

## 岷江上游椒农间作模式能流、物流及价值流研究

刘成刚<sup>1,2</sup>, 黄强<sup>3</sup>, 邓铭瑞<sup>1,2</sup>, 沈贤宇<sup>1,2</sup>, 刘丽娟<sup>1,2</sup>, 张林<sup>1</sup>, 李伟<sup>1</sup>, 潘开文<sup>1\*</sup>

1. 中国科学院成都生物研究所山地生态恢复与生物资源利用重点实验室, 生态恢复与生物多样性保育四川省重点实验室, 四川 成都 610041;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 阿坝州林业科学研究所, 四川 汶川 623000

**摘要:** 椒农间作作为岷江上游花椒种植的主要方式, 其系统内不合理的结构导致了能流和物质流效益的下降, 严重制约了系统的价值转化效益。因此, 优化、筛选和评价岷江上游不同椒农间作模式, 促进该区域农田生态系统的良性循环, 进而提高当地农户的花椒经济收益显得尤为重要。以岷江上游茂县叠溪镇椒农间作模式为研究对象, 通过入户访谈和田间调查相结合的方法, 分析了该地区花椒 *Zanthoxylum bungeanum* 间作辣椒 *Capsicum annuum*(M1)、花椒间作马铃薯 *Solanum tuberosum*(M2)、花椒间作玉米 *Zea mays*(M3)、花椒间作杂草(M4)及花椒间空地(M5)等 5 种模式的能流、物质流及价值流的数量特征。结果表明, ① 5 种间作模式的投能结构相对简单, 投能利用率较低, 农业生产处于中低水平。此外, 需特别调整人力投能分配的比例。② 该区氮磷输入较多, 但钾素整体处于亏缺状态, 故应适时适当补充钾素, 以保持较好的耕地土壤肥力。③ 间作高秆和对氮磷钾需求较高的农作物经济效益较低, 建议在今后间作过程中尽量避免。④ 利用隶属函数法对系统的能流、物流及价值流进行了综合评价, 其结果排序为 M4(0.701) > M1(0.536) > M3(0.387) > M2(0.347) > M5(0.215)。以上表明, 人为干扰是影响该区椒农间作系统结构与功能的重要因素, M1 模式为较优模式, 但仍需注重其生态系统稳定性的提高与维持。

**关键词:** 岷江上游; 椒农间作; 能流; 物质流; 价值流

中图分类号: S181

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2013) 01-0116-07

**引用格式:** 刘成刚, 黄强, 邓铭瑞, 沈贤宇, 刘丽娟, 张林, 李伟, 潘开文. 岷江上游椒农间作模式能流、物流及价值流研究[J]. 生态环境学报, 2013, 22(1): 116-122.

LIU Chenggang, HUANG Qiang, DENG Mingrui, SHEN Xianyu, LIU Lijuan, ZHANG Lin, LI Wei, PAN Kaiwen. Energy, material and value flows in the different systems of Chinese prickly ash-crop intercropping in the upper reaches of the Minjiang river [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(1): 116-122.

能量流动和物质循环是农业生态系统的基本功能, 是系统结构和功能的综合反映<sup>[1-3]</sup>。农业生态系统的组分及量比关系不同, 其能流、物质流转化路径、效率也不同, 加之价值流的导向作用, 进而决定了整个系统生产力的高低<sup>[4-5]</sup>。能流、物质流及价值流分析是推动生态农业可持续发展的必要手段, 能客观定量评价农业生态经济系统的生态效果<sup>[2]</sup>。目前, 国内外对农林复合系统中物流、能流和价值流的研究较多, 但有关我国岷江上游最主要的农业种植系统—椒农间作系统的能流、物质流和价值流的研究尚未见报道。

岷江上游地区是我国主体功能区的重要组成部分, 也是野生大熊猫的重要栖息地之一, 是生态建设的攻坚地段。经历 2008 年汶川 5.12 特大地震后, 岷江上游河谷地区的生态环境变得更加脆弱。花椒 *Zanthoxylum bungeanum* 是岷江上游河谷区的重要经济作物, 由于花椒不能连茬, 所以,

花椒死亡后, 当地农户毁林开荒种植花椒。因此, 加强花椒林地的可持续经营对巩固岷江上游生态建设成果, 维持系统的稳定性具有十分重要的现实意义。有关岷江上游花椒的研究报道主要集中在花椒凋落叶分解<sup>[6]</sup>及其对土壤理化性质和幼苗生长的影响<sup>[7-8]</sup>, 化感物质及潜力<sup>[9-10]</sup>以及椒林系统植物物种组成对花椒病虫害和生长的影响<sup>[10]</sup>。椒农间作是岷江上游花椒种植的传统实践, 花椒林系统内不合理的结构导致了能流、物质流效益低下, 制约了系统的价值转化效益<sup>[12-13]</sup>。因此, 优化、筛选和评价岷江上游椒农间作系统有利于促进该区域花椒林可持续经营, 尤其是增加当地农民的花椒经济收益。

### 1 研究区概况与方法

#### 1.1 研究区概况

研究区位于青藏高原东缘横断山区岷江上游干旱河谷地带的茂县叠溪镇, 属亚热带季风气候,

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划专题项目(#2011BAC09B04-01-03)

作者简介: 刘成刚(1985年生), 男, 博士, 主要从事农业生态学研究。E-mail: chenggangliu@yahoo.com.cn

\*通讯作者: 潘开文

收稿日期: 2012-10-29

年均日照时数 1 557 h, 太阳辐射总量 42 亿  $J \cdot m^{-2}$ , 年均温 11.2  $^{\circ}C$ , 极端低温-11.6  $^{\circ}C$ , 高温 32  $^{\circ}C$ ,  $\geq 10^{\circ}C$  积温 3 293.3  $^{\circ}C$ , 无霜期 216 d, 年降水量 491 mm, 平均蒸发量 1 376 mm。土壤以褐土、棕壤为主。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 数据采集

采用抽样调查的方法, 于 2012 年对叠溪镇 52 个花椒种植农户的生态农业生产情况(包括间作方式、农药化肥施用、薄膜用量、人畜力投入等 65 项)进行详细调查, 获得各种农业生态经济系统要素的数据 3 500 多个。通过分析将当地椒农间作模式归纳为五类: 花椒间作辣椒 *Capsicum annuum*(M1)、花椒间作马铃薯 *Solanum tuberosum*(M2)、花椒间作玉米 *Zea mays*(M3)、花椒间作杂草(M4)及花椒间空地(M5)。

### 1.2.2 物质成分测定和数据折算

对上述 5 种椒农间作模式中的花椒树进行每木检尺, 并随机挖取 3 株平均木测定生物量, 进而得出不同地块花椒林总生物量。杂草生物量采用  $1 m \times 1 m$  样方收割后, 烘干称质量得到。同时, 采集样地内所有植物样品, 进行氮、磷、钾含量测定<sup>[14]</sup>。花椒和林下作物产量采用农户调查的综合平均数据, 产品价格按 2012 年当地平均单价为准。农田投入的有机肥、化肥、农药、薄膜、人畜力等根据农户调查的数据计算, 各折能系数参考“农村技术经济手册”和他人的研究结果<sup>[3, 15-21]</sup>。

### 1.2.3 数据处理

采用 Excel 2007 进行入户调查和室内测定数据的整理; 基于 SAS 9.1, 采用 ANOVA 法分析不同椒农间作模式对能流、物质流及价值流各总输入、输出指标有无显著性影响( $P < 0.05$ ) 并进行 LSD 多重比较; 采用隶属函数法进行排序与综合评价。

## 2 结果与分析

### 2.1 能流

#### 2.1.1 能流密度

能流密度是指在单位土地面积上所流动的能量。花椒间作马铃薯(M2)模式输入的有机能和无机能均最高, 最小有机能出现在花椒间作辣椒(M1)模式中, 但其较大的无机能在一定程度上弥补了有机能的缺失, 使其辅助能处于中间水平。花椒间作杂草(M4)和花椒间空地(M5)模式的有机能和无机能都相对较低, 这与农田的经营管理程度密切相关。在 M1、M2 和花椒间作玉米(M3)模式下, 花椒和农作物的输出能流密度呈现不同规律, 但三者的初级产能均显著高于 M4 和 M5 模式( $P < 0.05$ )。这表明间作农作物能极大地提高系统整体的生产力水平, 进而提高能流密度(表 1)。

表 1 系统能流密度

Table 1 Energy flowing density of systems

模式	输入/(MJ·hm <sup>-2</sup> )			输出/(MJ·hm <sup>-2</sup> )		
	有机能	无机能	辅助能	花椒	农作物	初级产能
M1	1044.2	27413.1	28457.3c	23699.7	23269.2	46968.9b
M2	2267.9	47475.8	49743.8a	29071.7	14689.7	43761.4c
M3	1747.4	32919.2	34666.6b	23957.4	34486.5	58443.9a
M4	1206.4	10260.5	11466.9e	25146.8	0	25146.8d
M5	1530.4	10115.2	11645.6d	18151.7	0	18151.7e

注: 同一列不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

#### 2.1.2 系统投能结构

##### 1) 有机能投入结构。

投能结构是指在投入系统能量中有机、无机能比例及其各自组成。在 M1、M2 及 M3 模式下, 系统有机能投入占总投能的比例相似, 但三者有机能组成不同, 其中有机肥投入分别占劳动力的 25.31%、14.68%和 18.15%(表 2), 有机能投入比例较低, 因此, 应适当提高有机肥投入的比例。M4 和 M5 模式系统投能结构为有机能投入分别占总投能的 10.52%和 13.14%, 且主要以劳动力为主, 分别达 89.37%和 80.36%, 说明林下未间作农作物时农户仍需投入较大人力去经营管理(表 2)。

##### 2) 无机能投入结构。

M1、M2及M3模式中无机能投入占总投能的比例相对较高, 分别为 96.33%、95.44%和

表 2 系统能量投入结构

Table 2 Energy input structure of systems

模式	有机能投入/(MJ·hm <sup>-2</sup> )		无机能投入/(MJ·hm <sup>-2</sup> )				有机能投入/(MJ·hm <sup>-2</sup> )	无机能投入/(MJ·hm <sup>-2</sup> )	总投入能/(MJ·hm <sup>-2</sup> )	有机能/总投入能 (%)	无机能/总投入能 (%)
	劳动力	有机肥	化肥	农药	塑料薄膜	常用农具					
M1	833.3	210.9	3050.4	924.4	1925.2	21513.2	1044.2e	27413.1c	28457.3c	3.67	96.33
M2	1977.7	290.3	5766.3	1232.7	1756.6	38720.4	2267.9a	47475.8a	49743.8a	4.56	95.44
M3	1478.9	268.4	4477.8	794.1	1277.3	26369.9	1747.4b	32919.2b	34666.6b	5.04	94.96
M4	1078.1	128.3	1490.7	639.4	0	8130.5	1206.4d	10260.5d	11466.9e	10.52	89.48
M5	1229.9	300.6	2778.7	1496.3	0	5840.2	1530.4c	10115.2e	11645.6d	13.14	86.86

同一列不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

94.96%(表2), 主要与间作农作物时薄膜的施用量增加有关。M4和M5模式的这一比例较低, 这是由于系统中有机能增加而减少了无机能投入的结果。系统中无机能的投入虽主要为常用农具能, 但其是对相应模式高度适应的结果, 其后续投入量将不会发生较大变化, 故下文做综合评价分析时不将其计算在总无机能投入中。系统中其他无机能组分投入比例差异较大, 但均不能完全满足系统需求, 应根据具体模式适当提高(表2)。

### 3) 人工辅助能投入结构。

人工辅助能指系统外的能量。5种模式的人工辅助能差异较大, 最大为M2模式的49743.8 MJ·hm<sup>-2</sup>, 最小为M4模式的11466.9 MJ·hm<sup>-2</sup>, 这一结果与当地实际相吻合。5种模式人工辅助能投入结构为有机能/无机能的比值分别是0.04、0.05、0.05、0.12和0.15, 与有机能投入/总投入能的趋势相一致, 但均与有机生态系统的要求相差较大(表2)。

#### 2.1.3 系统产能结构

能量产能结构是指在所有产出能中, 各产出能的比例和流向。M1、M2及M3模式的经济产能显著高于M4和M5( $P < 0.05$ ), 这与间作农作物对其有较大贡献密切相关(三者贡献率分别为49.54%、36.61%和59.01%)(表3)。M4和M5模式经济产能完全取决于花椒的产出能大小, 因此两者均较小, 仅为最大M3的43.03%和31.06%。

表3 系统能量产出结构

Table 3 Energy output structure of systems

模式	初级生产/(MJ·hm <sup>-2</sup> )		经济产能/(MJ·hm <sup>-2</sup> )
	花椒	农作物	
M1	23699.7	23269.2	46968.9b
M2	29071.7	14689.7	40124.1c
M3	23957.4	34486.5	58443.9a
M4	25146.8	0	25146.8d
M5	18151.7	0	18151.7e

同一列不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

#### 2.1.4 系统能量产投结构

能量产投结构是指各产出能占总投入能的比值。在M1、M3、M4及M5模式中, 经济产能/总投入能比值均大于1, 说明这四种模式系统自然资源利用率相对较好。而M2模式的比值仅为0.81, 说明M2系统内虽劳动力、有机无机肥投入加大, 总投入能相应提高, 但经济产能增幅较小, 因而其比值降低(表4)。

## 2.2 物质流

### 2.2.1 氮磷钾投入状况

5种模式投入的氮磷钾数量存在差异, 但具

表4 系统能量产投结构

Table 4 Energy input and output structure of systems

模式	经济产能/(MJ·hm <sup>-2</sup> )	总投入能/(MJ·hm <sup>-2</sup> )	经济产能/总投入能
M1	46968.9	28457.3	1.65b
M2	40124.1	49743.8	0.81d
M3	58443.9	34666.6	1.69b
M4	25146.8	11466.9	2.19a
M5	18151.7	11645.6	1.56c

有以下共同特点: ① 农家肥氮钾的投入量几乎相当, 两者均高于磷的投入量; ② 化肥投入总量中氮>钾>磷; ③ 以化肥投入为主。M2模式中氮磷钾数量最大, 分别是M4模式最小数量的3.54、5.59及3.89倍。这些都与植物对氮磷钾吸收和归还速率相关。M5模式中氮磷钾投入量接近于M1模式, 说明农户更加注重加强土地的经营管理, 以期使经济效益最大化(表5)。

表5 系统氮磷钾投入状况

Table 5 Input situation of nitrogen, phosphorous and potassium

模式	农家肥总量/(kg·hm <sup>-2</sup> )			化肥总量/(kg·hm <sup>-2</sup> )			投入NPK总量/(kg·hm <sup>-2</sup> )		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
M1	5.7	1.8	6.5	84.9	41.7	73.0	90.6	43.5	79.4
M2	7.9	2.5	8.9	176.6	71.8	101.2	184.5	74.3	110.1
M3	7.3	2.3	8.2	137.5	44.3	88.5	144.8	46.6	96.8
M4	3.5	1.1	3.9	48.6	12.2	24.4	52.1	13.3	28.3
M5	8.1	2.6	9.2	81.3	31.2	62.3	89.4	33.8	71.5

### 2.2.2 氮磷钾输出状况

5种模式花椒的氮磷钾输出数量中, 钾素最大, 约为磷素的3倍, 氮素最小。M2模式中各组分氮磷钾输出数量优于其他模式, M5模式显著低于间作模式的水平( $P < 0.05$ ), 说明间作后花椒和农作物将会彼此促进其对氮磷钾的吸收利用。而在M4模式下, 杂草钾素输出较多, 氮磷水平几乎与M5模式持平。5种模式氮磷钾输出总量变化趋势与林下植物输出量一致, 说明林下植物对物质输出总量有重要贡献(表6)。

表6 系统氮磷钾输出状况

Table 6 Output situation of nitrogen, phosphorous and potassium

模式	花椒输出量/(kg·hm <sup>-2</sup> )			林下输出量/(kg·hm <sup>-2</sup> )			输出总量/(kg·hm <sup>-2</sup> )		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
M1	21.5	26.9	80.7	7.3	11.2	13.8	28.8c	38.1b	94.6b
M2	26.4	33.0	99.0	56.0	12.4	50.7	82.4a	45.4a	149.7a
M3	21.8	27.2	81.6	25.0	4.3	13.7	46.8b	31.5c	95.3b
M4	22.8	28.5	85.6	0.2	2.5	7.5	23.0d	31.0e	93.1c
M5	16.5	20.6	61.8	0.0	0.0	0.0	16.5e	20.6d	61.8d

同一列不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

2.2.3 氮磷钾盈亏状况

除 M4 氮磷钾模式的磷素缺乏外, 其余各模式下氮磷均较充足, 这是因为在花椒磷素输出量相似情况下(20.6~33.0 kg·hm<sup>-2</sup>), 系统内磷素输入, 尤其是化肥成为其余缺量的主要限制因子。钾素数量整体处于亏损状态, M1、M2 及 M4 模式下其余缺量分别为-15.1、-39.6 及-64.8 kg·hm<sup>-2</sup>。氮磷钾输出/输入值进一步反映了系统内物质转化路径, 表现为各模式下氮素输出/输入值均低于 0.5, 磷素小于 1(除 M4 外), 钾素接近或大于 1(表 7)。

表 7 系统氮磷钾盈亏状况

Table 7 Profit and loss situation of nitrogen, phosphorous and potassium

模式	投入 NPK 总量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )			余缺 NPK 量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )			输出/输入		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
M1	90.6	43.5	79.4	61.8	5.4	-15.1	0.32	0.88	1.19
M2	184.5	74.3	110.1	102.1	28.9	-39.6	0.45	0.61	1.36
M3	144.8	46.6	96.8	98.0	15.1	1.5	0.32	0.68	0.98
M4	52.1	13.3	28.3	29.0	-17.7	-64.8	0.44	2.33	3.29
M5	89.4	33.8	71.5	72.9	13.1	9.7	0.18	0.61	0.86

2.3 价值流

2.3.1 系统价值投入状况

M1 模式林下价值总投入最大, 这主要取决于种子和薄膜投入, 两者分别占总投入的 44.29%和 19.59%。与 M1、M2 及 M3 模式相比, M4 和 M5 林下均只有人力投入, 且未进行有效管理的 M4 模式投入最小, 仅为 783.6 元·hm<sup>-2</sup>, 主要用于采集花椒时道路清理。在 M1、M2 及 M3 模式下, 肥料和人力投入占花椒总价值投入的主要部分, 而 M4 和 M5 模式下, 农药和人力占主要地位, 其中投入最小的仍为 M4 模式。系统价值总投入与花椒总投入规律一致, 说明花椒作为该系统的主体部分受价值投入的影响较大(表 8)。

2.3.2 林下植物收入状况

M1、M2 及 M3 模式的林下植物收获总量、总收入及纯收入表现出相同的变化规律, 即 M1 > M2 > M3, 且最大 M1 分别是 M2 和 M3 的 9.29 和 13.33 倍。这表明, 传统实践模式 M1 会显著提

高当地椒农收入水平。M4 模式因林下杂草一般不用作牲畜饲料, 所以其价值总收入和纯收入均为 0 元·hm<sup>-2</sup>, 但后续采集花椒时会有 783.6 元·hm<sup>-2</sup> 投入。因此, 建议加强人力除草力度(表 9)。

表 9 林下植物收入状况

Table 9 Income status of understory species

模式	面积/hm <sup>2</sup>	收获总量/kg	总收入/(元·hm <sup>-2</sup> )	纯收入/(元·hm <sup>-2</sup> )
M1	2.2	82250.0	62963.5	57204.3
M2	0.5	10250.0	12466.3	6154.3
M3	0.3	2100.0	9000	4290.4
M4	1.9	0	0	0
M5	0	0	0	0

2.3.3 花椒收入状况

产干椒总量大小与土地面积呈正比。另外, M1、M2、M3 及 M4 模式的花椒总收入和纯收入均显著高于 M5(P < 0.05), 而因 M4 模式下花椒总投入最小, 使得其纯收入相应最高。与种植矮秆作物相比, M3 高秆作物的模式收入相对较低(表 10)。这表明, 对土地有效合理利用是提高农户收入的重要保障。

表 10 花椒收入状况

Table 10 Income status of Chinese prickly ash

模式	面积/hm <sup>2</sup>	产干椒总量/kg	总收入/(元·hm <sup>-2</sup> )	纯收入/(元·hm <sup>-2</sup> )
M1	4.4	4785.0	64131.2c	48557.7c
M2	1.2	1540.0	77914.3a	51737.1b
M3	0.9	950.0	62118.3d	43362.6e
M4	2.2	2550.0	66425.4b	52453.3a
M5	0.6	500.0	49450.5e	31310.4e

注: 同一列不同字母表示差异显著(P < 0.05)

5 种模式的系统价值总收入大小排序为 M1 > M2 > M3 > M4 > M5, 但纯收入水平排序却为 M1 > M2 > M4 > M3 > M5, 这是因为 M3 模式总投入是 M4 式的 1.37 倍。5 种模式的产投比值分别为 5.7、2.0、2.4、3.8 及 1.6, 说明农户对于土地的经营管理投入过多而不加以有效利用将会降低其收入水平(M2 和 M3 模式)(表 11)。

2.4 椒农间作模式评价

根据上述能流、物质流及价值流的综合分析,

表 8 系统价值投入状况

Table 8 Value input situation of systems

模式	林下总投入/(元·hm <sup>-2</sup> )				花椒总投入/(元·hm <sup>-2</sup> )					总投入/(元·hm <sup>-2</sup> )
	种子	薄膜	人力	总投入	肥料	农药	人力	农具	总投入	
M1	1258.1	556.6	1026.0	2840.8	2626.7	2039.7	10007.5	899.6	15573.5	18414.2d
M2	661.2	507.9	1500.0	2669.0	3660.0	2717.1	18214.3	1585.7	26177.1	28846.2a
M3	138.8	369.3	1001.9	1510.0	2164.1	1763.4	13740.5	1087.8	18755.7	20265.7b
M4	0.0	0.0	783.6	783.6	1289.6	2339.2	9962.7	380.6	13047.8	14755.6e
M5	0.0	0.0	927.2	927.2	3181.3	3296.7	11332.4	329.7	18140.1	19067.3c

注: 同一列不同字母表示差异显著(P < 0.05)

表 11 系统价值产投比状况

Table 11 Value input and output status of systems

模式	总投入/(元·hm <sup>2</sup> )	总收入/(元·hm <sup>2</sup> )	纯收入/(元·hm <sup>2</sup> )	产投比
M1	18414.2	127094.7	105762.0	5.7
M2	28846.2	90380.6	57891.5	2.0
M3	20265.7	71118.3	47653.0	2.4
M4	14755.6	66425.4	52453.3	3.6
M5	19067.3	49450.5	31310.4	1.6

选择7个评价指标(包括投入NPK总量、输出NPK总量、系统养分输出/输入、系统价值总投入、系统纯收入、系统产投比、总投入能、经济产能及经济产能/总投入能等,其中能流部分不包括常用农具能),建立评价体系,运用隶属函数法进行综合评价。由于系统内部各指标不仅有各自单方面作用,更重要的是其相互作用,而隶属函数分析提供了在多指标的基础上对模式进行综合评价的方法,将它应用于间作模式优化、筛选,更具科学性和可靠性。计算公式见(1)和(2):

$$X_1 = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

$$X_2 = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

其中,  $X$  为各模式中某一评价指标的测定值;  $X_{\max}$  为所有模式此指标的最大值;  $X_{\min}$  为所有模式此指标的最小值。若为系统输出则采用(1)式计算隶属值,反之则用(2)式。累加各指标的隶属值并求均值后进行比较。隶属函数值越大,说明椒农间作系统的稳定性、可持续发展性越好。研究表明,5种模式的隶属函数值大小排序为 M4(0.701) > M1(0.536) > M3(0.387) > M2(0.347) > M5(0.215)(图1),说明人为干扰是影响系统结构与功能的重要因素。

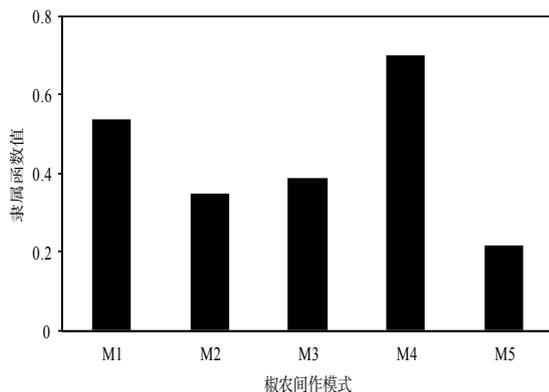


图 1 不同椒农间作模式综合评价

Fig.1 Comprehensive evaluation of different models of Chinese prickly ash-crop intercropping

### 3 讨论

能流的转化途径分析有利于人们合理地调整

农业生态系统,提高系统能量产投比。已有研究表明,当系统中有机能和无机能之比为4.92时,系统的能量产投比最大,两者之比在3.06~6.78范围内时,系统有较好的产出效果<sup>[22]</sup>。关淑琳等对武威市凉州区小麦和玉米种植系统的研究表明,当系统有机无机能之比为0.77时,其能量产投比为2.86<sup>[4]</sup>。李秀萍等<sup>[23]</sup>对新疆尉犁县达西村农田生态系统的研究表明,当系统有机无机能之比为1.84时,其能量产投比为2.21。本研究中各椒农间作模式的有机无机能之比很小,仅为0.038~0.151,且其能量产投比较低(0.81~2.19)。这说明当系统有机无机能之比在0~2时,其产出效果并无规律性。此外,本研究区5种椒农间作模式系统的投能结构仍以人力、NPK肥、薄膜、农具为主,投能利用率较低,说明其生态农业生产仍处于中低水平。因此,在维持耕层土壤肥力的同时,要进一步调整、优化其他有机能和无机能的投能结构,特别是人力投能的分配,提高能流转化和利用效率。

物质流是能量流的唯一载体。能量流的途径在某种程度上反映了物质流的途径。本研究中氮磷钾物质投入产出状况表明,该区氮磷营养元素可满足花椒和间作农作物的生长需求,这与对我国热带地区胶-茶-鸡农林复合系统物质循环研究结果相似<sup>[1]</sup>,说明生态农业生产中人们对无机肥氮磷输入的相对较多。然而,由于该区钾素主要来自有机肥,而人们长期对其施用量较少,加之植物对钾素吸收利用效率较高,使得钾素整体处于缺乏状态,这与关淑琳的研究结果一致<sup>[4]</sup>。因此,对钾素输入输出的失衡要引起足够重视,适当增加钾素的投入水平,以维持农业生态系统中氮磷钾的平衡,进而提高整个系统的生产力水平。

价值流直接体现了能流和物质流转化与利用效率的高低。黄瑞林等从提高经济效益和减少花椒黑胫病危害的角度研究表明,花椒间作大豆为最佳间作模式,但考虑到作物需要轮作和农户的实际需要,应选择矮秆耐旱性作物进行间作<sup>[24]</sup>。对该区价值流研究表明,椒农间作模式中,以花椒间作辣椒模式的种植方式效益最高,可快速提高当地农户的经济水平。高秆和对氮磷钾需求较高的农作物经济效益低,建议在今后间作过程中尽量避免。

综合评价结果表明,花椒间杂草模式的能流、物质流及价值流效率最高。然而,基于所分析的生态效益(能流、物质流)和经济效益(价值流)之间无相关关系,虽整个生态系统稳定性好,并不意味着经济效益也好。所以花椒间作辣椒模式应为

该区首选,但仍需实施轮作以提高整个生态系统的平衡性<sup>[24-25]</sup>,否则随着间作年限的增加,经济效益和生态效益将急速下降,难以恢复。值得注意的是岷江上游花椒林寿命从原来的 20~30 a 降到现在的 8~10 a 甚至更低,且花椒林死亡后,在原地重茬失败,必须休耕 7~8 a 以上,才能成功重茬。在岷江上游耕地极少的背景下,当地农户为了增加经济收入不得不毁林开荒种植花椒,导致本已脆弱的生态环境更加脆弱,生态建设的成果难以巩固。因此,需要研究到底哪种模式更有利于延长花椒林寿命。前期研究表明花椒林+杂草模式的花椒病、虫害少于花椒单作<sup>[11]</sup>,此次调查也发现花椒间作杂草模式的花椒感病少、长势好,其他不同模式的花椒长势和病虫害也有差异。故此,需要在物流、能流、价值流分析的基础上,结合各模式的可持续性进一步优化筛选最佳模式。

#### 4 结论

椒农间作作为岷江上游花椒种植的主要方式,其不同模式之间的能流、物质流及价值流转化效益存在差异。本研究经过系统分析和综合评价表明:①各模式下人力投能比重较大,能量转化效率较低;②钾素输入输出的失衡制约着物质流的高效转化;③人为干扰是影响系统结构与功能的重要因素,间作时应首选矮秆和抗病性强的农作物,以提高经济效益,如花椒间作辣椒模式,但仍需注重生态系统稳定性的提高与维持。

#### 参考文献:

- [1] 孟庆岩,王兆骞,姜曙千.我国热带地区胶-茶-鸡农林复合系统物质循环研究[J].自然资源学报,2000,15(1):61-65.
- [2] 孟庆岩,王兆骞,姜曙千.我国热带地区胶-茶-鸡农林复合系统能流分析[J].应用生态学报,1999,10(2):172-174.
- [3] 黄子蔚,杨德刚,李秀萍,等.塔里木河中下游农户能流分析及生态经济分形特征[J].干旱区研究
- [4] 关淑琳,黄高宝,柴强,等.武威市凉州区农田生态系统能流、物流和价值流分析干旱区资源与环境
- [5] SANGWON S. Theory of materials and energy flow analysis in ecology and economics[J]. Ecological Modelling, 2005 (189): 251-269.
- [6] 梁晓兰,潘开文,王进闯.花椒凋落物分解过程中酚酸的释放动态及其浸提液对土壤化学性质的影响[J].生态学报,2008,28(10):4676-4684.
- [7] 吕可,潘开文,王进闯.花椒叶浸提液对土壤微生物数量和土壤酶活性的影响[J].应用生态学报,2006,17(9):1649-1654.
- [8] PAN K W, WANG J C, LV K, et al. Effects of leaf leachates of *Zanthoxylum bungeanum* on soil enzymes, chemical properties and its own seedlings growth[J]. Allelopathy Journal, 2008, 22:153-166.
- [9] 王进闯,潘开文,吴宁,等.花椒品种间化感作用差异[J].生态学报,2005,25(7):77-85.
- [10] LI H Y, PAN K W, LIU Q, et al. Effect of enhanced ultraviolet-B on allelopathic potential of *Zanthoxylum bungeanum*[J]. Scientia Horticulturae, 2009, 119(3): 310-314.
- [11] 王进闯,潘开文,吴宁,等.花椒农林复合生态系统的简化对某些相关因子的影响[J].应用与环境生物学报,2005,11(1):36-39.
- [12] 吴宁.山地退化生态系统的恢复与重建—理论与岷江上游的实践[M].四川:四川科学技术出版社,2007:213-221.
- [13] 李昌晓,李昌阳,汤兴华.关于花椒林间作年限的研究[J].西南师范大学学报:自然科学版,2003,28(3):470-472.
- [14] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2000:241-297.
- [15] 闻大中.农业生态系统能流的研究方法(一)[J].农村生态环境,1985,1(4):47-52.
- [16] 闻大中.农业生态系统能流的研究方法(二)[J].农村生态环境,1986,2(1):52-56.
- [17] 闻大中.农业生态系统能流的研究方法(三)[J].农村生态环境,1986,2(2):48-51.
- [18] 韩纯儒.农业生态系统的能量结构与效率[J].农村生态环境,1985,1(3):6-8.
- [19] 骆世明.农业生态学[M].北京:中国农业出版社,2000:447-458.
- [20] 《农业技术经济手册》编辑委员会.农业技术经济手册(修订本)[M].北京:农业出版社,1984:819-823.
- [21] 朱玉林,李明杰,侯茂章,等.湖南农业生态系统能值结构功能效率分析[J].中国农学通报,2012,28(20):270-277.
- [22] 杨怀森.农业生态学[M].北京:农业出版社,1992:62-77.
- [23] 李秀萍,韩剑萍,杨德刚.基于农户的农业生态系统能流分析[J].中国生态农业学报,2008,16(6):1535-1540.
- [24] 黄瑞林,王莹铃,孙炜,等.花椒不同间作模式栽培技术的调查研究[J].现代农业科技,2011(10):8,112.
- [25] 海江波,母国宏,史俊通.旱地生态系统生态流与价值流耦合途径的研究[J].中国农学通报,2005,21(11):338-340.

## Energy, material and value flows in the different systems of Chinese prickly ash-crop intercropping in the upper reaches of the Minjiang river

LIU Chenggang<sup>1,2</sup>, HUANG Qiang<sup>3</sup>, DENG Mingrui<sup>1,2</sup>, SHEN Xianyu<sup>1,2</sup>,

LIU Lijuan<sup>1,2</sup>, ZHANG Lin<sup>1</sup>, LI Wei<sup>1</sup>, PAN Kaiwen<sup>1\*</sup>

1. Key Laboratory of Mountain Ecological Restoration and Bioresource Utilization and Ecological Restoration Biodiversity Conservation Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Aba Institute of Forestry, Wenchuan 623000, China

**Abstract:** Chinese prickly ash-crop intercropping is the main cultivation way in the upper reaches of the Minjiang river. In this system, irrational structure leads to decreases of energy and material flows, which seriously restricts the value effectiveness. Therefore, it is necessary to optimize, screen and evaluate the different intercropping systems, as well as promote healthy farmland ecosystem and improve the economic benefit of local farmers. In this paper, energy, material and value flows in five Chinese prickly ash-crop intercropping systems, including *Zanthoxylum bungeanum* + *Capsicum annuum* (M1), *Zanthoxylum bungeanum* + *Solanum tuberosum* (M2), *Zanthoxylum bungeanum* + *Zea mays* (M3), *Zanthoxylum bungeanum* + weed (M4) and pure *Zanthoxylum bungeanum* system (M5), in Diexi of Maoxian county in the upper reaches of the Minjiang river were comparatively analyzed using the methods of visit and field investigation. The results were as follows: ① agricultural productions of five intercropping systems were in low level with relatively simple energy input structure and lower energy utilization efficiency. In addition, the proportion of energy input by human need to be well adjusted. ② The input quantities of nitrogen and phosphorus are relatively higher than potassium. Thus, optimized potassium input should be required to assure the continuous improvement of soil fertility. ③ Try to avoid intercropping crops with high stalk and nutrients demand because of lower economic benefits. ④ The result of comprehensive evaluation with the membership function was  $M4(0.701) > M1(0.536) > M3(0.387) > M2(0.347) > M5(0.215)$ . We can concluded that human disturbance was an important factor affecting ecosystem structure and function. M1 system was better than others for obtaining higher energy, material and value flows effectiveness. However, improvement and maintenance of ecosystem stability was still to be fully considered in the future.

**Key words:** upper reaches of the Minjiang river; Chinese prickly ash-crop intercropping; energy flow; material flow; value flow