

东南沿海沙地 2 种人工营养元素生物循环

黄秀勇

(福建省长乐大鹤国有防护林场,福建 长乐 350212)

摘要:对闽东南滨海沙地 8 年生卷美相思和木麻黄人工林 5 种营养元素(N、P、K、Ca、Mg)的质量分数、积累、分配和生物循环进行研究。结果表明,卷美相思和木麻黄林 5 种营养元素质量分数以树叶为最高,干材最低,林木各器官营养元素质量分数排序均为 N>Ca>K>Mg>P;营养元素总积累量分别为 282.79 kg·hm⁻² 和 1 160.25 kg·hm⁻²;各器官营养元素积累量卷美相思林为枝>干>皮>叶>根,木麻黄林为叶>枝>干>皮>根;各营养元素积累量排序,卷美相思林为 N>K>Ca>Mg>P,木麻黄林为 N>Ca>K>Mg>P;养分年存留量分别为 35.35、140.61 kg·hm⁻²·a⁻¹,年吸收量为 97.01 kg·hm⁻²·a⁻¹ 和 312.65 kg·hm⁻²·a⁻¹,总归还量为 61.66 kg·hm⁻²·a⁻¹ 和 172.04 kg·hm⁻²·a⁻¹。卷美相思和木麻黄林营养元素的循环系数分别为 0.64 和 0.54,利用系数分别为 0.34 和 0.27,周转期分别为 4.59 a 和 6.74 a;各营养元素利用系数和循环速率均为 Mg>Ca>N>P>K,周转期则相反。卷美相思林 5 种营养元素利用系数、循环速率均高于木麻黄林,而周转期均低于木麻黄林,有利于林地养分维持。P 可能是限制卷美相思生长关键营养元素之一,因此应采取施 P 肥等措施以提高林地生产力。

关键词:卷美相思;木麻黄;营养元素;生物循环;防护林

中图分类号:S718.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2015)02-0084-06

Biological Cycling of Nutrient Elements of Two Plantations in Southeast Coastal Area, China

HUANG Xiu-yong

(Changle Dahe State-owned Protection Forest Farm of Fujian Province, Changle, Fujian 350212, China)

Abstract:Standard plot method was used to study the concentration, accumulation, distribution and biological cycling of five nutrient elements (N, P, K, Ca, Mg) of 8-year-old *Acacia cincinnata* plantation (AP) and *Casuarina equisetifolia* plantation (CP) on a sandy coastal plain soil in southeast Fujian Province, China. The results showed that nutrient contents in the leaves were the highest among those in different organs of AP and CP, with the lowest in the stems. In these plantations, concentration of N was the highest among the five elements, followed by Ca, K and Mg, while P was the lowest in various organs. The total nutrient accumulations were 282.79 and 1 160.25 kg·hm⁻² in pure AP and CP, respectively. The nutrient accumulation of various organs was ranked as branches > stems > barks > leaves > roots in the AP and leaves > branches > stems > bark > roots in the CP. Changes in accumulation of various nutrients in AP (N>K>Ca>Mg>P), which were different from CP (N>Ca>K>Mg>P). Annual net nutrient accumulation, return and absorption were 35.35 and 140.61 kg·hm⁻²·a⁻¹, 61.66 and 172.04 kg·hm⁻²·a⁻¹ and 97.01 and 312.65 kg·hm⁻²·a⁻¹ in the AP and CP. Nutrient cycling coefficient, the utilization coefficient and the recycling period of AP and CP were 0.64 and 0.54, 0.34 and 0.27, 4.59 and 6.74 a, respectively. The utilization coefficient and cycling coefficient of five nutrient elements were Mg>

$\text{Ca} > \text{N} > \text{P} > \text{K}$ in these plantations, and higher in AP than CP, soil fertility and the nutrient supply were improved in AP. Phosphorus was a key nutrient element for *A. cincinnata* growth, therefore it should be taken to improve the forest productivity of P fertilizer.

Key words: *Acacia cincinnata*; *Casuarina equisetifolia*; nutrient elements; biological cycling; shelterbelt

养分生物循环是森林生态系统的基本功能之一,能够直接影响林分生产力的高低以及生态系统的稳定性。养分循环受到植物生物学特性、环境条件等因素的影响,通过研究可以了解森林生态系统物质循环和能量流动机制,对指导人工林的维护工作起到作用^[1-2]。沿海人工防护林作为特殊的森林生态系统,研究其特殊环境下营养元素的循环特点,一方面可以丰富生态系统的理论,另外能够有效评价特定树种的生长效果,最后在此研究基础上可以通过调节和改善各种限制因素以加速养分的循环利用速率和最大限度地提高防护林的生产力^[3-4],同时也可给沿海防护林的树种选择提供一定参考依据。近年来国内学者对于沿海防护林相思树种的研究较多,主要集中在对其生长状况^[5-8]和防护效果^[9]的评价,同时对山地相思人工林营养元素生物循环的研究也较多^[10-13],但对沿海沙地相思防护林营养元素生物循环的研究未见报道。通过研究福建省东南沿海沙地8年生卷荚相思(*Acacia cincinnata*)和

木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)人工林的养分积累与分配以及其生物循环特点,以掌握其营养元素特征和生物循环规律,为沿海沙地防护林营养状况评估、土壤肥力管理和可持续经营提供理论依据。

1 试验地概况

试验地点位于福建省长乐大鹤国有防护林场,地处 $119^{\circ}40'43''\text{E}, 25^{\circ}57'59''\text{N}$,属于南亚热带海洋性季风气候,年降水量 $1196\sim1794\text{ mm}$,年平均温度 $17.6\sim19.7^{\circ}\text{C}$,年极端最高气温为 35°C ,极端最低气温为 -1°C ,全年无霜期326 d,年平均日照时长1535.5 h。每年7—8月之间为台风多发时节。试验地于2003年春营建,初始造林密度均为 $2500\text{株}/\text{hm}^2$,距离海岸线约 $1\sim2\text{ km}$,平均海拔10 m,土层深厚,土壤为风沙土,盐碱度高、肥力差。林分前茬均为湿地松(*Pinus elliottii*)人工林,林下天然植被稀疏。试验地林分基本情况见表1。

表1 卷荚相思和木麻黄人工林林分特征

Table 1 Stand characteristics of *A. cincinnata* and *C. equisetifolia* plantations

树种	现存密度 (株· hm^{-2})	平均胸径 DBH/cm	平均树高 /m	生物量/(t· hm^{-2})						林分生产力 (t· $\text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)
				干	皮	枝	叶	根	合计	
卷荚相思 (<i>A. cincinnata</i>)	1150	7.85	7.53	10.55	3.21	4.00	1.28	4.31	23.35	2.92
木麻黄 (<i>C. equisetifolia</i>)	1562	8.47	9.28	34.04	9.64	13.75	7.64	14.38	79.46	9.93

2 研究方法

2.1 试验地设置、林分生物量及凋落物的测定

本研究采用随机区组设计,在每个树种试验林分内设置3个区组(样地),每块样地面积为 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$,于2011年7月对标准地内的每株树木进行编号,同时统计林分密度、树高、胸径等,并以此为依据在每块样地中选取一株平均木作为试验材料。采用收获法测定标准木的生物量^[13],地上部分采用Monsic分层切割法,每2 m为一区分段,分树干、树枝、树叶,地下部分采用全根挖掘法,分根桩、骨骼根(根系直径 $\geq 4.0\text{ cm}$)、大根($2.0\sim4.0\text{ cm}$)、中根($1.0\sim2.0\text{ cm}$)、细根($0.5\sim1.0\text{ cm}$)、吸收根($<0.5\text{ cm}$)。分别测定各器官鲜质量并取样测定各器官的含水率及烘干质量,以此换算出标准木及林分的生

物量,其中细根生物量用其标准生物量与年周转率的乘积计算^[14],亚热带森林细根平均年周转率为109.9%^[15]。

凋落物采用直接收集方法^[16],在每个样地内按对角线位置各设5个固定的 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 网状收集器,每月月底收集凋落物,按叶、枝、皮、花、果、杂物分类,同时测定其生物量和养分含量,用于计算营养元素归还量。

2.2 样品收集和营养元素的测定

在获取生物量同时,分不同4个方向和上、中、下部对枝叶进行取样,用扇形法对干和皮取样,根系采用不同规格按照质量比例混合取样,凋落物样品按各月份不同凋落物组成质量比例混合取样。样品采集后,在 80°C 恒温下烘干,并粉碎。N用全自动碳氮分析仪(Elemental Analyzer Vario EL III)测

定,P用钼锑抗比色法测定,K、Ca和Mg含量采用原子吸收分光光度计法测定^[16-17]。

2.3 养分循环参数的计算

通过计算养分利用系数、循环系数和周转时间等3个生物循环参数来分析养分循环特点^[18],养分循环公式为吸收量=存留量+归还量,其中贮存量为各器官营养元素积累量之和,存留量=贮存量/年龄(a),归还量为每月凋落物各组成生物量与养分含量乘积之和。养分利用系数为吸收量与贮存量的比值;循环系数为归还量与吸收量的比值;周转时间为归还量与贮存量的比值,采用Excel 2007软件对数据进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 卷荚相思和木麻黄平均木营养元素质量分数

由于生理机能及树种特性不同,同一树种不同器官的营养元素含量具有一定差异,不同树种相同器官间营养元素含量也存在较大差异。由表2可

见,2树种平均木营养元素质量分数排序均为叶>皮>枝>根>干;叶是光合作用器官,是有机物质合成的场所,也是代谢最活跃的器官,因此其营养元素质量分数在所有器官中最高,干材生理功能弱,多数养分被消耗或转移,故营养元素质量分数最低^[19]。木麻黄5个营养元素总质量分数为97.03 g·kg⁻¹,比卷荚相思高6.65%。2树种相同器官中营养元素质量分数均以N最高,Mg次之,P最低。卷荚相思叶的N质量分数占总养分质量分数56.40%,P占0.02%;木麻黄叶的N质量分数占总养分质量分数38.07%,P占0.03%。

由于凋落物的主要器官组成成分和成熟程度不同,不同树种凋落物中的营养元素质量分数间也存在一定差异。卷荚相思凋落物中N和Mg元素质量分数均高于木麻黄,但P、K和Ca含量均低于木麻黄。凋落物中N质量分数最高,其中Ca质量分数均高于活的枝、叶和皮的质量分数。

表2 卷荚相思和木麻黄人工林各器官营养元素质量分数

Table 2 Nutrient element contents in different components of *A. cincinnata* and *C. equisetifolia* plantations (g·kg⁻¹)

树种	器官	N	P	K	Ca	Mg
卷荚相思(<i>A. cincinnata</i>)	树叶	22.55±1.76	0.91±0.04	8.84±0.99	5.26±0.41	2.42±0.56
	树枝	10.07±0.14	0.47±0.03	3.52±0.26	2.02±0.22	0.66±0.07
	干材	3.13±0.12	0.13±0.01	1.11±0.02	1.09±0.00	0.32±0.01
	干皮	10.79±0.10	0.37±0.04	3.01±0.10	2.67±0.03	0.42±0.07
	树根	7.03±0.18	0.41±0.00	1.97±0.02	1.42±0.04	0.39±0.01
	凋落物	13.54±0.97	0.21±0.01	2.43±0.08	5.57±0.14	2.15±0.01
	草、灌木	15.55±2.46	0.98±0.16	9.94±1.21	7.21±0.82	2.35±0.48
木麻黄(<i>C. equisetifolia</i>)	树叶	15.24±1.23	1.09±0.02	9.93±0.29	10.99±0.58	2.78±0.12
	树枝	10.58±0.10	0.38±0.03	3.73±0.17	3.16±0.42	1.09±0.04
	干材	2.52±0.04	0.20±0.01	1.45±0.08	2.32±0.21	0.52±0.03
	干皮	4.32±0.11	0.26±0.01	3.32±0.14	3.35±0.09	0.97±0.11
	树根	3.35±0.10	0.24±0.02	2.36±0.11	2.15±0.07	0.73±0.08
	凋落物	11.48±1.23	0.26±0.02	3.59±0.13	11.46±0.63	2.13±0.02
	草、灌木	16.55±1.26	1.03±0.04	8.84±0.99	6.26±0.72	2.38±0.56

注:数据为平均值±标准差。

3.2 卷荚相思和木麻黄人工林各器官营养元素积累与分配

人工林各器官营养元素的积累和分配取决于该器官的生物量及其营养元素的质量分数,即从表1和表2读取数据可得表3数据。由表3可知,木麻黄林所有营养元素积累量均高于相同器官中卷荚相思林营养元素积累量,木麻黄林营养元素总积累量是卷荚相思的4.01倍。卷荚相思林各器官养分积累量为枝>干>皮>叶>根,而木麻黄林则为叶>枝>干>皮>根。各营养元素积累量排序,卷荚相思林为N>K>Ca>Mg>P,木麻黄林为N>Ca>

K>Mg>P;卷荚相思林N积累量占总营养元素积累量59.07%,木麻黄林为47.24%,表明同为固氮树种的卷荚相思和木麻黄具有较强的固N和贮N能力,卷荚相思林和木麻黄林N和P积累量比值分别达22.67和20.83。

3.3 卷荚相思和木麻黄人工林营养元素生物循环

人工林营养元素的生物循环是通过林木的吸收、存留和归还3个生理生态学过程来完成,吸收=存留+归还^[20]。凋落物的归还是森林生态系统生物循环最重要的方式之一,通过研究凋落物归还规律可以有效掌握该树种营养元素生物循环特点。从

表4可知,不同树种间各营养元素的贮存和归还量具有一定的差异。卷葵相思各营养元素的吸收量、存留量和归还量均大幅度低于木麻黄,分别低69.66%、75.63%和64.64%;木麻黄各营养元素吸收量和归还量的大小排列次序均为N>Ca>K>Mg>P,卷葵相思各营养元素的吸收量大小排序与木麻黄相同,而归还量大小顺序则为N>Ca>Mg>K>P。

林分养分利用系数和循环周期等同样能够反映

养分循环规律。2树种各营养元素养分利用系数为0.21~0.85,5种营养元素利用系数卷葵相思林为0.34,木麻黄林为0.27;卷葵相思以及木麻黄各营养元素利用系数循环系数大小顺序相同,均为Mg>Ca>N>P>K。各营养元素周转期卷葵相思林为1.44~12.08 a,木麻黄林为4.11~12.50 a,卷葵相思林各营养元素周转期(除P外)均低于木麻黄林,5种营养元素周转期由短到长排序为Mg>Ca>N>K>P。

表3 卷葵相思和木麻黄人工林各器官营养元素积累与分配

Table 3 Nutrient accumulation and distribution of *A. cincinnata* and *C. equisetifolia* plantations ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

树种	器官	N	P	K	Ca	Mg	合计
卷葵相思(<i>A. cincinnata</i>)	树叶	28.78	1.16	11.28	6.71	3.09	51.02
	树枝	40.26	1.88	14.07	8.08	2.64	66.93
	干材	33.02	1.37	11.71	11.50	3.38	60.98
	干皮	34.69	1.19	9.68	8.58	1.35	55.49
	树根	30.31	1.77	8.49	6.12	1.68	48.38
	合计	167.06	7.37	55.24	40.99	12.13	282.79
木麻黄(<i>C. equisetifolia</i>)	树叶	116.40	8.33	75.84	83.94	21.23	305.73
	树枝	145.53	5.23	51.31	43.47	14.99	260.52
	干材	85.79	6.81	49.36	78.98	17.70	238.65
	干皮	109.07	2.51	31.99	32.28	9.35	185.19
	树根	91.34	3.45	33.95	30.92	10.50	170.16
	合计	548.12	26.32	242.45	269.59	73.77	1160.25

表4 卷葵相思和木麻黄人工林营养元素生物循环

Table 4 Biological cycling of nutrients in the *A. cincinnata* and *C. equisetifolia* plantations

树分	项目	N	P	K	Ca	Mg	合计
卷葵相思(<i>A. cincinnata</i>)	贮存量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	167.06	7.37	55.24	40.99	12.13	282.79
	吸收量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	49.22	1.53	13.25	22.23	9.95	96.19
	存留量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	20.88	0.92	6.90	5.12	1.52	35.35
	归还量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	28.34	0.61	6.35	17.11	8.43	60.84
	利用系数	0.29	0.21	0.24	0.54	0.82	0.34
	循环系数	0.58	0.40	0.48	0.77	0.85	0.63
	周转期/a	5.89	12.08	8.70	2.40	1.44	4.65
木麻黄(<i>C. equisetifolia</i>)	贮存量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	548.12	26.32	242.45	269.59	73.77	1160.25
	吸收量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	144.11	5.54	49.71	90.54	27.18	317.07
	存留量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	68.52	3.29	30.31	33.70	9.22	145.03
	归还量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	75.59	2.25	19.40	56.84	17.96	172.04
	利用系数	0.26	0.21	0.21	0.34	0.37	0.27
	循环系数	0.52	0.41	0.39	0.63	0.66	0.54
	周转期/a	7.25	11.70	12.50	4.74	4.11	6.74

4 结论与讨论

由于植物不同器官的生理机能不同,营养元素在植物不同器官的分布也有差异^[21]。研究表明,卷葵相思树叶、树根以及林分凋落物中N元素质量分数均高于木麻黄,其主要原因是相思类树种根系具有根瘤菌,能够有效吸收土壤中的N元素并转移到叶片中,这与秦武明^[13]等对厚葵相思的研究结果相类似,表明卷葵相思有较强的固氮和转换氮元素的能力;不同树种叶片中大部分营养元素含量要高于

其余器官,主要是由于树叶为光合作用重要场所,代谢最为活跃,需要为其提供大量营养元素^[22-23]。2树种营养元素质量分数排序均为:叶>皮>枝>根>干,与广西南宁赤红壤8年生卷葵相思养分质量分数排序相同^[11]。Koerselman^[24]和Dernovsky^[25]研究认为树叶中N:P值大于14则植物生长受限制,本研究中卷葵相思和木麻黄N:P值分别为24.78和13.98,显然对卷葵相思林应加强P肥管理,采取施用P肥措施以提高林地生产力。

2种林分凋落物的营养元素质量分数均较高,

且均高于除树叶外其他器官。Boerner^[26] 和廖利平^[27]研究发现:树叶中 N、P、K、Mg 等营养元素在凋落前会转移到新的树叶中,实现养分内循环。本研究中,2 树种凋落物 N、P、K、Mg 质量分数均低于平均木中叶的质量分数,表明在叶凋落前,这些元素发生了内转移,而 Ca 为不易流动元素,因此则相对富集。

8 年生卷荚相思林和木麻黄林 5 种营养元素总积累量分别为 $282.79 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $1\ 160.25 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,年存留量为 $35.35 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $145.03 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,年归还量分别为 $60.84 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $172.04 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;年吸收量为 $96.19 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $317.07 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;其中 N 的积累量、年存留量、年归还量和年吸收量最大,表明该 2 种固氮树种具有较强的 N 吸收和富集能力,同时也具有较强的固 N 改土能力^[11];营养元素归还量占吸收量分别达 63.25% 和 54.26%,说明归还量是决定吸收量最主要因素,营养元素归还包括凋落物归还、淋溶等,本研究仅测定凋落物的归还量,因此结果比实际稍低^[28-30],较高的营养元素归还量且较低的吸收量能避免林木对地力过度消耗。

8 年生卷荚相思林和木麻黄林 5 种营养元素利用系数为 0.34 和 0.27,循环系数为 0.63 和 0.54,周转期为 4.65 a 和 6.74 a。2 树种各营养元素利用系数、循环速率由大到小依次为 Mg、Ca、N、P 和 K,而周转期则相反。各营养元素的利用系数、循环系数以及周转期可知,2 树种仍处于生长旺盛期,营养元素的循环速率快,周转时间较短^[11]。卷荚相思林和木麻黄林 5 种营养元素循环系数与 11 年生马占相思(0.50)^[23] 和 6 年生尾巨桉(0.16)^[31] 相比,表现出较高的养分循环速率,更有利于地力的维持。

综上,8 年生卷荚相思林与木麻黄相比,除 P 外其它营养元素循环速率快,周转期短,利用系数高,主要原因可能是该 2 树种叶片构造不同所致,叶是植物最主要器官之一,也是凋落物的主体,在生物循环中占有重要地位,木麻黄叶片由于长期适应恶劣环境而退化成鳞状叶,针叶形小枝取代树叶起同化作用^[32],文中所指的“树叶”实为“小枝”。卷荚相思活树叶 N:P 达 25:1,P 的循环速率最低,周转期最长,因此 P 可能是限制其生长关键元素,缺 P 可能是造成卷荚相思生长不如木麻黄主要原因,在生产中对卷荚相思采取施 P 肥措施,以促进林分对 P 的吸收,使林分保持旺盛的生长趋势。尽管有研究表明卷荚相思能够适应沿海沙地环境条件^[5-6],但林宇^[33]等和周锦业^[34]等从叶绿素荧光参数方面阐述沿海沙地卷荚相思在夏季生长受抑制,因此卷荚

相思为沿海沙地防护林木麻黄更新迹地的优势替代树种还值得探讨。

致谢:福建农林大学林学院林思祖教授和何宗明研究员对本试验进行指导,2010 级硕士生官国栋、贺韶华和周锦业等参加部分调查工作,本单位林宇同志对论文写作提出宝贵意见,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] SHARMA J C, SHARMA Y. Nutrient cycling in forest ecosystems:a review [J]. Agricultural Reviews, 2004, 25(3): 157-172.
- [2] 张昌顺,李昆.人工林养分循环研究现状与进展[J].世界林业研究,2005,18(4):35-39.
ZHANG C S, LI K. Research status and advances of nutrient cycling of plantation [J]. World Forestry Research, 2005, 18 (4):35-39. (in Chinese)
- [3] 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循环[J].生态环境,2003,12(3):296-299.
LIAO G R, ZHONG J H, LI S Y, et al. The nutrient cycling and balance of eucalyptus plantation ecosystem Ⅱ : The nutrient cycling of eucalyptus plantation ecosystem [J]. Ecology and Environment, 2003, 12(3):296-299. (in Chinese)
- [4] 刘增文,李玉山,刘秉正,等.黄土残塬沟壑区刺槐人工林生态系统的养分循环与动态模拟[J].西北林学院学报,1998, 13(2):34-40.
LIU Z W, LI Y S, LIU B Z, et al. Nutrient cycling and trend modeling of *Black locust* plantation ecosystem in gullied loess plateau area [J]. Journal of Northwest Forestry University, 1998, 13(2):34-40. (in Chinese)
- [5] 蔡晓明.福州市沿海木麻黄防护林更新迹地引种相思树种适应性分析[J].福建林业科技,2012,39(2):84-88.
CAI X M. Analysis of adaptability of *Acacia* tree species introduced from *Casuarina* shelter forest regeneration cutover land along the coast of Fuzhou [J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2012, 39(2):84-88. (in Chinese)
- [6] 李周坤.福建东南沿海滨海沙地 4 年生相思类树种生物量分配格局及树种选择[J].福建林业科技,2012, 39(3):15-18.
LI Z K. Species selection and biomass allocation pattern of 4-year-old *Acacia* species on Fujian southeast coastal sandy land [J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2012, 39(3):15-18. (in Chinese)
- [7] 吴志华,李天会,张华林,等.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.
WU Z H, LI T H, ZHANG H L, et al. Studies on growth and wind-resistance traits of *Casuarina* and *Acacia* stands from coastal protection forest [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2010, 19(4):166-175. (in Chinese)
- [8] 林宇.主要气候因子对沿海防护林卷荚相思生长的影响[J].安徽农业科学,2011, 39(35):21706-21709.
LIN Y. Effects of main climatic factors on the growth of *Acacia cincinnata* in coastal shelter forest [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(35):21706-21709. (in Chinese)

- nese)
- [9] 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.
- WANG Z J, YE G F, TAN F L, et al. The study on stress resistance of *Acacia* tree species in coastal sandy site [J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2005, 32 (4):35-38. (in Chinese)
- [10] 何斌,韦善华,张伟,等.黑木相思人工林营养元素生物循环特征[J].东北林业大学学报,2012,40(2):9-12.
- HE B, WEI S H, ZHANG W, et al. Biological cycling of nutrients in *Acacia melanoxylon* plantation [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2012, 40(2):9-12. (in Chinese)
- [11] 刘莉,戴军,何斌,等.卷荚相思人工林营养元素的生物地球化学循环特征[J].华南农业大学学报,2012,33(2):211-215.
- LIU L, DAI J, HE B, et al. Biogeochemical cycling characteristics of nutrients in *Acacia cincinnata* plantation [J]. Journal of South China Agricultural University, 2012, 33 (2):211-215. (in Chinese)
- [12] 王凌晖,何斌.南宁马占相思人工林微量元素分布与生物循环[J].林业科学,2009,45(5):27-33.
- WANG L H, HE B. Microelements distribution and biological cycling of *Acacia mangium* plantation in Nanning, Guangxi [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(5):27-33. (in Chinese)
- [13] 秦武明,何斌,覃世赢,等.厚荚相思人工林营养元素生物循环的研究[J].水土保持学报,2007,21(4):103-107.
- QIN W M, HE B, TAN S Y, et al. Biological cycling of nutrients in *Acacia crassicarpa* plantation [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21 (4): 103-107. (in Chinese)
- [14] 刘文飞,樊后保,谢友森,等.闽西北马尾松人工林营养元素的积累与分配格局[J].生态环境,2008,17(2):708-712.
- LIU W F, FAN H B, XIE Y S, et al. Nutrient accumulation and distribution in a masson pine stand in Northwestern Fujian[J]. Ecology and Environment, 2008, 17(2):708-712. (in Chinese)
- [15] 张小全,吴可红.森林细根生产和周转研究[J].林业科学,2001,37(3):126-138.
- ZHANG X Q, WU K H. Fine-root production and turnover for forest ecosystems [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2001, 37 (3):126-138. (in Chinese)
- [16] 林宇,张勇,黄秀勇,等.滨海沙地尾巨桉人工林凋落物及其分解[J].东北林业大学学报,2014,42(3):11-14.
- LIN Y, ZHANG Y, HUANG X Y, et al. Litter fall and decomposition of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* plantation in coastal sandy soil [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2014, 42(3):11-14. (in Chinese)
- [17] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,1999.
- 项文化,田大伦.不同年龄段马尾松人工林养分循环的研究[J].植物生态学报,2002,26(1):89-95.
- XIANG W H, TIAN D L. Nutrient cycling in *Pinus masso-*
- niana* stands of different age classes [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2002, 26(1):89-95. (in Chinese)
- [19] 朱宇林,何斌,杨钙仁,等.尾巨桉人工林营养元素积累及其生物循环特征[J].东北林业大学学报,2012,40(6):8-11,66.
- ZHU Y L, HE B, YANG G R, et al. Accumulation and biological cycling of nutrient elements in *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* plantations [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2012, 40(6):8-11, 66. (in Chinese)
- [20] DUVIGNEAUD P, DENAEYER D. 温带落叶林矿质元素的生物循环[M].彭克明,陈佐忠,译.植物生态学译丛:第1集.北京:科学出版社,1974:72-95.
- [21] 张希彪,上官周平.黄土丘陵区油松人工林与天然林养分分布和生物循环比较[J].生态学报,2006,26(2):373-382.
- ZHANG X B, SHANGGUANG Z P. Nutrient distributions and bio-cycle patterns in both natural and artificial *Pinus tabulaeformis* forests in Hilly Loess Regions [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(2):373-382. (in Chinese)
- [22] 文仕知,黄采艺,杨丽丽,等.桤木人工林营养元素的季节动态、空间分布与生物循环研究[J].水土保持学报,2012,26 (6):96-101.
- WEN S Z, HUANG C Y, YANG L L, et al. Seasonal Variation, Distribution and biological cycling of nutrient element of plantation in *Alnus cremastogyne* [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26(6):96-101. (in Chinese)
- [23] 何斌,秦武明,余浩光,等.不同年龄段马占相思(*Acacia mangium*)人工林营养元素的生物循环[J].生态学报,2007,16(12):5158-5167.
- HE B, QIN W M, YU H G, et al. Biological cycling of nutrients in different ages classes of *Acacia mangium* plantation [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 16 (12): 5158-5167. (in Chinese)
- [24] KOERSELMAN W, MEULEMAM A F M. The vegetation N:P ratio:a new tool to detect the nature of nutrient limitation [J]. Journal of Applied Ecology, 1996, 33:1441-1450.
- [25] DRENOVSKY R E, RICHARDS J H. Critical N:P values: predicting nutrient deficiencies in desert shrublands [J]. Plant and Soil, 2004, 259:59-69.
- [26] BOERNER R E J. Foliar nutrient dynamics and nutrient use of four deciduous tree species in relation to site fertility [J]. Applied Ecology, 1984, 21:1029-1040.
- [27] 廖利平.国外林木养分内循环研究[J].生态学杂志,1994,13(6):34-38.
- LIAO L P. Overseas researches on within-tree nutrient cycling [J]. Chinese Journal of Ecology, 1994, 13(6):34-38.
- [28] 刘增文,赵先贵.森林生态系统养分循环特征参数研究[J].西北林学院学报,2001,16(4):21-24.
- LIU Z W, ZHAO X G. On the characteristic parameters of nutrient cycling in forest ecosystem [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2001, 16(4):21-24. (in Chinese)

(下转第147页)

- paving reflecting film on photosynthetic characteristics of leaves in setting fruit position in cabernet sauvignon grapes[J]. Journal of Anhui Agri. Sci., 2009, 37(22):10470-10471. (in Chinese)
- [5] 高俊萍,牟鹏,霍勤,等.葡萄新梢长度与叶面积的关系[J].果树学报,2004,21(1):70-72.
- GAO J P, MOU P, HUO Q, et al. Study on the relationship between the length of new shoots and foliar area[J]. Journal of Fruit Science, 2004, 21(1):70-72. (in Chinese)
- [6] 张军贤,张振文.架式与新梢留量对赤霞珠葡萄酒中单体酚的影响[J].中国农业科学,2010,43(18):3784-3790.
- ZHANG J X, ZHANG Z W. Effects of trellis system and shoot density on free phenol of wine from *Vitis vinifera* L. cv. cabernet sauvignon[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(18):3784-3790. (in Chinese)
- [7] 贺普超,程国礼.酿酒葡萄不同整形方式的研究[J].果树科学,1994(1):53-54.
- [8] 王华.葡萄酒分析检测[M].西安:西安地图出版社,2004:21-46.
- [9] 于建娜,任小林,陈柏,等.采前6-苄基腺嘌呤处理对葡萄品质和贮藏生理特性的影响[J].植物生理学报,2012,48(7):714-720. (in Chinese)
- YU J N, REN X L, CHEN B, et al. Effect of preharvest 6-benzyladenine treatment on quality and physiology of table grapes during cold storage [J]. Plant Physiology Journal, 2012, 48 (7):714-720. (in Chinese)
- [10] 李海燕,王铭,冯玉才,等.采收期对山葡萄产量及品质影响的研究[J].山东农业大学学报:自然科学版,2000,31(4):411-414.
- LI H Y, WANG M, FENG Y C, et al. Harvest time influ-
- ences on yield and quality of *vitis amurensis*[J]. Journal of Shandong Agricultural University: Nat. Sci., 2000, 31(4): 411-414. (in Chinese)
- [11] 刘金豹,杜中军,翟衡.葡萄浆果中的主要多酚化合物及影响因素[J].中外葡萄与葡萄酒,2003(2):22-26.
- LIU J B, DU Z J, ZHAI H. The main polyphenolics in grape berry and their influencing factors[J]. Sino-overseas Grape-vine & Wine, 2003(2):22-26. (in Chinese)
- [12] 吕万祥,惠竹梅.不同形态氮素对赤霞珠葡萄果实品质的影响[J].北方园艺,2012(14):5-8.
- LV W X, XI Z M. Effect of nitrogen forms on quality of 'Cabernet Sauvignon' grape [J]. Northem Horticulture, 2012(14):5-8. (in Chinese)
- [13] 万力,郭志君,闵卓,等.野生葡萄枝条多酚粗提物抑菌活性研究[J].西北林学院学报,2014,29(1):122-126.
- WANG L, GUO Z J, MIN Z, et al. Antimicrobial activities of phenolics from Chinese wild grape canes[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29 (1): 122-126. (in Chinese)
- [14] 王燕,周涛,白国胜.不同酿酒葡萄品种对磷素的吸收利用及其效应研究[J].西北林学院学报,2001,16(3):14-17.
- WANG Y, ZHOU T, BAI G S. The study on absorbing and using phosphorus by different varieties of wine maize grapes [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2001, 16 (3):14-17. (in Chinese)
- [15] 迟明,李梅花,张振文.不同整形方式对赤霞珠葡萄果实品质的影响[J].北方园艺,2014(18):50-53.
- CHI M, LI M H, ZHANG Z W. Effect of different training systems on quality of 'Cabernet Sauvignon'grape berries[J]. Northem Horticulture, 2014(18):50-53. (in Chinese)

(上接第89页)

- [29] 杨丽丽,文仕知,何功秀.长沙市郊枫香人工林营养元素生物循环特征[J].福建林学院学报,2012,32(1):48-53.
- YANG L L, WEN S Z, HE G X. Biological cycling of nutrients in *Liquidambar formosana* plantation in suburban area of Changsha [J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2012, 32(1):48-53. (in Chinese)
- [30] 叶功富,黄宝龙.木麻黄生态系统营养元素的地球化学循环[J].南京林业大学学报,1998,22(1):5-8.
- YE G F, HUANG B L. Studies on geochemical cycling in *Casuarina equisetifolia* plantation ecosystems [J]. Journal of Nanjing Forestry University, 1998, 22(1):5-8. (in Chinese)
- [31] 樊后保,李燕燕,刘文飞,等.连续年龄序列尾巨桉人工林养分循环[J].应用与环境生物学报,2012,18(6):897-903.
- FAN H B, LI Y Y, LIU W F, et al. Nutrient accumulation and cycling of an *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* plantation [J]. Chinese J. Appl. and Environ. Biol., 2012, 18 (6):897-903. (in Chinese)
- [32] 黄宝龙,叶功富,张水松,等.木麻黄人工林营养元素的动态特性[J].南京林业大学学报,1998,22(2):1-4.
- HUANG B L, YE G F, ZHANG S S, et al. Studies on dynamic properties on the nutrient elements in the *Casuarina equisetifolia* plantation [J]. Journal of Nanjing Forestry University, 1998, 22(2):1-4. (in Chinese)
- [33] 林宇,周锦业,何宗明,等.沿海沙地5种相思树叶绿素荧光参数夏季日变化[J].福建农林大学学报:自然科学版,2014,43(1):29-34.
- LIN Y, ZHOU J Y, HE Z M, et al. Diurnal changes of chlorophyll fluorescence parameters in 5 *Acacia* species on coastal sand in summer [J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Nat. Sci. Edi., 2014, 43(1): 29-34. (in Chinese)
- [34] 周锦业,官国栋,林宇,等.东南沿海不同相思树种叶绿素荧光特性的季相变化[J].西南林业大学学报,2014,34(1):21-26.
- ZHOU J Y, GUAN G D, LIN Y, et al. Seasonal variation of chlorophyll fluorescence parameters of different species from genus *Acacia* in southeast coastal area [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2014, 34(1):21-26. (in Chinese)