

物种多样性与人工生态系统稳定性探讨*

冯耀宗

(中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223)

【摘要】 通过 40 余年对人工群落的长期研究, 探讨了一层一种的传统橡胶及茶树种植园, 两层两种的橡胶-茶叶、橡胶-咖啡人工群落, 三层三种的橡胶-罗浮木-千年健人工群落以及多层多种(5 个层次 100 余种经济植物)的人工雨林的群落结构. 从生物量、生产力及经济生产力, 对群落环境(小气候、土壤等)的保护及改善能力和对自然灾害(如寒害、风害等)的抵抗力 3 个方面, 比较了单一结构与复合结构在 3 个系统功能上的差异. 结果表明, 随着种类增加, 层次复杂加大, 系统在生物量及生产力上均有明显增加; 小气候中随着结构的复杂化加大, 相对湿度也随着增加, 最高温度降低, 最低温度升高, 风速减少, 土壤流失明显减少, 对低温风害的抵抗力加强, 表明人工生态系统结构明显影响了系统稳定性.

关键词 生物多样性 稳定性 人工群落

文章编号 1001-9332(2003)06-0853-05 **中图分类号** Q146 **文献标识码** A

Species diversity and managed ecosystem stability. FENG Yaorong (*Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2003, 14(6): 853~857. Based on partial experimental data of the studies on managed communities over 40 years, various managed communities in terms of ecological structures, e.g., rubber or tea plantation in one species with one community layer, rubber-tea and rubber-coffee of two species with two community layers, rubber-luofumu-qiannianjian of three species with three community layers, and artificial rain forest with multiple species and layers (hundred species with five layers) were discussed. The differences in systematic functions among three structures of the community were discussed, mainly from the following aspects: Biomass, productivity, and economical productivity; capability of protection and improvement of community environment (microclimate, soil etc.); capability of resistant to natural disaster (chilling and storm). The biomass and productivity in the system were significantly increased, as there were more species and vertical layers in the community. As the community structure became complicated, the microclimatic factors inside the system were marked changed: relative humidity was higher, maximum temperature was lower, minimum temperature was higher, wind slowdown velocity was slowed down, soil erosion reduced, and the resistance to chilling and storm become stronger. It is concluded that the stability of the system could be greatly affected by an artificial ecosystem.

Key words Species diversity, Managed ecosystem, Stability.

1 引言

生物多样性与生态系统稳定性间相互关系的研究, 对生物多样性保护和地球的可持续发展都有着十分重大的理论及实践意义. 这样一个关系到人类生存发展的重大问题, 越来越成为当今生物多样性研究的热点之一[4, 8, 9, 11, 12, 14, 15]. 但由于种种原因, 在科学研究上, 生物多样性与系统稳定性的关系, 始终是一个长期争论而一直未能取得共识的问题[1]. 究其原因, 主要是由于该问题的研究, 大多集中在原生的自然生态系统. 而原生的自然生态系统是与周围环境紧密结合在一起的“生物地理群落”, 因而在相邻的同等环境(相同的地形、土壤、气候、生物)条件下, 不可能分布在结构上和种类成分上有明显差异的群落类型, 因而在同一环境条件下, 很难找到不同生物多样性的群落结构进行比较研究. 在人工生

态系统中, 往往由于以农业生态系统为经营对象的多为短期作物, 难于取得长期连续的数据而限制了稳定性的研究. 加之系统稳定性在概念上的混乱及繁杂, 也给系统稳定性研究带来一定困难.

作者于 20 世纪 60 年代初开始, 选择了与热带雨林相邻的一片地段, 布置不同结构的人工群落试验地, 收集了大量的实验数据, 并将其中有关数据, 进行了生物多样性与生态系统稳定性问题的探讨.

2 研究地区与研究方法

2.1 供试材料

以巴西橡胶(*Hevea brasiliensis*)、云南大叶茶(*Camellia sinensis* var. *assamica*)、小粒咖啡(*Coffea arabica*)等 100 多

* 中国科学院知识创新工程资助项目.

* * 通讯联系人.

2002-03-18 收稿, 2002-07-18 接受.

种经济植物为试验材料,在云南南部西双版纳境内的中国科学院西双版纳热带植物园内(21°54'N, 101°46'E, 海拔 580 m)先后开辟试验地约 50 hm²,布置了不同结构的人工群落试验地,其中包括一层一种的传统种植结构的橡胶、茶叶、咖啡,两层两种(如橡胶-茶叶,橡胶-咖啡)、三层三种(橡胶-罗芙木(*Rauvolfia vomitoria*)-千年健(*Homalomena gigantea*))以至多层多种(层次达到 5 层为大乔木、小乔木、灌木、草本、藤本及附生),种类达到 113 种。

2.2 研究方法

生物量及生物生产力的测定采用标准木方法进行分层切割,并分别求出树干、枝、树皮、根的干重。经济生产力系将有效经济部位(如橡胶的干胶、茶叶的嫩叶芽、咖啡的干果等)进行实测。小气候温度及湿度观测系在实验小区分别设置百页箱,进行每天定时观测。风速测定系用手持风速仪在不同高度进行观测记录。水土流失系采用小区按日进行实测。虫害小绿叶蝉(*Empoasca flavescens*)的观测按每月上、中、下旬,5 个小区 1 000 片叶实测,蜘蛛混合种群用收集盘每小区 20 盘计数。

3 结果与分析

3.1 生物多样性与系统生产力的关系

由图 1 可以看出,一个种类简单的系统,其生物量、生物生产力以及经济生产力都明显地低于较复杂的橡胶-茶叶人工群落系统。复杂的胶茶人工群落系统生产力较高的原因主要是光能利用率较高^[2]。

从橡胶和茶叶两个物种来看,橡胶是热带雨林

的上层树种。在人工胶-茶群落中,它的层次位置未发生变化,仍处于上层位置,可以得到充足阳光。而茶叶则是喜欢一定阴蔽的树种,在西双版纳自然条件下(30%左右的荫蔽),其生长发育最为良好^[3]。胶-茶群落中光照条件的空间异质性,为两种植物种提供了有利的光能利用条件。从胶-茶群落中光照条件的时间异质性来看,橡胶在每年的 2~3 月份是落叶季节,没有任何经济产量,而此时正是春茶萌发的最好时期,从而提高了群落整体的光能利用率。

比较多层多种的人工雨林的凋落物量与天然热带雨林的凋落物量可以看出,人工多层次多种类的雨林结构的凋落物量($9.85 \pm 0.78 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)^[10],不仅大大高于简单的人工结构,而且已接近($11.566 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)^[16]甚至超过($8.42 \pm 0.16 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}/\text{年}$)相邻不同地段的热带雨林凋落物量^[10],从某种角度上证明了复杂的人工生态系统比种类简单的系统有着较高的系统生产力。

3.2 系统对其内部环境的保护及改善能力

3.2.1 土壤环境质量与物种多样性间的关系 一般认为,在热带森林生态系统的养分循环过程中,大部分养分保持在森林有机体之中。冯耀宗等^[3]认为,热带并不十分肥沃的土壤,能支持着如此巨大的物种量和高的生物量,是由于它与森林生态系统有机体之间有着快速而连续不断的分解—补充—贮藏—

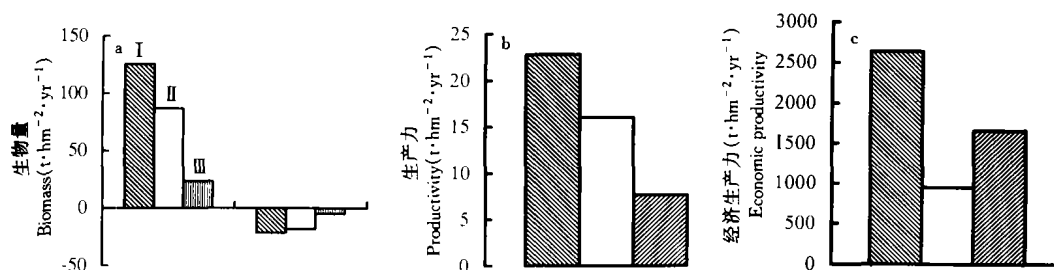


图 1 3 种人工生态系统的生物量、生物生产力和经济生产力

Fig. 1 Biomass, productivity, economic productivity of different managed ecosystems.

I. 胶茶群落 Rubber-tea ecosystem; II. 橡胶园 Rubber plantation; III. 茶园 Tea plantation.

吸收的循环过程。以此来维持着庞大的热带雨林群落养分的需求和保持土壤的肥力^[3]。生物多样性极为丰富的热带雨林生态系统是保持热带土壤肥力的理想结构。一旦将这一多样性的生态系统转变为单一的人工生态系统,土壤肥力将急速下降,直到全部丧失其生产力。热带雨林砍伐后进行旱稻连作 4 年(1981~1984)的产量下降情况,有力地证明了这一观点(图 2)。由图 2 可以看出,单作的简单生态系统对于保持系统的土壤环境,远远低于复杂的热带雨林生态系统。4 年中,土壤肥力已降到使旱稻这一简

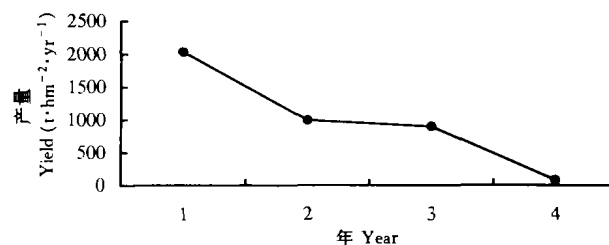


图 2 热带森林砍伐后进行旱稻连作的产量

Fig. 2 4-year continuous decline of upland rice in a clear-cut tropical rain forest.

单的生态系统不能继续维持下去的境地. 其原因是单一的生态系统不能完成全面快速的养分循环过程. 快速分解的养分被大量地流失(表1). 表1表明, 热带雨林 811 年流失的表土, 在单一人工系统中, 一年就全部流失殆尽. 可见, 物种多样性高的复杂系统对于保持土壤环境质量远远优于单一的简单系统.

表1 热带雨林与农用地土壤冲刷量比较*

Table 1 Soil erosion of rain forest and up-land rice ($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)

类别 Type	月份 Month						合计 Total
	5	6	7	8	9	10	
热带雨林 Rain forest	0	21	18	13	2	6	60
农用地 Crop land	257	29745	11634	6522	298	220	48676

* 11~4 月没有流失发生 January to April no erosion; 观测方法系采用小区实测法 Use plots observation.

3.2.2 小气候环境质量与物种多样性的关系 物种数量的变异, 必然形成系统结构的不同; 不同的结构, 必然带来物质能量在系统中运转及再分配的不同. 能量及物质在系统中的再分配大致可分为两大部分, 一部分流入系统内部, 不断地通过生物体进行循环; 另一部分流入环境并影响环境的质量, 从而影响到系统内部小气候的质量, 也影响到地方气候及大气候的质量. 小气候环境质量是系统内部能流物流的一种结果反应, 系统内不同的物种量, 形成不同的能流物流运转及再分配特征.

由图3明显看出, 随着物种数量的增加, 平均最高温度顺序降低, 而平均最低温度顺序上升, 空气相对湿度明显上升. 物种的增加对系统内部温度的调节和稳定以及空气湿度的提高起到明显作用. 高的湿度与稳定的温度状况是热带气候的主要特征, 上述结果说明, 随着物种数量的增加, 系统内小气候状况质量改善的程度也随之增加. 静风条件也是热带气候的重要特征之一. 图4结果表明, 由于物种数量增加, 系统内常风风速明显降低.

3.3 物种多样性与系统抗御自然灾害的能力

3.3.1 物种多样性与抗寒能力 样地内的三叶橡胶 (*Hevea brasiliensis*) 引入国内大面积种植以来, 由于单一种植(简单系统)造成系统的稳定性差, 特别在一些温度条件较差的地区, 系统极为脆弱, 随时都有被毁灭的危险.

由图5可见, 3个不同系统在产量的稳定性上有着明显差异. 1) 单一的简单系统(单一橡胶园), 在1976年特大寒害到来时, 由于严重受害导致产量急剧下降, 直到全部失败; 2) 两个物种(橡胶-茶叶)组

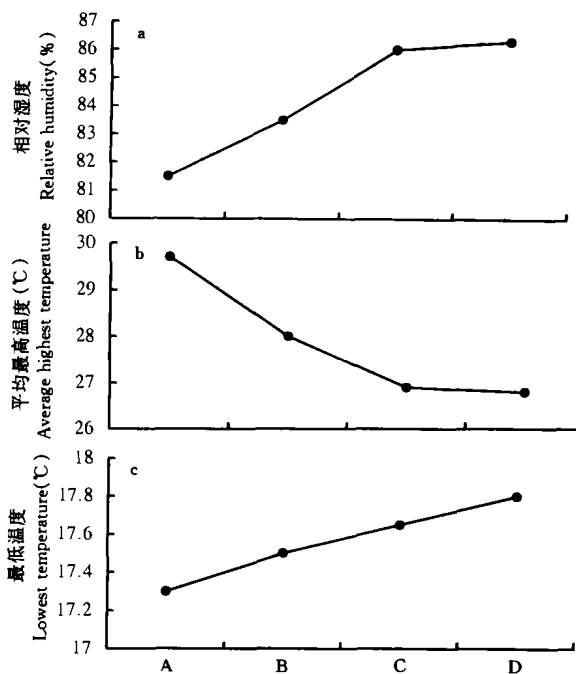


图3 不同物种人工生态系统内部的小气候变化

Fig. 3 Microclimates in different structures of man-made communities. a: 相对湿度 Relative humidity; b: 平均最高温度 Average highest temperature; c: 最低温度 Lowest temperature.

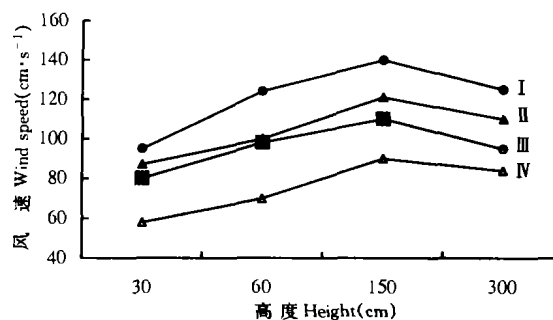


图4 不同植被类型结构中风速垂直分布

Fig. 4 Wind speed of different ecosystem (1984).

I. 胶茶群落 Rubber-tea ecosystem (2.28); II. 橡胶园 Rubber plantation (2.28); III. 胶茶群落 Rubber-tea (3.1); IV. 橡胶园 Rubber plantation (3.1).

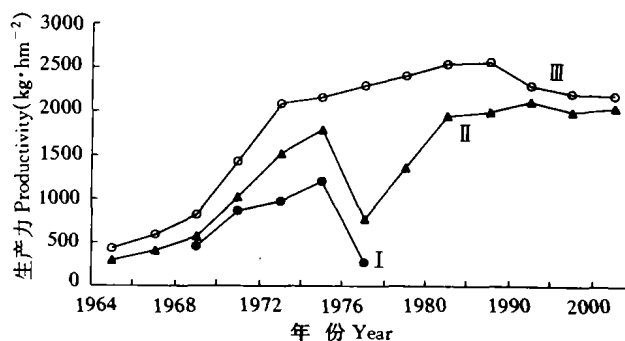


图5 不同生物群落的年生产力对比

Fig. 5 Productivity of different structures.

I. 橡胶园 Rubber plantation; II. 一般胶茶群落 Rubber-tea community; III. 抗寒结构的胶茶群落 Cold resistant rubber-tea community.

成的系统,在1976年特大寒害到来时,橡胶树受到一定影响,但较简单系统为低;3)抗寒结构的复杂系统,虽物种的量没有改变,但结构上作了改变^[2],使橡胶未受寒害,保持了系统生产力的稳定.在抗寒系统中,橡胶树未受寒害的原因是群落下层的增热效应,在胶茶群落中土壤释热和地表有效辐射分别减少0.12和0.15 J·m⁻¹·d⁻¹,而净辐射和感热则增加1.6和2.5倍^[7].而本人对广西龙州地区某橡胶场15年的干胶产量变化调查表明,由于经常受到寒害,以致橡胶植株不能正常投产.干胶产量的急剧变动反映了当地单一橡胶系统抗御自然灾害的能力很差.

近年来,咖啡在云南思茅地区大面积推广,也曾发现简单系统与复杂系统对自然灾害有着不同的抗御能力问题.据作者调查,云南省澜沧县勐户乡的66.67 hm²咖啡园,大部分是单一种植方式,1991年春一次寒害,98%的植株被冻死(现改种茶叶),但部分采用上层荫蔽树种三叶豆的复合结构,特别是位于灯台树(*Winchia calophylla*)下的咖啡,仍保持着旺盛的生长势,没有发生任何冻害.因此可见,物种多样性会影响系统抗御自然灾害的能力,从而提高系统的稳定性,而物种在系统中的结构形式也是影响系统稳定性的重要原因之一.

3.3.2 物种多样性与抗风能力 风害是一个重要的自然灾害.据作者统计,海南岛1970~1980年10年间因风害共损失橡胶树1400万株,造成系统的不稳定.近年来,大面积采用林-胶-茶的复合系统,明显地减轻了危害.对海南省东太农场调查表明,单一胶园的风害率为35.0%,而增加了一个物种(茶叶)后的受害率降低到17.7%.

表2是在有防护林的情况下,单一茶园与胶茶群落的风速比较.由此可以看出,胶茶群落复合结构比单一茶园风速减低55%.

表2 不同物种数量风速比较

Table 2 Wind-speed of different stracture (m·s⁻¹)

类型 Type	月份 month												平均 Average
茶园 Tea	1.1	1.2	1.0	0.7	0.6	0.5	-	1.3	1.2	1.6	1.4	1.1	
胶茶群落 Rubber-tea	0.7	0.8	0.4	0.2	0.2	0.1	0.9	0.6	0.6	0.8	0.7	0.5	

3.3.3 物种多样性与抗害虫能力 害虫是影响系统稳定性的一个重要因素.在大面积的农业生态系统中(简单系统),人们为了维护系统的稳定性和生产力,普遍采取施用农药的方法,但这一方式带来的严重后果是众所周知的.近年来,生物多样性的人工生

态系统对害虫抑制的研究越来越多,在物种多样性^[5]乃至景观多样性方面^[13]均有生物多样性降低虫害的报道.

小绿叶蝉(*Empoasca flavescens*)是危害我国茶园的主要害虫.为了控制这一害虫的危害,每年喷施农药达10~20余次,不仅造成茶叶和环境的污染,在大量杀死害虫的同时,也使害虫的天敌大量减少,以致系统愈来愈处于简单化的恶性循环.

本研究采用胶-茶群落结构方式,增加了系统的复杂性,并严禁施用农药,自20世纪60年代至今,小绿叶蝉的种群量由于天敌蜘蛛的大量发生而长期得到控制.对2001年12个月的定点调查,60年代种植的茶园,蜘蛛与小绿叶蝉形成了一个相互制约的种间关系.在小绿叶蝉种群增加时,蜘蛛的种群量也因食物量的增加而增加,这时小绿叶蝉的种群量由于蜘蛛的种群量增加而下降,而蜘蛛由于食物量(小绿叶蝉的种群量)的减少,种群量也随着降低.这样一种你高我高、你低我低的动态平衡,使得小绿叶蝉这一危害很大的害虫,在不施用任何农药的情况下,全年的种群量都处在经济防治指标(150头/千叶)之下(图6).

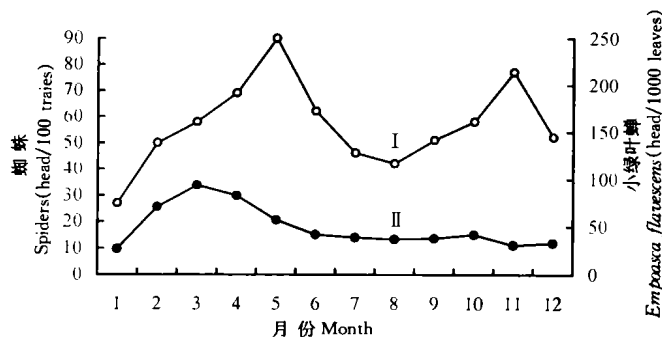


图6 20世纪60年代胶-茶群落试验区蜘蛛及小绿叶蝉种群动态(2001年)

Fig. 6 Population variation of *Empoasca flavescens* and *Spiders* in rubber-tea community in 2001.

I. 蜘蛛 *Spiders*; II. 小绿叶蝉 *Empoasca flavescens*.

表3 不同咖啡园结构的旋皮天牛危害率(1990~1991, 澜沧县)

Table 3 Harm rate of *Dihammus cerinus* in different coffee structures (1990~1991, Lancan county)

结构 Structure	荫蔽度 Shade rate (%)	调查株数 Observed number	受害率 Harm rate (%)
橡胶-咖啡 Rubber-coffee	30~40	450	6.0
次生林-咖啡 Secondary forest-coffee	60~70	240	0.8
对照 No shade trees	30	350	8.0
	50	260	4.4
	0	660	13.8

小粒咖啡是世界三大饮料之一.旋皮天牛(*Dihammus cerinus*)是其普遍存在的一种严重害虫.而

在多样性的人工群落结构中,它的危害明显低于单一种植方式(表3)^[6]。

由表3可以看出,在有荫蔽的咖啡群落中,荫蔽度愈大,旋皮天牛的危害愈低,这是由于旋皮天牛喜欢产卵于向阳的树干上。这使得多样性群落中的咖啡受害率明显降低。

参考文献

- 1 Baskin Y. 1994. Ecosystem function of biodiversity. *Bioscience*, **44** (10):657~660
- 2 Fen Y-Z(冯耀宗), Wang H-H(汪汇海), Zhang J-H(张家和), et al. 1982. Experimental and ecological studies on the rubber-tea artificial community. *Acta Bot Sin* (植物学报), **24**(2):164~171 (in Chinese)
- 3 Feng Y-Z(冯耀宗), Wang H-H(汪汇海), Zhang J-H(张家和), et al. 1982. Tropical managed community and rational utilization of light, water and soil. In: Proceedings of Tropical Botany. Kunming: Yunnan People's Press. 42~54 (in Chinese)
- 4 Huang J-H(黄建辉), et al. 2001. Effects of species diversity on ecosystem function: Mechanisms and hypotheses. *Biodiv Sci* (生物多样性), **9**(1):1~7 (in Chinese)
- 5 Khan ZR, Ampong-Nyarko K, Chiliswa P. 1997. Intercropping increases parasitism of pests. *Nature*, **388**:631~632
- 6 Long Y-M(龙乙明), eds. 1997. Arabica Coffee in Yunnan. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. 127~133 (in Chinese)
- 7 Ma Y-X(马友鑫). 1994. Studies on the increased heat effect with in the rubber tree rous of man-made rubber-tea community. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **14**(1):9~15 (in Chinese)
- 8 Naeem S, Hakansson K, John H, et al. 1996. Biodiversity and plant productivity in a model assemblage of plant species, *OIKOS*, **76**:259~264
- 9 Naeem S, Thompson LJ, Lawler SP, et al. 1994. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystem. *Nature*, **368**:734~737
- 10 Ren Y-H(任泳红), et al. 1999. A comparative study on litterfall dynamics in a seasonal rain forest and a rubber plantation in Xishuangbanna, SW China. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **23**(5):1~7 (in Chinese)
- 11 Taylor PJ. 2000. Assessing biodiversity and ecological stability. *Science*, **290**:51.
- 12 Thies C and Tscharntke T. 1999. Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science*, **285**:893~895
- 13 Tilman D and Downing. 1994. Biodiversity and stability in grassland. *Nature*, **367**:363~365
- 14 Tilman D, Wedin D and Knops J. 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature*, **379**:718~720
- 15 Yachi S and Loreau M. 1999. Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: The insurance hypothesis. *Proceed Nation Academ Sci*, **96**:1463~1468
- 16 Zheng Z(郑征), et al. 2000. Biomass and net primary production of primary tropical wet seasonal rainforest in Xishuangbanna. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **24**(2):197~203 (in Chinese)

作者简介 冯耀宗,男,1932年出生,研究员,长期从事热带人工生态系统的实验生态学研究,发表论文41篇,出版专著4部。Tel:0871-5160916。