

怒江峡谷地区草果经济产量与品质对环境因子和栽培措施的响应

金 漫^{1,2}, 蔡传涛¹, 刘贵周^{1*}, 马超男^{1,2}

1 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南昆明 650223

2 中国科学院大学, 北京 100049

摘 要 采用测产、气象色谱-质谱联用(GC-MS)和参与性农村快速评估(PRA, Participatory Rural Appraisal)研究了怒江峡谷地区草果经济产量和品质对环境因子和栽培措施的响应以及种植草果对当地少数民族经济、生态的影响。结果表明: 江西草果经济产量($3\,167.10 \pm 436.09\text{ kg/hm}^2$)极显著高于江东($413.16 \pm 210.46\text{ kg/hm}^2$) ($p < 0.01$), 品质差异不显著; 山凹草果经济产量($7\,499.40 \pm 324.52\text{ kg/hm}^2$)显著高于山脊($5\,350.40 \pm 1\,248.06\text{ kg/hm}^2$) ($p < 0.05$), 山凹草果桉树脑含量(19.956 mg/g)显著高于山脊(1.5 mg/g) ($p < 0.05$); 不同混农林模式的草果经济产量由高到低依次为天然林+草果(F+A)>人工林+草果(A+A)>玉米+草果(M+A) ($p < 0.05$), 产量分别为 $5\,678.6 \pm 690.97\text{ kg/hm}^2$ 、 $3\,547.4 \pm 78.01\text{ kg/hm}^2$ 、 $135.12 \pm 46.18\text{ kg/hm}^2$, 玉米+草果混农林模式下草果桉树脑含量(3.333 mg/g)显著高于其余模式 ($p < 0.05$); 6年生草果经济产量($5\,678.6 \pm 690.97\text{ kg/hm}^2$)显著高于7年生草果的经济产量($2\,869.10 \pm 208.10\text{ kg/hm}^2$) ($p < 0.05$), 7年生草果精油出油率和桉树脑含量略高于6年生草果, 但差异不显著 ($p > 0.05$); 管理强度高($1\,756.60 \pm 474.89\text{ kg/hm}^2$)的草果经济产量高于管理一般($413.16 \pm 210.46\text{ kg/hm}^2$)的草果, 但差异不显著, 品质差异也不显著。从2007年种植草果至2013年马吉乡粮食播种面积下降了28.70%, 人均收入增加了248.04%, 家庭年收入($r = 0.793^{**}$)和年支出($r = 0.535^{**}$)与草果种植面积呈正相关。

关键词 草果; 怒江峡谷; 复合农林

中图分类号 S567.239

文献标识码 A

Response of *Amomum tsao-ko*'s Productions and Benefits to Different Environmental Factors and Cultural Measures in the Canyon Region of Nujiang

JIN Man^{1,2}, CAI Chuantao¹, LIU Guizhou^{1*}, MA Chaonan^{1,2}

1 Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Kunming, Yunnan 650223, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract This research analysed the response of *Amomum tsao-ko*'s production, quality and benefit to different environmental factors and cultural measures in the canyon region of Nujiang. Investigating yields, analyzing main composition of essential oil of *A. tsao-ko* through GC-MS, supervising microclimate and Participatory Rural Appraisal tools were adopted in this research. Result indicated that the yields and quality of *A. tsao-ko* were influenced by aspects, topography, agro-forestry models, planting year and management intensity. In detail, the yield of *A. tsao-ko* planted in the western bank ($3\,167.10 \pm 436.09\text{ kg/hm}^2$) of Nujiang river was notably higher than the equivalents in the eastern bank ($413.16 \pm 210.46\text{ kg/hm}^2$) ($p < 0.01$), while the significant difference of quality between slopes was not detected; the yield and eucalyptol content of *A. tsao-ko* planted on the corrie ($7\,499.40 \pm 324.52\text{ kg/hm}^2$, 1.995%) was significantly higher than the equivalents on the ridge ($5\,350.40 \pm 1\,248.06\text{ kg/hm}^2$, 1.688%) ($p < 0.05$). Among three kinds of agro-forestry system, the most productive model was forest+*A. tsao-ko* (F+A), the production of which was significantly higher than the other systems ($p < 0.05$), while the yield of artificial forest+*A. tsao-ko* (A+A) system was markedly higher than maize+*A. tsao-ko* (M+A) system ($p < 0.05$), the yields of F+A, A+A and M+A systems was $5\,678.6 \pm 690.97\text{ kg/hm}^2$, $3\,547.4 \pm 78.01\text{ kg/hm}^2$, $135.12 \pm 46.18\text{ kg/hm}^2$ respectively, eucalyptol content in *A. tsao-ko* under M+A (0.333%) system was significantly higher than the other models ($p < 0.05$); the yield of *A. tsao-ko* planted for 6 years ($5\,678.6 \pm 690.97\text{ kg/hm}^2$) was dramatically higher than which planted for 7 years ($2\,869.10 \pm 208.10\text{ kg/hm}^2$) ($p < 0.05$), while the quality of seven-year-old *A. tsao-ko* was relevantly higher, though the difference was not significant; high intensity of management contributes to a higher yield ($1\,756.60 \pm$

收稿日期 2015-09-03

修回日期 2015-11-05

基金项目 政部专项“云南省农科教相结合新型农业社会化服务体系福贡县综合服务示范区建设项目”; 云南省产业重大关键技术开发专项。

作者简介 金 漫(1991年—), 在读硕士; 研究方向: 药用植物栽培。*通讯作者(Corresponding author): 刘贵周(LIU Guizhou), E-mail: liugz@xtbg.ac.cn。

474.89 kg/hm²), while the difference was not significant, the quality of *A.tsao-ko* was not significantly affected by management intensity. From 2007, when *A.tsao-ko* was introduced to Maji Village, to 2013, the sown of grain in the Village had dropped by 28.70%, while the annual per capita income had increased by 248.04%, the household income and outcome correlated with the planting area of *A.tsao-ko* significantly, the correlation coefficient was $r=0.793^{**}$ and $r=0.535^{**}$ respectively.

Key words *Amomum tsao-ko*; Canyon Region of Nujiang; Agro-forestry

doi 10.3969/j.issn.1000-2561.2016.03.003

怒江州地处滇西北青藏高原南延部分和横断山脉纵谷地带,是一个集“边疆、山区、民族、宗教、贫困”特征为一体的少数民族自治州。自2000年全面退耕还林和2003年申报“三江并流”世界自然文化遗产以来,怒江州58.3%的区域被纳入自然保护区。相对于环境保护和可持续发展问题,怒江州的经济发 展问题并未得到足够的重视,建立健全有效的地方经济发展的产业支撑体系是目前的迫切需要^[1-2]。

草果(*Amomum tsao-ko* Crevost et Lem)是姜科豆蔻属多年生的常绿草本植物,是一种药食同源的香料作物,广泛种植于越南、老挝北部地区及中国的云南、广西、贵州^[3-4]。在主产地,草果多种植在海拔1 200~1 600 m的地区,荫蔽度60%~70%的常绿阔叶林下,种植4 a后开始挂果,6~8 a进入丰产期^[5]。云南省栽培草果已有一千多年历史,其可观的经济效益已得到广泛认可,被称为“山中摇钱树”^[6]。由于草果经济效益明显,怒江州福贡县2007年引进林下草果种植,至2014年草果种植面积已经从499.2 hm²增加到2 165 hm²,占到了全县林地面积的10%。但由于缺乏种植经验,草果多被种植在不适宜的 生境内,开花结实率低、产量不稳定,同时由于种植面积大,劳动力不足,半野生的栽培管理方式普遍存在。

同时,草果富含精油,以果实中含量最为丰富,市场上常以干草果的香气浓度作为衡量其品质优劣的标准^[7-11]。现有的研究表明,桉树脑(Eucalyptol)占到了草果精油30%~50%左右,是草果主要的芳香成分^[9-10]。本研究选取草果精油和桉树脑含量作为衡量草果品质的指标。目前草果精油的研究主要集中在草果精油萃取方法和成分组成上^[12-14],而有关于精油含量、成分与栽培的关系则鲜见报道。因此,本研究通过对怒江峡谷地区不同栽培条件和栽培措施下草果的经济产量进行分析讨论,以期 为怒江种植草果的宜植地选择和可持续发展提供积极的借鉴作用,并希望通过探讨环境因子和栽培措施对草果品质的影响为草果品质分级提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况

研究地区位于云南省西北部的怒江傈僳族自治州(25°33'~28°23'N, 98°09'~99°39'E),东临碧罗雪山,西为高黎贡山。境内最低海拔738 m,最高5 128 m,具有年温差小,日温高,干、湿季明显,四季不分明的低纬高原季风气候特征。本研究主要集中在海拔1 500 m以下的河谷江边,年平均气温16.8℃~20.1℃,大于或等于10℃年有效积温5 530℃~5 019℃,土壤偏酸,主要为红壤和赤红壤。复杂的地理环境和气候使当地成为动物学、植物学研究的热点地区^[15-18]。由于地理环境特殊,怒江地区民族文化保存完好,被誉为“自然博物馆”、“物种基因库”^[1]。怒江州是云南省傈僳族分布较为集中的地区,其中福贡县是傈僳族分布比例最高、文化保存最为完整的地方。本研究在福贡县马吉乡进行定点调查,该乡从2007年开始在杂木林中大面积种植草果,其中主要优势树种有尼泊尔桤木(*Alnus nepalensis* D. Don)、尼泊尔水东哥(*Saurauia napaulensis* DC.)、盐肤木(*Rhus chinensis* Mill.)、岗桉(*Eurya groffii* Merr.)、胡桃(*Juglans regia* L.)、绒毛山胡椒(*Lindera nacusua*(D. Don)Merr.)等。

1.2 实验设计

2014年9月在马吉乡共设置10个样地,分别为不同坡向(江东和江西),不同地形(山脊和山凹),不同混农林模式(天然林+草果,人工林+草果和玉米+草果),不同种植年限(6 a和7 a),不同管理强度(强和一般)的样地(表1、2)。管理强度依据对种植户问卷调查统计汇总而得,如认真选苗、每年除草超过3次、定时除鼠、每个月去草果地观察10次以上,管理强度则为强,其余则为一般。由于草果植株较大,样地坡度大,所以利用随机数表法在每个样地随机选取15蓬草果进行挂牌。

2014年10月11~21日对所有样地中挂牌的草果进行测产,取1 kg左右的草果样品,在每个样地中采用对角线法取土样,每个样地设5个取样点,每个取样点取深20 cm,宽10 cm,厚1~2 cm的土片,最后按照四分法取1 kg左右的土样回实

表1 研究样地环境因子

Table 1 Environmental factors of sample plots

样地代号	乔木盖度/%	坡向	坡度	海拔/m	地理坐标
WCF6M	70	东北坡NE	10°	1 378	27°23.702N098°49.556E
WCF6S	70	北坡N	10°	1 388	27°26.648N098°48.275E
WCF7M	70	东坡E	40°	1 568	27°23.598N098°49.489E
WCA6M	10	东北坡NE	10°	1 378	27°23.702N098°49.556E
WCM6M	50	东北坡NE	10°	1 378	27°23.702N098°49.556E
WCF7S	70	北坡N	10°	1 388	27°26.16N098°48.23E
WRF7M	60	北坡N	45°	1 669	27°22.636N098°49.713E
WRF6S	60	北坡N	45°	1 669	27°22.636N098°49.713E
ERF7M	60	西南坡SW	45°	1 522	27°23.783N098°55.021E
ERF7S	60	西南坡SW	45°	1 522	27°23.783N098°55.021E

说明：模式中，W/E分别代表怒江江西和江东(West/East)，C/R分别代表山凹和山脊(Corrie/Ridge)，F/A/M分别代表在天然林/人工林/玉米地(Forest/Artificial Forest/Maize)中种植草果，5/6分别代表种植5年和6年的草果，M/S分别代表管理强度中等和强(Moderate/Strong)。

Note: Letters in "sample code" have meanings as follow, W/E means western/eastern bank of Nujiang, C/R means corrie/ridge, F/A/M means planting *A. tsao-ko* under forest/artificial forest/maize field, 5/6 means the planting-life is 5/6 years, M/S means the management intensity is moderate/strong. NE means northwest while SW means southwets.

表2 样地分布

Table 2 Distribution of sample plots

环境因子		栽培措施			样地代号
坡向	地形	混农林模式	年限	管理强度	
江西	山凹	天然林+草果	6年	一般	WCF6M
江西	山凹	天然林+草果	6年	强	WCF6S
江西	山凹	天然林+草果	7年	一般	WCF7M
江西	山凹	人工林+草果	6年	一般	WCA6M
江西	山凹	玉米+草果	6年	一般	WCM6M
江西	山凹	天然林+草果	7年	强	WCF7S
江西	山脊	天然林+草果	7年	一般	WRF7M
江西	山脊	天然林+草果	6年	强	WRF6S
江东	山脊	天然林+草果	7年	一般	ERF7M
江东	山脊	天然林+草果	7年	强	ERF7S

验室。土壤样品利用常规方法测定 pH、全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)、有机质(OM)、水解氮(Hy.N)、速效磷(AP)、速效钾(AK)。

2014 年 11~12 月将采摘的草果样品晒干至水分含量 10%左右，用水蒸气蒸馏法提取草果精油，计算出油率，以癸酸乙酯(Ethyl caprate)为内标物(草果精油与癸酸乙酯比例为 3:1)，利用色谱-质谱联用仪(GC-MS)测定草果精油成分。

2015 年 5 月 12~22 日盛花期对不同立地条件、不同坡向和不同混农林模式的草果样地进行小气候监测。每块样地中分别选定 6 个点，从 9:00~17:00 每隔 1 h 测量 1 次温度、湿度、离地 5 cm 照度和离地 2 m 照度。

在 2015 年 4 月~5 月查阅福贡县 2006~2014 年农林牧渔综合报表，访问当地草果加工厂和林业部

门，对草果种植户进行入户调查。

1.3 观测指标及方法

1.3.1 经济产量 草果成熟时，利用镰刀将草果果穗从根茎处分离，记录每蓬草果穗数，并将草果粒从草果上剥离，记录每穗粒数，随机选取 100 粒草果称重，并测量样地种植密度，计算草果经济产量：

草果经济产量(kg/hm²)=每蓬穗数(个)×每穗粒数(个)×平均粒重(g)/1 000×种植密度(蓬/hm²)

式中：平均粒重(g)=百粒重(g)/100

1.3.2 草果精油出油率 称取干草果 50 g 左右(M₁)，用 BJ-150 克粉碎机粉碎 1 min 后用蒸馏水浸泡 1 h，采用中国药典(2010版第一部)规定的挥发油测定方法即水蒸气蒸馏法提取草果精油，提取时间为 4 h，冷却到室温后收油并用正己烷(Hexane)冲洗挥发油提取器，自然风干至恒重，记录草果精油重量(m₁)，

计算草果精油出油率^[12]。

草果精油出油率(mg/g)= $m_1(g) \times 1\,000/M_1(g)$

1.3.3 精油成分含量 利用 Aglient 5975C-7890A 型色谱-质谱联用仪分析; 色谱柱: HP-5MS(30 m×0.25 mm×0.25 μm)毛细管柱; 程序升温: 初始温度 40 ℃, 保持 1 min 后, 以 2 ℃/min 的速率升温至 150 ℃并保持 2 min, 再以 10 ℃/min 的速率升温至 260 ℃并保持 6 min; 进样口温度保持在 250 ℃, 样品用正己烷稀释为 0.5% 溶液, 进样量为 1 μL; 运载气体为氮, 流速 1.0 mL/min; 光谱扫描范围: 35~550 m/z。将分离出的成分的质谱与标准质谱数据库 NIST 08 中储存的质谱和文献的记录进行匹配对照, 确定精油成分, 成分相对含量采用内标法进行计算。

桉树脑含量(mg/g)= $[ms \times 1\,000/m] \times fi' Ai/fs' As$

式中: ms —癸酸乙酯质量(g);

m —称取草果质量(g)(草果精油质量/草果精油出油率);

fi' —桉树脑的相对质量校正因子;

fs' —癸酸乙酯相对校正因子;

Ai —桉树脑峰面积;

As —癸酸乙酯峰面积。

1.3.4 盛花期小气候变化 利用光温度测定仪(QRTI-2201)测定照度和温度, 利用温湿度计(SMART, AS847)测定环境湿度。

1.3.5 马吉乡经济变化 结合 PRA 工具^[19]及调查问卷表进行入户调查。PRA 是于 20 世纪 90 年代初发展起来并迅速推广运用的农村社会调查研究方法, 它是在国际上 20 世纪 80 年代广泛运用的农村快速评估(rapid rural appraisal, RRA)调查法的基础上, 结合了其他调查研究法, 如农业生态系统分析、运用人类学、农耕系统研究等, 经过多年的发展演变而成^[16]。

1.4 数据分析

数据采用 SPSS 19.0(SPSS, Chicago, IL, USA)进行单因素方差分析和双变量相关分析并用 LSD 法进行多重比较, 显著水平 $\alpha=0.05$; 图表采用 Sigmaplot 10.0(Systat Software Inc)制作。

2 结果与分析

2.1 坡向对草果经济产量与品质的影响

怒江东西岸草果经济产量差异极显著($p<0.01$), 位于江东的样地 ERF7M 草果经济产量仅为 413.16 ± 210.46 kg/hm², 同条件位于江西的 WRF7M 经济产量达到了 $3\,167.10 \pm 436.09$ kg/hm²(图 1-a)。WRF7M

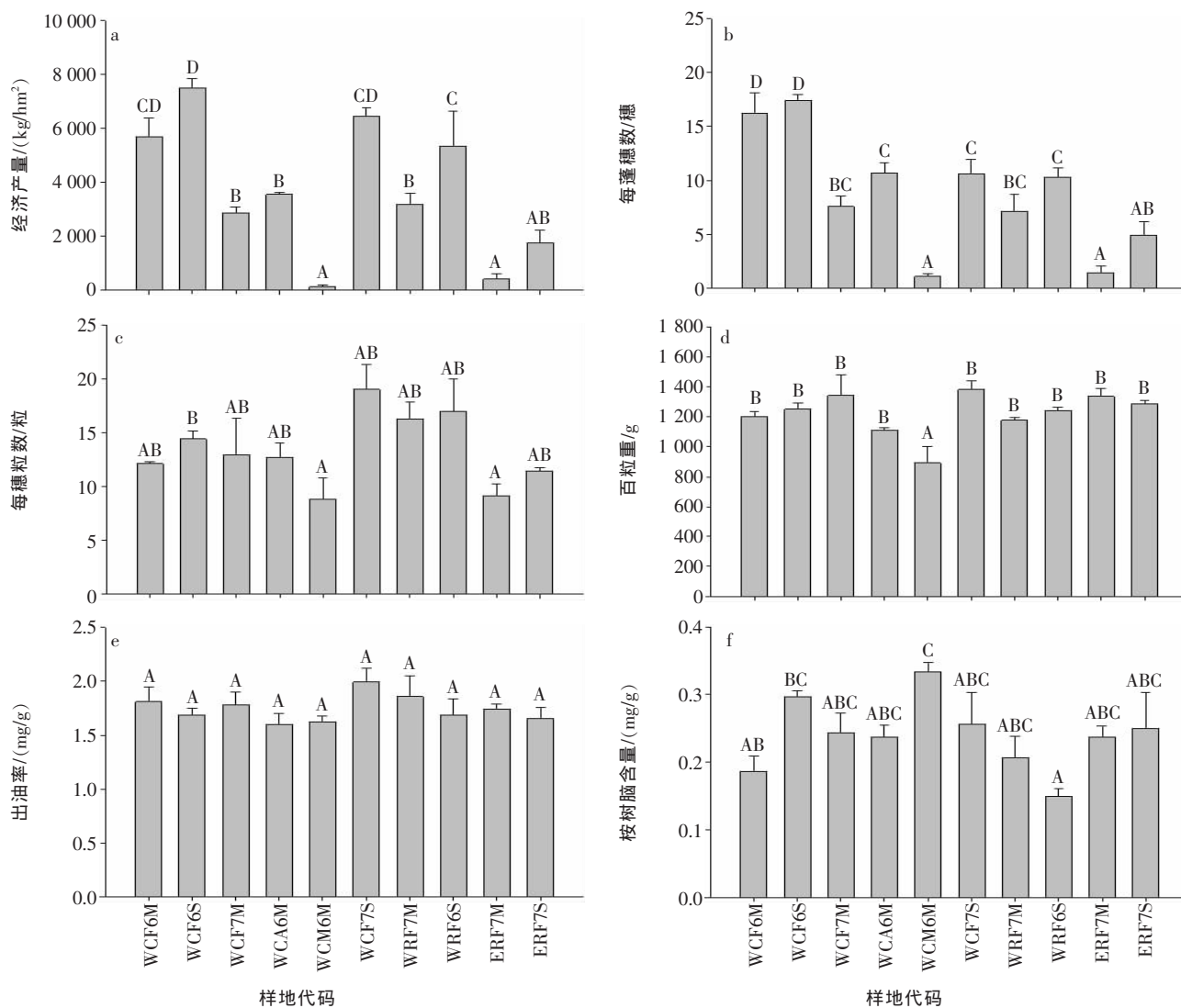
的经济产量构成因子每蓬穗数($p<0.05$)、每穗粒数($p<0.05$)也显著高于 ERF7M(图 1-b、c), 样地 ERF7M 草果的百粒重略高于样地 WRF7M(图 1-c), 但两者差异不显著。因此怒江东西岸草果产量构成因子差异主要在于每蓬穗数和每穗粒数即花芽数及开花结实率的不同。草果花粉为典型的蜂媒花粉, 是生活力易受环境因子影响的 3-细胞型花粉, 在高温与低湿条件下生活力极易丧失^[18], 在草果盛花期, 怒江东西两岸温湿度日变化呈现的不同趋势可能是造成不同坡向草果经济产量差异的主要原因(图 2-a)。在 10:00 以前, 江东江西环境温度相当, 但在 10:00 至 16:00 之间, 江西的环境温度均高于江东, 此后则相反。江西环境湿度在 10:00 以前略高于江东, 10:00 至 16:00 之间湿度开始下降, 且江西环境湿度低于江东, 16:00 以后江西环境湿度开始升高而江东环境湿度继续下降。怒江东西岸照度呈现出相反的变化趋势, 江西最高照度出现在 12:00 左右, 且上层照度有两个峰(图 2-b)。而江东照度在 16:00 达到最大, 无论是离地 5 cm 处还是离地 2 m 处的照度的高峰要远高于江西的高峰, 说明江东夕晒较多。上午江西草果地较江东温度高、湿度小、照度大, 利于花的开放和蜜蜂进行传粉, 下午江东由于照度太高, 直射使花瓣闭合, 不利于授粉。

怒江东西岸草果样地土壤营养成分差异较大, 江东的全氮、速效氮和有机质含量均高于江西, 原因可能是江东草果产量低于江西, 每年从土壤中移除的氮素少, 使得留在江东土壤中的氮素更丰富。但磷钾含量江东却低于江西(表 3), 可能是造成两岸产量差异的一个原因。

样地 ERF7M 草果的出油率略低于 WRF7M(图 1-e), 但草果精油中桉树脑的含量略高于江西(图 1-f), 两者差异并不明显, 说明坡向对于草果精油的出油率和主要成分影响不显著。

2.2 地形对草果经济产量和品质的影响

山脊和山凹的草果样地经济产量差异显著($p<0.05$), 位于山凹的样地 WCF6S 草果经济产量为 $7\,499.40 \pm 324.52$ kg/hm², 同条件下的山脊样地 WRF6S 经济产量为 $5\,350.40 \pm 1\,248.06$ kg/hm²(图 3-a)。两地的经济产量构成因子中, 穗数差异显著($p<0.05$)且 WCF6S 高于 WRF6S(图 3-b), 每穗粒数和百粒重差异则不明显(图 3-c、d), 说明地形也会通过影响草果开花结实来影响经济产量。在盛花期一天内, 山凹样地的温度较山脊处小, 湿度较山脊处大(图 3-a), 山凹照度无论是在 5 cm 处还是 2 m 处都低于山脊样地(图 3-b)。山凹处常有溪流经过, 所



同一变量的不同字母表示不同样地在 $\alpha=0.05$ 水平下差异显著。

Different letters in the same variable indicated significant differences among sample plot at 0.5 level.

图1 不同样地草果经济产量、每蓬穗数、每穗粒数、百粒重、出油率、桉树脑含量

Fig. 1 Economic yield, number of spike per plant, number of granule per spike, weight of 100 granule and the content of eucalyptol of *A. tsao-ko* of different sample plots

表3 不同样地的土壤成分

Table 3 The soil composition of different sample plots

模式样地代码	pH	TN/(g/kg)	TP/(g/kg)	TK/(g/kg)	OM/(g/kg)	H.yN/(mg/kg)	AP/(mg/kg)	AK/(mg/kg)
WCF6M	5.54	3.9	1.91	25.08	72.86	279	62.24	98
WCF6S	5.11	5.34	0.86	31.42	100.66	213.00	7.20	42.00
WCF7M	5.13	4.48	0.81	32.05	84.58	275.00	10.90	41.00
WCA6M	5.72	2.61	1.46	28.85	49.06	140.00	58.39	71.00
WCM6M	5.26	2.74	1.92	26.58	48.95	199.00	79.62	45.00
WCF7S	5.62	5.88	1.69	23.66	118.45	371.33	17.35	128.00
WRF7M	4.85	4.51	2.46	24.68	92.76	289.00	56.64	88.00
WRF6S	5.07	5.80	2.22	25.66	116.07	242.00	75.74	104.00
ERF7M	4.35	5.64	1.26	21.42	129.59	322.00	4.35	74.00
ERF7S	4.46	6.10	1.43	20.73	140.71	362.00	4.11	78.00

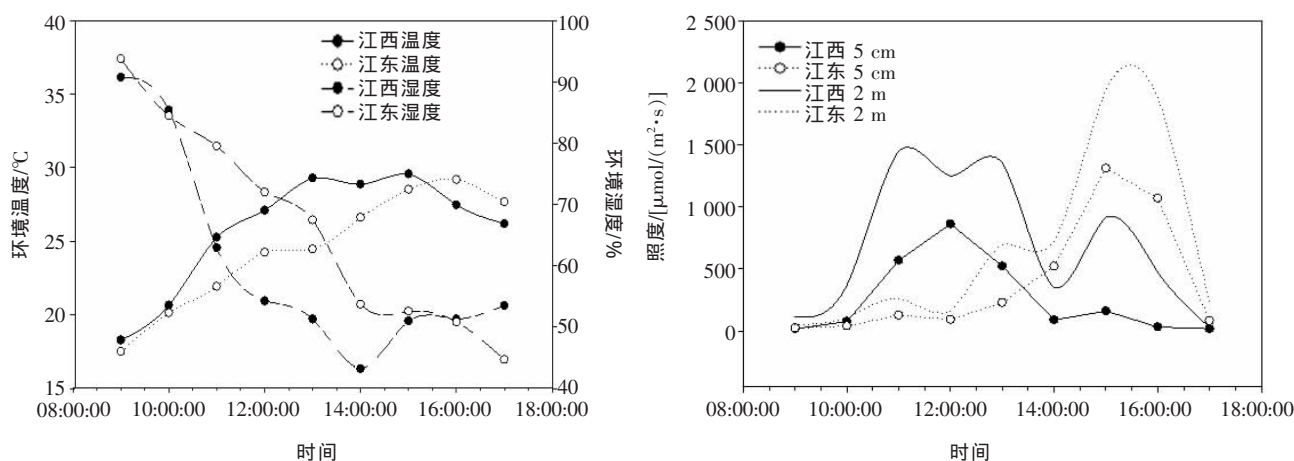


图2 不同坡向草果地盛花期温湿度及照度日变化图

Fig. 2 Daily variation diagram of temperature and humidity and illumination during full-blossom period of different aspects

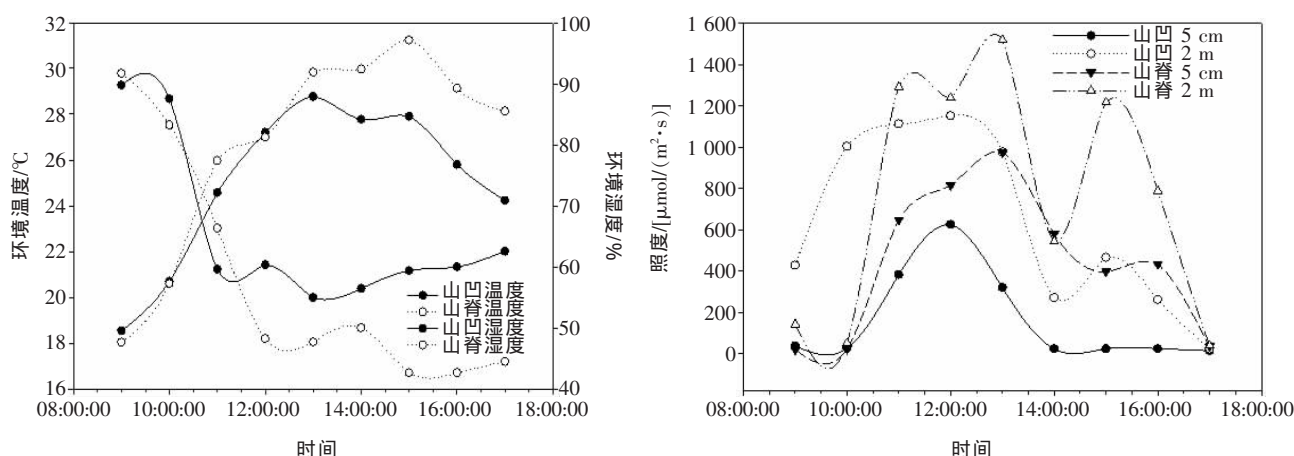


图3 不同地形草果样地盛花期温湿度及照度日变化图

Fig. 3 Daily variation diagram of temperature, humidity and illumination during full-blossom period of different topographies

以湿度较大,且原本就生长有较高大的树木使得林间的郁闭度较山脊大样地大,环境较山脊处凉爽,更适宜草果生长和开花结实。位于山脊的WRF6S样地土壤有效磷和有效钾的含量要远高于山凹样地WCF6S(表3),说明WRF6S样地中对于磷钾的吸收较少,但磷钾的这种趋势与江东江西正好相反,有关土壤磷钾对草果产量的影响还需进一步研究。

样地WRF6S和WCF6S的精油出油率差异不显著(图1-e),但WCF6S的桉树脑含量却显著高于WRF6S(图1-f),可能是WCF6S的环境更有利于精油中桉树脑的合成。

2.3 混农林模式对草果经济产量和品质的影响

3种混农林模式下草果经济产量差异极显著(图1-a),样地WCF6M的经济产量($5\,678.60 \pm 690.97\text{ kg/hm}^2$)显著高于样地WCA6M的经济产量($3\,547.40 \pm 78.01\text{ kg/hm}^2$)($p < 0.05$),二者的经济产量

都极显著高于样地WCM6M的经济产量($135.12 \pm 46.18\text{ kg/hm}^2$)($p < 0.01$)。每蓬穗数的差异在3种样地之间也极为显著($p < 0.01$)(图1-b),样地WCM6M的百粒重显著小于另外两块样地($p < 0.05$)(图1-d)。由于上层树种的荫蔽作用,天然林和人工林下种植的草果受到阳光直射的照度要远小于玉米地中的草果(图4-b),同时由于天然林中的乔木是生长15~20 a以上的大树,而人工林中为生长4~5 a的速生树种如水冬瓜,天然林中的郁闭度高于人工林(图4-b)。上层乔木的郁闭也使得样地WCF6M相比样地WCA6M和WCM6M,具有更高的湿度和更低的温度(图4-a),形成更有利于草果生长和开花结实的环境。样地WCF6M土壤中的全氮、有机质和水解氮的含量也远高于WCA6M和WCM6M样地(表3),造成这种差异的主要原因是人工林和玉米地相对于天然林有较少的天然枯落物积累,土壤肥力低,这

也是造成 WCA6M 和 WCM6M 样地经济产量低于 WCF6M 的原因之一。

不同混农林模式的样地苹果精油出油率差异不显著(图 1-e), 但桉树脑含量差异显著($p < 0.05$)(图 1-f),

其中样地 WCM6M 的桉树脑含量要显著高于其余样地, 同时样地 WCM6M 的百粒重在所有样地中最低, 百粒重与桉树脑含量之间的相关系数为 $r = -0.17$, 两者之间呈负相关, 但相关关系并不显著。

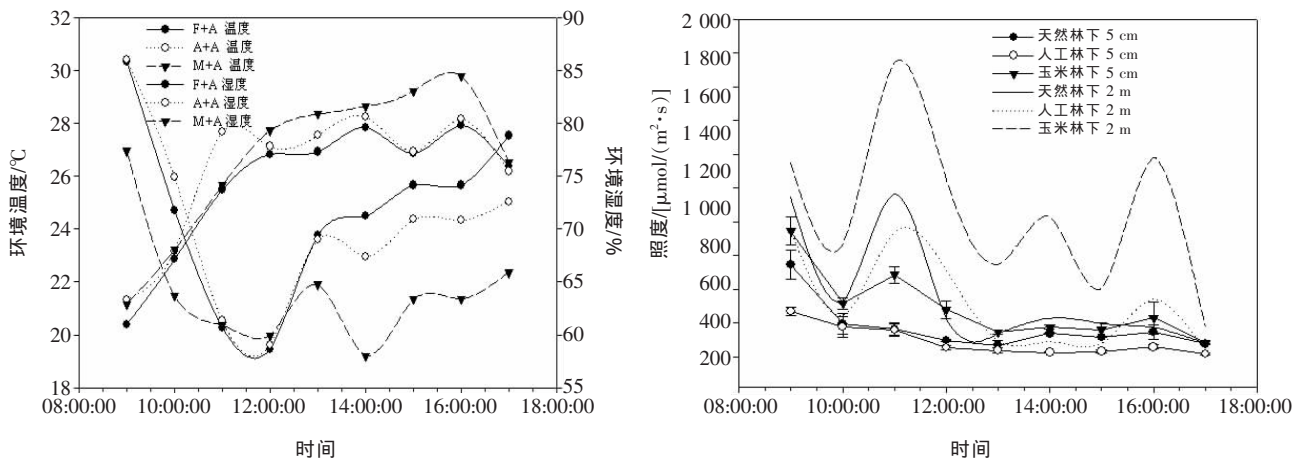


图4 不同混农林模式苹果样地盛花期温湿度及照度日变化
Fig. 4 Daily variation diagram of temperature, humidity and illumination during full-blossom period of different agro-forestry models

2.4 种植年限对苹果经济产量和品质的影响

虽然 6 年生苹果的经济产量高于 7 年生的苹果(图 1-a), 样地 WCF6S 的经济产量高于样地 WCF7S 的经济产量, 但二者差异不显著($p > 0.05$), 管理强度中等的 6 年生苹果样地 WCF6M 的经济产量显著高于同条件的 7 年生苹果样地 WCF7M 的经济产量($p < 0.05$)(图 1-a)。说明管理强度中等的条件下, 种植年限对经济产量的影响更显著。7 年生的苹果每蓬穗数显著低于 6 年生苹果的每蓬穗数(图 1-b), 说明 7 年生苹果的花芽分化较 6 年生的少。7 年生的苹果土壤肥力要高于 6 年生的苹果土壤, 其中土壤有机质和速效氮磷钾的含量增加幅度较大(表 3), 这与苹果的管理方式有关, 苹果种植过程中每年会将砍除的草本和枯枝堆放在田间, 对土壤肥力提高起到了促进作用。

7 年生苹果的出油率要略高于 6 年生的苹果(图 1-e), 但两者差异不显著, 其中 WCF7S 样地的出油率最高, 即精油含量最高, 但与其他样地的差异并不显著。种植年限对于苹果中桉树脑含量的影响并不明显(图 1-f)。

2.5 管理强度对苹果经济产量和品质的影响

管理强度高的苹果样地经济产量要高于管理强度中等的苹果样地(图 1-a), 但差异并不显著, 位于江东的样地 ERF7S 经济产量高于同条件下样地 ERF7M 的经济产量($p > 0.05$), 位于江西的样地 WCF6S 的经济产量高于同条件下样地 WCF6M 的

经济产量($p > 0.05$), 样地 WCF7S 的经济产量显著高于样地 WCF7M 的经济产量($p < 0.05$)(图 1-a)。说明管理强度高会使经济产量增加, 尤其是对 7 年生的苹果进行高强度的管理会显著提高经济产量。管理强度高的样地中苹果的每蓬穗数、每穗粒数都高于管理强度中等的样地(图 1-b、c), 但差异不显著($p > 0.05$)。

管理强度对于苹果精油出油率影响不显著(图 1-e), 管理强度大的样地苹果桉树脑含量略高于管理强度中等的样地, 但差异并不显著, 说明管理强度对于精油含量和出油率影响并不大。管理强度中等, 6 年生苹果桉树脑含量更高(图 1-f), 管理强度高则 7 年生的苹果略高, 但差异都不显著, 管理强度和年限可能对桉树脑含量具有交互影响。

2.6 苹果种植对当地生态和经济的影响

结合马吉乡统计办资料和对苹果种植户、林业部门的调查、访谈, 发现苹果种植后粮食播种面积减少, 人均收入增加(图 5), 且家庭年收入与年支出都与苹果种植面积呈显著正相关(表 4)。

2006 年起马吉乡粮食播种面积从 1 865.53 hm^2 减少至 1 381.13 hm^2 , 根据对马吉乡林业部门的访谈得知造成这种现象主要是因为用耕地植树种植苹果以及从大面积种植苹果后对苹果管理占用了对粮食作物管理的时间。2007 年往后, 粮食播种面积逐年缓慢下降直至 2013 年的 1 330.2 hm^2 , 同时人均收入则逐年上升, 从 793 元上升至 2 760 元(图 5),

说明随着草果经济效益的日渐显著,当地居民逐渐将更多的耕地和经历投入到草果种植上,从客观上促进了退耕还林。耕地的减少还意味着化肥使用量的减少,调查中发现,在种植草果以前平均每户每年投入2~3包(50 kg/包)复合肥用于玉米种植,而除了特别贫瘠的土地,草果几乎不需要施用化肥。经过几年种植以后,由于杂草、草果老株还田等措施,使得土壤肥力得到提高,种植5 a以上的草果地不需要使用化肥。

草果种植前后家庭的年收入和年支出均有增

加,家庭年收入最高增加509%,家庭年支出最高增加400%。数据分析表明,家庭年收入和年支出变化与草果种植面积间具有显著的相关关系($p<0.01$),相关系数分别为 $r_1=0.793^{**}$ 和 $r_2=0.535^{**}$ (表4)。草果收入占家庭年收入的48.54%,在没有薪资收入的调查户中,草果收入占到了家庭收入的55.32%。说明种植草果使家庭经济收入和生活质量都得到了很大的提高,但是家庭收入对草果收入太过于依赖,草果种植面积对家庭收入的影响大,自留山面积的差异(0.67~20 hm^2)拉大了农民之间的贫富差距。

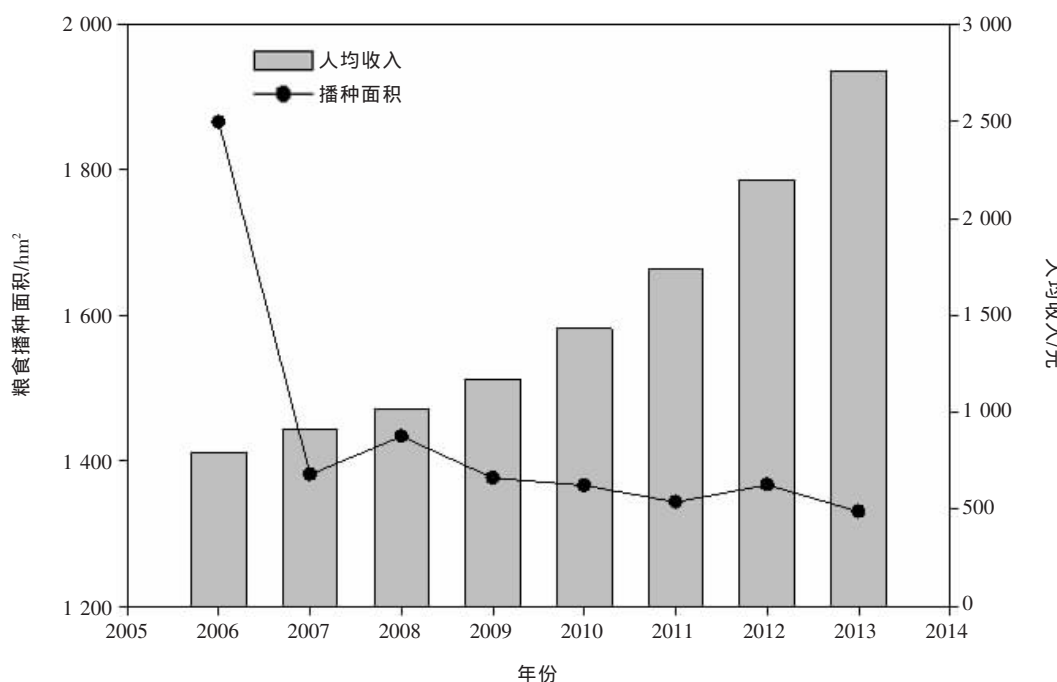


图5 马吉乡2006~2014年粮食播种面积与人均收入变化图

Fig. 5 Changes of the sown area of grain and per capita income from 2006 to 2014 in Maji village

表4 种植面积与家庭年收入和家庭年支出之间的相关系数

Table 4 The correlation coefficient and planting area and annual household income and expense

Pearson相关性	家庭年收入变化/%	家庭年支出变化/%	草果种植面积
家庭年收入变化/%	1 ^c	0.708 ^{**}	0.793 ^{**}
家庭年支出变化/%	0.708 ^{**}	1	0.535 ^{**}
草果种植面积/ hm^2	0.793 ^{**}	0.535 ^{**}	1

c: $n=26$ 。

**：在0.01水平(双侧)上显著相关。

**means significant correlation on $\alpha=0.01$ level (two tails) .

3 讨论与结论

草果生长对环境要求严格,林地选择必须充分重视自然环境,特别是雨季开始的时间、年降水量及分配情况,花期雨水过多不利于结实,高温低湿和低温高湿对结实都不利^[20-21]。本实验结果表明,种植于阳光直射强度大,环境湿度小的江东、山脊

和玉米中的草果经济产量和果穗数都要显著低于同条件下种植于江西、山凹和林地上的草果。说明虽然怒江峡谷地区环境适宜种植草果,但是小气候的差异也会对草果经济产量产生影响,在选取宜植地的时候要充分考虑环境因子和栽培措施对小气候产生的影响。草果结实率受温度、湿度的变化影响极

大,主要表现在对花的开放、柱头生活力的影响上,目前对影响草果开花结实环境因子的研究也主要集中在盛花期气候变化上^[22-23],草果其余生长期的气候变化对其结实的影响还需进一步探讨。

草果适宜种植在深厚肥沃、富含腐殖质, pH 值在 4.5~5.5 之间的山地黄壤或者砖红壤中^[24]。本实验表明,怒江地区土壤整体偏酸性,适宜草果生长,在土壤腐殖质深厚的天然林地中种植的草果经济产量也显著高于种植于人工林和玉米地中的草果。种植草果还有利于增加土壤肥力,种植 7 a 的草果样地土壤肥力高于种植 6 a 的草果样地,这与草果适应刀抚的种植方式有关,随着每年草果老株和田间杂草的还田,草果地的土壤肥力得到很大改善。在耕地上种植人工林,再在人工林下种植草果的模式有利于促进生态退耕还林,这与戴开结等的研究结果相符^[20]。段其武等^[25]对云南热区草果种植的经济效益分析发现种植草果的林地枯落物比天然林明显减少,林内植物种类减少,近、成熟林木和衰退种群的比例增大,影响了森林的植物群落稳定性和物种的多样性,不利于森林的自然演替,但有关草果种植对天然林地物种群落的影响在怒江地区还没有得到足够的重视,需要投入更多的相关研究以避免草果大面积种植对生态环境造成破坏。

对草果精油含量和成分已有很多学者做过研究,查云盛等^[28]的研究表明怒江地区草果精油出油率为 1.0%~1.8%。采用同样的方法,本研究得出草果精油的出油率为 1.6%~2.0%,略微高一些,具体原因还需进一步分析。微波辅助萃取法和超声波辅助萃取法、乙酸乙酯萃取法、正己烷萃取法、固相微萃取等也广泛用于草果精油的萃取,韩林等以正己烷为溶剂提取草果精油,平均得油率为 3.26%^[11,29-31]。本研究中,环境因子和栽培措施对草果精油的出油率并没有显著的影响,但 7 年生的草果精油出油率要略高于 6 年生的草果,年限与草果精油含量可能有一定的相关性,但目前还没有草果精油含量与年限之间关系的报道。

草果精油的主要成分有 40 余种,本研究鉴定的草果成分也在 37~44 种之间,主要成分为桉树脑(22.88%~32.73%),柠檬醛(9.75%~17.76%), 2-癸烯醛(10.70%~14.97%), 2-异丙基苯甲醛(4.65%~9.64%), 2-月桂烯醛(4.63%~7.56%)等,这与李祖强、孟大威等人^[9,13]的研究结果略有不同。在本研究中,香叶醇、橙花叔醇、 β -蒎烯等在草果精油中的含量并不高,但在其余报道中则被列为主要成分。查云盛等^[28]对怒江州不同草果产地草果所含挥

发油含量进行了研究,发现草果挥发油含量有区别,分别为:上江(1.0%),称杆(1.8%),普拉底(1.2%);张琪等^[32]的研究发现云南和广西等不同产地草果挥发油在化学成分和成分含量上存在一定的差异,但主要成分类似。品质差异与产地之间的关系还需在更大的范围上进一步研究。环境因子和栽培措施对干草果中桉树脑含量影响不显著,说明草果品质受二者的影响并不大,可能与加工方式和果形等关系更显著^[4,33]。在调查的样地中,产量最低的 WCM6M 样地的桉树脑含量显著高于其余样地,精油品质与草果产量之间的相关关系还需进一步研究。

草果用工少、经济价值高,对草果种植户的调查发现种植户普遍想通过增加草果种植面积来增加收入,但本研究的结果表明,加强管理对草果经济产量有很大的提高,入户调查中也发现草果单产最高的种植户草果种植面积仅有 0.667 hm²,经济产量却与平均水平下 1.334 hm² 草果经济产量相当。种植草果对当地经济带来了变化,种植户家庭购买能力增强,段其武等认为草果种植对促进经济繁荣^[6]。草果种植后,马吉乡粮食播种面积显著下降,说明草果种植客观上促进了退耕还林。

综上所述,环境因子和栽培措施对草果经济产量影响较大,在怒江峡谷地区选择草果宜植地时要考虑环境的影响,并加强管理才能获得较高的经济产量。草果品质受环境因子和栽培措施影响小,影响怒江草果品质的因子还需要更进一步分析。草果种植对怒江地区生态和经济都有积极的影响,但家庭收入对于草果过于依赖,没有抵御市场变化的能力,在怒江地区还需要发展更加多样化的支柱产业,同时草果种植面积的盲目扩张对天然林生物多样性的影响也应该引起重视。

参考文献

- [1] 蔡定昆. 兼顾发展权与可持续性的怒江流域开发模式研究[D]. 成都: 西南财经大学, 2011.
- [2] 李志雄. 怒江流域开发与环境保护的关系[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2004.
- [3] 段书德, 俞龙泉. 中国草果的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(28): 13 443-13 444, 13 458.
- [4] 马 洁, 张丽霞, 彭建明. 西双版纳引种栽培草果的化学成分研究[J]. 中成药, 2008, 30(08): 1 192-1 194.
- [5] 张永弼. 龙陵县草果丰产栽培试验[J]. 林业调查规划, 2011, 36(02): 113-116.
- [6] 段其武, 陈爱国, 刘宏茂. 云南热区种植草果的生态经济效益分析[J]. 生态经济, 1996(05): 38-40.
- [7] 杜 玫, 谢家敏. 草果杆精油化学成份的研究[J]. 云南化工, 1994(03): 17-18.

- [8] 韩林, 汪开拓, 王兆丹, 等. 草果精油的化学组成、抗氧化及抑菌活性研究[J]. 食品工业科技, 2013(14): 152-155.
- [9] 李祖强, 罗蕾, 代万华, 等. 滇产草果的精油成分[J]. 云南植物研究, 1998, 20(01): 119-122.
- [10] 陆占国, 王鹏君, 重松正巳, 等. 顶空固相微萃取-气质分析草果果实香气成分研究[J]. 香料香精化妆品, 2010, 8(04): 17-21.
- [11] 孟大威, 李伟, 王鹏君, 等. 草果香气成分研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2012, 28(06): 703-707.
- [12] 陆占国, 孟大威, 李伟, 等. Clevenger法提取草果精油的化学组成及清除 NaNO_2 能力[J]. 天然产物研究与开发, 2013, 25(02): 207-211.
- [13] 孟大威, 李伟, 王鹏君, 等. 草果精油萃取方法及清除DPPH自由基能力研究[J]. 香料香精化妆品, 2013, 12(06): 17-22.
- [14] 杨丽娟, 张征, 李俊峰, 等. 云南金平草果精油的微波萃取及化学成分研究[J]. 中药材, 2004, 27(11): 821-823.
- [15] Chambers R. The origins and practices of participatory rural appraisal[J]. World Development, 1994, 23(7): 953-969.
- [16] Chen S, Hu Q, Xie Y, et al. Origin of Tibeto-Burman speakers: evidence from HLA allele distribution in Lisu and Nu inhabiting Yunnan of China[J]. Human immunology, 2007, 68(6): 550-559.
- [17] Dai Y, Cao J, Tang X, et al. [Diversity of Frankia in nodules of *Alnus nepalensis* at Gaoligong Mountains revealed by IGS, PCR-RFLP analysis][J]. The journal of applied ecology, 2004, 15(2): 186-190.
- [18] Dong Z M, Yao Y F, Shi L, et al. Association between Alu insertion polymorphisms and HLA class I alleles in Chinese Lisu and Nu ethnic populations[J]. Chinese journal of medical genetics, 2012, 29(2): 222-228.
- [19] 张志, 朱清科, 朱金兆, 等. 参与式农村评估(PRA)在流域景观格局研究中的应用——以晋西黄土区吉县蔡家川为例[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(01): 25-31.
- [20] Durrenberger P. Lisu curing: a case history[J]. Bulletin of the history of medicine, 1976, 50(3): 356-371.
- [21] 崔晓龙, 魏蓉城, 黄瑞复. 草果花粉生活力的研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 1995, 17(03): 284-289.
- [22] 崔晓龙, 魏蓉城, 黄瑞复. 草果开花结实的生物学特性[J]. 西南农业学报, 1996, 9(01): 109-113.
- [23] 杨耀文, 普春霞, 刘小莉, 等. 不同处理方法对草果种子生活力测定的影响[J]. 时珍国医国药, 2010, 21(11): 2783-2784.
- [24] 覃文流, 蓝祖裁, 李万成. 草果繁殖栽培技术[J]. 大众科技, 2008, 107(07): 131-132.
- [25] 戴开结, 唐丽, 周德明. 论退耕还林地替代天然林地种植草果的生态学意义[J]. 湖南林业科技, 2004, 31(05): 64-66.
- [26] 胡永琼. 草果高产栽培技术[J]. 云南农业科技, 2012, (02): 42-43.
- [27] 付益剑, 白春宏, 祝建华. 云南怒江草果产业发展现状及对策[J]. 热带农业科技, 2011, 34(01): 33-35.
- [28] 查云盛, 张国凤, 张明龙, 罗丽美. 怒江州不同产地草果挥发油含量比较研究[J]. 中国民族民间医药, 2009, (09): 13.
- [29] Wang Y, You CX, Wang CF, et al. Chemical constituents and insecticidal activities of the essential oil from *Amomum tsao-ko* against two stored-product insects[J]. Journal of oleo science, 2014, 63(10): 1019-1026.
- [30] 韩林, 汪开拓, 王兆丹, 等. 草果精油的化学组成、抗氧化及抑菌活性研究[J]. 食品工业科技, 2013(14): 152-155.
- [31] 代敏, 彭成. 草果的化学成分及其药理作用研究进展[J]. 中药与临床, 2011, 2(04): 55-59.
- [32] 张琪, 黄燕, 杨扬. 草果挥发油的研究进展[J]. 时珍国医国药, 2014, 25(04): 931-933.
- [33] 马洁, 张丽霞, 彭建明. 西双版纳引种栽培草果的化学成分研究[J]. 中成药, 2008, 30(08): 1192-1194.

责任编辑: 叶庆亮