

黄土塬区复合型生态农业土地生产力评价

刘海斌, 吴发启*

(西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100)

摘要: 应用 GIS 技术, 对专题图件进行叠加处理后, 将西坡村土地归并划分为 39 个生产力单元, 并利用修正后的生产力指数 (PI) 模型和投入产出方法得出其潜在生产力与现实生产力。通过比较后得到总的趋势是生产力指数 (PI) 值高的地块其现实生产力也高; 反之, 生产力指数 (PI) 值低的地块其现实生产力也低, 二者的相关系数为 0.6563。同时, 二者均呈现出塬面较高, 坡面较低的规律。在塬面上高值地块靠近农村居民点, 地面平缓、土地肥力高。坡面上阴坡地块的一般要高于阳坡地块。总体上, 该村的土地利用基本符合自然经济规律, 但也存在一定的问题需要改进。

关键词: 复合型生态农业; 土地生产力; GIS 技术

中图分类号: S181; S274

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2006)06-0077-05

刘海斌, 吴发启. 黄土塬区复合型生态农业土地生产力评价[J]. 农业工程学报, 2006, 22(6): 77-81.

Liu Haibin, Wu Faqi. Evaluation of land productivity of hybrid ecological agriculture on upland in the Loess Plateau[J].

Transactions of the CSAE, 2006, 22(6): 77-81. (in Chinese with English abstract)

0 引言

复合农业在黄土高原已有上千年的历史^[1-3]。特别是近代以来, 随着新物种的不断引进、推广和新技术的应用等, 生态农业复合型式与种类更加多样化和复杂化^[4]。20 世纪 80 年代以来, 在黄土高原南部 N34°~37°的东西带状地区, 规模化地栽植了经济林果—苹果, 使原来以粮食、畜牧为主的农业生产格局发生了重大变化, 形成了苹果、粮食、畜牧为主的新的生产模式^[5-12]。这一模式既改善了当地的生态环境, 增加了景观多样性^[13, 14], 又增加了农民收入, 促进了区域经济的快速发展^[15]。但是, 这一模式还处于雏形发展阶段, 为了使其健康持续发展, 并发挥最大效益, 很有必要对现土地利用方式与技术条件下的土地生产力进行分析评价, 以满足新的农业结构调整的需要, 故在中国科学院知识创新工程项目和国家“九五”区域攻关项目的资助下, 笔者以淳化县西坡村为对象, 利用 GIS 技术、土地生产力指数模型和投入产出方法, 对土地的潜在生产能力和现实生产能力进行了对比分析。

1 研究区概况

研究区位于陕西省咸阳市北部的淳化县西坡村, 属渭北黄土高原强烈水土流失区, 干旱和水土流失是制约农业发展的主要限制因素^[16]。全年平均气温 9.8℃, 无

霜期 138 d, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温 3281℃, 太阳年辐射总量为 505.68 kJ/cm², 全年日照时数 2372.1 h; 多年平均降雨量 600.6 mm。土壤为黄土母质上发育的黄壤土, 地带性黑垆土仅存于塬心。自然植被分布于沟坡, 多为草本、灌木。平均沟壑密度 1.87 km/km²。

全村总土地面积 268 hm², 总人口 956 人, 劳动力总数 618 人, 人均土地面积 0.28 hm², 人均耕地面积 0.069 hm²。种粮用地占 25.60%, 果业用地占 41.40%, 防护型林草业用地占 21.84%, 已形成了以粮食和苹果为主的生态农业模式。该村是陕西省的小康村, 2002 年全村产值 361 万元, 人均纯收入达 2867 元, 人均占有粮食 356 kg。

2 研究内容与方法

2.1 土地生产力评价单元的确定

土地生产力, 是指在土壤自然状况、气候、水分、地形以及人类物质能量输入输出和生产管理等的共同作用下, 土地的生产能力。它包括土地的潜在生产能力和现实生产能力两个方面。而土地是地球陆地表面上由地貌、土壤、岩石、水文、气候等要素组成的自然历史综合体, 它包括了人类过去和现在活动的种种结果^[17]。故土地生产力正是这些因素相互作用的具体表现, 并按地貌类型和人为利用管理的强度形成了时空分异, 这种分异特征奠定了土地生产力单元的划分基础。

以往土地评价单元的划分多是以土壤类型、土地利用现状或者土地类型等单因素来确定^[18]。这些方法虽简单明了, 工作量较小, 但在一定程度上对全面了解土壤的综合特征产生了影响。随着 GIS 技术的广泛应用, 使得多因素条件下土地评价单元的确定方法成为现实。故本文在西坡村 1/10000 土地类型图、土地利用现状图和坡度图等专题图件制作的基础上, 利用 ARC/INFO 8.0.2 软件, 以土地类型图为基础, 在各图件数字化和矢量化后进行叠加, 并依照先塬面(划分为塬坡平、塬平

收稿日期: 2005-05-25 修订日期: 2005-11-12

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KZCX1-06); 国家重点科技攻关计划资助项目(2001BA508B20)

作者简介: 刘海斌(1975-), 男, 陕西澄城人, 博士生, 主要从事土地资源利用与空间信息技术方面的研究。杨凌 西北农林科技大学资源环境学院, 712100。Email: haibin553@yahoo.com.cn

*通讯作者: 吴发启(1957-), 男, 陕西黄陵人, 博士生导师, 主要从事水土保持与流域管理研究。杨凌 西北农林科技大学资源环境学院, 712100。Email: wufaqi@263.net

地、塬畔地、水平梯田和胡田地)、坡面(划分为阴坡地、阳坡地、半阴半阳地、崖圪地 and 坍塌地)和沟道(废弃沟滩地),再依照农地、果园、天然草地、坡旱地和轮荒地,最后依照坡度和土壤类型的原则将西坡村土地归并、划分为 39 个土地生产力评价单元,其中塬面地类 14 个,沟坡和沟滩地类 25 个。具体工艺流程见图 1。

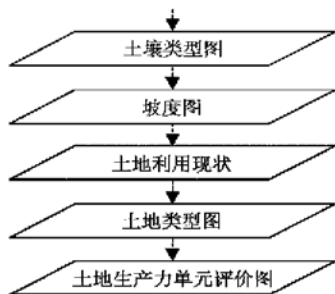


图 1 土地生产力评价单元生成工艺流程

Fig. 1 Flow chart of the making of evaluation cell of land productivity

2.2 土地现实生产力的调查

本文土地现实生产能力指单位面积上农作物(特指大田作物)和果品的纯产出。调查时以土地生产力评价单元图为依据,参照土地利用现状,逐地块调查其投入(肥料、种子、人工等)和产出(产量、生物量等),并参照现行市场价格,计算相应的经济价值,单位为:元/hm²。

另外,在调查过程中,按照“X”型取样路线,对各土地单元进行土壤样品采集,采集深度 0~60 cm,以备室内分析有机质、全氮、全磷含量等。

2.3 土地潜在生产力的计算

土地生产潜力采用生产力指数模型计算。生产力指数模型,即 *PI* (Productivity Index) 模型,最初由 Neill (1979) 提出,后经 Kiniry 及 Pierce 等(1983)修正和完善^[19~21]。该模型主要是针对影响作物生长特别是根系生长的主要限制因素大小而建立的,它将根系分布范围内各土层根系生长限制因子赋值并相乘,然后将各层次的值按根系分布权重求积和,得出生产力指数 (*PI*) 值,模型的一般表达式为

$$PI = \sum_{i=1}^n (A_i \times B_i \times C_i \times \cdots \times WFi) \quad (1)$$

式中 *PI*——生产力指数; *A*、*B*、*C*——根系生长限制因子; *WF*——权重因子; *i*、*n*——土层序号及土层数。

在村落这样较小的尺度范围内,光、热、水、气等自然条件基本相同,因而影响土地生产力的主要因素为土壤的物理、化学性质及地形、土壤种类,因而选取有机质、全氮、全磷、坡度、土壤类型作为影响土地生产力的限制因素(假定气候、作物品种及管理措施不变),则该模型可表达为

$$PI = \sum_{i=1}^n (A_i \times B_i \times C_i \times D_i \times E_i \times WFi) \quad (2)$$

式中 *PI*——生产力指数,无量纲; *A*——有机质适宜度; *B*——全氮适宜度; *C*——全磷适宜度; *D*——坡度适宜度; *E*——土壤适宜度; *WF*——权重因子;

i、*n*——土层序号及土层数。由于该模型主要是针对影响作物生长特别是根系生长的主要限制因素的大小而建立的,故它的值愈大,说明土地的潜在生产能力就愈大;反之亦然。

模型中各因子对根系生长的适宜度确定如下:

1) 有机质:以百分含量来衡量其对土壤生产力的影响。根据淳化县农业区划报告资料集有机质的分布特征,取有机质 20 g/kg 为满分值,当土壤养分含量大于或等于标准值时,赋值为 1;低于该值时,以实际含量与满分值之比得分值,介于 0~1 之间。

2) 全氮、全磷标准值分别为 1.25 g/kg、2.00 g/kg,计算方法同上。

3) 土壤种类适宜度:根据淳化县农业区划报告资料集将各类土壤的适宜度划分为,黄盖粘黑垆土 1.0;黄壤土 0.8;淤壤土、白壤土 0.7;红色土 0.6;红胶土、潮土 0.5。

4) 地面坡度 (*G*) 有效函数 *D*:根据黄土高原地形地貌的实际特点和计算比较的需要,将联合国粮食与农业组织(FAO)1971 年提出的土地资源生产力自然评价综合指数 (*PI*) 模型的部分参数作了一些修改,得到如下改正后的公式

$$D = \mu(G) = \begin{cases} 1 & (G \leq 7^\circ) \\ 1 - 1.74\sin(G - 7^\circ) & (7^\circ < G < 35^\circ) \\ 0.001 & (G \geq 35^\circ) \end{cases} \quad (3)$$

式中 *D*——地面坡度适宜度值; *G*——实测地面坡度。

5) 根系权重因子:以主栽作物小麦为标准,根据调查,小麦根系主要分布在 0~50 cm 土层内,占总根量的 93% 以上,因此,取 0~60 cm 土层为生产力评价的目标层。由于本文所采土壤样品为 0~60 cm 混合样,所以权重因子取 1。

土地现实生产力和潜在生产力计算完毕后,编号统计,以备分析之用。

3 结果与分析

3.1 土地生产力单元空间分布特点

研究区 39 个土地单元生产力各异。其中,第 1, 6, 22, 34, 36, 38, 39 号 7 个土地单元种植苹果,现实生产力均超过 20000 元/hm²,尤以第 6 号土地单元最高,现实生产力达到 28500 元/hm²;第 2, 10, 12, 16, 21, 26, 28, 32, 33, 35, 37 号土地单元现实生产力介于 5000~20000 元/hm²,属于中等层次;剩余 21 个土地单元现实生产力皆低于 5000 元/hm²,属于最低层次。在空间分布特点上,现实生产力高的土地,地面坡度一般不大于 2°,主要位于主干公路两侧,距离居民点较近,交通方便;中等水平的土地,地面坡度大多大于 2°,且大都位于塬面集水区、塬边线附近;而差的土地,地面的坡度大都大于 15°。

土地潜在生产力 *PI*,最高的出现在第 6、36 号土地单元,皆大于 0.200;最低的为第 7、13、15、18、29 和 33

号,皆小于0.010;其余土地单元介于0.010~0.200之间。土地单元 PI 的空间分布特点为,值较高的多分布在塬面上,其次在沟道,沟坡上最小。其原因主要是由于塬面土壤的物理、化学性质,水分条件及地面坡度等自然条件都要明显的优于沟道和沟坡的自然条件。

总体来看,该村土地单元潜在生产力和现实生产力的空间分布特点为,二者在沟坡地块上部时最小,然后向下至沟滩地,向上向内至塬面村庄逐渐增大至极大值。塬面上二者最大值单元出现在靠近村庄的地块,沟坡地上出现在沟坡地下部。沟坡地阴坡土壤肥力普遍高于阳坡,所以相同坡度的坡面,阴坡的 PI 值普遍高于阳坡的。

3.2 土地单元潜在生产力与现实生产力的关系

分析每一单元潜在生产力和现实生产力的吻合关系,可以发现,它们在空间分布上呈现出一定的规律性。大致为自然生产力高的土地单元其现实生产力也高,二者的相关系数为0.6563,呈极显著相关关系。如第6、36号土地单元,皆位于塬面,自然条件较好, PI 值和现实生产力分别为0.218,0.217和28500元/hm²,28000元/hm²。又第7,13,15,18,29号土地单元,自然条件较差, PI 值皆低于0.010,现实生产力均在300~400元/hm²左右。

调查表明,当地群众多在自然条件较好的土地上种植产量高、经济效益好的作物及林木(苹果),管理上也很精细;而在自然条件差的地块种植效益较差的作物及林木,管理也很粗放。在自然条件较好的地块上,通过大量投入人力、化肥、机械等生产因素,密集种植和高效管理苹果及其它一些农作物,可以取得较好的经济效益。因此,从土地利用角度来看,这种在塬面上苹果和农作物(特指大田作物)混合种植的“复合经营”是一种经济、社会、生态效益都好的农业生产经营模式,它不但可以显著提高收入,而且可使土地利用朝着可持续发展的方向进行^[4]。

3.3 土地单元利用评价及改进方案

现阶段,农村的发展应是生态、经济、粮食三者的协调统一,若按人均年最低口粮400 kg,林草被覆率60%为标准的话,该村的土地利用还有以下2个主要问题需要改进:

1) 农林牧用地结构不合理。目前,西坡村的土地利用结构为:农耕地66.54 hm²,果园地107.6 hm²,林地(不包括果园)和草地为56.75 hm²,其它各类用地29 hm²。从现农林牧结构比例25.60%:41.40%:21.83%可看出,人们在土地利用中重农、林(果),轻视牧。根据调查,目前该村有机肥主要用于果园,而且每年还要从外地大量购进鸡粪以弥补果园有机肥需求的不足,而农耕地则很少施用有机肥,主要靠施用化肥来保持产量,这样农耕地土壤质量面临退化的风险,久之则会影响到系统的健康、稳定,不利于复合农业的进一步发展。

2) 草地质量不高。该村56.06 hm²的草地中全部为天然草地(实为荒草地),天然草地对光温资源利用率低,产草量少,载畜量小。

由本文土地生产力单元的划分原则可知,在划分出的土地单元内,土地类型和利用现状大体相同。西坡村大田作物主要为小麦、玉米和油菜;果树主要为秦冠和富士。调查发现当地3种主要大田作物经济效益基本一致,且小麦、玉米和油菜之间存在倒茬的关系。果树主要栽植于1985年和1986年,大部分集中连片安排在横穿该村公路的西北和东北方向。通过分析可以发现,大田作物单元现实生产力的差异主要是由于不同土壤之间肥力高低不一,人们施肥量不同以及选用作物品种不同造成的;而果树单元现实生产力的差异主要是由于果树分布位置不同,土壤肥力存在差异,对果树的综合管理水平不同以及果树的密度不同造成的。

根据不同土地类型之间的差异,最低限度的人均口粮要求,防控潜在出现的水土流失和其它一些影响土地生产力的因素,并参照塬面土地单元、沟坡土地单元和沟滩地土地单元中现实生产力较高单元的实际情况,按照塬面种植大田作物和经济林(苹果);陡坡沟坡地及崖圪地加强抚育,自然恢复为主;缓坡沟坡地上视坡面平展大小,小的坡面开挖鱼鳞坑、条带,栽植灌乔木,平展面积较大的坡面可修筑坡式梯田,经多年下翻,最终形成水平梯田,种植人工草或经济林;沟滩地栽植用材林和种植蔬菜;阳坡种经济林果,半阴半阳及阴坡种草种树的原则进行土地生态单元的调整。具体方案见表1,表2。

表1 塬面地土地利用调整方案表

Table 1 Rejust scheme of the land use in the plain land

地块编号	土地类型	土地利用现状	PI	土地现实生产力/元·hm ⁻²	评价结果及改造措施
1	塬坡平	苹果	0.158	27000	利用较合理
2	胡同地	塬面旱地	0.136	6534	修整为水平梯田,增施有机肥改良土壤
3	塬畔地	天然草地	0.092	400	改良为人工草地,并栽植水保林
6	塬平地	苹果	0.218	28500	利用合理
12	塬畔地	塬面旱地	0.115	6325	加强沟畔一侧水保林建设
21	塬坡平	塬面旱地	0.140	6345	利用合理
22	塬坡平	苹果	0.159	26000	利用较合理
28	塬坡平	塬面旱地	0.161	6000	利用较合理,可修成人工梯田
34	塬坡平	苹果	0.188	24000	进行果树改型,加强肥水管理
35	塬坡平	塬面旱地	0.142	6550	利用合理

地块编号	土地类型	土地利用现状	PI	土地现实生产力/元·hm ⁻²	评价结果及改造措施
36	水平梯田	苹果	0.217	28000	利用合理
37	水平梯田	塬面旱地	0.177	6600	利用合理
38	塬坡平	苹果	0.161	27500	利用合理
39	塬坡平	苹果	0.152	25000	利用较合理,还应加强肥水管理

表 2 沟坡及沟滩地土地利用调整方案表

Table 2 Rejust scheme of the land use in the sloping field and bottomland

地块编号	土地类型	土地利用现状	PI	土地现实生产力/元·hm ⁻²	评价结果及改造措施
4	半阴半阳沟坡地	未利用地	0.109	350	修条带,种植乔灌木
5	半阴半阳陡沟坡地	天然草地	0.060	380	修林带,种植灌木
7	崖圪地	未利用地	0.002	350	加强抚育,使植被自然恢复
8	半阴半阳沟坡地	天然草地	0.106	380	修条带,种植乔灌木
9	阴坡沟坡地	未利用地	0.050	300	修梯田,种植人工牧草
10	沟坡梯田	苹果	0.120	20000	利用合理
11	半阴半阳陡沟坡地	天然草地	0.043	320	利用合理
13	崖圪地	天然草地	0.002	360	加强抚育,自然恢复为主
14	半阴半阳沟坡地	天然草地	0.069	420	利用合理
15	崖圪地	天然草地	0.001	360	加强抚育,自然恢复为主
16	阳坡沟坡地	苹果	0.090	15000	加强施肥、修剪、防虫管理
17	半阴半阳沟坡地	天然草地	0.088	410	修条带,种植乔灌木
18	崖圪地	天然草地、刺槐林	0.002	375	整修水平阶、鱼鳞坑等
19	半阴半阳沟坡地	轮荒地	0.100	800	修梯田,种人工草、种粮
23	阴坡沟坡地	天然草地	0.099	450	修大鱼鳞坑种树
24	半阴半阳陡沟坡地	天然草地	0.043	380	开挖鱼鳞坑、种植灌、乔木
25	阳坡陡沟坡地	桃园	0.046	13000	改良品种,修筑大鱼鳞坑
26	阴坡陡沟坡地	坡旱地	0.053	5000	退耕还草还林
27	阴坡陡沟坡地	天然草地	0.056	440	利用合理,加强抚育即可
29	崖圪地	天然草地	0.002	340	加强抚育,自然恢复为主
30	坍塌地	天然草地	0.098	360	修梯田,种植果树
31	半阴半阳沟坡地	天然草地	0.101	380	修梯田,人工种草、种树
33	半阴半阳陡沟坡地	核桃园	0.002	12000	改良品种,加强管理
20	废弃沟滩地	天然草地	0.124	500	栽植用材林和种菜
32	废弃沟滩地	沟台水浇地	0.141	8000	栽植用材林和种菜

由表 1, 表 2 的调整方案可以看出, 西坡村需要调整利用方式的土地生态单元大多分布在沟坡地, 其次为沟滩地(属沟谷地类), 塬面上需调整的土地生态单元最少。

4 结 论

1) 从土地生态、经济角度出发, 西坡村的土地可归并为 39 个单元, 他们的自然生产力和现实生产力差异明显, 前者最高值为 0.218, 最低值为 0.002, 平均为 0.098, 后者为 28500 元/hm², 300 元/hm² 和 7831 元/hm²。

2) 该村土地单元潜在生产力与现实生产力在空间分布上具有一定的规律性, 即生产力高的土地多位于塬面, 而低的多位于坡面, 这正是人类依据自然条件, 利用和改造土地的结果。

3) 从土地潜在生产力与现实生产力的吻合程度看, 大致为潜在生产力高的地块其现实生产力也高, 二者的相关系数为 0.6563, 呈极显著相关关系。因此, 该村的土地利用基本合理, 但若按照生态、经济、粮食协调发展原则, 还存在农、林、牧结构不合理, 草地改良不足,

土地利用需进一步调整等问题。

[参 考 文 献]

- [1] 冯宗炜, 王效科, 吴刚. 中国森林生态系统的生物量和生产力[M]. 北京: 科学出版社, 1999, 1-6.
- [2] 李文华, 赖世登. 中国农林复合经营[M]. 北京: 科学出版社, 1994, 14-28.
- [3] 熊文愈. 中国农林复合的实践与研究[M]. 北京: 中国大地出版社, 1993.
- [4] 吴发启, 周正立, 刘海斌. 黄土高原中南部复合型生态农业生产力特征[J]. 应用生态学报, 2005, 16(2): 262-266.
- [5] 刘灿盛, 蒲永义. 元帅系苹果品质与气候条件关系的研究[J]. 园艺学报, 1987, 14(2): 73-79.
- [6] Narasimham P. Effect of meteorological on fruit maturation for apple. Sci Horticulture, 1998, 35: 217-226.
- [7] 曲泽州, 陈四维. 气候与果树[M]. 北京: 农业出版社, 1988, 56-61.
- [8] 王菱. 人类活动对黄土高原生态环境及现代气候变化的影响[J]. 自然资源学报, 1992, 7(3): 273-281.
- [9] 王菱, 伊思明. 气象条件对苹果品质影响的分析[J]. 中国农业气象, 1992, 13(4): 15-18.
- [10] 魏钦平, 李嘉瑞. 红富士苹果品质与生态气象因子关系的

- 研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(3): 289– 292.
- [11] 魏钦平, 程速汉. 苹果品质评价因素的选择[J]. 中国果树, 1997, 4(4): 14– 15.
- [12] 魏钦平, 张继祥, 毛志泉. 苹果优质生产的最适气象因子和气候区划[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 713– 716.
- [13] 金卫斌, 胡秉民. 几种景观分离程度评价指标的探讨[J]. 应用生态学报, 2003, 14(2): 314– 316.
- [14] 李团胜, 程水英. 黄土高原区景观生态特征与景观生态建设[J]. 生态学杂志, 2002, 21(5): 78– 80.
- [15] 王 青. 黄土高原丘陵沟壑区农业结构调整的思考[J]. 中国农业资源与区划, 2001, 22(5): 51– 53.
- [16] 淳化县农业区划委员会. 淳化县农业区划报告集[M]. 陕西, 1984.
- [17] 吴次芳, 徐保根. 土地生态学[M]. 北京: 中国大地出版社, 2003.
- [18] 常庆瑞. 土地资源学[M]. 陕西: 西北农林科技大学出版社, 2002: 80– 83.
- [19] Kiniry L N, Scrivner C L, Keener M E. A soil productivity index based on predicted water depletion and root growth[M]. Missouri Agric. Exp. Stn. Res Bull. 1051. Univ. of Missouri coop. Ext, Columbia. 1983.
- [20] Pierce F J, Larson W E, Dowdy R H, et al. Productivity of soils: assessing long-term changes due to erosion[J]. J Soil Water Conserv, 1983, 38: 39– 44.
- [21] Pierce F J, Dowdy R H, Larson W E, et al. Soil productivity in the Corn Belt: an assessment of erosion's long-term effect[J]. J Soil Water Conserv, 1984, 39: 131– 136.

Evaluation of land productivity of hybrid ecological agriculture on upland in the Loess Plateau

Liu Haibin, Wu Faqi^{*}

(College of Resources and Environmental Science, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China)

Abstracts: Based on the GIS technology, the land of Xipo Village was partitioned into 39 soil ecological cells according to overlaying each special map. The potential productivity and practical productivity of the 39 soil ecological cells were calculated by the rectified *PI* formula and the input and output method. Results show that when the *PI* value of the land cells is higher, the practical productivity is higher, while the practical productivity is lower with the lower *PI* value. The correlation coefficient of potential productivity and practical productivity is 0.6563, which have a significant linear relationship. The results of the *PI* values present some rules, that is, the productivities of plain land are higher and those of sloping field are lower. On the plain land, the land cells that the *PI* value are higher are near by country residential area, and the land are flat and loamy. The land cells on the sloping field present that *PI* values in rich sunlight condition is higher than that in poor sunlight condition. As a whole, the land use of Xipo Village accord basically with natural and economical law, but some problems still exist and need to be reformed.

Key words: hybrid ecological agriculture; land productivity; GIS