

## 草果种植对植物多样性的影响

郭婧琦<sup>1,2</sup>, 王慷林<sup>1,3\*</sup>, 刘广福<sup>4</sup>, 王雨华<sup>1</sup>

(1. 中国科学院昆明植物研究所, 昆明 650204; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 西南林业大学, 昆明 650224; 4. 中国林业科学院, 北京 100091)

**摘要:** 从林下植物物种数、株数、乔木盖度、多样性指数等方面, 对种植草果的天然林片断与未种植草果的天然林地的植物进行调查与比较分析, 结果发现: (1) 不同草果种植时间乔灌木层的盖度在 20.0%~50.0% 之间变动; (2) 随着种植时间的延长, 乔灌木层植物株数明显下降, 乔灌木层物种数趋向单一, 主要保留旱冬瓜作为草果的遮荫树种; (3) 天然林的草本层物种数为 13 种, 草果种植到 80 年后草本层物种数只有 8 种; 草本层株数在草果种植 5 年后在 48~285 株间的波动, 远低于种植初期; (4) 乔灌木层 Shannon-Wiener 指数在草果种植 30 年降低到 0, 但草本层 Simpson 指数在种植草果半年至一年期间多样性指数较低为 0.2266~0.3399。虽然 5 年后稳定在 0.4351~0.8062, 但普遍低于天然林(0.7681)。为了维持天然林的可持续性和稳定性, 建议草果栽培在人工林下进行。

**关键词:** 草果; 天然林; 植物多样性; 可持续性

**中图分类号:** Q944 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2010)06-0844-06

## Influence of plant diversity by *Amomum tsao-ko* (Zingiberaceae) plantation

GUO Jing-Qi<sup>1,2</sup>, WANG Kang-Lin<sup>1,3\*</sup>, LIU Guang-Fu<sup>4</sup>, WANG Yu-Hua<sup>1</sup>

(1. Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650204, China; 2. Graduate College of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Southwest Forestry University, Kunming

650224, China; 4. Chinese Academy of Forestry Sciences, Beijing 100091, China)

**Abstract:** Species number, individual number, coverage of trees and biodiversity index of plants in forest planting with *Amomum tsao-ko* and natural forest were investigated and compared. The result showed that: (1) the coverage of overstorey canopy (including arbor and shrub crown) was fluctuated between 20.0 and 50.0% in different growing phases of *A. tsao-ko* plantation; (2) with aging *A. tsao-ko* plantation, individual number of arbors and shrubs was decreased gradually, the species number also inclined to single, *Alnus nepalensis* was maintained as a great shading species in the *A. tsao-ko* plantation; (3) the herbaceous species in the natural forest was 13, and then decreased into 8 when the plantation time arrived 80 years; individual number of herbaceous plants was varied between 48 and 285 after the plantation of *A. tsao-ko* exceeded 5a, which was lower than the number in the beginning time of *A. tsao-ko* plantation; (4) the Shannon-Wiener index of arbors and shrubs was reduced to 0 at the plantation time of 30a, the Simpson index of herbaceous species was varied 0.2266—0.3399 between the plantation time from 0.5a to 1a. Although this index became stable at 0.4351—0.8062 after 5a plantation, they were all lower than the natural forest (0.7681). Therefore, in order to maintain the sustainability and stability of natural forests, *A. tsao-ko* was suggested

收稿日期: 2009-06-19 修回日期: 2010-02-12

基金项目: 美国 Alcoa 基金会、国际教育协会 (IIE) 与世界自然基金会 (WWF-UAS) (15055151); 世界自然保护联盟—荷兰国家委员会 (IUCN-NL) (101106) [Supported by Alcoa Foundation, Institute of International Education, and World Wildlife Fund-USA (15055151); International Union for Conservation of Nature-Netherlands Committee (101106)]

作者简介: 郭婧琦 (1985-), 女, 江西赣州人, 硕士, 主要从事民族植物学和资源植物学研究。

\* 通讯作者 (Author for correspondence, E-mail: bamboorattan@qq.com)

to plant under the artificial forests.

**Key words:** *Amomum tsao-ko*; natural forest; plant diversity; sustainability

草果(*Amomum tsao-ko*)属姜科(Zingiberaceae)豆蔻属(*Amomum*)植物,为多年生草本,自然生长在亚热带多雨森林地带的云南、广西和贵州三省局部地区,以及越南、老挝北部的部分地区(崔晓龙等,1995)。其经济价值高、用途广、需求量大,且为耐荫的多年生植物,因而在热区的自然保护区周边地区及其天然次生林下较多栽培。民间草果种植一直沿袭传统模式,多数草果种植区的基本做法是:用砍刀清除天然林下的小乔木、灌木及杂草,腾出地面并降低林内荫蔽度之后,直接种植草果,这种种植模式直接威胁到森林群落自然演替(戴开杰等,2004a),同时也威胁到自然保护区的可持续发展。

一个地区的生物多样性可以认为是生命及其相关的过程在很多尺度上的多样性(Mathieu等,2004)。因此生物多样性包括基因、物种、生态系统和景观尺度上的多样性以及生态和进化过程对多样性在不同尺度上的影响(Noss,1990)。生物多样性是由各种不同影响因素共同作用的结果,而这些因素本身又决定着生物体的生存和灭亡(Mathieu等,2004)。生态系统的功能可能会通过生物多样性的丧失而被改变或损害(May,1977;Naeem等,1994;Tilman & Downing,1994)。朱华等(2002)关于砂仁种植对热带雨林生物多样性影响的研究发现:砂仁种植对热带雨林生物多样性的影响不仅在于直接的清除林下幼树、灌木层植物,而且更大的潜在危害是使得热带雨林难以自我更新。且由于林下砂仁的种植方式的不可持续性,种植砂仁后,热带雨林中的植物多样性、凋落物量和土壤肥力比同类型的原始林都有不同程度的下降(高雷等,2002)。但对次生林的生物量和生产力影响不显著,所以砂仁种植建议在次生林下(冯志立等,2004)。Sharma等(2002)在对香豆蔻(*Amomum subulatum*)的研究中发现它在旱冬瓜(*Alnus nepalensis*)下的种植更具有可持续性。而与砂仁同属姜科的草果,有一些围绕改变草果半野生种植模式(戴开杰等,2004a)和使用退耕还林地替代天然林地种植草果(戴开杰等,2004b)的定性研究。本文第一次系统性地分析草果种植后天然林下植物多样性的变化,以及不同草果种植时期对林下植物物种数、植物株数和生物多样性指数的影响,旨在为发展草果可持续性种植模式提供理

论依据。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 自然概况

研究地位于红河哈尼族彝族自治州南部的金平县,属热带季风无寒地区,雨量充沛,干湿季分明,草果产量居全国首位,誉称“草果之乡”。金平山高谷深,海拔悬殊,呈现复杂的立体气候,年平均气温11.9~21.4℃,年日照量1201.5~1912.7h。年平均蒸发量为953.4mm,全年降水量比蒸发量大一倍以上。年平均相对湿度82%~86%。由于海拔的升降幅度大,植被垂直分布明显,从海拔105~3074m的垂直带上,依次发育着山地雨林、湿性季风常绿阔叶林、山地苔藓常绿阔叶林、山顶苔藓矮林等(许建初,2002)。

本次调查选取的5个村寨,均位于毗邻分水岭国家自然保护区的大寨乡。大寨乡位于金平县境东北部(103°14′~103°26′E,22°48′~23°01′N),最高海拔2597m,最低海拔130m(云南省金平苗族傣族彝族自治县志编纂委员会,1994)。调查选取的5个村寨中,河头为彝族村寨,大秧田和高家寨是汉族村寨,碗厂和灰竹箐为哈尼族村寨。

### 1.2 研究方法

1.2.1 研究地点和样方设计 选择种植草果的样地11个,每个样地大小为10m×10m,在未种植草果的天然林中选择面积相等的样地3个作为对照。在样方内调查植物种类与物种组成,乔木层调查种类及每一物种的个体数量,藤本植物仅调查物种数量;灌木种类和草本植物的调查,在大样方内中心和边缘对角处设置3个大小为1m×1m的小样方,调查种类与数量(表1)。

1.2.2 植物多样性的计算 乔木和灌木层以及藤本植物采用Shannon-Wiener指数计算,用来描述种的个体出现的紊乱性和不确定性,数值越大多样性越高。草本层采用Simpson指数,表示随即抽取的两个个体属于不同种的概率,数值越大多样性越高。其公式分别为:

$$H' = -\sum P_i \ln P_i$$

$$D = 1 - \sum [N_i(N_i - 1) / N(N - 1)]$$

其中,  $P_i = n_i/N$ , 表明第  $i$  个种的相对多度,  $N$  为样方总个体数,  $n_i$  为第  $i$  种的个体数(宋丁全, 2004; 高雷等, 2002)。

1.2.3 数据分析 草果种植林分内影响生物多样性的因素通过 SPSS 13.0 进行分析, 不同影响因素之间的关系使用单因素回归分析方法进行比较。

## 2 结果

### 2.1 草果种植对乔灌层的影响

经调查, 样方内乔灌层的物种主要有旱冬瓜(*Al-*

*nus nepalensis*)、柔毛木荷(*Schima villosa*)、山柃苦(*Evodia lepta*)、哈竹(*Indosasa sp.*)、披针叶楠(*Phoebe nanmu*)、异叶鹅掌柴(*Schefflera chapeansa*)、印度木荷(*Schima khasiana*)、绒毛山胡椒(*Lindera nacusua*)、野樱桃(*Prunus neglecta*)、达勒木(*Tarenna pubinercis*)、水冬哥(*Saurania tristula*)、小果倒地柁(*Cardiospermum halicacabum var. microcarpum*)、滇丁香(*Luculia gratissima*)等。

图 1 显示乔灌层物种数、株数和盖度随时间变化的趋势, 其中乔木层株数与种植时间相关显著( $P = 0.033 < 0.05$ , 表 2)。未种植草果的天然林(0 年

表 1 调查样方及其相关指标

Table 1 Research plots and their relative indices

样地类型 Plot style	天然林 Natural forest					草果种植林 A. tsao-ko plantation								
样方号 Plot No.	3	8	13	9	5	6	1	10	7	11	2	14	4	12
面积 Area(m <sup>2</sup> )	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
种植草果时间 Plantation duration(y)	0	0	0	0.5	1	1	5	5	12	20	20	30	30	80

表 2 乔木和草本层各项指标间的方差分析表

Table 2 ANOVA of different parameters for arborees, shrubs and herbaceous plants

类别 Category	变异来源 Source	离差 Sum of squares	自由度 df	均方差 Mean squares	F 值 F	P 值 Sig.
乔灌层物种数 Species number of arbors and shrubs	回归	63.353	1	63.353	3.955	0.068
	剩余	208.247	13	16.019		
	总变异	271.600	14			
乔灌层株数 Individual number of arbors and shrubs	回归	588.408	1	588.408	5.570	0.033
	剩余	1349.192	13	103.784		
	总变异	1937.600	14			
草本层物种数 Species number of herbaceous plants	回归	71.647	1	71.647	4.305	0.058
	剩余	216.353	13	16.643		
	总变异	288.000	14			
草本层株数 Individuals of herbaceous plants	回归	43393.742	1	43393.742	1.488	0.244
	剩余	379085.191	13	29160.399		
	总变异	422478.933	14			

时)在 100 m<sup>2</sup> 样地内, 乔灌层植物株数高达 37 株, 即每 2.7 m<sup>2</sup> 有一株乔木或灌木, 乔灌层盖度达 73.3%; 种植草果初期(半年至一年), 乔灌层株数减至 19 株, 即近一半的株数被砍伐, 盖度也降至 20.0%; 草果投产后(5 年)乔灌层株数再次减少至 10 株, 但盖度增至 40.0%, 即种植草果至其投产期间随着乔灌层冠幅的扩大, 经营者仍在不断地砍伐上层植被; 其后虽然乔灌层株数仍有一定量的减少, 但盖度维持在 40.0%~50.0% 相对稳定的水平。草果种植后至第 5 年时, 林地内乔灌层盖度波动较大(20.0%~40.0%), 也许是种植初期为了促进草果分蘖而需要较强的光照故经营者高强度砍伐上层

植被的结果。草果投产后乔灌层的盖度趋于稳定(种植时间 12 年的草果地的乔木盖度可看成特例), 这主要是因为草果种植, 尤其是结实期草果具有相对稳定的荫蔽度要求, 这就使得管理者刻意地将天然林的乔木盖度维持在一个最适合草果生长的水平。未种植草果的天然林乔灌层的种数在 100 m<sup>2</sup> 的样地内共 13 种, 草果投产后, 样地内的乔灌层种数在 1~7 种变动, 多数样地保留 2~3 种乔灌木, 表明草果经营者对遮阴植物有一定的偏好。

### 2.2 草果种植对林下草本层的影响

样方内草本层的植物主要有单子卷柏(*Selaginella monospora*)、楼梯草(*Elatostema sp.*)、偏半花

(*Plagiopetalun henryi*)、阴地蕨(*Sceptridium ternatum*)、鸭趾草(*Commelina sp.*)、冷水花(*Pilea sp.*)、酸模(*Rumex sp.*)、小草(*Microchloa kunthi*)、无盖鳞毛蕨(*Dryopteris scottii*)、莎草(*Solenia hehena*)、紫花地丁(*Viola philippica*)、马塘草(*Mierostegium vagane*)、露水草(*Cyanotis arachnoids*)、红马蹄草(*Hydrocotyle nepalensis*)、早芹(*Oenanthe sp.*)等。草本层植物多为耐阴种类,高度多在草果植株以下。

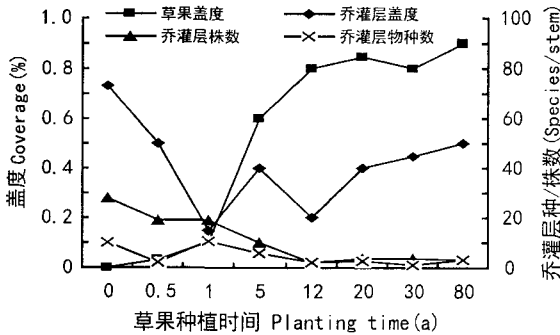


图 1 草果种植时间对乔灌层影响

Fig. 1 The influence of different aged *A. tsao-ko* plantations on trees and shrubs

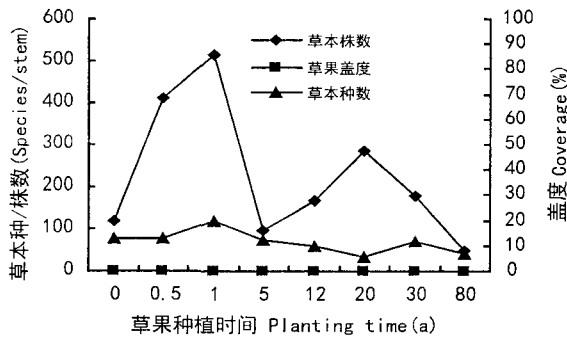


图 2 草果种植时间对草本层影响

Fig. 2 The influence of different aged *A. tsao-ko* plantations on herbaceous plants

虽然草本层株数变化与种植时间的关系并不显著( $P=0.244>0.05$ ,表 2),但种植草果 20 年的样地内草本植物仅有 6 种(图 2),其草果盖度达到了 80% 以上,草果盖度 10% 的样地(0.5 年)草本物为 19~20 种,明显高于前者。草本层株数的变化波动也较乔灌层株数的变化大(图 2)。

草本层株数在未种植草果的天然林内(0 年)均较低为 74 株/100m<sup>2</sup>;草果种植之初,随着乔灌层植被的砍伐,光照条件的改善,草本株数迅速增加至 410~517 株/100m<sup>2</sup>,与乔木株数和盖度的减少呈反比现象,这与短生命周期植物对环境变化较为敏感有关(Nichols 等,1998);草果投产后(5 年)虽然草

本层的株数在 48~285 株/100m<sup>2</sup> 之间波动,但总趋势趋于在 100~200 株间变动。

### 2.3 乔灌层和草本层的多样性指数

草果投产 5 年后的乔灌层多样性指数均较天然林的小(图 3),表明草果种植对该层物种多样性具有不利的影响。其中草果种植时间 30 年的乔灌层 Shannon-Wiener 指数为 0,这表明草果种植了一段时间后乔木层物种逐渐趋向单一,被保留的物种旱冬瓜,应该是经营者认为最能满足草果种植地荫蔽度要求的。这与当地人工林下种植草果的林地中经营者选择的上层树种均为速生且荫蔽度较大的旱冬瓜相吻合。

未种植草果的天然林的草本层 Simpson 指数达 0.7681。种植草果半年至一年期间多样性指数较低为 0.2266~0.33990,这是因为在刚开始进行草果种植时草本层的植物和草果幼苗竞争光,水和土壤养分,管理者为了保证草果幼苗的生长对草本层的强力清除造成的。随着草果种的分蘖繁殖,盖度增加,特别是种植时间大于 5 年的林地,草本层的多样性指数逐渐回升趋于稳定在 0.4351~0.8062 水平,但普遍低于天然林下的草本层多样性指数(图 3)。

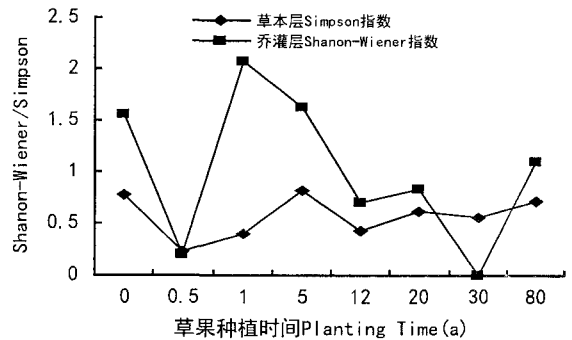


图 3 草本层和乔灌层生物多样性指数

Fig. 3 The biodiversity index of herbaceous plants,arbors and shrubs

## 3 讨论

样地调查发现,旱冬瓜、野樱桃、异叶鹅掌柴、印度木荷等作为重要的种类,在草果地上层林木中出现频率最高,而单子卷柏、楼梯草、偏半花、阴地蕨、鸭趾草、冷水花等在草本层中出现频率最高。

不同草果种植时间的乔灌木层盖度在 20.0%~50.0% 之间变动,均低于相邻天然林的盖度(73.3%)。草果作为一种荫生植物,其生长的荫蔽

度需要维持在40%~50%。维持荫蔽度而对上层乔木进行一定量的砍伐和对草本植物和乔木幼苗的清除,是草果地管理的重要步骤,另一方面,作为草本植物的草果,其高度仅局限于天然林下层,许多植物的幼树高度可很快超过草果生命周期较长的乔灌木层,经营者为了追求草果的产量而维持相对稳定的上层荫蔽度(50%左右),不断地清除草果地内更新的木本幼苗,同时不断地对上层的乔灌木物种进行调整,导致乔灌木层作为多年生的植物在人为砍伐以后增加缓慢,在草果经营期内难以达到一个很大的种群数量。其结果是导致乔木的幼苗很难顺利成材,很大程度上对幼苗库造成了不可逆的破坏,直接影响了天然林的自我更新和林分内上层物种的多样性恢复。

种植草果的林地乔灌木层物种数和株数随着种植时间的延长而逐渐降低。乔木总株数在2~4株之间波动,物种数在1~3种之间波动,但都远远低于天然林的水平。因为随着种植时间的延长,乔木树种冠幅的增大,为保证适宜草果生长的盖度,经营者也只能保留少量的乔木株数。乔灌木总株数和物种数在种植时间超过5年之后在一个较低的水平上呈现出稳定趋势,这在很大程度上也是草果经营者为了维持相对稳定的盖度而进行砍伐,保持相对稳定乔灌木层株数的结果。同时经营者长期选择旱冬瓜作为草果种植地荫蔽物种,也使得草果种植地在一一定的种植时间后,乔灌木层物种逐渐趋向单一,乔灌木层Shannon-Wiener指数降低,对乔灌木层物种多样性带来了消极的影响。

种植草果半年和一年的样地草本层物种数和株数均高于天然林。调查表明,管理者对种植草果的林地进行每年1~2次清除杂草的方法,无形中在林地下形成了完全不同的新的生境,也许是草本层物种数和株数升高的一个原因。在种植草果5年后,草本层的物种数在6~12种之间波动,说明人为的对林下自然环境的干扰破坏了其他本地物种的正常生长环境,进而可能导致该林下的某些物种区域性灭绝,即使有所恢复,但仍然有一些物种不再出现。草果投产后(5年),草本层的株数稳定在100~200株间变动,草本层的多样性指数也逐渐回升趋于稳定在0.4351~0.8062水平,但普遍低于天然林下的草本层多样性指数。究其原因,可能是在长期的生长过程中,生命周期比较短的草本层植物渐渐适应了种植草果的生长环境,同时由于乔灌木层在草果投

产后保持相对稳定的盖度,使得草本层植物在相对稳定的生境和空间条件下种群数量也相对稳定。Nichols等(1998)的研究显示,当丰富度和物种多样性随着生命形式大小的减少而增加,植物区别微小环境成分的能力也随之增加。这种普遍的形式显示了小型植物的物种丰富度比大型多年生木本植物对生境异质性的敏感度要高。从草果种植所需的生境,有可能为了提高草果产量,而提供的环境条件使得其它本地物种不再适合与变化了的原生环境下继续生存,这也可能是导致物种多样性降低的一个原因。

云南大部分草果种植模式造成了森林垂直结构层次简单化,使中层乔木部分树种和几乎全部下层乔木、灌木种类流失,群落稳定性和物种多样性水平大大降低,生态功能变得脆弱(戴开杰等,2004a)。无论种植模式设计怎样合理,种植过程中的残余物也可能通过连接剩余的自然林补丁在结构多样性的方法和不同尺度下被用来减轻大范围工业种植对生物多样性的负面影响,但是对于已经造成了很大破坏的大面积天然林来说,对它们自身生态平衡的恢复是没有实际作用的(Nasi等,2008)。加之草果种植管理是粗放式经营,这与热带雨林的砂仁种植一样,即产出结构中以资源依赖型的牺牲环境型为主,未能使新技术投入生产使其转变为经济效益,而这种经营模式面临着经济发展和资源环境的双重危机(高雷等,2001)。

改善草果种植模式的目的不是单纯为了告别半野生状态,也不应该是单纯为了提高产量和品质,而是通过有效提高草果种植的集约化水平,节约和有效利用自然资源,在获得经济效益改善群众生活水平的时候,达到保护自然资源尤其是森林资源和土地资源的目的,实现双丰收(戴开杰等,2004a)。为了保护生物多样性,我们提倡在人工林中(特别是速生且郁蔽度较大的旱冬瓜林)发展草果种植,在人工林种植草果可能不是荫蔽度过高需要砍伐树木,而是因荫蔽度不够需要快速栽树,可以选择在荫蔽度和水肥条件相对较好的地块先种植,然后逐步、分批地进行。与其它经济植物不同,草果的特点之一是适应刀抚,为草果种植与生态保护的有机结合提供了新的渠道。不论是在天然林地、封山育林地或是经济林地种植草果,都必须坚持刀抚,不提倡锄垦、更不能全垦,这样可以最大限度地保护地表草皮层,达到保持水土、保护生态环境的目的(戴开杰等,2004b)。同时加强科技的投入,进行合理科学管理,不仅可使草果始终保

持一个高的产量,增加群众收入,同时,将减少对天然林的过度利用,有效地保护生态环境。特别是对自然保护区周边社区种植草果模式(人工旱冬瓜林下种植草果)及其管理的探讨和推广,将是一个值得期待的课题。

**致谢** 云南省林业科学院赵文书研究员鉴定标本,云南省红河哈尼族彝族自治州金平县林业局局长毛龙华、大寨乡林业站赵志华站长、乡政府蒋春花等参加部分野外工作。云南省林业科学院李莲芳研究员对本文提出宝贵的修改意见;当地的村民提供了宝贵资料,在此一并感谢。

### 参考文献:

- 云南省金平苗族瑶族傣族自治县志编纂委员会. 1994. 金平苗族瑶族傣族自治县志[M]. 上海:生活·读书·新知三联书店:62—82
- 许建初. 2002. 云南金平分水岭自然保护区综合科学考察报告集[M]. 昆明:云南科技出版社
- Cui XL(崔晓龙), Wei RC(魏蓉城), Huang RF(黄瑞复). 1995. Study on the artificial population structure of *Amomum tsao-ko* (草果人工种群结构研究)[J]. *Southwest China J Agric Sci* (西南农业学报), **8**(4):114—118
- Dai KJ(戴开结), Tang L(唐丽), Zhang GM(张光明). 2004a. Theory basis of reformation of half-wild *Amomum tsao-ko* (改造草果半野生种植模式的理论基础)[J]. *Nonwood Fore Res* (经济林研究), **22**(4):31—34
- Dai KJ(戴开结), Tang L(唐丽), Zhou DM(周德明). 2004b. Ecological significance of the replacement of natural forest in the conversion of cultivated land to plant *Amomum tsao-ko* (论退耕还林地替代天然林地种植草果的生态学意义)[J]. *Hunan Fore Sci Tech* (湖南林业科技), **31**(5):64—66
- Feng ZL(冯志立), Gan JM(甘建民), Zheng Z(郑征), et al. 2004. A comparative study on *Amomum villosum* cultivation under tropical wet seasonal rainforest and secondary forest at Xishuangbanna(西双版纳热带季节性雨林和次生林下砂仁种植的比较研究)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15**(8):1 318—1 322
- Gao L(高雷), Liu HM(刘宏茂), Cui JY(崔景云). 2001. Sustainability of *Amomum villosum* ecosystem(热带森林—砂仁生态系统可持续性的环境经济学分析)[J]. *Rural Eco-Environ* (农村生态环境), **17**(1):24—28
- Gao L(高雷), Liu HM(刘宏茂), Cui JY(崔景云). 2002. Analysis on the sustainability of *Amomum villosum* cultivation under the tropical rainforest in Xishuangbanna(西双版纳热带雨林中砂仁种植的可持续性分析)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13**(3):262—266
- Mathieu J, Rossi JP, Grimaldi M, et al. 2004. A multi-scale study of soil macrofauna biodiversity in Amazonian Pastures[J]. *Biology Fertility Soils*, **40**:300—305
- May RM. 1977. Thresholds and breakpoints in ecosystems with a multiplicity of stable states[J]. *Nature*, **269**:471—477
- Naeem S, Thompson LJ, Lawler SP, et al. 1994. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems [J]. *Nature*, **368**:734—737
- Nasi R, Koponen P, Poulsen JG, et al. 2008. Impact of landscape and corridor design on primates in a large-scale industrial tropical plantation landscape[J]. *Biodiversity Conservation*, **17**:1 105—1 126
- Nichols WF, Killingbeck KT, August PV. 1998. The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity[J]. *Conservation Biology*, **12**(2):371—379
- Noss RF. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach[J]. *Conservation Biology*, **4**:355—364
- Sharma R, Sharma G, Sharma E. 2002. Energy efficiency of large cardamom grown under Himalayan alder and natural forest[J]. *Agroforestry Systems*, **56**:233—239
- Song DQ(宋丁全). 2004. The basic conception and mathematic methods of biodiversity(生物多样性基本概念及其数学方法)[J]. *J Jinling Inst Techn* (金陵科技学院学报), **20**(2):1—4
- Tilman D, Downing JA. 1994. Biodiversity and stability in grasslands[J]. *Nature*, **367**:363—365
- Zhu H(朱华), Xu ZF(许再富), Li BG(李保贵), et al. 2002. A discussion on the loss of biodiversity of tropical rain forest by *Amomum* planting underneath in south Yunnan(砂仁种植对热带雨林植物多样性的影响探讨)[J]. *Guihaia* (广西植物), **22**(1):55—60