

木麻黄迹地不同更新树种土壤剖面的 变化特征及表聚性特征

丁国昌¹, 何宗明^{1*}, 林宇², 杨靖宇¹, 彭珠清¹

(1. 福建农林大学 林学院/福建省杉木工程技术研究中心 福建 福州 350002; 2. 福建省大鹤防护林国有林场 福建 长乐 350200)

摘要: 为筛选出一些较适宜于福建省东南沿海木麻黄轮作或混交树种, 研究了福建省长乐市滨海沙地厚荚相思等 5 个树种的土壤剖面变化及土壤的表聚性特征。结果表明: 各树种对林地土壤水分影响不明显; 在 0~20 cm 的土壤层, pH 值高低依次为巨尾桉、马占相思、厚荚相思、卷荚相思、木麻黄, 与木麻黄林地相比, 经 *t* 检验, 卷荚相思等 4 个树种的土壤 pH 值的差异达显著水平; 相思类树种林分的土壤养分都大于巨尾桉和木麻黄林下的土壤养分; 巨尾桉的全氮量表聚性系数和卷荚相思的全磷量表聚性系数分别只有 0.26 和 0.29, 不具有表聚性特征, 而其它树种各养分都具有表聚性特征。

关键词: 木麻黄迹地; 土壤剖面; 表聚性特征

中图分类号: S151.9 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)01-0066-06

Soil Profiles and Soil Surface Gathering Characteristics of *Casuarina equisetifolia* L. Cut-over Land

DING Guo-chang¹, HE Zong-ming^{1*}, LIN Yu², YANG Jing-yu¹, PENG Zhu-qing¹

(1. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University / Chinese Fir Engineering Technology Research Center of Fujian Province, Fuzhou 350002, China; 2. Dahe State-owned Forest Farm in Fujian Province, Changle 350200, China)

Abstract: In order to select rotation or mixed species of *Casuarina equisetifolia* L. grown in the southeastern coastal areas in Fujian, changes in soil profile and soil surface gathering characteristics of the five species on coastal sandy soil were studied. The result showed that respective species exhibited no significant effect on forest soil moisture. In the soil layer between 0-20 cm, the rank order of their PH values was *Eucalypt*, *Acacia mangium*, *Acacia crassicarpa*, *Acacia cincinnata* and *Casuarina equisetifolia* L. respectively. Compared with the soil of *Casuarina equisetifolia* L., the other species exhibited significant effects on pH value by *t*-test. The result also showed that there was more soil nutrients in *Acacia* tree species soil than in *Eucalypt* and *Casuarina equisetifolia* L. soil. The total N surface gathering coefficient of *Eucalypt* was 0.26, while the total P surface gathering coefficient of *Acacia cincinnata* was 0.29, which was not characterized by surface gathering, while soil nutrients in the other species were characterized by surface gathering.

Key words: *Casuarina equisetifolia* L. cut-over land; soil profile; soil surface gathering characteristics

沿海防护林是保障沿海地区人民生命财产安全及社会经济发展的生命林。木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)是东南沿海防护林的优良造林树种,具有耐干旱、耐瘠薄、不怕盐碱沙埋、生长迅速等特点,是

收稿日期: 2011-06-19 修回日期: 2011-11-14

基金项目: 福建省种苗科技攻关项目(闽林科[2009]4号)

作者简介: 丁国昌(1970—),男,副教授,主要从事人工林培育技术研究; * 通讯作者: 何宗明,研究员。

目前沿海防护林的最主要的树种^[1]。由于目前的木麻黄防护林,树种单一、结构简单,现在基本进入衰老期,结构退化,林分的防护效能大大降低,沿海防护林带更新改造工作迫在眉睫,但是木麻黄二代更新困难。因此,许多学者开展了寻找一个优良替代树种来进行木麻黄防护林的二代更新工作^[1-5],并筛选出一些较适宜于沙地造林的树种^[2-4]。滨海沙地林木的生长发育除受台风影响外,主要与土壤特性密切相关。有关相思树种对木麻黄迹的土壤方面研究,曾有过报道^[5-6],但主要集中在不同树种的土壤养分含量的变化。在土壤剖面上的物质交换,导致了土壤从表层到母岩层各土层间理化及生物学性质的差异^[7]。土壤各层养分含量特征不仅反映了土壤的性质,也反映了不同树种的改土效果。土壤表层特征,不仅影响林地表面的径流,也影响了土壤表层养分的分布,进一步影响了植物的种类及分布,也影响了防风固沙效果,但有关不同树种对木麻黄迹的表层特性的研究,未曾报道。因此,本研究拟以福建省长乐市滨海沙地厚荚相思等 5 个树种为研究对象,研究 5 个树种的土壤剖面的物理化学变化及表聚性特征(有机碳部分另文发表),为滨海沙地的土壤形成过程中成土因素(如地形、气候、植被类型)、营养元素的输入、输出及循环过程以及土地利用变化等提供基础资料,也为寻找木麻黄的理想轮作或混交树种奠定基础,为防护林可持续经营和地力评价提供科学依据。

1 试验区概况

试验地位于福建省长乐市大鹤国有防护林场,东经 119°23'24",北纬 25°58'05",东濒东海,具有热带海洋性季风气候,夏季常有台风,雨量集中,易于旱涝,年平均降雨量 1 196~1 771 mm,年平均气温 19.3~15.6℃,绝对最低气温为 -1℃,主要灾害是台风。基干带为木麻黄与火炬松,海拔 11.5 m,离海岸线 1 km,地势比较平坦,土壤为风沙土,前茬为木麻黄。林下植被主要有白茅(*Imperata cylindrica* Linn.),常见的零星植被有木豆(*Canajua cajan*)、鼠刺(*Spinifex littores*)和牡荆(*Verbananegando*)。

2 材料与方法

2.1 材料来源

供试材料为 2002 年种植的卷荚相思(*Acacia continma*)、厚荚相思(*Acacia crassicarpa*)、马占相思(*Acacia mangium*)、巨尾桉(*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*),均为容器苗造林,造林密度 2 500 株/hm²,4 个林分相邻,立地条件基本一致,造林后采用同样的抚育经营措施。木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)林地作为试验地旁未更新的木麻黄林地。

2.2 研究方法

2010 年 3 月,选择生长良好,风害程度低的有小代表性地块,并在试验地旁选取一块木麻黄林地作为对照。巨尾桉、卷荚相思和厚荚相思的郁闭度为 90% 以上,但所有的马占相思林分,受冻明显且分叉严重,郁闭度约为 50%。巨尾桉、卷荚相思、厚荚相思、马占相思等林地表面落叶量丰富。林分根据森林林分调查要求选取样方,在不同树种林分中随机设置 20 m × 20 m 的标准地各 3 块,采用“S”形规则,挖土壤剖面以 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 3 层划分,观察并记录,取回土样,每个样地 3 份土壤,在对同块立地条件的土样混合研磨时采用“四分法”提样,供分析测定。测定内容主要为土壤的理化性质:土壤含水率、容重、土壤 pH 值、全氮量、水解性氮、全钾、有效钾、全磷、速效磷、交换性钙、交换性镁等。土壤测定参照《中华人民共和国林业行业标准—森林土壤分析方法》,测量土壤养分的含量^[8]。数据采用 Excel 和 SPSS11.5。

3 结果与分析

3.1 不同树种对土壤水分及容重的垂直分布规律

不同树种、不同土壤层次的含水量和土壤容重差异程度不尽相同,并随着土壤深度的增加而降低(表 1)。经方差分析和多重比较,土壤各层含水率及容重的差异达到显著水平,但不同的树种之间的差异水平各不相同(表 1)。巨尾桉和木麻黄与其他 3 个相思树种之间,无论是含水率(20~40 cm 的土壤层除外)还是容重,其差异都达到显著水平。

3.2 不同树种对土壤 pH 值的垂直分布规律

试验地的土壤呈酸性(表 2)。不同树种、不同土壤层次(0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm) pH 差

表1 土壤水分及密度的垂直分布规律

Tab.1 Vertical distribution of soil moisture and density

树种 Species	含水率/% Moisture content			密度/(g·cm ⁻³) Bulk density		
	0~20 cm	20~40 cm	>40 cm	0~20 cm	20~40 cm	>40 cm
	卷荚相思 <i>Acacia continma</i>	0.035ac	0.085abcde	0.153a	1.58ac	1.48a
厚荚相思 <i>Acacia crasscarpa</i>	0.043bde	0.081ad	0.126b	1.56b	1.53b	1.54b
马占相思 <i>Acacia mangium</i>	0.033ac	0.083abce	0.182c	1.58ac	1.54c	1.52c
巨尾桉 <i>Eucalyptus grandis</i> × <i>E. urophylla</i>	0.044bde	0.082ad	0.243de	1.57de	1.55de	1.51de
木麻黄 <i>Casuarina equisetifolia</i>	0.044bde	0.086abce	0.246de	1.57de	1.55de	1.51de

不同字母代表差异水平显著。Different lowercase letters indicate significant differences.

异程度各不相同。在0~20 cm的土壤层,pH值高低依次为巨尾桉、马占相思、厚荚相思、卷荚相思、木麻黄;在20~40 cm的土壤层,pH值高低依次为马占相思、卷荚相思、巨尾桉、厚荚相思、木麻黄。经方差分析和多重比较,在0~20 cm的土壤层,卷荚相思和厚荚相思、马占相思和巨尾桉之间的pH差异不显著;在20~40 cm的土壤层,厚荚相思和巨尾桉之间的pH差异不显著(表2);在40~60 cm的土壤层,卷荚相思、厚荚相思、马占相思和巨尾桉的pH值差异不显著。但不同的土壤层,木麻黄的pH值与其他4个树种之间的差异都达到显著水平。

表2 土壤pH值的垂直分布规律

Tab.2 Vertical distribution of soil pH

树种 Species	土壤pH值 Value of soil pH		
	0~20 cm	20~40 cm	>40 cm
卷荚相思 <i>Acacia continma</i>	5.34ab	5.81ae	5.82abcd
厚荚相思 <i>Acacia crasscarpa</i>	5.35ab	5.72bd	5.76abcd
马占相思 <i>Acacia mangium</i>	5.53cd	5.84c	5.82abcd
巨尾桉 <i>Eucalyptus grandis</i> × <i>E. urophylla</i>	5.57cd	5.74bd	5.79abcd
木麻黄 <i>Casuarina equisetifolia</i>	4.57 e	5.78ae	5.69e

不同字母代表差异水平显著。Different lowercase letters indicate significant differences.

3.3 不同树种对土壤养分的垂直分布规律

各林分的土壤养分含量各不相同,但不论在哪个剖面,相思类树种林分的土壤养分都远大于巨尾桉和木麻黄林下的土壤养分(表3、4),且经方差分析表明,不同树种不同土壤层的养分差异除水解性氮以外,其他都达到显著水平(表3)。除马占相思在20~40 cm剖面的全N量最高(109.42 mg/kg)以外,不同林分全N和速效N的变化规律从大到小依次为卷荚相思、厚荚相思、马占相思、木麻黄、巨尾桉。各林分土壤速效K含量的变化规律与N元素的变化规律基本相同,各样地土壤养分含量均自上而下逐渐降低。不同林分的土壤速效K含量的高低顺序为厚荚相思、马占相思、卷荚相思、木麻黄、巨尾桉,全K含量的变化规律与速效K的变化规律相似。在全钾的含量对比上,厚荚相思的比马占相思、卷荚相思高出2.00 g/kg含量,比桉树要高出6.00 g/kg。不同林分土壤速效钾含量高低顺序依次马占相思、厚荚相思、卷荚相思、巨尾桉。

不同林分的全P及速效P的变化呈现不同的特点(表3、4)。卷荚相思林下的土壤,3个土壤剖面的全P和速效P含量表现为先降后升,且在大于40 cm的剖面的全P含量超过上层土(0~20 cm)48.33%;而对于厚荚相思林下的土壤,3个土壤剖面的全P含量表现为先升后降,但速效P含量表现为下降趋势。其余3个树种全P及速效P含量的变化规律表现为自上而下逐渐降低。不同林分土壤全磷含量大小顺序依次卷荚相思、厚荚相思、马占相思、桉树。不同林分土壤速效磷含量大小顺序依次马占相思、厚荚相思、卷荚相思、桉树。

从多重比较结果来看(表3),巨尾桉和木麻黄与几个相思树种之间,在0~20 cm、20~40 cm土壤

层之间的养分差异都达到显著水平,但在 40~60 cm 的土壤层,各树种间的养分差异明显的减少,全 N、全 P 和速效 P 的差异不显著。

表 3 土壤养分的垂直分布规律

Tab. 3 Vertical distribution of soil nutrient

土壤层次 /cm	树种	全氮量 / (mg · kg ⁻¹)	水解氮 / (mg · kg ⁻¹)	全钾 / (g · kg ⁻¹)	速效钾 / (mg · kg ⁻¹)	全磷 / (mg · kg ⁻¹)	速效磷 / (mg · kg ⁻¹)
Soil layers	Species	Total nitrogen	Hydrolyzable nitrogen	Total potassium	Available potassium	Total phosphorus	Available phosphorus
0~20	卷荚相思	129.51ac	9.79ac	12.78abc	44.86abc	33.91abc	0.37acd
	厚荚相思	85.95b	8.93b	15.87abcd	43.89abc	34.83abc	0.41bc
	马占相思	126.74ac	9.67ac	13.48abcd	43.93abc	34.21abc	0.39abc
	巨尾桉	76.84d	6.57de	8.97ade	37.36d	29.43de	0.34ade
	木麻黄	80.10e	6.53de	10.40e	30.00e	29.45de	0.31de
20~40	卷荚相思	105.00a	9.10abc	12.00ac	44.33abc	32.84ac	0.31ade
	厚荚相思	72.36b	8.87abc	15.05b	42.78abc	37.82b	0.40b
	马占相思	113.43c	8.99abc	11.86ac	42.87abc	33.83ac	0.36c
	巨尾桉	69.45d	5.98de	8.08d	35.29d	23.11de	0.32ade
	木麻黄	75.41e	6.01de	10.11e	28.94e	24.37de	0.29ade
40~60	卷荚相思	106.76ac	6.30abc	11.90abcde	35.87abcde	50.30a	0.36ac
	厚荚相思	53.46b	7.09abc	12.39abcd	38.86abcd	32.42bede	0.30bd
	马占相思	109.42ac	6.90abc	11.75abcd	39.98abcd	32.50bcde	0.36ac
	巨尾桉	68.49de	5.40d	7.58abcd	35.99abcd	20.64bcde	0.29bde
	木麻黄	71.32de	5.48e	9.38ae	28.32ae	21.33bcde	0.25e

不同字母代表差异水平显著。Different lowercase letters indicate significant differences.

表 4 不同树种的土壤理化性质均值比较分析

Tab. 4 The mean soil physical and chemical properties of different species

树种 Species	平均值								
	含水率 / %	密度 / (g · cm ⁻³)	pH 值	全氮量 / (mg · kg ⁻¹)	水解氮 / (mg · kg ⁻¹)	全钾 / (g · kg ⁻¹)	速效钾 / (mg · kg ⁻¹)	全磷 / (mg · kg ⁻¹)	速效磷 / (mg · kg ⁻¹)
	Moisture content	Bulk density	pH value	Total nitrogen	Hydrolyzable nitrogen	Total potassium	Available potassium	Total phosphorus	Available phosphorus
卷荚相思 <i>Acacia continua</i>	0.09	1.52	4.66	1.14	8.40	12.23	41.68	39.02	0.35
厚荚相思 <i>Acacia crassiparpa</i>	0.08	1.54	4.61	0.71	8.30	14.43	41.85	35.02	0.37
马占相思 <i>Acacia mangium</i>	0.10	1.55	4.73	1.17	8.52	12.36	42.26	33.51	0.37
巨尾桉 <i>Eucalyptus grandis</i> × <i>E. urophylla</i>	0.12	1.54	4.70	0.72	5.99	8.21	36.21	24.39	0.32
木麻黄 <i>Casuarina equisetifolia</i>	0.12	1.54	4.78	0.75	6.01	9.96	29.09	25.05	0.28

3.4 不同树种对土壤养分的表聚性特征

由于滨海沙地的风大、含盐量高,但土壤表层受侵蚀程度大等特殊条件,土壤表层的养分状况是沙地其他先锋草类植物入侵的前提,同时,土壤表层的养分状况,一定程度上也反映了养分的物质循环效率。因此,研究土壤表层的养分特征具有重要意义。本文的土壤表层特征采用表聚性系数来衡量^[8]。不同深度土层营养元素含量根据取样各层次的含量及相对深度乘积加权平均,称之为表聚性系数。本研究中土壤分为 3 层,因此,只研究第 1 层(即 0~20 cm)的表聚性系数。

$$\text{表聚系数按下式计算: } C_i = \frac{\sum_i^m N_i \times D_i}{\sum_i^n N_i \times D_i} \quad (1)$$

式中: N_i 为第 i 层土壤营养元素质量分数; D_i 为第 i 层土层厚度。本研究中, 采样层次 $n = 3$, 分别令 m 等于 1, 即求得 0 ~ 20 cm 土层的表聚系数(表 5)。以 0 ~ 60 cm 深度土壤营养元素总含量为参照, 若 0 ~ 20 cm 土层某种营养元素含量与总含量的比值(表聚系数)分别大于 0.33(1/3) 则表明其具有表聚性^[9]。

表 5 不同树种的土壤养分在 0 ~ 20 cm 剖面的表聚系数
Tab. 5 Surface polymerization coefficient of different species' soil nutrient

树种 Species	全氮量	水解氮	全钾	速效钾	全磷	速效磷
	表聚性系数 Surface accumulation coefficient of total nitrogen	表聚性系数 Surface accumulation coefficient of hydrolyzable nitrogen	表聚性系数 Surface accumulation coefficient of total potassium	表聚性系数 Surface accumulation coefficient of available potassium	表聚性系数 Surface accumulation coefficient of total phosphorus	表聚性系数 Surface accumulation coefficient of available phosphorus
卷荚相思 <i>Acacia continma</i>	0.38	0.39	0.35	0.36	0.29	0.36
厚荚相思 <i>Acacia crassicarpa</i>	0.29	0.36	0.37	0.35	0.33	0.37
马占相思 <i>Acacia mangium</i>	0.50	0.38	0.36	0.35	0.34	0.35
巨尾桉 <i>Eucalyptus grandis</i> × <i>E. urophylla</i>	0.26	0.37	0.36	0.34	0.40	0.36
木麻黄 <i>Casuarina equisetifolia</i>	0.37	0.36	0.35	0.34	0.39	0.36

本研究中的土壤剖面分 3 层, 各层厚度相同, 每层厚度都为 20 cm, 因此, 凡是表聚性系数大于 0.33 的土壤养分, 都具有表聚性特征。表聚系数越大, 表聚性越强。从表 5 可以看出, 不同树种的表聚性系数特征各不相同。其中, 巨尾桉的全氮量表聚性系数和卷荚相思的全磷表聚性系数分别只有 0.26 和 0.29, 不具有表聚性特征, 而其它树种各养分都具有表聚性特征, 马占相思的全氮量表聚性最强, 表聚性系数达到了 0.50, 并且经 t 检验, 差异达显著水平($sig = 0.043$); 其次为巨尾桉的全磷表聚性, 表聚性系数为 0.40, 但差异并不显著。

4 讨 论

土壤水分和容重等土壤物理因子, 是重要的土壤结构和土壤质量指标^[11-13], 影响着土壤的持水和植物根系的生长, 是立地质量的重要指标。海岸沙地土质疏松, 持水保水能力极差, 水分成为限制沿海防护林树种生长发育的主要因子之一。在本研究中, 不同树种之间、同一树种不同的土壤层, 其水分的差异程度各不相同, 但木麻黄和巨尾桉在 0 ~ 20 cm、40 ~ 60 cm 与其他 3 个相思树种之间的差异达到显著水平。一方面, 是由于桉树前期生长超过相思类树种, 而木麻黄林分已是成熟林, 其郁闭度大, 减少了水分的蒸发。但在 20 ~ 40 cm 的土壤层, 其水分差异不明显, 可能是因为这些树种的根系分布有关。

滨海沙地的土壤酸碱性影响土壤养分的形成、转化和速效性及土壤微生物活动。许多研究已证实, 木麻黄单一树种连栽导致土壤理化性质恶化, 地力衰退, pH 值下降, 影响更新效果^[14-17]。本研究表明, 卷荚相思、厚荚相思、马占相思及巨尾桉林地的表层(0 ~ 20 cm) 土壤 pH 值, 显著高于木麻黄林地的 pH 值, 并且差异达显著水平, 可能是卷荚相思等 4 个树种的为阔叶树种, 其林地落叶量丰富, 并且相对

于木麻黄,其养分的循环时间短,增加了养分的归还,改善了原来的土壤环境。

N、P、K 是植物生长的 3 大养分,土壤中 N、P、K 含量是土壤肥力的重要标志。厚荚相思纯林及桉树与厚荚相思混交林的土壤硝态氮含量显著高于桉树纯林^[18]。谭芳林^[7]开展了 4 年生的几个相思树种对滨海沙地改土效果,也有类似的结论。近年来,由于桉树产业发展迅速,导致人工林地力衰退、水土保持能力下降、生物多样性降低等生态问题出现,其中人工林地力衰退是人们关注桉树人工林 3 大生态环境问题之一,许多学者认为桉树人工林消耗肥力多而快,多代连作引起地力严重衰退^[7,19-21]。本研究结果也表明,采用相思类树种造林,可以明显改善木麻黄迹地的养分状况。巨尾桉林分土壤的全 N 和速效 N,全 K 及速效 K、全 P 的含量小于木麻黄林分,且巨尾桉林分与木麻黄林分的养分状况,差异没有达到显著水平(表 3),这可能是由于桉树在水热条件充足的林地上,也保持了较高生产力,但结果也是消耗也土壤中的养分。因此,巨尾桉也不是福建东南沿海木麻黄林地的理想混交及替代树种。

表聚性系数是综合考虑养分含量及剖面深度的指标,表聚系数越大,表聚性越强^[9]。许多植物对土壤养分具有“表聚效应”^[22]。本研究引入表聚性系数用于衡量不同树种对滨海沙地二代木麻黄林的改土效果。表聚效果的大小,是其他先锋植物入侵的依据。从研究结果来看,马占相思的全氮量表聚性系数达 0.5,从样地特征可以看出,马占相思受到一定程度的冻害,其当年生的叶片全部凋落,林地落叶层相对较厚,加快了 N 元素的周转。虽然马占相思可以较好地保持较高的养分周转率,但由于其易受冻,树高生长受到影响,降低了防风效果,不适合于长乐以东的滨海沙地造林;木麻黄林地的表聚性特征与其他树种的差异并不明显,可能是因为土壤剖面需进一步细分,但具体效果有待进一步研究。

参考文献:

- [1]祝榕.木麻黄防护林土壤肥力特性与地力维持技术研究动态[J].防护林科技,2005,69(6):42-44.
- [2]吴志华,李天会.沿海防护林树种木麻黄和相思生长和抗风性状比较研究[J].草业学报,2010,19(4):166-175.
- [3]杨民权.主要热带相思在华南地区的生长及适应性探讨[J].林业科学研究,1990,3(2):155-161.
- [4]吴乐观.长乐市水土流失及防治措施[J].福建水土保持,1995,4:23-25,30.
- [5]王志洁,叶功富,谭芳林等.相思树种在沿海沙质立地环境中的抗逆性研究[J].福建林业科技,2005,32(4):35-38.
- [6]谭芳林,徐俊森,林武星等.福建滨海沙地造林树种的适应性与选择研究[J].林业科学,2003,39(1):101-105.
- [7]严登华,王刚,金鑫等.滦河流域不同土地利用类型土壤微生物量 C、TN、TP 垂直分异规律及其影响因子研究[J].生态环境学报,2010,19(8):1844-1849.
- [8]国家林业局.中华人民共和国林业行业标准:森林土壤分析方法[S].中国标准出版社出版,2000,7:74-136.
- [9]杨增奖,陈元,徐大平,等.桉树与豆科植物混交种植对土壤速效养分的影响[J].生态学杂志,2006,25(7):725-730.
- [10]姜勇,郝伟.潮棕壤不同利用方式营养元素随剖面深度的变化特征[J].水土保持学报,2006,20(3):93-96,122.
- [11]Karlen D L, Stott D E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality [J]. Methods for Assessing Soil Quality, SSSA Special Publications, 1994, 35: 53-72.
- [12]Arshad M A, Lowery B, Grossman B. Physical tests for monitoring soil quality [J]. Methods for Assessing Soil Quality, SSSA Special Publications, 1996, 49: 123-141.
- [13]Boix Fayos C, Calvo Cases A, Lmeson A C, et al. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators [J]. Catena, 2001, 44: 47-67.
- [14]郭坚城.滨海地区窿缘桉与木麻黄混交造林试验[J].广东林业科技,1986(2):11-16.
- [15]黄锋.木麻黄与大叶相思混交造林试验初报[J].广东林业科技,1991(4):39-41.
- [16]罗云裳,高茂成.滨海沙土微量元素与木麻黄生长的关系[J].华南农业大学学报,1989,10(1):71-76.
- [17]叶功富,张水松.木麻黄连栽林地土壤肥力动态与地力维持[J].防护林科技,1996(专辑):49-53.
- [18]樊后保,袁颖红.闽南山区连续年龄序列桉树人工林土壤养分动态[J].应用与环境生物学报,2009,15(6):756-760.
- [19]廖观荣.我国桉树人工林立地土壤问题研究概括[J].生态环境,2003,12(1):119-121.
- [20]廖观荣,钟继洪,李淑仪,等.桉树人工林生态系统养分循环和平衡研究 I.桉树人工林生态系统的养分贮存[J].生态环境,2003,12(3):300-302.
- [21]廖观荣,钟继洪,李淑仪,等.桉树人工林生态系统养分循环和平衡研究(II).桉树人工林生态系统的养分平衡[J].生态环境,2003,12(2):150-154.
- [22]许明祥,刘国彬.黄土丘陵区刺槐人工林土壤养分特征及演变[J].植物营养与肥料学报,2004,10(1):40-46.