

基于GIS技术的区域林地生产力估测与分区

邢世和, 韦红

(福建农林大学资源与环境学院, 福建 福州 350002)

摘要: 借助GIS和数学模型集成技术, 利用福建省气象观测资料推算出全省年均温度、降水量和实际蒸散量的 $125\text{ m} \times 125\text{ m}$ 栅格数据, 采用植被净第一性生产力改进模型结合林地土壤质量系数, 修正计算区域林地生产力栅格数据, 然后借助动态聚类分析模型进行区域林地生产力分区。结果表明福建省林地生产力介于 $262.2\text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \sim 2100.6\text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 9个设区市林地生产力均值大小顺序为: 漳州 > 龙岩 > 福州 > 厦门 > 三明 > 莆田 > 南平 > 泉州 > 宁德。全省林地以高、中生产力区占绝对优势, 分别占全省林地总面积的76.26%和23.54%, 其中高生产力区主要分布于闽北、闽西和闽中地区, 而中生产力区则主要分布于闽北、闽中和闽东地区。

关键词: GIS数学模型; 林地; 生产力; 分区

中图分类号: S716.3

文献标识码: A

林地生产力是指在林地范围内所生产的植物产量总和, 与林地立地条件(如大气 O_2 及 CO_2 含量、气候和土壤条件等)、植物生物生态学特性等密切相关。由于空气中的 O_2 、 CO_2 含量及植物生物生态学特性相对较为稳定, 而气候和土壤条件则随时间或空间变化较大, 故某一区域林地生产力主要取决于该区域的光、热、水和土壤质量状况, 不同区域由于光、热、水和土等条件不同, 其生产力也各异, 故植被生产力估测一直是生态学研究的重要内容之一, 吸引着国内外众多学者进行大量的研究^[1-6]。但是, 现有的植被生产力研究均是聚焦于仅考虑区域水热条件影响的植被净第一性生产力估测, 同时考虑区域土壤肥力条件对植被生产力影响的研究则未见报道, 且在植被净第一性生产力估测方面均是以整个县域行政区为单元, 以县气象站点状数据均值代表整个县域单元进行研究, 无法真实反映县域范围内植被净第一性生产力随地理空间位置变化而异的客观实际, 也无法实现县域范围内植被净第一性生产力的分区。为此, 本文以福建省为研究区域, 借助GIS和数学模型集成技术, 利用59个气象站近30 a

气象观测资料及林地土壤资源相关调查资料, 通过趋势面分析和反距离权重插值模型推算出省域年均温度、降水量和实际蒸散量 $125\text{ m} \times 125\text{ m}$ 栅格空间数据, 利用植被净第一性生产力改进模型^[7]和林地资源栅格图推算出省域林地净第一性生产力栅格数据, 然后通过林地土壤质量修正系数推算出省域林地生产力栅格数据, 进而借助动态聚类分析模型, 进行省域林地生产力分区, 旨在为区域林地资源可持续利用、维护森林生态系统平衡提供科学依据。

1 评价方法步骤

1.1 资料收集

收集研究所需的以下数据库或资料: (1) 1:25万福建省数字高程模型(DEM); (2) 1:25万福建省土地利用现状矢量数据库(2002年); (3) 福建省各气象站年均温度和降水量观测数据(近30 a观测资料均值, 福建省气象局提供); (4) 福建省林地适宜性评价因子(包括质地、有机质、pH、CEC、全磷(P)、全钾(K)、土层厚度、障碍层深度、冬季地下水位和

收稿日期(Received date): 2005-11-22; 改回日期(Accepted): 2006-02-28.

基金项目(Foundation item): 福建省自然科学基金项目(B0010018) [The Natural Science Foundation of Fujian Province (B0010018)]

作者简介(Biography): 邢世和(1962-), 男, 福建连江人, 教授, 研究方向为资源与环境评价及可持续利用。E-mail: z5198@pub5.fz.fj.cn
[Xing Shihé (1962-), male, born in Fujian, China. Professor, research fields mainly cover the assessment and sustainable use of resource and

environment]

土壤侵蚀强度) 125 m × 125 m 栅格数据库等。

1.2 评价底图数据库建立

利用 1: 25 万福建省土地利用现状矢量数据库, 借助 GIS 软件提取出林地、园地 (未包括其他园地) 及县市区行政界等用地数据库, 将矢量数据转化为 125 m × 125 m 栅格数据, 形成研究区林地资源分布图及其栅格数据库。

1.3 年均温、降水量和实际蒸散量栅格数据库

利用气象站观测数据实现区域年均温度、降水量和实际蒸散量栅格空间数据的较准确推算, 是实现区域林地栅格空间生产力科学估测与分区评价的关键。本研究采用福建省 59 个气象站点的地理空间位置 (纬度、经度和海拔) 及其年均温度和降水量数据, 借助趋势面分析模型^[8]拟合建立区域年均温度及降水量与纬度、经度和海拔的关系模型, 年均温度拟合模型为

$$T = -4563.222904 - 47.762491\varphi + 88.16355\lambda + 0.099642h - 0.16632\varphi^2 - 0.424495\lambda^2 - 0.000001h^2 + 0.47098\varphi\lambda + 0.000145\varphi h - 0.000902\lambda h$$

式中 T 为年均温度, φ 、 λ 和 h 分别为纬度、经度和海拔, 该模型的复相关系数 $R^2 = 0.981$, 年均降水量拟合模型为

$$P = -395927.7145 - 9072.8959\varphi + 8853.7814\lambda - 18.3735h - 42.6056\varphi^2 - 48.7422\lambda^2 + 0.0001h^2 + 96.5514\varphi\lambda + 0.1246\varphi h + 0.1286\lambda h$$

式中 P 为年均降水量, 该模型的复相关系数 $R^2 = 0.692$ 。

利用年均温度和降水量拟合模型和福建省 DEM, 推算出由宏观地理因子决定的区域年均温度和降水量 125 m × 125 m 栅格数据, 采用反距离权重插值模型^[8]对推算的气候要素数据进行残差订正, 从而建立区域年均温度和降水量空间栅格数据库。借助年均温度和降水量栅格数据库, 采用下列模型^[7]推算并建立区域年实际蒸散量栅格数据库

$$E = 3.64593P / [1 + (3.64593P / (308.5332 + 20.7648T + 0.115625T^3))^2]^{1/2}$$

式中 E 为年实际蒸散量, P 为年均降水量, T 为年均温度。

1.4 林地气候生产力计算及其数据库建立

利用研究区年实际蒸散量栅格数据库, 借助下式^[7]计算区域植被气候潜在生产力并建立相应栅格

数据库

$$NPP(E) = 2999.854[1 - \exp(-(0.0009585154(E - 30.02167)))]$$

式中 $NPP(E)$ 为由年实际蒸散量计算的植被气候潜在生产力, E 为年实际蒸散量。

以研究区林地资源分布图栅格数据库屏蔽区域植被气候潜在生产力栅格数据库, 建立由年实际蒸散量计算的区域林地气候潜在生产力栅格数据库。

1.5 林地土壤质量订正系数确定

以质地、有机质、pH、CEC、全磷 (P)、全钾 (K)、土层厚度、冬季地下水位、障碍层深度和土壤侵蚀强度等 10 个评价因子作为林地土壤质量评价因子, 从福建省林地适宜性评价因子栅格数据库中提取出上述评价因子属性数据, 采用加权指数和法计算各栅格林地土壤质量指数作为订正系数

$$K_i = \sum (a_1A_1 + a_2A_2 + a_3A_3 + \dots + a_{10}A_{10}) / 100$$

式中 K_i 为各栅格林地土壤质量订正系数; A_1, A_2, \dots, A_{10} 分别为各评价因子分值, 利用全省林地土壤各评价因子属性栅格数据, 根据表 1 标准直接赋值; a_1, a_2, \dots, a_{10} 分别为采用层次分析法获得的各评价因子权重 (表 1)。

1.6 林地生产力估算及其数据库建立

利用研究区林地气候潜在生产力栅格数据库, 以林地土壤质量系数修正法计算区域林地生产力栅格数据, 进而建立区域林地生产力栅格数据库

$$NPP(S) = K_i \cdot NPP(E)$$

式中 $NPP(S)$ 为林地生产力。

1.7 林地生产力分区与面积统计汇总

利用区域林地生产力栅格数据库, 借助动态聚类分析模型, 分高、中、低三个等级区, 进行区域林地生产力分区, 并建立研究区林地生产力分区栅格数据库。研究区林地生产力高、中、低等级区划分的标准分别为 262~916 g/(m²·a)、917~1500 g/(m²·a) 和 1501~2100 g/(m²·a)。

以研究区土地利用现状数据库中各县 (市、区) 的林地和园地一级地类面积数据为控制, 按一级地类对林地生产力各等级栅格面积进行平差, 然后按县 (市、区) 对区域林地生产力等级区进行面积汇总统计。

2 结果与分析

2.1 区域林地生产力及其空间分异

表 2 结果表明, 福建省林地生产力介于 262.2~

2 100 6 g/(m²· a), 平均值为 1 592. 4 g/(m²· a), 仅为全省林地气候潜在生产力均值的 73. 23%, 表明林地土壤质量状况对区域林地生产力水平具有较显著影响, 生产力较低的林地单元主要分布于建宁、漳浦、洛江、泉港、莆田、顺昌、清流、延平、古田和泰宁等县(市、区)境内, 其生产力均 ≤ 393. 6 g/(m²· a), 仅为全省林地生产力均值的 16. 47% ~ 24. 72%, 其中生产力最低的林地单元位于闽中地区泰宁县境内。导致生产力低下的原因之一是部分林地单元地处海拔较高, 气候潜在生产力较低, 如建宁、顺昌、清流、延平、古田和泰宁等县(市、区)境内的林地单元, 气候潜在生产力介于 1 400. 01~ 1 755. 13 g/(m²· a), 仅为全省平均值的 64. 38% ~ 80. 71%; 原因之二则是部分林地单元土壤贫瘠, 土壤质量订正系数介于 0. 104~ 0. 159, 仅为全省平均值的 14. 12% ~ 21. 59%。生产力较高的林地单元主要分布于闽南地区的南靖、华安、南安、云霄、龙海、漳浦、同安、丰泽、晋江、鲤城、诏安、洛江、集美、平和和安溪以及闽北地区的延平等县(市、区)境内, 其生产力均 ≥ 2 001. 7 g/(m²· a), 为全省均值的 125. 70

% ~ 131. 91%, 其中生产力最高的林地单元位于闽南地区的南靖县境内, 这些林地单元主要分布于闽南的低海拔地区, 水热资源丰富, 林地气候潜在生产力(为全省均值的 106. 68% ~ 112. 92%)和土壤肥力(土壤质量订正系数为全省均值的 110. 93% ~ 119. 08%)均较高, 有利于林木的速生快长。

从各县(市、区)林地生产力均值大小分布来看(见表 2), 鼓浪屿、同安、芗城、龙文、涵江、云霄、诏安、平和、南靖、龙海、漳浦、鲤城、长泰、武平、永定、新罗、漳平、大田、永安、鼓楼、仓山、马尾、晋安、长乐和延平等 25 个县(市、区)的生产力均值较高, 其林地生产力均值均 ≥ 1 651. 9 g/(m²· a), 为全省平均水平的 103. 74% ~ 110. 23%; 而平潭、湖里、泰宁、安溪、德化、惠安、泉港、石狮、永春、古田、屏南、寿宁、霞浦、柘荣、周宁和光泽等县(市、区)的生产力均值较低, 其林地生产力均值均 ≤ 1 495. 5 g/(m²· a), 仅为全省平均水平的 77. 74% ~ 93. 91%; 其余县(市、区)的生产力均值介于上述两者之间, 变化于 1 504. 0~ 1 647. 7 g/(m²· a), 为全省平均水平的 94. 45% ~ 103. 47%。全省 9 个设区市林地生产力

表 1 林地土壤质量评价因子分级指标和权重
Table 1 Grading indices and weights of evaluating factors of forestry soil quality

评 因 子	价 子	因子分级							评价因 子权重
		一级	二级	三级	四级	五级	六级	七级	
质地	类别	中壤	砂壤、轻壤	轻粘、重壤	中粘、紧砂	重粘、松砂		砾质	0. 130
	分值	100	80	60	40	20		0	
有机质	g/kg	> 40	30~ 40	20~ 30	10~ 20	10~ 6	< 6		0. 140
	分值	100	90	70	50	30	10		
pH	pH (H ₂ O)	6. 5~ 7. 5	6. 5~ 6. 0	6. 0~ 5. 5	5. 5~ 4. 5	4. 5~ 4. 0	< 4. 0	> 8. 5	0. 110
	分值	100	90	70	50	30	10		
CEC	cmol(+) /kg	> 20	20~ 15	15~ 10	10~ 5	< 5			0. 090
	分值	100	80	60	40	20			
全磷	g/kg	> 1. 0	1. 0~ 0. 7	0. 7~ 0. 5	0. 5~ 0. 3	< 0. 3			0. 075
	分值	100	80	60	40	20			
全钾	g/kg	> 25	25~ 20	20~ 15	15~ 10	< 10			0. 075
	分值	100	80	60	40	20			
土层 厚度	cm	> 100	100~ 70	70~ 50	50~ 30	30~ 10		< 10	0. 150
	分值	100	80	60	40	20		0	
障碍层	cm	> 100	100~ 70	70~ 50	50~ 30	< 30			0. 070
	分值	100	80	60	40	20			
冬季	cm	> 100	100~ 70	70~ 50	50~ 30	< 30			0. 060
地下水 位	分值	100	80	60	40	20			
土壤侵 蚀	强度	无	轻	中	强	极强		剧烈	0. 100
	分值	100	90	60	30	5		0	

均值的大小顺序为:漳州 (1 672 9 g/(m²· a)) > 龙岩 (1 650 6 g/(m²· a)) > 福州 (1 637. 8 g/(m²· a)) > 厦门 (1 615 3 g/(m²· a)) > 三明 (1 606 7 g/(m²· a)) > 莆田 (1 599 4 g/(m²· a)) > 南平 (1 599. 4 g/(m²· a)) > 泉州 (1 531. 0 g/(m²· a)) > 宁德 (1 434 9 g/(m²· a))。与各设区市林地气候潜在生产力均值排序相比^[9], 厦门和泉州 2 市由于林地土壤质量较差 (土壤质量订正系数均值仅分别为 0 691和 0 678), 林地生产力相对下降, 故其均值排序明显后移; 而南平、福州和龙岩 3 市由于林地土壤质量较高 (土壤质量订正系数均值分别高达 0 793 0 761和 0 752), 林地生产力相对提高, 故其均值排序明显前移, 进一步表明区域林地土壤质量对林地生产力具有明显影响。

2 2 区域林地生产力分区

福建省林地生产力分区结果表明 (表 3), 全省林地低生产力区面积 18 073 97 hm², 占全省林地总面积的 0 20%, 该区林地生产力介于 262 00~916. 00 g/(m²· a), 平均值为 608 93 g/(m²· a), 主要分布于泰宁、清流、延平、古田、顺昌、南安、莆田、周宁、沙县和永安等 10 县 (市、区) 境内的高海拔及土壤肥力贫瘠的区域, 合计面积为 13 259 51 hm², 占全省林地低生产力区总面积的 73 36%。全省林地中生产力区面积 2 099 612 25 hm², 占林地总面积的 23 54 %, 该区林地生产力介于 917. 00~1 500 00 g/(m²· a), 平均值为 1 365 54 g/(m²· a), 主要分布于闽北地区的浦城、政和、光泽、武夷山、建瓯、建阳和邵武、闽中地区的德化、泰宁、尤溪和将乐、闽东地区的古田、屏南、周宁、霞浦和寿宁、溪和永春以及闽西地区的建宁等 19 个县 (市、区),

表 2 区域林地生产力估测
Table 2 Calculation of climate-soil productivity of regional forestry land

行政区	生产力 (g/(m ² · a))			行政区	生产力 (g/(m ² · a))			行政区	生产力 (g/(m ² · a))		
	最低值	最高值	平均		最低值	最高值	平均		最低值	最高值	平均
仓山	451. 3	1 912. 0	1 773. 8	建宁	393. 6	1 720. 3	1 536. 1	诏安	651. 5	2 033. 0	1 694. 7
长乐	443. 7	1 918. 2	1 652. 8	永安	434. 1	1 915. 0	1 665. 0	长汀	1 113. 4	1 895. 2	1 607. 6
福清	435. 0	1 959. 5	1 618. 0	尤溪	449. 4	1 992. 7	1 586. 2	连城	724. 4	1 909. 5	1 592. 1
鼓楼	1 652. 0	1 898. 2	1 804. 8	城厢	440. 4	1 964. 8	1 639. 2	上杭	866. 2	1 931. 0	1 631. 9
晋安	1 196. 6	1 900. 7	1 656. 2	涵江	1 298. 6	1 958. 2	1 729. 3	武平	981. 2	1 962. 1	1 698. 9
琅岐	627. 0	1 796. 6	1 599. 0	秀屿	1 008. 2	1 809. 7	1 539. 6	新罗	890. 5	1 944. 5	1 672. 5
连江	967. 7	1 874. 2	1 644. 1	莆田	359. 3	1 966. 5	1 533. 0	永定	880. 8	1 945. 1	1 695. 7
罗源	914. 0	1 881. 1	1 571. 9	仙游	984. 3	1 975. 2	1 556. 1	漳平	1 155. 2	1 963. 5	1 655. 6
马尾	1 087. 8	1 903. 2	1 681. 4	安溪	922. 8	2 001. 7	1 488. 6	福安	463. 4	1 929. 4	1 570. 3
闽侯	442. 6	1 933. 3	1 635. 1	德化	847. 1	1 811. 8	1 405. 1	福鼎	674. 9	1 792. 0	1 526. 0
闽清	423. 0	1 909. 8	1 632. 5	丰泽	462. 2	2 038. 1	1 568. 0	古田	272. 5	1 958. 1	1 444. 3
平潭	865. 1	1 942. 9	1 379. 4	惠安	810. 4	1 863. 2	1 489. 5	蕉城	711. 4	1 831. 6	1 504. 0
永泰	706. 0	1 914. 8	1 642. 2	晋江	529. 4	2 036. 8	1 577. 2	屏南	853. 2	1 670. 8	1 301. 7
鼓浪屿	1 731. 2	1 764. 3	1 755. 6	鲤城	461. 5	2 036. 0	1 655. 1	寿宁	587. 3	1 858. 5	1 495. 5
湖里	1 232. 7	1 887. 7	1 468. 6	洛江	371. 0	2 014. 7	1 526. 8	霞浦	860. 8	1 777. 6	1 437. 2
集美	679. 4	2 006. 5	1 639. 4	南安	300. 3	2 086. 9	1 587. 1	柘荣	816. 6	1 720. 5	1 397. 1
开元	1 239. 5	1 876. 2	1 556. 5	泉港	366. 1	1 871. 7	1 425. 6	周宁	784. 5	1 728. 1	1 237. 9
思明	1 330. 0	1 884. 7	1 577. 6	石狮	947. 9	1 857. 7	1 479. 8	光泽	861. 5	1 835. 9	1 509. 2
同安	511. 9	2 038. 6	1 684. 5	永春	1 037. 3	1 905. 9	1 492. 7	浦城	874. 9	1 868. 1	1 543. 2
杏林	1 176. 3	1 979. 9	1 624. 7	长泰	452. 4	1 969. 3	1 651. 9	建瓯	481. 3	1 981. 4	1 609. 3
大田	1 041. 3	1 878. 4	1 652. 0	东山	1 046. 5	1 935. 8	1 524. 4	建阳	865. 8	1 912. 3	1 622. 9
将乐	841. 8	1 856. 7	1 580. 3	华安	479. 5	2 088. 0	1 647. 7	邵武	1 031. 5	1 898. 7	1 601. 5
梅列	1 037. 7	1 905. 6	1 641. 4	龙海	476. 4	2 077. 1	1 659. 2	顺昌	345. 6	1 952. 5	1 642. 9
明溪	1 064. 3	1 920. 5	1 643. 6	龙文	479. 2	1 982. 9	1 741. 9	松溪	1 110. 3	1 888. 9	1 600. 7
宁化	913. 9	1 904. 3	1 611. 3	南靖	684. 3	2 100. 6	1 671. 7	武夷山	836. 8	1 878. 9	1 541. 8
清流	297. 1	1 932. 4	1 646. 9	平和	1 209. 0	2 006. 1	1 694. 5	延平	290. 8	2 013. 6	1 700. 9
三元	946. 5	1 940. 5	1 646. 0	芗城	479. 6	1 978. 9	1 742. 7	政和	890. 1	1 894. 7	1 460. 6
沙县	513. 6	1 963. 4	1 610. 6	云霄	1 094. 0	2 085. 2	1 714. 9	福建	262. 2	2 100. 6	1 592. 4
泰宁	262. 2	1 784. 2	1 461. 4	漳浦	379. 2	2 049. 6	1 657. 8				

合计面积为 1 340 617. 28 hm², 占全省林地中生产力区总面积的 63. 85 %。全省林地高生产力区面积 6 802 714. 94 hm², 占林地总面积的 76. 26 %, 该区林地生产力介于 1 501. 00~ 2 100. 00 g/(m² · a), 平均值为 1 662. 15 g/(m² · a), 主要分布于闽北地区的建瓯、建阳、延平、邵武、浦城、武夷山、顺昌和光泽、闽西地区的漳平、长汀、新罗、上杭、武平、连城和

永定、闽中地区的尤溪、永安、大田、永泰、将乐、宁化、沙县、明溪、清流和闽侯、闽南地区的平和及南靖等 27 个县 (市、区) 境内的低海拔及土壤肥力肥沃的区域, 合计面积为 4 8647. 09. 42 hm², 占全省林地高生产力区总面积的 71. 51 %。可见, 福建省林地生产力以高、中生产力区占绝对优势, 合计占全省林地总面积的 99. 80 %。

表 3 区域林地生产力分区面积
Table 3 Division areas of climate-soil productivity of regional forestry land

行政区	分区面积 (hm ²)			行政区	分区面积 (hm ²)			行政区	分区面积 (hm ²)		
	高	中	低		高	中	低		高	中	低
仓山	2 202. 48	0. 77	19. 52	建宁	96 210. 14	48 576. 55	218. 51	诏安	67 735. 33	6 766. 53	287. 40
长乐	22 897. 29	4 155. 54	7. 81	永安	239 633. 36	11 906. 76	608. 34	长汀	218 329. 18	36 214. 53	--
福清	56 415. 24	10 271. 25	286. 42	尤溪	242 611. 20	44 130. 27	26. 98	连城	190 020. 29	29 267. 37	6. 23
鼓楼	457. 00	--	--	城厢	2 373. 74	301. 41	32. 88	上杭	201 226. 83	25 081. 95	57. 25
晋安	40 044. 39	2 300. 83	--	涵江	66. 62	171. 51	--	武平	200 425. 08	11 179. 25	--
琅岐	5 025. 54	443. 92	67. 28	秀屿	4 017. 42	1 876. 45	--	新罗	209 635. 98	8 827. 06	45. 18
连江	56 773. 85	6 427. 02	--	莆田	49 116. 2	125 691. 87	801. 69	永定	165 082. 18	3 768. 97	9. 51
罗源	61 663. 77	15 137. 58	3. 13	仙游	82 567. 74	35 921. 67	--	漳平	227 296. 79	21 104. 72	--
马尾	7 414. 83	277. 18	--	安溪	65 791. 21	106 605. 28	--	福安	85 773. 23	32 812. 68	131. 24
闽侯	113 095. 72	23 332. 37	63. 92	德化	35 015. 56	125 518. 30	80. 43	福鼎	62 282. 27	36 978. 98	9. 40
闽清	90 492. 79	18 595. 89	164. 17	丰泽	2 038. 95	1 819. 10	--	古田	74 841. 38	100 545. 27	1 533. 65
平潭	1 686. 04	6 396. 81	44. 72	惠安	6 080. 69	8 787. 23	86. 19	蕉城	51 664. 30	34 242. 4	977. 63
永泰	165 113. 19	18 281. 00	46. 37	晋江	5 118. 79	3 148. 86	24. 85	屏南	9 654. 23	100 96. 64	123. 85
鼓浪屿	52. 27	--	--	鲤城	1 423. 96	202. 33	147. 86	寿宁	64 254. 74	50 192. 34	487. 29
湖里	288. 85	552. 49	--	洛江	13 875. 91	11 700. 18	185. 20	霞浦	31 295. 54	63 593. 19	121. 61
集美	7 246. 87	2 944. 61	21. 45	南安	70 119. 37	38 259. 30	1 107. 21	柘荣	8 624. 22	34 664. 53	192. 46
开元	285. 65	43. 35	--	泉港	2 642. 87	8 851. 77	119. 08	周宁	4 192. 87	81 500. 52	764. 72
思明	1 265. 18	219. 64	--	石狮	748. 35	789. 16	--	光泽	117 709. 12	72 430. 93	31. 60
同安	42 921. 35	8 464. 84	333. 86	永春	38 295. 94	62 279. 17	--	浦城	189 368. 14	84 182. 31	19. 56
杏林	6 708. 56	1 023. 09	--	长泰	5 4290. 28	8 315. 61	25. 44	建瓯	287 953. 79	56 070. 96	351. 30
大田	168 242. 26	12 080. 85	--	东山	3 948. 25	2 793. 51	--	建阳	229 251. 85	46 539. 18	19. 45
将乐	152 052. 29	44 016. 74	27. 09	华安	73 976. 88	9 399. 37	2. 73	邵武	192 647. 47	40 891. 10	--
梅列	27 725. 83	2 007. 81	--	龙海	47 440. 22	8 684. 48	34. 69	顺昌	146 415. 28	16 469. 21	1 514. 50
明溪	132 586. 42	15 424. 62	--	龙文	3 568. 68	138. 50	6. 85	松溪	68 877. 24	15 419. 59	--
宁化	146 512. 34	33 621. 96	1. 75	南靖	138 964. 13	6 793. 44	274. 55	武夷山	165 979. 09	69 436. 48	72. 57
清流	129 157. 12	25 227. 65	1 844. 85	平和	15 6481. 60	5 315. 06	--	延平	206 323. 73	9 816. 56	1 893. 48
三元	61 960. 09	6 653. 67	--	芗城	12 534. 19	330. 99	14. 57	政和	65 081. 99	81 200. 70	15. 67
沙县	132 594. 99	12 743. 32	680. 77	云霄	46 847. 22	3 218. 40	--	福建	6 802 714. 94	209 612. 25	18 073. 97
泰宁	61 331. 14	562 111. 35	2 510. 30	漳浦	70 759. 98	15 335. 53	383. 14				

地生产力具有显著影响, 如厦门的湖里、开元、思明、集美和杏林; 泉州的洛江、安溪、丰泽、德化、惠安、泉港、石狮、南安和永春; 漳州的东山以及福州的平潭等县 (市、区), 由于林地土壤质量较差, 致使其生产

3 提高区域林地生产力的对策

本研究结果表明, 林地土壤质量状况对区域林

力明显降低,林地生产力仅为相应县(市、区)气候生产力的 61.60%~69.60%,故林地土壤保育和培肥是提高区域林地生产力的重要途径。福建省林地现实生产力平均约为 $717.83 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})^{[10]}$, 仅为本研究估算的全省林地生产力均值 ($1592.4 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$) 的 45.08%, 故全省林地资源仍有巨大的增产潜力空间, 主要与福建省林地的森林结构不合理、针叶纯林连栽所致的林地土壤退化及经营管理不科学等因素密切相关。因此, 应针对福建省林地资源开发利用中存在的问题, 采取科学营林措施, 努力提高全省林地生产力, 实现林地资源可持续利用。

3.1 改善不合理的森林结构

福建省现有林被多为人工次生林, 森林林龄、树种和林种结构均不合理。表现为: (1) 林种比例失调, 生态公益林仅占有林地面积的 12.90%, 而商品林则占 77.05%; (2) 树种组成单一, 呈针叶化, 针阔比高达 92%:3%; (3) 林龄结构不合理, 近、成、过熟林仅占 10.45%, 而中、幼龄林则占 89.55%^[11 12], 存在着纯林多、混交林少, 针叶林多、阔叶林少, 杉木和马尾松林多、其他树种少及中、幼龄林多、成熟林少等问题, 导致全省森林生态系统结构和功能不良, 林地生态系统脆弱, 地力持续衰退, 制约全省林地生产力的提高。因此, 应在大力实施天然林保护工程的同时, 不断改善森林结构。在林种结构上, 适度控制商品林, 合理配置生态公益林; 在林种规划上, 逐步加大水源涵养林、水土保持林和其他防护林比例, 充分发挥森林生态效益; 在树种选择上, 增加阔叶树, 减少针叶树, 积极营造豆科树种; 在林分组成上, 多造混交林, 少造单纯林; 在造林措施上, 改单纯树种连栽为不同树种轮栽或多树种混交的栽培制度, 提高林地土壤的自肥能力; 在龄组结构上, 通过调减森林年采伐量, 逐步调整龄组比例, 促使全省林种、树种和林龄组合结构渐趋合理和优化, 提高全省林地生态系统的抗逆性和稳定性, 不断提高单位林地的生产力。

3.2 加强纯林连栽地的土壤保育

福建省降水充沛, 雨量集中, 丘陵山地坡度较大, 长期以来人工纯林连栽多采用皆伐炼山的营林方式, 不同程度导致林地水土流失及土壤肥力衰退。2000年丘陵山地区的南平、三明、龙岩和宁德 4 市的土壤侵蚀面积合计 7472.80 km^2 , 占全省土壤侵蚀总面积的 56.20%, 全省每年流失的泥沙约 $5000 \sim 6500 \times 10^4 \text{ t}^{[11]}$ 。据测定, 23 a 生的杉木人工林营

养元素吸收量为 $202.02 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 而归还量仅为 $65.78 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 养分吸收大于归还, 土壤养分长期处于消耗状态^[10], 致使纯林连栽地的生产力不断下降, 二代杉木林蓄积量比一代下降近 28%, 三代比一代减少 69%^[12]。因此, 加强纯林连栽地的土壤保育, 防治水土流失, 是提高福建省林地生产力的重要措施, 应因地制宜地将生物和工程技术措施有机结合起来, 提倡间伐、择伐更新技术, 减少皆伐炼山、全面更新技术, 最大限度地增加地表覆盖, 防止水土流失。此外, 应根据林种的营养特性和土壤养分状况, 重视纯林连栽地的科学施肥, 防止林地土壤肥力衰退, 促进林木速生快长。

3.3 推广近自然林业经营模式

近自然林业是利用森林生态系统所发生的自然过程, 把生态与经济要求紧密结合起来, 实现最合理经营森林资源的一种贴近自然的森林经营模式, 其目标是在同一森林经营单元内, 以不同树种的不同发育阶段为依托, 在时间、空间上相互交错, 形成“混交林—异龄—复层林”的林分结构, 充分发挥森林自身特有的功能, 实现最合理地经营和永续利用接近自然状态的森林资源。福建省可选择条件合适的林区开展近自然林业经营和管理模式的尝试。采取 (1) 禁止皆伐, 避免破坏性的集材、整地和土地改良等作业方式; (2) 根据立地条件选择树种, 尽可能提高本地适生的乡土树种的比重, 分阶段科学引入外来树种, 促进自然生态群落的形成; (3) 采用合理的树种混交搭配, 促进生产力高、结构丰富的森林生态系统的形成; (4) 以培育大径级林木为主, 实行单株抚育管理和择伐利用的方式等措施, 实现林地的持续抚育管理和利用。

3.4 加强幼、中林抚育管理和低产林地改造

福建省中、幼林和低产林比例大, 全省郁闭度在 0.4 以下的林地面积达 $133.40 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 低产林约占用材林总面积的 49.30%, 其单位面积蓄积量和年均生长量仅分别为 $56.10 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 和 $4.32 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ^[10], 严重制约着全省林地生产力的提高。因此, 重视加强中、幼林的抚育和低产林的改造也是提高全省林地生产力的重要途径。可采取 (1) 除草松土, 排除杂草灌木与幼树争夺水肥, 改善土壤透气性、透水性和保水性; (2) 平茬除蘖, 消除多余的伴生萌蘖, 促进主梢生长; (3) 人工修枝, 除去同化作用低于补偿点的枝条, 改善林内通风透光状况和 (4) 间伐抚育, 增加树木个体营养面积和生长空间

等抚育技术措施, 促进幼树生长, 加速中幼林的郁闭。因地制宜地采取 (1)全面改造, 更换树种 (适用于种源低劣、选地不当的低产林); (2)抚育补植 (适用于密度过稀的低产林); (3)带状改造 (适用于低产人工纯林) 和 (4)科学施肥等技术措施, 改善低产林生态系统的生物结构及系统养分循环, 提高林地土壤肥力, 促进低产林的速生长快。

参考文献 (References)

- [1] Lee N. J., K. Nakane Forest vegetation classification and biomass estimation based on landsat TM data in a mountainous region of west Japan [A]. In: Gholz H. L., K. Nakane and H. Himoda eds The use of remote sensing in the modeling of forest productivity [C]. Kluwer Academic Publishers, Netherlands 1997. 159~171
- [2] Andersson E. O., Agren G. I., Fuhrer E. Sustainable tree biomass production [J]. *Forest Ecology and Management*, 2000(132): 51~62
- [3] Zhou Guangsheng, Zhang Xinshi. A natural vegetation NPP model [J]. *Acta Phytocologia Sinica*, 1995, 19(3): 193~200 [周广胜, 张新时. 自然植被净第一性生产力模型初探 [J]. 植物生态学报, 1995, 19(3): 193~200]
- [4] Zhou Guangsheng, Zhen Yuanrun, Chen Siqing. NPP model of natural vegetation and its application in China [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 1998, 34(5): 2~11 [周广胜, 郑元润, 陈四清. 自然植被净第一性生产力模型及其应用 [J]. 林业科学, 1998, 34(5): 2~11]
- [5] Hong Wei, Wu Chengzhen, Peng Shaifen. Evaluation and analysis of forestry vegetation potential productivity in Fujian Province [J]. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 1999, 15(1): 48~53 [洪伟, 吴承祯, 彭赛芬. 福建省森林植被潜在生产力的估算及其分析 [J]. 农业系统科学与综合研究, 1999, 15(1): 48~53]
- [6] Yan Shujun, Hong Wei, Wu Chengzhen, et al. Impact of climatic

variation on net primary productivity of natural vegetation in Fujian in recent 41 years [J]. *Journal of Mountain Science*, 2001, 19(6): 552~526 [阎淑君, 洪伟, 吴承祯, 等. 福建近 41 年气候变化对自然植被净第一性生产力的影响 [J]. 山地学报, 2001, 19(6): 552~526]

- [7] Yan Shujun, Hong Wei, Wu Chengzhen, et al. Modification of natural vegetation NPP Model [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2001, 6(2): 248~252 [阎淑君, 洪伟, 吴承祯, 等. 自然植被综合生产潜力模型的改进 [J]. 江西农业大学学报, 2001, 6(2): 248~252]
- [8] Shang Zongbo, Gao qiong, Yang Dianan. Spatial pattern analysis of annual precipitation with climate information system of China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(5): 689~694 [尚宗波, 高琼, 杨奠安. 利用中国气候信息系统研究年降水量空间分布规律 [J]. 生态学报, 2001, 21(5): 689~694]
- [9] Xing Shihe, Sheng Jinquan, Cao Rongbin, et al. Assessment of variance and division of climate potential productivity of forestry land in Fujian by GIS [J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University*, 2005, 34(1): 97~101 [邢世和, 沈金泉, 曹榕彬, 等. GIS 支持下的福建省林地气候潜在生产力空间差异与分区评价 [J]. 福建农林大学学报, 2005, 34(1): 97~101]
- [10] Chen Jiming, Liu Dalin. The level of forestry productivity in Fujian and the approach to its development countermeasures [J]. *Journal of Fujian Forestry Sci & Tech*, 2001, 28(4): 40~44. [陈金明, 刘大林. 福建林业生产力水平及发展对策探讨 [J]. 福建林业科技, 2001, 28(4): 40~44]
- [11] Chen Minghua. Analysis of present situation and changing trends of soil erosion in Fujian [J]. *Society*, 2001, (8): 157~161 [陈明华. 福建省土壤侵蚀现状和动态变化分析 [J]. 社会, 2001, (8): 157~161]
- [12] Yu Xintuo. Cunninghamia Lanceolata Culture Science [M]. Fuzhou: Fujian Science & Technology Press, 1997. 50~164 [俞新妥. 杉木栽培学 [M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1997. 50~164]

Calculation and Division of Regional Forestry Land Productivity Based on GIS

XING Shihe, WEI Hong

(Resource and Environment College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract Based on GIS integrated with mathematic models, 125 m × 125 m grid data of annual averages of temperature, rainfall and actual evaporation capacity in Fujian were calculated by weather observing materials. The grid data of regional forestry land productivity were then calculated by modified net primary productivity model revised with soil quality coefficient, and the productivity divisions were evaluated by dynamic cluster analysis model. The results showed that the productivity of forestry land in Fujian ranged from 262.2 g/(m² · a) to 2100.6 g/(m² · a). The productivity in nine Prefectures of Fujian showed following tendency: Zhangzhou > Longyan > Fuzhou > Xiamen > Shannong > Putian > Nanping > Quanzhou > Ningde. The areas of high medium productivity of forestry land in Fujian were superior, which were 76.26% and 23.54% of the total, respectively. The areas of high productivity distributed in North West and Middle Fujian and those of medium productivity distributed in North Middle and East Fujian.

Key words GIS, mathematic model, forestry land productivity, division