

## 四种岭南水果种植系统的能值、经济与土壤整合分析

王坤<sup>1,2</sup>, 陆宏芳<sup>1\*</sup>, 谭耀文<sup>3</sup>, 徐社金<sup>3</sup>, 阮贤聪<sup>3</sup>

1. 中国科学院华南植物园, 广东 广州 510650; 2. 华南农业大学理学院, 广东 广州 510642; 3. 广州市果树科学研究所, 广东 广州 510405

**摘要:**综合运用能值、经济与土壤生态学分析方法, 定量研究了番石榴 (*Psidium guajava* Linn)、黄皮 (*Clausena lansium* Skeels)、枇杷 (*Eriobotrya japonica* Lindl)、葡萄柚 (*Citrus paradisi* Macf) 4种岭南水果种植系统的物质流、能量流和货币流, 综合分析其自然资源基础、经济发展状况及可持续发展程度, 并将土壤有机质的消耗纳入不可更新自然资源能值投入分析, 为岭南水果业的可持续发展提供科学依据。能值分析表明, 4个水果种植系统的可持续发展能力依次为: 葡萄柚(0.94) > 枇杷(0.15) > 番石榴(0.14) > 黄皮(0.10)。土壤有机质分布与变化分析表明, 4种水果种植系统的土壤有机质消耗量依次为: 葡萄柚 > 黄皮 > 枇杷 > 番石榴。经济分析表明, 4个水果种植系统的经济效益依次为: 葡萄柚 > 番石榴 > 枇杷 > 黄皮。综合分析表明, 番石榴、黄皮、枇杷三个系统的水果生产效率有待进一步提高; 葡萄柚种植系统的水果生产效率、可持续发展能力和经济效益较高, 但其对土壤有机质的消耗强度在四个系统中是最高的, 这一点在水土流失严重的丘陵地区显然是不容忽视的。同时, 如何降低系统在市场交换中的交换性资产流失是四个系统共同面对的问题。

**关键词:** 岭南水果; 丘陵; 能值; 种植系统; 可持续发展

中图分类号: F062.2

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906(2009)06-2230-07

广东省有坡地面积135 103.02 km<sup>2</sup>, 占全省土地总面积的75.94%<sup>[1-3]</sup>, 水热资源丰富, 土壤肥沃, 开垦历史悠久, 是发展热带水果种植业的理想区域<sup>[4]</sup>, 作为水果之乡, 用于生产经济栽培的水果品种有50多种<sup>[5]</sup>。热带水果产业是这些地区的农业优势, 是人们发展生产、增加收入、脱贫致富的重要途径之一。但广东坡地的发展仍存在经济粗放, 资源浪费严重等问题, 70%的坡地存在不同程度植被退化、水土流失、土壤贫瘠、水源枯竭、生产力低、轮作丢荒和相应的山区经济、社会发展滞后等问题。要解决这些问题, 必须从可持续发展的角度出发, 将社会效益、经济效益、生态效益统一起来进行客观准确的评价, 为其可持续发展提供依据。

20世纪80年代, 以美国著名生态学家Odum H.T.为首的科学家创立的能值理论与分析方法<sup>[6-9]</sup>, 以能值为量纲, 通过能值转换率 (Emergy Transformity) 和能值货币比率 (Emergy/Money Ratio) 实现了各种生态与经济流的统一量化评价<sup>[10-12]</sup>, 为生态经济复合系统综合效率的整合评价提供了全新的思路, 在国际生态学界和经济学界引起强烈反响, 被认为是连接生态学和经济学桥梁。应用能值可衡量分析整个自然界和人类社会经济系统, 定量分析资源环境与经济活动的真实价值以及它们之间的关系, 有助于调整生态环境与经济发展, 对自然资源的科

学评价与合理利用、经济发展方针的制定、实施可持续发展战略, 均具有重要意义<sup>[13]</sup>。但就能值分析的完整性, 及其与经济学和传统生态学等研究方法的互补性和整合应用的必要性仍是国际学术界争论的热点问题<sup>[14-17]</sup>。

本文综合运用能值、经济与土壤生态学分析方法, 对四个水果种植系统进行分析评价, 以探索更适合发展的种植模式, 并为各系统的进一步优化提供指导。

### 1 研究方法

以广州市果树科学研究所民乐水果科技示范基地番石榴 (*Psidium guajava* Linn)、黄皮 (*Clausena lansium* Skeels)、枇杷 (*Eriobotrya japonica* Lindl)、葡萄柚 (*Citrus paradisi* Macf) 四个水果种植系统为研究对象, 以能值理论与方法为基本研究方法, 以太阳光能为量纲, 统一量化测算系统自然环境资源和社会经济价值反馈的投入结构与利用效率, 并结合经济学方法, 量化分析、评价系统生态经济产出及其在市场交换中所处的位置, 进而实现各模式系统的生态经济效率与效益的量化分析与评价, 筛选优良模式的同时, 为各系统的进一步优化提供指导。

土壤测定方面, 为保证土壤样品的代表性, 用1 m深土壤取样锥在样地内上、中、下坡分别随机

**基金项目:** 广州市科研究条件建设项目(穗科条字 2006[15]); 国家自然科学基金项目(30600072); 国家科技部支撑项目(2009BAD6B07); 中国科学院院长优秀奖获得者科研启动项目

**作者简介:** 王坤(1983年生), 女, 硕士研究生, 主要从事数学生态学研究。E-mail: kitty5211ya@163.com

\*通讯作者: 陆宏芳。E-mail: luhf@scbg.ac.cn

收稿日期: 2009-10-17

取 3 个重复混合土样，按土壤深度分 5 层取样——0~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm, 60~80 cm, 80~100 cm, 每块样地采 45 个混合样。用重铬酸钾氧化-外加热法测定有机碳，乘以 1.724 得到土壤有机质含量。分上、中、下坡用环刀法分别采集 0~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm, 60~80 cm, 80~100 cm 的土样，3 个重复，测定容重。

本文能值分析采用 9.26E+24sej/年的全球能值基准值<sup>[18]</sup>。鉴于所能查到的我国能值/货币比率为 2000 年的结果，而本研究数据来自 2007 年和 2008 年的调查数据，分析中分别将两年的当年价换算成 2000 年的可比价后再乘以能值/货币比率得到各经济量的能值量。人工投入能值的 10%计入可更新资源，90%计入不可更新资源<sup>[19]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 能值分析

#### 2.1.1 投入能值结构分析

由图1和图2可知，4种水果种植系统均主要依赖不可更新资源的投入，其中尤以番石榴种植系统的依赖性为强,其不可更新资源投入占总能值投入

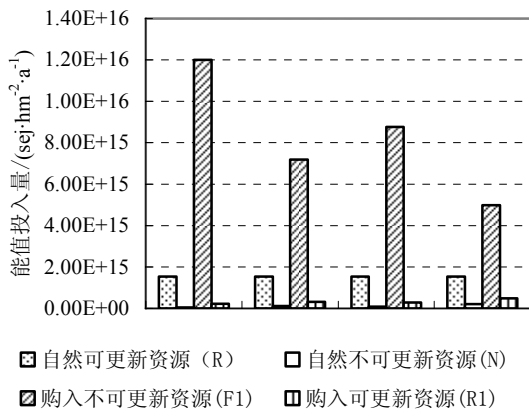


图1 四个水果种植系统的投入能值结构分析简图

Fig.1 Structure of classified energy inputs of the four fruit production systems

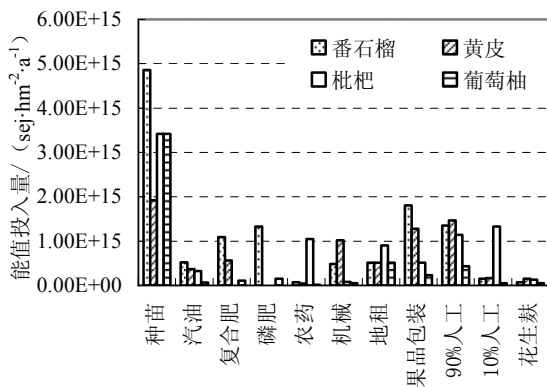


图2 四个水果种植系统的投入能值结构分析详图

Fig.2 Structure of the detailed energy inputs of the four fruit production systems

的87%，其次是枇杷(83%)、黄皮(80%)和葡萄柚(70%)。购入性不可更新资源投入占了不可更新资源投入的绝大部分。种苗投入是四个水果种植系统中重要的能值投入，分别占到总购入性投入的39.8%、25.6%、37.8%和67.2%。其次是果品包装和人工投入，两者之和分别占到四个种植系统总购入性投入的27.1%、52.1%、28.9%和14.1%。

#### 2.1.2 能值自给率 (Emergy Self-sufficiency Ratio, ESR)

能值自给率 (ESR) 是指系统自身可更新资源能值与不可更新资源能值之和所占能值使用总量的比例。它一方面可以反映系统自给自足的能力，另一方面反映了系统在能值投入中对外界系统的依赖程度。一般而言，ESR越高，说明该系统自给自足能力越强，对内部资源开发程度越高，但也反映外部资源投入能值投入不够，系统经济发展程度不高。由表1可知，四个水果种植系统的ESR排序为：葡萄柚 > 黄皮 > 枇杷 > 番石榴。番石榴种植系统的能值自给率最低，其自然资源的投入仅占整个能值总投入的11.5%，其土壤有机质的消耗也是最少的。葡萄柚种植系统的能值自给率最高，自给自足能力最强的，且其开发利用的内部资源主要是本地自然可更新资源。

表1 四个水果种植系统的能值分析简表

Table 2 Brief energy analysis table of the four production systems

项目	番石榴	黄皮	枇杷	葡萄柚
投入产出流/(sej·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )				
自然可更新资源 (R)	1.54E+15	1.54E+15	1.54E+15	1.54E+15
自然不可更新资源(N)	4.94E+13	1.02E+14	7.24E+13	1.97E+14
购入不可更新资源(F <sub>1</sub> )	1.20E+16	7.19E+15	8.77E+15	4.99E+15
购入可更新资源(R <sub>1</sub> )	2.20E+14	3.13E+14	2.81E+14	4.84E+14
环境资源总投入 (I)	1.59E+15	1.64E+15	1.61E+15	1.74E+15
总购入能值 (F)	1.22E+16	7.50E+15	9.05E+15	5.09E+15
能值总用量 (U)	1.38E+16	9.14E+15	1.07E+16	6.83E+15
产出 (Y)	1.38E+16	9.14E+15	1.07E+16	6.83E+15
能值评价指标				
能值自给率 ESR=I/U	0.12	0.18	0.15	0.25
能值产出率 EYR=Y/F	1.13	1.22	1.18	1.34
能值投资率 EIR=F/I	7.69	4.57	5.61	2.93
环境负载率				
ELR=(N+F <sub>1</sub> )/(R+R <sub>1</sub> )	6.85	3.94	4.86	2.56
能值交换率				
EER <sub>f</sub> =F/F <sub>m</sub>	1.03	0.86	0.97	0.78
能值交换率 EER <sub>y</sub> =Y <sub>m</sub> /Y	0.88	0.34	0.63	1.80
能值可持续性指标				
ESI= EYR/ELR	0.16	0.31	0.24	0.52
能值可持续发展指标				
EISD=EER*EYR/ELR	0.35	0.25	0.38	2.30

#### 2.2.3 能值产出率 (Emergy Yield Ratio, EYR)

能值产出率 (EYR) 是系统产出能值与购入性

输入能值之比。EYR是衡量系统购入性投入掘取自然资源的能力和产出对经济贡献大小的指标,是衡量系统资源投资效率的标准。EYR越高,表明系统单位经济资源能值投入生产换取的产品能值越高,即系统的投资效率越高。由表1可知,4个水果种植系统的EYR排序为:葡萄柚>黄皮>枇杷>番石榴。葡萄柚系统的EYR最高,主要是由于其对本地自然资源的利用率较高。番石榴种植系统能值产出率最低的主要原因是其购入能值的投入最高。

#### 2.1.4 能值投资率(Energy Investment Ratio, EIR)

能值投资率(EIR)是系统购入性能值投入与本地自然资源能值投入的比率,是衡量经济发展和环境负载程度的双重指标。EIR越大,说明系统经济发展程度越高,自然环境要承受压力大。由表1可知,四个系统的EIR排序为:番石榴>枇杷>黄皮>葡萄柚。番石榴种植系统的购入性能值投入占了整个能值投入的88.5%,能值投资率最高,亦表明其购入性能值对本地自然资源的开发能力偏低。葡萄柚种植系统利用了大量来自于系统内部“免费”的能源,系统的能值投资率最低,环境压力较小。

#### 2.1.5 环境负载率(Environmental Loading Ratio, ELR)

环境负载率(ELR)是系统不可更新资源能值投入量与可更新资源能值投入量之比,用以衡量系统环境所承受的压力。ELR越高,表明系统环境所承受的压力也越大。由表1可知,四个系统的环境负载率排序为:番石榴>枇杷>黄皮>葡萄柚。番石榴种植系统的ELR最高,系统高度依赖于购入性能值投入,而其购入的不可更新资源投入占整个购入能值的98.3%,导致其环境压力最大。而葡萄柚种植系统能值投资率最低,且其自然可更新资源占整个自然资源投入的88.5%,环境压力较低,有进一步开发利用的潜力。

#### 2.1.6 能值交换率(Energy Exchange Ratio, EER)

能值交换率(EER)是指系统在产品交换过程中所获得的货币的能值购买能力或获得的商品能值量与卖出产品能值或支付的货币的能值购买能力的比值,是用以评价系统在产品交换中获利情况的指标。以1为界线,EER越大,说明在产品交换过程中所获得的能值越多,所处的地位就越有利。反之,若EER小于1,说明产品在交换过程中所获得的能值要小于付出的能值,则在产品交换过程中就处于劣势地位,造成资产外流。由表1可知,四个系统中,只有番石榴系统的EER<sub>i</sub>略大于1,表明其在系统投入端的生产资料购入过程中获得了少量的交换性收益。在产出端,四个系统中只有葡萄柚系统的EER<sub>y</sub>大于1,说明其在产出水果的市场交换中

所获得的能值大于输出能值,处于有利地位。

#### 2.1.7 能值可持续性指标(Energy Sustainability Index, ESI)和能值可持续发展指标(Energy Index of Sustainable Development, EISD)

Brown 和 Ulgiati<sup>[23]</sup>提出可持续发展能值指标  $ESI = EYR/ELR$ ,即能值产出率/环境负载率。并通过实证确定  $ESI < 1$  时,表明系统为高消费驱动的经济系统; $1 < ESI < 10$  时,表明系统处于富有活力和潜力的发展状态; $ESI > 10$  时,说明系统经济不发达,对资源的开发利用不足<sup>[24]</sup>。由表1可以看出,四个水果种植系统的ESI依次为:葡萄柚>黄皮>枇杷>番石榴,均小于1,属于高消费驱动的经济系统。葡萄柚种植系统由于其相对较高的能值产出率和相对较低的环境负载率,其ESI最高。能值可持续发展指标(EISD),在综合能值可持续性指标(ESI)的基础上,考虑了市场对系统的影响,  $EISD = EYR \times EER/ELR$ ,即能值产出率×能值交换率/环境承载率<sup>[16,25,26]</sup>。EISD反映的是当前时间段和区域空间尺度上的系统可持续性。考虑到市场对系统的影响,四个水果种植系统的可持续发展能力排序便有了变化:葡萄柚>枇杷>番石榴>黄皮。黄皮种植系统在产品交换中以输出能值为主,处于劣势,能值交换率最低,其可持续发展能力最低。

#### 2.1.8 能值转换率(Transformity, Tr)

Tr可以反映系统的生产效率,能值转换率越高,表明系统的生产效率越低。由表2可以看出,四个水果种植系统的Tr排序为:黄皮>枇杷>番石榴>葡萄柚。番石榴、枇杷、黄皮种植系的Tr都高于美国佛罗里达州的甜橙种植系统( $1.12E+09 \text{ sej} \cdot \text{g}^{-1}$ )<sup>[21]</sup>和意大利的葡萄种植系统( $9.72E+08 \text{ sej} \cdot \text{g}^{-1}$ )<sup>[27]</sup>,表明这三个种植系统的生产效率不高。同时,民乐示范基地番石榴和黄皮的Tr也分别高于同样经营水平的珠江河口围垦湿地同类水果( $8.01E+05 \text{ sej} \cdot \text{J}^{-1}$ ;  $2.08 E+06 \text{ sej} \cdot \text{J}^{-1}$ )<sup>[17]</sup>,表明这两个丘陵水果种植系统生产效率不高与其所处的地理资源环境有一定关系。葡萄柚的Tr远低于本研究中其他三个系统产出水果的同时,仅为广东鹤山林-果-草-鱼复合农林业系统产出柑桔( $6.64E+05 \text{ sej} \cdot \text{J}^{-1}$ )的0.39倍<sup>[25]</sup>,表明

表2 四个种植系统产出水果的能值转换率

Table 2 Energy transformity of the products of the four fruit production systems

水果	能值转换率	
	$/( \text{sej} \cdot \text{J}^{-1} )^a$	$/( \text{sej} \cdot \text{g}^{-1} )$
番石榴	1.82E+06	3.13E+09
黄皮	4.69E+06	6.09E+09
枇杷	1.99E+06	3.24E+09
葡萄柚	2.56E+05	3.79E+08

<sup>a</sup> <http://www.fumuqin.com/View.aspx?id=5047>

其水果生产效率较高，有较高的区域推广价值。

### 2.2 土壤有机质分析

土壤有机质是植物生长所需各种营养元素，特别是氮、磷的重要来源，同时含有刺激植物生长的胡敏酸类等物质。由于土壤有机质具有胶体特性，能吸附较多的阳离子，因而使土壤具有保肥能力和缓冲性，它还能使土壤疏松和形成团粒结构，从而改善土壤的物理性状。一般来说，土壤有机质含量的多少，是土壤肥力高低的重要指标，是全面评价种植模式可持续发展能力不可或缺的一部分。

由图3、图4和表3可以看出，随着土层的加深，各水果种植系统的土壤有机质含量都有不同程度的下降。土壤容重随土壤深度的增加，但并没有使土壤有机质总贮量随之呈现出与土壤有机质含量相悖的分布规律，土壤有机质总贮量也随土壤深度下降。总体而言，各水果种植系统的土壤有机质都有一定的消耗，四个水果种植系统的土壤有机质消耗量：葡萄柚 > 黄皮 > 枇杷 > 番石榴。由表3可以看出，枇杷和葡萄柚种植系统主要消耗的是土壤深层的有机质，以后应采用大量肥料深施，少量肥料浅施的分层施肥方法；受番石榴和黄皮样地土层

表3 四个水果种植系统的土壤有机质消耗

Table 3 The withdrawn of soil organic matter of the products of the four fruit production systems.

土壤深度 /cm	番石榴 /( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	黄皮 /( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	枇杷 /( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	葡萄柚 /( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )
0~20	12312.67	23402.50	8615.29	18994.50
20~40	17740.89	20966.40	6496.48	32908.50
40~60	—	17448.69	3992.96	2776.67
60~80	—	—	6915.54	26661.43
80~100	—	—	18090.93	38874.86

深度限制，本研究只分别取到0~40 cm和0~60 cm土样，分析结果不足以判定其土壤养分消耗的垂直结构，有待进一步研究。

### 2.3 经济分析

由图5和图6可以看出，各种种植系统的经济投入主要是不可更新资源的购入，其中以番石榴种植系统的投入最多，其次是枇杷、黄皮、葡萄柚种植系统。不可更新资源的花费主要是在种苗、人工和果品包装方面。产投比表达的是系统的经济投资效

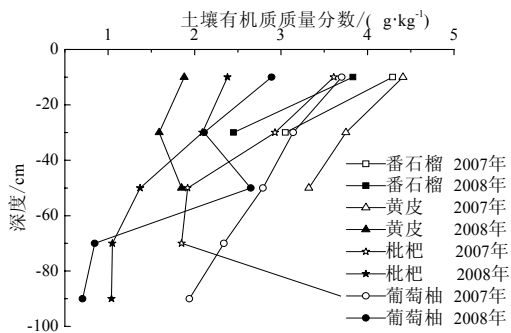


图3 四个水果种植系统土壤有机质含量分布与变化

Fig.3 The distribution and change of soil organic matter content under the four fruit production systems

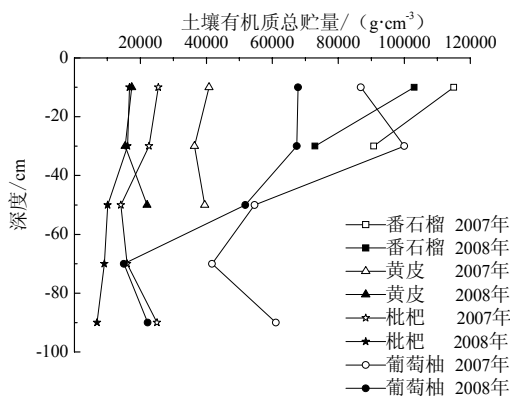


图4 四个水果种植系统的土壤有机质贮量结构与变化

Fig.4 The distribution and change of the storage of soil organic matter under the four fruit production systems

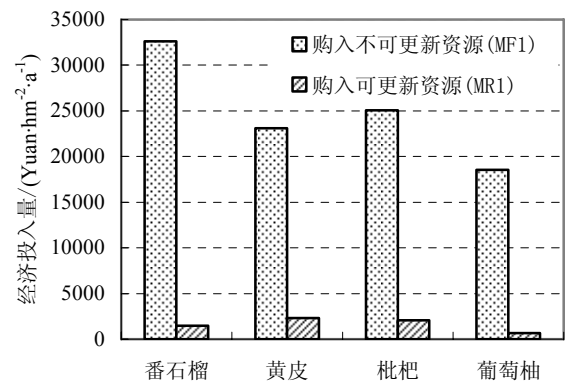


图5 四个水果种植系统的经济投入结构分析简图

Fig.5 Structure of classified economic costs of the four fruit production systems

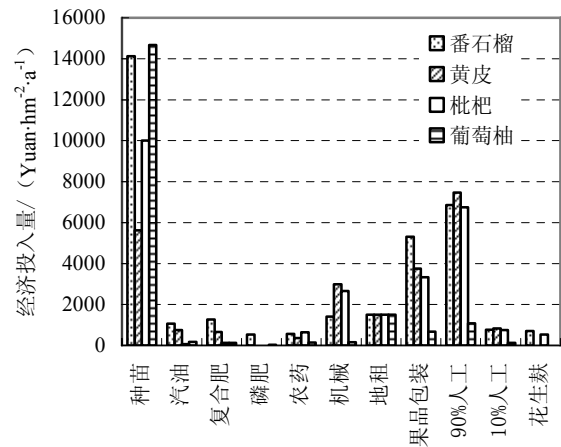


图6 四个水果种植系统的经济投入结构分析详图

Fig.6 Structure of detailed economic costs of the four fruit production systems

率;单位面积净利润用来衡量系统单位面积的获利能力。由表4可知,四个水果种植系统的产投比和单位面积净利润排序为:葡萄柚>番石榴>枇杷>黄皮。番石榴种植系统经济成本最高,但由于其较高的产出量( $4410 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )和市场价格( $8 \text{ Yuan}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),产投比大于1,系统生产是获利的。黄皮种植系统由于其较低的产量( $1500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )和市场价格( $6 \text{ Yuan}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),经济亏损。虽然枇杷的市场价格最高( $126 \text{ Yuan}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),但由于枇杷种植系统的生产成本也较高,亦导致系统经济亏损。葡萄柚种植系统的产投比和单位面积净利润最高,表明其经济投资和土地利用效率最高。

表4 四个水果种植系统的经济分析简表

Table 4 Brief economic analysis table of the four production systems ( $\text{Yuan}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )

项目	番石榴	黄皮	枇杷	葡萄柚
购入不可更新资源 ( $M_{F1}$ )	32 604.87	23 107.19	25 074.17	18 533.29
购入可更新资源( $M_{R1}$ )	14 68.24	2 300.25	2 083.33	653.63
总购入能值( $M_F$ )	34 073.11	25 407.44	27 157.50	19 186.92
产出( $M_Y$ )	35 250.00	9 000.00	19 800.00	36 000.00
系统产投比( $M_Y/M_F$ )	1.03	0.35	0.73	1.88
单位面积净利润 ( $M_Y-M_F$ )/面积	1 176.89	-16 407.44	-7 357.50	16 813.08

### 3 讨论

能值分析结果表明,番石榴种植系统由于掘取本地自然资源的能力不强,对自身资源的利用不足,其购入能值投入是四个系统中最高的,导致其能值产出率最低。且在购入能值投入中不可更新资源投入所占比重过大,使其环境承受较高的压力,环境负载率最高。如果长期处于较高的环境负载率下,系统平衡容易受到破坏,并可能导致不可逆转的功能退化或丧失。其可持续发展能力在四个水果种植系统中占到倒数第二位。从经济分析来看,番石榴种植系统是获利的,但其经济投入是四个水果种植系统中最高的。因此,要充分、高效地利用系统内部可更新的资源,减轻环境压力,提高其自给自足的能力,这样,不但能维护系统平衡,而且可以降低生产成本,使其在市场竞争中获利更多,从而使系统在产品交换过程中处于优势地位。

黄皮种植系统是四个水果种植系统中能值可持续发展能力最差的。经济分析结果也表明,其在产品交换过程中处于亏损劣势,是四个水果种植系统中经济损失最大的。

枇杷种植系统的能值可持续发展能力在四个水果种植系统中位列第二位。其购入能值投入功率仅低于番石榴系统,且其购入能值投入中不可更新资源投入所占比重过大,使其环境承受较高的压

力,环境负载率仅次于番石榴种植系统。经济分析结果表明,其在产品交换中亦处于亏损劣势。由于经济投入较高,其市场价格虽然高达 $12 \text{ Yuan}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,但系统仍处于经济损失地位。

葡萄柚种植系统的能值可持续发展能力在四个水果种植系统中居于首位,同时,其经济产投比和单位面积净经济利润也是最高的。表明其发展前景最好,是最值得推广的种植模式。但从土壤分析可以看出,葡萄柚系统对土壤有机质的消耗功率在四个系统中最大( $1.97\text{E}14 \text{ sej}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,折合2000年不变价RMB  $236.88 \text{ Yuan}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )。在水土流失问题突出的丘陵地区,这一问题在系统进一步优化中值得关注。

一般而言,以原始产品进行交换的一方在市场交换中处于亏损地位,因为这些原始产品中包含大量的自然资源价值,而购买的一方只是支付劳务的费用,并没有给自然环境支付货币,因此,减少以原始产品进行交换,尽量以最终产品进行交换,可以提高系统的能值交换率<sup>[6]</sup>。所以,减少以原始果品进行交换,对果品进行深加工,比如酿酒、加工制成蜜饯、果脯、果冻和果汁等,有望提高能值交换率,使各系统在产品交换中处于有利地位。

### 4 结论

最大程度的获取经济利益是当前市场经济下大部分经济活动的主要目标。经济分析着眼于减少经济投入,增加经济产出,以提高经济效益为最终目的。因此,经济分析是理解经济活动规律和进行系统优化中不可或缺的一环,但经济分析忽略了生态环境的重要性,其片面性是显而易见的。能值分析综合考虑生态效益和经济效益,以环境和经济的可持续发展为最终目标。土壤有机质含量是土壤肥力高低的重要指标,是全面评价有土种植模式可持续发展能力不可或缺的一部分。因此,综合上述三种分析方法,进行生态经济系统能值、经济与土壤有机质的整合分析可以为系统评价与优化提供更全面可靠的依据。

能值、经济与土壤有机质的动态综合分析表明,四个岭南水果种植系统均高度依赖于购入性不可更新资源能值投入;黄皮、枇杷和番石榴的生产效率较低;葡萄柚系统的水果生产效率、可持续发展能力和经济效益较高,但对于土壤有机质的消耗较多。四个系统中只有葡萄柚系统产出在市场交换中处于有利地位,可以考虑通过延长系统生产链,提高产品附加值的途径改善这一状态。

**致谢:** 中国科学院华南植物园林永标高级工程师、王俊博士、王卓晗硕士、卢桂敏硕士、余小露实验

员, 华南农业大学黄晓杏硕士在土壤取样与分析过程中给予了大力支持, Elisabeth C. Odum 女士帮助修改了英文摘要, 作者在此表示衷心的感谢。

### 参考文献:

- [1] 黄志刚, 欧阳志云, 李锋瑞, 等. 南方丘陵区不同坡地利用方式土壤水分动态[J]. 生态学报, 2009, (6).  
HUANG Zhigang, OUYANG Zhiyun, LI Fengrui, et al. Spatial and temporal dynamics in soil water storage under different use types of sloping fields: a case study in a highland region of southern China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, (6).
- [2] 梁音, 张斌, 潘贤章, 等. 南方红壤丘陵区水土流失现状与综合治理对策[J]. 中国水土保持科学, 2008, (1).  
LIANG Yin, ZHANG Bin, PAN Xianzhang, et al. Current status and comprehensive control strategies of soil erosion for hilly region in the Southern China[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2008, (1).
- [3] 张国华, 张展羽, 王倪进, 等. 南方红壤丘陵区不同生态恢复措施对土壤质量的影响[J]. 水利水电科技进展, 2007, (5).  
ZHANG Guohua, ZHANG Zhanyu, WANG Nijin, et al. Effect of different ecological restoration measures on soil quality in red soil hilly region in South China[J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2007, (5).
- [4] 杨建峰, 孙燕, 王华, 等. 我国南方红壤地区土壤质量评价研究进展[J]. 热带农业科学, 2008, (6).  
YANG Jianfeng, SUN Yan, WANG Hua, et al. Progress of quantitative evaluation of soil quality in the red soil region of South China[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2008, (6).
- [5] 孙俊萍. 我国热带水果区域布局和发展研究[J]. 中国农业资源与区划, 2007, (3).  
SUN Junping. Studies on the regional distribution and development of tropical fruits in China[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2007, (3).
- [6] ODUM H T. Environmental accounting-emergy and environmental decision making[J]. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [7] 蓝盛芳, 钦佩. 生态系统的能值分析[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 129-131.  
LAN Shengfang, QIN Pei. Emery analysis of ecosystems[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(1): 129-131.
- [8] ODUM H T, ODUM E C, BROWN M T. Environment and society in Florida[J]. Boca Racon: Lewis Publishers, 1998.
- [9] ODUM H T. Environment, power, and society from the twenty-first century-the hierarchy of emergy[J]. New York: Columbia University Press, 2007.
- [10] ODUM H T. Ecology and economy: Emery analysis and public policy in Texas, Policy Research Project Report[R]. Austin: Univ of Texas, 1987.
- [11] ODUM H T. Self organization, transformity, and information[J]. *Science*, 1988, 242: 1132-1139.
- [12] ODUM H T. Ecological and General Systems[J]. Niwot: Univ Colorado Press, 1994.
- [13] 陆宏芳, 沈善瑞, 陈洁, 等. 生态经济系统的一种整合评价方法: 能值理论与分析方法[J]. 生态环境, 2005, 14(1): 121-126.  
LU Hongfang, SHEN Shanrui, CHEN Jie, et al. A synthesis evaluation method of economical-ecosystem: Emery theory and analysis method[J]. *Ecology and Environment*, 2005, 14(1): 121-126.
- [14] BROWN M T, BARDI E, CAMPBELL D E, et al. Emery Synthesis 4: Theory and Application of the Emery Methodology, Proceedings of the 4<sup>th</sup> Biennial Emery Conference[M]. Florida, USA: Gainesville, 2007.
- [15] MAUD S. Sustainability of poultry production[J]. *Agricultural Ecosystems and Environment*, 2007, 120: 470-471.
- [16] 陆宏芳, 蓝盛芳, 李雷, 等. 评价系统可持续发展能力的能值指标[J]. 中国环境科学, 2002, 22(4): 380-384.  
LU Hongfang, LAN Shengfang, LI Lei, et al. Studies on emery indices for evaluating system sustainable development property[J]. *China Environmental Science*, 2002, 22(4): 380-384.
- [17] LU H F, KANG W L, CAMPBELL D E, et al. Emery and economic evaluation of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China[J]. *Ecological Engineering*, 2009, 8.
- [18] BROWN M T. Emery Synthesis: Theory and Application of the Emery Methodology[M]. Gainesville: The Center for Environmental Policy, 2000: 255-263.
- [19] ULGIATI S, ODUM H T, BASTIANONI S. Emery use environmental loading and sustainability: an emery analysis of Italy[J]. *Ecological Modeling*, 1994, 73: 215-268.
- [20] CAMPBELL D E, BRANDT-WILLIAMS S L, MEISCH M E A. Environmental Accounting Using Emery: Evaluation of the State of Wet Virginia, EPA/600/R-02/011, USEPA[M]. Washinton, D C: Office of Research and Development, 2005: 116.
- [21] BRANDT-WILLIAMS S L. Emery of Florida agriculture (2nd printing), Handbook of Emery Evaluation. Center for Environmental Policy, Environment Engineering Science[M]. Gainesville, Florida, USA: University of Florida, 2002.
- [22] LAN S F, ODUM H T, LIU X M. Emery flow and emery analysis of the agro-ecosystem of China[J]. *Ecological Sciences*, 1998, 17(1): 32-39.
- [23] BROWN M T, ULGIATI S. Emery-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economics and technology toward environmentally sound innovation[J]. *Ecological Engineering*, 1997, 9: 51-69.
- [24] ULGIATI S, BROWN M T. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems[J]. *Ecological Modeling*, 1998, 15(5): 23-36.
- [25] LU H F, CAMPBELL D E, LI Z A, et al. Emery synthesis of an agro-forest restoration system in lower subtropical China[J]. *Ecological Engineering*, 2006, 27: 175-192.
- [26] LU H F, CAMPBELL D E, CHEN J, et al. Conservation and economic viability of nature reserves: an emery evaluation of the Yancheng Biosphere Reserve[J]. *Biological Conservation*, 2007, 139: 415-438.
- [27] BASTIANONI S, MARCHETTINI N, PANZIERI M, et al. Sustainability assessment of a farm in the Chianti area (Italy)[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2001, 9: 365-373.

## Emergy, economic and soil based-evaluation of four lingnan fruit production systems

WANG Kun<sup>1,2</sup>, LU Hongfang<sup>1\*</sup>, TAN Yaowen<sup>3</sup>, XU Shejin<sup>3</sup>

1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China;

2. College of Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

3. Guangzhou Fruit Research Institute, Guangzhou 510450, China

**Abstract:** A combined evaluation was done based on emergy, economic and soil ecology methods, on four Lingnan fruit production systems, including Guava, Wampee, Loquat and Grapefruit. Material flows, energy flows and currency flows were quantitatively evaluated. Natural resources, economic characteristics and sustainable development status were analyzed. The depletion of soil organic matter was also included in the calculation of non-renewable resources. The emergy evaluation indicated that the sustainability of the Grapefruit production system ( 2.30 ) was the highest in the four fruit production systems, followed by Loquat ( 0.38 ) , Guava ( 0.35 ) , and Wampee ( 0.25 ) . The soil analysis indicated that the consumption of soil organic matter in Grapefruit production was the highest among the four production systems, followed by Wampee, Loquat, and Guava. The economic analysis indicated that economic profit from Grapefruit production was the highest among the four systems, followed by Guava, Loquat, and Wampee. The integrated analysis indicated the production efficiency of the Guava, Wampee and Loquat needs further improvement. The Grapefruit production showed the highest emergy sustainability and economic benefits among the four systems, but its consumption of soil organic matter was also the highest. Depletion of soil organic matter is a serious problem, which clearly should not be neglected, considering serious soil erosion in the hillside area. A common problem for the four fruit production systems is how to decrease assets lost during market exchange.

**Key words:** Lingnan fruit; hilly area; emergy; production systems; sustainable development