

海南不同栽培模式下橡胶林灌草物种多样性研究

黄先寒^{1,2,3}, 兰国玉^{1,3*}, 杨 川^{1,3}, 吴志祥^{1,3}, 陶忠良^{1,3}

(1. 中国热带农业科学院 橡胶研究所, 海南 儋州 571737; 2. 海南大学 环境与植物保护学院, 海南 海口 570228;
3. 农业部儋州热带作物科学观测实验站 橡胶研究所, 海南 儋州 571737)

摘 要:海南已存在多种栽培模式的橡胶林, 因此探讨不同栽培模式对海南橡胶林林下植物物种多样性的影响十分必要。通过样地调查, 运用 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Sorensen 指数以及 CCA 排序, 分析海南不同栽培模式橡胶林的主要植物物种、物种多样性、林分相似性以及环境影响因素。结果表明: 1) 不同栽培模式下橡胶林林下较常见的植物物种有淡竹叶、飞机草、弓果黍、玉叶金花和酸模芒等, 其中玉叶金花和弓果黍为橡胶林纯林与橡胶林间作林的植物重要值排名前 10 位的共同优势种; 2) 在不同栽培模式橡胶林和对照林的灌草物种多样性中, 橡胶林间作林的物种多样性总体最低和橡胶林纯林的物种多样性在丰富度指数与 Shannon-Wiener 指数上大体高于桉树林纯林的多样性, 而在 Simpson 指数上相反; 3) 林分相似性系数最高的是橡胶林纯林与橡胶林间作林的林分相似性系数, 达 0.541; 而林分相似性系数最低的是橡胶林间作林与桉树林纯林的林分相似性系数, 为 0.404。另外, 不同栽培模式下橡胶林灌草的物种分布, 随着郁闭度、年平均降水量和林龄的增加, 呈先增多再减少的趋势。综合分析表明, 海南不同栽培模式下灌草物种多样性并不低, 并且橡胶林纯林的灌草物种多样性明显高于橡胶林间作林的多样性。

关键词:海南; 橡胶林; 栽培模式; 物种多样性

中图分类号:S794.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)05-0115-06

Shrub-grass Species Diversity of Rubber Plantations under Different Cultivation Patterns in Hainan

HUANG Xian-han^{1,2,3}, LAN Guo-yu^{1,3*}, YANG Chuan^{1,3}, WU Zhi-xiang^{1,3}, TAO Zhong-liang^{1,3}

(1. Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou, Hainan 571737, China;
2. College of Environment and Plant Protection, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China;
3. Danzhou Investigation & Experiment Station of Tropical Crops, Ministry of Agriculture, P. R. China, Danzhou, Hainan 571737, China)

Abstract: In order to understand the species diversity of the understory plants in rubber plantations with different cultivation patterns, a survey was conducted in sample plots of pure rubber plantation (PRP), intercropping rubber plantation (IRP) and pure eucalyptus plantation (PEP, control). The main plant species, plant species diversity, coefficient of similarity and environmental factors were analyzed Shannon-Wiener index, Simpson index, Sorensen index and CCA ordination. 1) Common plant species in rubber plantations with different cultivation patterns were *Lophatherum gracile*, *Eupatorium odoratum*, *Cyrtococcum patens*, *Mussaenda pubescens* and *Centotheca lappacea*, and among them *M. pubescens* and *C. patens* were the common dominant specie of the top 10 important value plant species in IRP and PRP. 2) For the shrub-grass species diversity, it was the lowest IRP, in general. The richness index and Shannon-wiener index in PRP was generally higher than those of PEP, while the Simpson index in PEP was higher than that in

收稿日期: 2015-12-23 修回日期: 2016-03-29

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项“国家天然橡胶产业技术体系建设”(CARS-34-GW5); 农业部儋州热带作物科学观测实验站; 海南省重大科技计划项目(ZDKJ2016020)。

作者简介: 黄先寒, 男, 硕士研究生, 研究方向: 橡胶林植物多样性。E-mail: plantahxb@163.com

* 通信作者: 兰国玉, 男, 研究员, 研究方向: 橡胶林生物多样性。E-mail: langyrri@163.com

PRP. n Simpson index. 3) The coefficient of similarity between PRP and IRP was the highest(0.541), however, it was the lowest (0.404) between IRP and PEP. Additionally, the species distribution firstly increased and then decreased with the increase of the canopy density, mean annual precipitation and forest age in the rubber plantations under different cultivation patterns. The results indicated that shrub-grass species diversity in rubber plantations under different cultivation patterns was not low, and the species diversity in PRP was clearly higher than that of IRP.

Key words: Hainan; rubber plantation; cultivation pattern; species diversity

橡胶树 (*Hevea brasiliensis*), 大戟科 (Euphorbiaceae) 橡胶树属植物, 是典型的热带经济作物。橡胶林则是以橡胶树为唯一优势种的热带地区重要人工林生态系统。近年来, 橡胶林的发展得到迅速壮大, 其中东南亚橡胶林的发展尤为突出^[1-3]。据 FAO 统计, 2010 年东南亚地区橡胶种植面积已经达到 800 万 hm^2 , 占世界橡胶种植面积的 81%^[4]。对于我国橡胶林发展而言, 从 2001 年末全国橡胶种植面积的 62.77 万 hm^2 , 到 2011 年末发展约达 107 万 hm^2 ^[5-6]。橡胶林的不断发展壮大, 在为热带地区社会经济发展做出巨大贡献的同时, 对生态环境方面的负面影响也被众多学者们提出和强调, 如在一些地区, 橡胶林面积的不断扩大, 取代了天然林、次生林等, 导致环境破碎化, 影响了生物多样性等^[7-11]。近期, 橡胶林的发展对生物多样性的影响, 尤其是对林下植物物种多样性的影响引起了学者们的极大关注。

在 2011 年末, 海南省的橡胶种植面积约达 49 万 hm^2 , 约占全国橡胶种植面积的 46%, 也将近是海南省陆地面积的 14%, 植被面积的 1/4。海南省橡胶林的发展, 同样也引起了众多研究者探讨此发展对海南省生物多样性, 尤其是对其自身林下植物物种多样性的影响。近来, 学者们围绕海南橡胶林的植物资源调查、植物多样性以及种子植物区系等方面开展了研究^[12-20]。尽管学者们已经从一些角度分析了海南橡胶林群落的植物物种多样性, 但是目前从栽培模式的角度对海南橡胶林林下植物物种多样性进行探讨的研究仍然较少。

本研究通过调查海南不同栽培模式橡胶林林下植物, 分析植物的物种多样性和林分的相似性, 并简单探讨影响多样性的影响因素, 以期为海南恢复橡胶人工林物种多样性和探讨环境友好生态胶园建设提供理论依据。

1 自然概况与研究方法

1.1 研究区概况

海南岛地处中国最南端, 北隔琼州海峡与广东相望, 西濒北部湾, 与越南相对, 东和南面为南海所

环抱, 位于 $18^{\circ}10' - 20^{\circ}10' \text{ N}$ 、 $108^{\circ}37' - 111^{\circ}05' \text{ E}$ 。海南岛地势呈中间高四周低的趋势, 地形具有山地、丘陵、台地和平原构成的环形层状特征。岛内主要河流有南渡江、昌化江、万泉河等三大河流, 它们的流域面积占全岛面积的 47%。全岛处热带北缘, 常年受季风气候影响, 属热带季风气候, 年平均气温达 $21.5 \sim 28.5^{\circ}\text{C}$, 年光照为 $1\,750 \sim 2\,750 \text{ h}$, 年平均降水量达 $1\,750 \text{ mm}$, 降水充沛, 雨热同期, 旱季、雨季明显。海南岛也受台风影响, 其地带性土壤为砖红壤。另外, 在作为研究对象的海南不同栽培模式下的橡胶林中, 橡胶林纯林样地中均存在施肥、割灌除草等经营措施, 而作为对照林的桉树林纯林样地的经营方式主要为粗放经营。

1.2 调查方法

采用典型取样的样地调查法, 在儋州市、琼中县、琼海市、屯昌县、澄迈县和昌江县等市县共设 13 个 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 样地, 其中包括 4 个橡胶林纯林样地、6 个橡胶林间作林样地和 3 个桉树林纯林对照样地 (表 1), 记录样地所在位置和生态因子, 包括地理位置、海拔和样方周围情况等。在样地内调查乔木, 记录其林龄、林分郁闭度以及群落的外貌等; 对于样地内的灌木、草本和藤本, 记录其物种名、高度和盖度等。

1.3 研究方法

根据调查数据, 计算物种丰富度 (S)、物种多样性指数 (Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数)、相似性系数 (C_s) 以及重要值 (IV), 各公式的计算方法如下:

- 1) 丰富度指数 (S)
 S 为样方中出现的物种总数。
- 2) Simpson 指数 (D)

$$D=1-\sum_{i=1}^Sp_i^2$$

(1)

- 3) Shannon-Wiener 指数 (H)

$$H=-\sum_{i=1}^Sp_i\ln p_i$$

(2)

式中: $i=1, 2, \dots, S$, S 为物种数目, $P_i = N_i/N$, N_i 表示样地中第 i 种物种的盖度值。

- 4) Sorensen 系数 (C_s)

表 1 样地基本情况
Table 1 General situation of the sample plots

| 样地编号 | 人工林类型 | 地点 | 林龄 /a | 郁闭度 /% | 海拔 /m | 地理位置 /(N,E) | 年平均气温 /℃ | 年平均降水量 /mm |
|-----------------|--------|-------|----------|-----------|----------|----------------------|-------------|---------------|
| S ₁ | 橡胶林纯林 | 兰洋农场 | 30 | 70 | 132 | 19°28′39″,109°36′41″ | 24.0 | 1 767.5 |
| S ₂ | 橡胶林纯林 | 新进农场 | 20 | 90 | 132 | 19°14′30″,109°47′44″ | 23.3 | 2 359.2 |
| S ₃ | 橡胶林纯林 | 南俸农场 | 20 | 85 | 68 | 19°09′39″,110°15′54″ | 24.9 | 2 017.1 |
| S ₄ | 橡胶林纯林 | 屯昌章村 | 35 | 75 | 135 | 19°25′47″,110°07′33″ | 24.2 | 2 017.6 |
| S ₅ | 橡胶林间作林 | 兰洋农场 | 3 | 40 | 120 | 19°23′28″,109°40′38″ | 24.0 | 1 767.5 |
| S ₆ | 橡胶林间作林 | 兰洋农场 | 3 | 40 | 120 | 19°23′28″,109°40′38″ | 24.0 | 1 767.5 |
| S ₇ | 橡胶林间作林 | 琼海边田 | 10 | 40 | 22 | 19°05′30″,110°18′25″ | 24.9 | 2 017.1 |
| S ₈ | 橡胶林间作林 | 南俸农场 | 20 | 85 | 68 | 19°09′39″,110°15′54″ | 24.9 | 2 017.1 |
| S ₉ | 橡胶林间作林 | 东平农场 | 3 | 50 | 84 | 19°02′36″,110°18′13″ | 24.9 | 2 017.1 |
| S ₁₀ | 橡胶林间作林 | 屯昌章村 | 12 | 85 | 134 | 19°25′51″,110°07′05″ | 24.2 | 2 017.6 |
| S ₁₁ | 桉树林纯林 | 兰洋农场 | 25 | 50 | 239 | 19°28′05″,109°38′58″ | 24.0 | 1 767.5 |
| S ₁₂ | 桉树林纯林 | 澄迈蔡禄山 | 5 | 35 | 62 | 19°39′19″,109°59′57″ | 24.2 | 1 771.4 |
| S ₁₃ | 桉树林纯林 | 昌江机告村 | 20 | 50 | 180 | 19°05′10″,109°04′55″ | 25.1 | 1 803.3 |

注:S₅一样地间种甘蔗,S₈一样地间种木薯,S₇~S₈一样地间种胡椒,S₉~S₁₀一样地间种槟榔。

$$C_s=\frac{2a}{b+c}$$

(3)

式中, a 为 2 个地区或林分的共有物种数, b 和 c 分别为 2 个地区或林分的各自拥有的物种数。

5)重要值(IV)

$$IV=[\text{相对高度}+\text{相对盖度}+\text{相对频度}]/3$$

(4)

采用 R 软件中的 Vegan 软件包,对海南不同栽培模式下橡胶林的调查数据进行排序,分析它们的物种分布与环境因子之间的关系^[21]。

2 结果与分析

2.1 不同栽培模式下橡胶林林下主要植物物种

由表 2 可知,3 种类型人工林林下植物重要值前 10 位的物种中相同的物种仅为玉叶金花(*Mussaenda pubescens*),另外橡胶林纯林与橡胶林间作林中还共有弓果黍(*Cyrtococcum patens*)以及橡胶林间作林与桉树林纯林中共有飞机草(*Eupatorium odoratum*),表明3类人工林中的优势物种存在较

大差异。在橡胶林纯林中,重要值排名前 3 的物种依次为淡竹叶(*Lophatherum gracile*)(4.054)、弓果黍(*Cyrtococcum patens*)(3.476)和假蒺(*Piper sarmentosum*)(3.328),另外在总共的 74 个物种中排名前 10 位的重要值达30.316。在橡胶林间作林中,重要值排在前 3 的物种分别为飞机草(*Eupatorium odoratum*)(5.659)、弓果黍(*Cyrtococcum patens*)(4.703)和木薯(*Manihot esculenta*)(4.288),并且在总的 59 个物种中排名前 10 位的重要值达 34.855。在桉树林纯林中,重要值排名前 3 的物种为飞机草(*Eupatorium odoratum*)(8.411)、铁芒萁(*Dicranopteris linearis*)(5.139)和玉叶金花(*Mussaenda pubescens*)(4.323),而在总的 55 个物种中排名前 10 位的重要值高达 38.074。

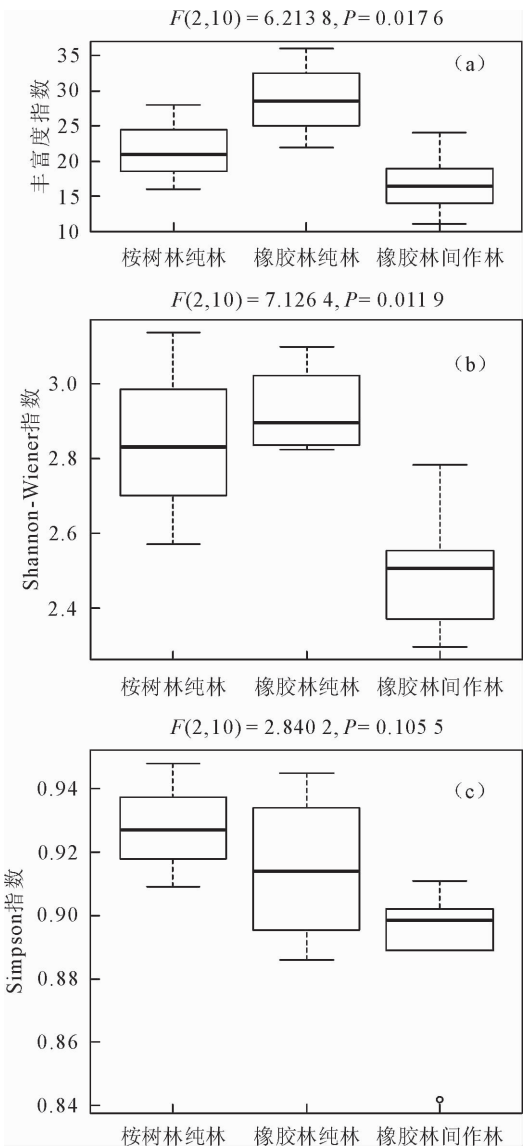
2.2 不同栽培模式下橡胶林灌草物种多样性

根据海南不同栽培模式下橡胶林和对照林灌草物种多样性(图 1)可知,3 种人工林类型,在物种丰富度的总体变化趋势上,呈橡胶林纯林>桉树林纯

表 2 海南不同栽培模式下橡胶林和对照林林下植物重要值前 10 名的物种

Table 2 The species of top 10 important values of understory plants in rubber plantations under different cultivation patterns and control plantations in Hainan Province

| 橡胶林纯林 | | 橡胶林间作林 | | 桉树林纯林 | |
|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 物种 | 重要值 | 物种 | 重要值 | 物种 | 重要值 |
| 淡竹叶 | 4.054 | 飞机草 | 5.659 | 飞机草 | 8.411 |
| 弓果黍 | 3.476 | 弓果黍 | 4.703 | 铁芒萁 | 5.139 |
| 假蒺 | 3.328 | 木薯 | 4.288 | 玉叶金花 | 4.323 |
| 玉叶金花 | 3.133 | 玉叶金花 | 4.352 | 三桠苦 | 3.778 |
| 酸模芒 | 3.013 | 野牡丹 | 3.105 | 益智 | 3.220 |
| 银柴 | 2.889 | 叶下珠 | 2.972 | 大青 | 2.983 |
| 半边旗 | 2.873 | 阔叶丰花草 | 2.931 | 闭花木 | 2.879 |
| 海金沙 | 2.679 | 华南毛蕨 | 2.885 | 乌蕨莓 | 2.523 |
| 小叶海金沙 | 2.467 | 乌毛蕨 | 2.620 | 黑面神 | 2.521 |
| 闭鞘姜 | 2.404 | 火炭母 | 2.339 | 山石榴 | 2.298 |



注:3 种指数分别进行单因素方差分析,差异显著性结果,标注于各图的上方。

图 1 海南不同栽培模式下橡胶林和对照林灌草物种多样性
Fig. 1 The shrub-grass species diversity in rubber plantations under different cultivation patterns and control plantations in Hainan Province

林>橡胶林间作林;在 Shannon-Wiener 指数的总体变化趋势上,为呈橡胶林纯林>桉树林纯林>橡胶林间作林;在 Simpson 指数的总体变化趋向上,呈桉树林纯林>橡胶林纯林>橡胶林间作林。

对于 3 类人工林中同一类型人工林的不同样地,3 个物种多样性指数的值也存在较大差异。对于物种丰富度而言,变化幅度最大的是橡胶林纯林的 22~36,变化幅度最小的是桉树林纯林的 16~28,且三林分的物种丰富度差异显著($P<0.05$)。对于 Shannon-Wiener 指数而言,变化幅度最大的是桉树林纯林的 2.572~3.138,变化幅度最小的是橡胶林纯林的 2.824~3.101,且三林分的此多样性指数差异显著($P<0.05$)。对于 Simpson 指数而言,

橡胶林间作林的变化幅度 0.842~0.911 为最大,桉树林纯林的变化幅度 0.909~0.948 为最小,但是三林分的此多样性指数差异不显著。

2.3 不同栽培模式下橡胶林相似性比较

基于海南橡胶林和对照林相似性系数(表 3)得知,3 种类型人工林的林分相似性系数变化较小,范围为 0.404~0.541。橡胶林纯林与橡胶林间作林的相似性系数达 0.541,橡胶林纯林与桉树林纯林的相似性系数为 0.481 和橡胶林间作林与桉树林纯林的相似性系数为 0.404。其中,橡胶林纯林与橡胶林间作林的相似性系数最高,此很大程度上可能受橡胶树作为两林分的共同建群种的影响。对于橡胶林间作林与桉树林纯林的相似性系数最低,此可能受两林分的不同建群种和不同强度的人为干扰等导致的两人工林环境异质性的影响。

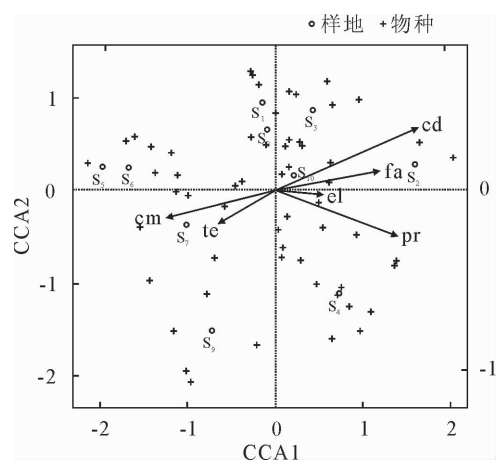
表 3 海南不同栽培模式下橡胶林和对照林相似性系数
Table 3 The coefficient of similarity in rubber plantations under different cultivation patterns and control plantations in Hainan Province

| 人工林类型 | 橡胶林纯林 | 橡胶林间作林 | 桉树林纯林 |
|--------|-------|--------|-------|
| 橡胶林纯林 | 1 | | |
| 橡胶林间作林 | 0.541 | 1 | |
| 桉树林纯林 | 0.481 | 0.404 | 1 |

2.4 不同栽培模式下橡胶林灌草物种分布的 CCA 排序

通过利用 R 软件对海南不同栽培模式下橡胶林 10 个样地的物种盖度数据进行去趋势对应分析(detrended correspondence analysis, DCA),发现 DCA 排序前 4 个轴中最大值约为 4.80,因此选择单峰模式中 CCA(canonical correspondence analysis)排序分析此 10 样地的灌草物种分布与影响因素之间的关系。蒙特卡罗置换检验排序轴均达到显著水平($P<0.05$),表明排序效果理想。6 个影响因素对物种分布的解释量达 73.84%,其中 CCA 排序的前 2 个排序轴解释量达 31.12%。

依据海南不同栽培模式下橡胶林灌草物种分布与影响因素的 CCA 排序图(图 2)可知,对灌草物种分布的解释贡献率由大到小的 6 个影响因素依次是郁闭度、年平均降水量、栽培模式、林龄、年平均气温和海拔,其中郁闭度($P=0.005$)对灌草物种分布的影响达到极显著水平($P<0.01$)。图中与 CCA1 轴(横轴)呈显著关系的是郁闭度($r^2=0.841, P<0.01$),表明横轴代表的是郁闭度梯度,横轴从左到右郁闭度呈增加趋势,即郁闭度由橡胶林间作林到橡胶林纯林呈增加趋势,且出现物种分布呈先增多再减少的趋势。



注:图中缩写依次为 cm(栽培模式), fa(林龄), cd(郁闭度), el(海拔), te(年平均气温)和 pr(年平均降水量)。

图 2 海南不同栽培模式下橡胶林灌草物种分布与影响因素的 CCA 排序

Fig. 2 The CCA ordination graph of shrub-grass species distribution in rubber plantations under different cultivation patterns in Hainan Province with influencing factors

3 结论与讨论

通过调查海南省不同栽培模式下橡胶林群落,结论显示含 4 个样地的橡胶林纯林林下植物物种重要值排名前 10 位的物种有淡竹叶、弓果黍、假蒟、玉叶金花和酸模芒等;含 6 个样地的橡胶林间作林林下植物物种重要值排名前 10 位的物种有飞机草、弓果黍、木薯、玉叶金花和野牡丹等。其中,两林分的植物重要值排在前 10 位的物种仅有弓果黍和玉叶金花是共同优势种,这很大程度上受制于橡胶林群落的人为干扰和自然环境的异质性。

基于 3 个物种多样性指数对海南的 3 类人工林的灌草物种多样性分析表明:橡胶林间作林的物种多样性总体低于橡胶林纯林和桉树林纯林的多样性;橡胶林纯林的物种多样性在物种丰富度指数和 Shannon-Wiener 指数上大体高于桉树林纯林的多样性,而在 Simpson 指数上整体相对低于桉树林纯林的多样性;并且同一类型人工林不同样地在 3 个多样性指数的表现均存在较大差异。其中,橡胶林纯林在物种丰富度指数和 Simpson 指数上同桉树林纯林相比较时的结论同向仰州和邢慧^[14-15]等在此方面的研究结论相符。对于不同栽培模式对橡胶林灌草物种多样性影响的研究,黄坚雄^[20]等从比较分析全周期间作模式胶园间作后恢复一段时间时间的胶园灌草多样性与传统胶园灌草多样性的角度进行探讨。而本研究则是从比较分析正处于间作期间的橡胶林间作林的灌草多样性与橡胶林纯林的灌草多样性的角度进行,也指出橡胶林间作会在一定程度

上降低灌草物种多样性。

通过对比分析海南不同栽培模式下橡胶林和对照林林分相似系数得知,两林分相似性系数较高为橡胶林纯林与橡胶林间作林的相似性系数;两林分相似性系数较低是橡胶林间作林与桉树林纯林的相似性系数。另外,通过 CCA 排序分析发现,6 个影响因素中郁闭度、年平均降水量和林龄对海南不同栽培模式下橡胶林群落灌草物种分布的影响较大,且随着郁闭度、年平均降水量和林龄的增加,物种分布呈先增多再减少的趋势。其中,橡胶林群落灌草物种分布随降水量的增加会增加,这与刘红梅^[12]等的研究结论存在相似,但不同之处在于本文指出当降水量增加到一定程度时,橡胶林群落物种分布会出现开始减少的趋势并且郁闭度和林龄等影响因素对橡胶林群落物种分布的影响也存在这种规律。当然,海南不同栽培模式下橡胶林群落中灌草物种的分布与多样性高低,在很大程度上受制于人为因素的影响,尤其是经营管理的影响。其中橡胶林纯林和桉树林纯林的灌草物种多样性明显高于橡胶林间作林的多样性,主要是源于此,但经营方式主要为粗放经营的桉树林纯林的灌草物种多样性总体上却低于受集约经营的橡胶林纯林的多样性,这很可能是受桉树人工林的化感作用、土壤性质等因素共同作用的结果^[14-15]。

参考文献:

[1] MANIVONG V, CRAMB R A. Economics of smallholder rubber expansion in northern Laos [J]. *Agroforestry System*, 2008, 74(2): 113-125.

[2] QIU J. Where the rubber meets the garden [J]. *Nature*, 2009, 457(7227): 246-247.

[3] FOX J, VOGLER J B, SEN O L, et al. Simulating land-cover change in montane mainland southeast Asia [J]. *Environmental Management*, 2012, 49(5): 968-979.

[4] FAO. Global forest resources assessment 2010 [D]. Rome: FAO Forestry Paper, 2010: 163.

[5] 祁栋灵, 王秀全, 张志扬, 等. 中国天然橡胶产业现状及其发展建议 [J]. *热带农业科学*, 2013, 33(2): 79-87.

QI D L, WANG X Q, ZHANG Z Y, et al. Current situation of Chinese natural rubber industry and development suggestions [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2013, 33 (2): 79-87. (in Chinese)

[6] 郑文荣. 我国天然橡胶发展情况和产胶趋势 [EB/OL]. <http://www.docin.com/p-245944869.html>, 2014-06-30.

[7] 张佩芳, 许建初, 王茂新, 等. 西双版纳橡胶种植特点及其对热带森林景观影响的遥感研究 [J]. *国土资源遥感*, 2006(3): 51-55.

ZHANG P F, XU J C, WANG M X, et al. Spatial and temporal dynamics of rubber plantation and its impacts on tropical forest in Xishuangbanna [J]. *Remote Sensing for Land & Resources*,

2006(3):51-55. (in Chinese)

[8] 陈伟,兰国玉,蒋菊生,等.海南农垦橡胶林生态系统服务价值的分析 [J]. 西北林学院学报,2008,23(1):215-218.
CHEN W,LAN G Y,JIANG J S,*et al.* Evaluation of the rubber forest ecosystem service function of Hainan state farm bureau (HSFB) [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008,23(1):215-218. (in Chinese)

[9] 吴志祥,谢贵水,陶忠良,等. 幼龄胶园间种香蕉光合及水分生理生态特性 [J]. 热带农业工程,2009,33(5):54-58.
WU Z X,XIE G S,TAO Z L,*et al.* Characteristics of photosynthesis and water physio-ecology of rubber trees and intercrop banana in young rubber plantations [J]. Tropical Agricultural Engineering,2009,33 (5):54-58. (in Chinese)

[10] ZIEGLER A D,FOX J M,XU J. The rubber juggernaut [J]. Science,2009,324(5930):1024-1025.

[11] ZHAI D L,CANNON C H,SLIK J W,*et al.* Rubber and pulp plantations represent a double threat to Hainan’s natural tropical forests [J]. Journal of Environmental Management, 2012,96(1):64-73.

[12] LIU H M,JIANG J S,DONG S L. Study on biodiversity of the tropical rubber plantation in Hainan [J]. Journal of Nan-jing Forestry University: Nat. Sci. Edi. ,2006,30(6):55-60.

[13] 王纪坤,兰国玉,吴志祥,等. 海南岛橡胶林林下植物资源调查与分析 [J]. 热带农业科学,2012,32(6):31-36.
WANG J K,LAN G Y,WU Z X,*et al.* Investigation and analysis of plant resources under rubber forests in Hainan island [J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture,2012,32 (6): 31-36. (in Chinese)

[14] 向仰州,徐大平,杨曾奖,等. 海南省两种人工林林下物种多样性与土壤水分物理性质的关系 [J]. 水土保持研究,2012,19 (1):37-41.
XIANG Y Z,XU D P,YANG Z J,*et al.* Relationship between plant species diversities and soil hydro-physical properties in two plantations in Hainan Province [J]. Research of Soil and Water Conservation,2012,19(1):37-41. (in Chinese)

[15] 邢慧,蒋菊生,麦全法,等. 海南植胶区不同群落结构林下生物多样性分析 [J]. 热带农业科学,2012,32(3):49-53.
XING H,JIANG J S,MAI Q F,*et al.* Biodiversity of different forest community and structure in rubber planting areas in Hainan [J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture,2012,32 (3):49-53. (in Chinese)

[16] HU Y H,SHENG D Y,XIANG Y Z,*et al.* The environment, not space,dominantly structures the landscape patterns of the richness and composition of the tropical understory vegetation [J]. Plos One,2013,8(11):e81308.

[17] 兰国玉,王纪坤,吴志祥,等. 海南岛橡胶林群落种子植物区系组成成分分析 [J]. 西北林学院学报,2013,28(2):37-41.
LAN G Y,WANG J K,WU Z X,*et al.* Flora composition of seed plants in rubber forests in Hainan island [J]. Journal of Northwest Forestry University,2013,28(2):37-41. (in Chinese)

[18] 兰国玉,王纪坤,吴志祥,等. 海南岛橡胶林群落与青梅林群落物种组成特征分析 [J]. 热带作物学报,2013,34(10):2051-2056.
LAN G Y,WANG J K,WU Z X,*et al.* Flora composition of tropical rubber forest and Vatica mangachapoi forest of Hain-an island [J]. Chinese Journal of Tropical Crops,2013,34 (10):2051-2056. (in Chinese)

[19] 兰国玉,吴志祥,谢贵水. 海南橡胶林植物多样性特征 [J]. 生物多样性,2014,22(5):658-666.
LAN G Y,WU Z X,XIE G S. Characteristics of plant species diversity of rubber plantation in Hainan island [J]. Biodiversity Science,2014,22(5):658-666. (in Chinese)

[20] 黄坚雄,潘剑,周立军,等. 全周期间作模式胶园林下植物多样性特征 [J]. 热带作物学报,2015,36(5):829-835.
HUANG J X,PAN J,ZHOU L J,*et al.* Plant diversity in whole production cycle intercropping rubber plantation [J]. Chinese Journal of Tropical Crops,2015,36(5):829-835. (in Chinese)

[21] 赖江山,米湘成. 基于 Vegan 软件包的生态学数据排序分析 [C]//中国科学院生物多样性委员会. 中国生物多样性保护与研究进展 IX——第九届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集. 北京:气象出版社,2012:332-343.