的 Mo。

2.1.3 木麻黄小枝的枯落和 Mo 的回归: 木麻黄小枝在树上存留时间约为一年, 因而, 每年有大量小枝枯落并把所含无机元素带回土壤。据各年龄木麻黄测定结果, 木麻黄小枝生物量 BL_i 与总生物量 BT_i 之比随树龄和总生物量的增加而下降。在海坛岛, 其比值与树龄呈负指数关系, $BL_i/BT_i = 0.235 e^{-0.102i}$, 代入 BT_i 值, 得 $BL_i = 82.25 e^{(-0.102i - 11/i)}$ 。

木麻黄小枝含 Mo 量因土壤供 Mo 状况而有差别, 且季节变化较大, 冬季高而夏季低。枯落小枝含 Mo 量与树上小枝相近。对海坛岛沙地第一代种植的木麻黄, 我们测得枯落小枝含 Mo 量 12 个月平均值为 $0.266 \pm 0.166\mu\text{g/g}$ 。根据小枝的枯落量和含 Mo 量, 可以估算在木麻黄种植后 20 年内通过小枝枯落回归土壤的总 Mo 量为 36.5g/ha。

根据吸收 = 存留 + 归还^[8], 滨海沙地木麻黄林营造后 20 年内从土壤中摄取的总 Mo 量约为 286.5g/ha。

2.1.4 木麻黄林地 Mo 的降水收入和径流支出：据我们测定，海坛岛春夏秋冬四季降水含 Mo 量分别为 0.115、0.440、0.505 和 0.577 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，按降水量的月分配加权平均为 0.342 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。据此可以大略估算 Mo 的降水输入量为 4.01 $\text{g}/\text{ha} \cdot \text{a}$ ，20 年总收入为 80.2 g/ha 。

海坛岛风沙区木麻黄林地径流系数为 0.20—0.30，平均约 0.25。由于沙地入渗速度很快，因而径流多以地下径流形式排出。测得风沙区地下水平均含 Mo 量为 0.334 \pm 0.167 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。可以估算，风沙区木麻黄林地 Mo 的径流排出量为 0.98 $\text{g}/\text{ha} \cdot \text{a}$ ，20 年总排出量大约为 19.6 g/ha 。

2.1.5 风沙地木麻黄林 Mo 营养循环总模型：根据以上风沙地木麻黄林 Mo 的收支和内循环量的估算，假定木麻黄林每年枯落的小枝均被取走作为农家燃料，20 年后林木全部砍伐更新，且残根全部挖走，则海坛岛风沙地木麻黄林的营养循环总模型如图 1 所示。

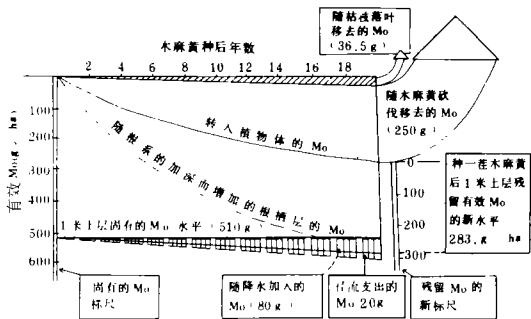


图 1 滨海风沙土木麻黄林下土壤中有有效态 Mo 的消耗过程

Fig. 1 The exhaustion process of available Mo in aeolian sandy soils under beefwood

从图 1 可以看出，在上述条件下，经过一轮（一般为 20 年）木麻黄的生长，风沙地中 1m 厚土层初始的有效 Mo 大约有一半转移到活的木麻黄植物体中，有 7% 随枯枝的利用而失去，而随着木麻黄的砍伐，则生态系统将失去一半的土壤有效 Mo。虽然降水补充的 Mo 大于径流支出的 Mo，但不足以弥补总 Mo 的消耗。

2.1.6 林下土壤 Mo 的耗竭：以上分析表明，木麻黄的种植和生长过程成了滨海风沙地土

表 3 风沙区木麻黄林迹地和非林地土壤有效态 Mo 含量 ($\mu\text{g}/\text{g}$)

Tab. 3 The content of available-Mo and the pH values in soils

采样地点 剖面数	有效态 Mo 含量		pH 值含量	
	木麻黄林迹地	对照非林地	木麻黄林迹地	对照非林地
	7	6	7	6
0—20cm 土层	0.025 \pm 0.012	0.035 \pm 0.014	4.72 \pm 0.49	0.32 \pm 0.16
20—80cm 土层	0.015 \pm 0.009	0.034 \pm 0.028	5.52 \pm 0.59	6.20 \pm 0.51
剖面平均	0.017 \pm 0.004	0.034 \pm 0.023	5.17 \pm 0.40	6.23 \pm 0.40

* 平均值系把各样品 pH 值换算成 H⁺ 浓度，平均后再换算成 pH 值，剖面平均系按土层厚度加权平均。

壤有效 Mo 的耗竭过程。1985 年在海坛岛芦洋埔平原风沙地上测定了 18 年生木麻黄林砍

伐后的迹地土壤和相邻未种木麻黄土地的土壤有效 Mo 含量(表 3)。结果表明,经 18 年木麻黄的生长和摄取,土壤根栖层有效 Mo 含量降低了一半。这一结果与钼营养循环分析估算的结果是相吻合的。木麻黄迹地土壤的有效 Mo 含量与相邻对照非林地土壤有效 Mo 含量的差异经秩和检验, $P<0.025$, 差异显著, 说明木麻黄生长对林下土壤 Mo 的影响是显著的。

2.2 木麻黄林下土壤 pH 值的下降

由于木麻黄生长中根系的呼吸作用, 共生固氮根瘤菌的作用及植物对土壤中阴阳离子的不平衡吸收, 引起林下土壤 pH 值的下降。我们测定了海坛岛芦洋埔林带迹地土壤和对照非林地土壤的 pH 值, 发现前者 0—80cm 土层平均值为 5.17 ± 0.40 , 后者为 6.23 ± 0.40 , 相差一个单位, 而且经秩和检验, $P<0.025$, 二者差别显著(表 3)。

为进一步证实这一结果, 我们又在直接滨海的沙地上选择一株 18 年生生长旺盛的木麻黄, 测定树下土壤 pH 值的分布。该树高 15m, 胸径 25cm, 冠幅 7m。在该树下土壤中按水平距离和垂直深度均每隔 40cm 的网格取土样, 共采集 58 个样品测定木麻黄林下土壤的 pH 值的分布, 测定结果表明(图 2), 木麻黄林下土壤 pH 值从根系外围和土壤深处向树干基部土区逐渐下降。以树干基部为球心, 在半径 2.8m 的半球带区 pH 平均 8.88, 而树干基部土壤区为 8.33(因土壤为受海水影响的盐渍沙土, pH 较高)。各测点的土壤 pH 值与测点距树干基点的距离 L(cm)之间呈直线相关关系, $pH=8.25+0.00259L$, $r=0.76$, $P<0.01$ 。随木麻黄由苗木长大为大树, 其根系从树干基部向深处和向外伸展, 根系范围逐年向外扩大。显然, 距基部近的土壤区受根系直接影响的时间最长, 距离远的土壤受影响的年限短。上述根区土壤 pH 值的分布表明, 受木麻黄根系直接影响时间长的土壤 pH 值较低, 而影响时间较短的土壤 pH 值较高, 且 pH 的下降与受影响的时间呈显著正相关。这清楚地表明木麻黄生长所引起的土壤酸化作用。树下土壤 pH 值的这种分布与 Grubb PJ. 所测得的帚石楠(*Calluna vulgaris*)下土壤 pH 的分布是很相似的^[9], 也与 Major J., Crocker, Storck 及 Vierck 等对于其他林木的研究结果相一致^[10]。

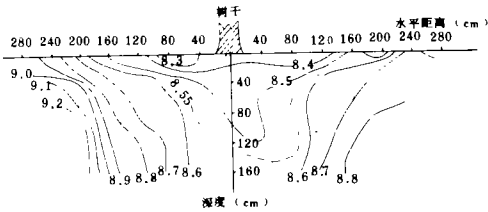


图 2 木麻黄树下土壤 pH 值的分布

Fig. 2 The pH values of the soils under a beefwood

2.3 土壤 Mo 的耗竭和酸化对木麻黄的影响

2.3.1 对木麻黄小枝含 Mo 量的影响: 植物对土壤中 Mo 的摄取量受土壤中有效钼含量和土壤酸度的影响很明显。为此, 人们用土壤的供 Mo 指数 I_{Mo} ① 来评价土壤供 Mo 能力的大小, 并认为当 $I_{Mo}<7$ 时为缺 Mo 土壤^[7]。我们测定了在上述迹地上种植的二茬木麻黄和对照

①. $I_{Mo} = \text{土壤有效 Mo} \times 10 + pH$ 。

的原非林地上新植的木麻黄小枝的含 Mo 量,并估算各采样点土壤供 Mo 指数 I_{Mo} ,结果表明(表 4),由于迹地土壤 Mo 的耗竭和土壤的酸化以及二者结合引起的供 Mo 指数的下降,所种植二茬木麻黄小枝含 Mo 量显著低于原来非林地上新植的木麻黄小枝含 Mo 量。可见,迹地更新的木麻黄 Mo 的摄取受到明显影响。

表 4 木麻黄迹地和对照非林地土壤供 Mo 指数及其上新植的木麻黄小枝含 Mo 量
Tab. 4 The Mo-contents in the twigs of beefwood planted on the beefwood-slashland and on the non-forest land, and the Mo-offering index of the soils under the beefwood

采样地点	木麻黄迹地	对照非林地
新植木麻黄小枝 含 Mo 量($\mu\text{g/g}$)	$0.205 \pm 0.132 (6)^*$	$0.331 \pm 0.122 (6)$
0-80cm 土层 I_{Mo} 值	$5.83 \pm 0.42 (7)$	$6.83 \pm 0.46 (6)$

* 括号内为样品数。

2.3.2 对木麻黄生长的影响: Mo 是植物必需的微量营养元素,也是植物的共生根瘤菌固氮酶的活性中心元素^[11]。业已证明,在低浓度下,植物含钼量与植物体内硝酸还原酶的活性、氮的摄取量及氮含量呈明显正相关,因而影响植物生长^[12-14]。我们 1984 年春在海坛岛原木麻黄林地迹地上和相邻的非迹地上同时营造木麻黄林带,然后进行 6 年的生长量跟踪测定。结果表明,迹地上木麻黄的生长速度明显地低于原来非林地上种植的木麻黄的生长速度(表 5)。

表 5 木麻黄迹地和非林地新植的木麻黄生长情况对比
Tab. 5 A comparison between of growths of the beefwood trees planted on the slashland and on the non-forest land nearby

项 目	样品数	株高(m)	胸径(cm)	生物量(t/ha)	初级生产力 (t/ha·a)
迹地更新林带	400	4.33 ± 1.64	4.02 ± 1.96	20.11	3.65
相邻原非林地 新植林带	400	6.47 ± 1.81	4.98 ± 2.21	70.56	12.52
差异显著性检验		$P < 0.01$	$P < 0.05$		

* 1984 年初种植,1989 年底测定。

3 小结和建议

闽东南沿海气候相对较为干旱,风沙危害严重。自从大规模引种木麻黄树以来,风沙危害得到控制,生态环境得到改善。但是,随着木麻黄的生长,贫瘠的沙地中的植物营养元素也逐步集中到木麻黄植物有机体中,引起了新的生态问题,即由于生物地球化学循环的不平衡引起的土壤微量营养元素 Mo 的耗竭和土壤的酸化问题,并导致了木麻黄的早衰及迹地更新木麻黄的生长不良,构成了生态环境破坏的危险。为了防止沙地土壤的进一步退化,保持木麻黄林的生态稳定性,使这一区域的环境继续朝良性发展,我们建议针对性地采取措施,

恢复林地土壤肥力。在条件允许的情况下,可采用林农轮作制度;若不能实行林农轮作,如直接临海的防护林地,可给林地或迹地施 Mo 肥,以补充被消耗的营养。海泥 pH 值较高(0.90 左右),且含有丰富的 Mo。据我们测定,全 Mo 达 0.3—0.4 $\mu\text{g/g}$,其中有效态 Mo 达 0.2—0.3 $\mu\text{g/g}$,施用海泥既可提高土壤 pH 值,又可提高土壤含 Mo 量,利用海泥改善土壤很利于木麻黄的生长,可以大力提倡。另外,解决好沿海地区农家燃料问题,禁止清扫林地的枯落小枝,使其中所含无机养分回归土壤。以上措施正在海坛岛实施,并已取得显著效果^[15,16]。

人们比较注意用森林保护生态环境,但对森林本身引起的土壤退化问题研究较少。事实上,林业和其他种植业一样,并不是一个可以无偿地利用土地肥力的产业。只不过是,林业对土壤养分的消耗,是一个比较长期的过程。土壤被林木摄取走的养分也和耕地一样需要补充,否则,土地肥力的衰退也是不可避免的。这一问题对于贫瘠的风沙土尤其突出。正确认识木麻黄对土壤的反馈作用,并采取相应措施,是维护滨海生态环境的关键。

参 考 文 献

- 1 郑达贤,陈佳源,吴幼恭,谢皎如. 闽东南沿海一些地理环境特征的再认识. 地理学报,1991,46(4):405—414.
- 2 陈佳源,吴幼恭,杨乃才. 亚热带滨海地区整治一例. 福建师范大学学报,1984(1):133—140.
- 3 陈学群,朱配演,黄家彬等. 木麻黄二代更新试验研究. 福建林业科技,1991,18(6):6—13.
- 4 Borman FH, Likens GE. 著,李景文等译. 森林生态系统的格局与过程. 北京:科学出版社,1985. 28—29.
- 5 Likens GE, Borman FH, Pierce RS. et al. Biogeochemistry of a forested Ecosystem. Springer-Verlag, New York, NY, 1977.
- 6 沙济琴,郑达贤,黄义雄等. 木麻黄林若干元素的积累和循环特征. 福建师范大学学报,1992,8(4):100—107.
- 7 袁可能. 植物营养元素的土壤化学. 北京:科学出版社,1983.
- 8 赵儒林,洪必恭,高兆杉,金济民. 植物生态学概要. 南京:江苏科技出版社,1983. 373.
- 9 特鲁吉尔 ST. 著,赵磊译. 土壤与植被系统. 北京:科学出版社,1985. 38.
- 10 克纳普 R. 主编,宋永昌等译. 植被动态. 北京:科学出版社,1986. 174—177.
- 11 周邦基,何雪辉. 植物的营养. 北京:农业出版社,1985. 244—252.
- 12 Hew J. et al. . Sixth international congress on soilless culture, Lenteren, 1984. 255—272.
- 13 Sims J. et al. *J. of Fertilizer Issues*, 1(3): 1984.
- 14 Balwant Singh et al. *International J. of Tropical Agriculture*, 1984, 2(2):
- 15 方祖光,谢皎如,沙济琴等. 我国南方沿海地区木麻黄迹地更新中间试验. 福建地理,1991(2):21—27.
- 16 沙济琴,黄义雄,方祖光等. 土壤中元素铜、锌、硼、钼对木麻黄微量元素含量及生长的影响. 福建地理,1991(2):28—34.

THE CHANGE IN SOIL PROPERTIES UNDER BEEFWOOD SHELTER BELT ON THE AEOLIAN SANDY COAST IN FUJIAN AND ITS INFLUENCE ON THE REFORESTATION OF THE SLASHLAND

Zheng Daxian Sa Jiqin

(*Institute of Geography, Fujian normal University, Fuzhou 350007*)

Key words reforestation of beefwood shelter belt, exhaustion of Mo in soil,
soil acidization

Abstract

Beefwood (*Casuarina equisetifolia*) is the tree of the first importance for windbreak, sand fixation and ecological improvement on the aeolian sandy coast of Fujian. But the reforested beefwood on the slashland do not grow well and are not healthy. The study on the causes of this problem and on the countermeasures are urgently needed for safeguarding the ecological environment. The authors studied the biogeochemical characters of N, P, K, Na, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, B, Mo, in the beefwood shelter belt on the coast land on the Haitan Island, Fujian. It was found that the trace element Mo in the soils under beefwood forest will be exhausted with the growing of the trees because of the unbalanced cycle of the element. Moreover the pH values of the soils will decline, which will further reduce the availability of Mo in the soils. The Mo-exhaustion and acidization of the soils result in a decrease in the content of Mo in beefwood and leads to the unsatisfactory growth of the succeeded beefwood on the beefwood-slashland on sandy coast land in Fujian. According to above results, the authors put forward some countermeasures to preserve and promote the beefwood shelter belt and the ecological environment on the coast in Fujian.