

# MPI 模型在矸石山复垦土壤生产力评价中的应用

刘青柏, 刘明国, 冯景刚

(沈阳农业大学林学院, 沈阳 110161)

摘要: 应用 MPI 模型(复垦土壤生产力指数的修正模型)对阜新矿区矸石山复垦土地生产力进行了评价, 结果表明, MPI 模型在评价矸石山土壤复垦质量时, 考虑了影响土壤生产力的因子间相关性和时空变异性, 适用于矸石山复垦土壤生产力质量评价。

关键词: MPI 模型; 矸石山; 生产力指数

中图分类号: S152; S153

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)03-0024-02

## Application of MPI for Evaluating Reclaimed Soil Productivity in Waste Hill

LIU Qing-bai, LIU Ming-guo, FENG Jing-gang

(College of Forestry, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

**Abstract:** According to MPI (Modified Index of Reclaimed Soil Productivity), reclaimed soil productivity of waste hill in Fuxin was evaluated. It shows that MPI was applied to evaluating reclaimed soil productivity of waste hill in that interactions of factors, which affect reclaimed soil productivity and their variability, are considered in MPI.

**Key words:** MPI; waste hill; productivity index

### 1 MPI 模型简介

#### 1.1 复垦土壤生产力的机理模型<sup>[1]</sup>

影响复垦土壤生产力的土壤因子可分为两类, 一类为环境因子, 一类为养分因子。养分因子用速效 N、P、K 与有机质含量<sup>[2]</sup>表示, 环境因子用土壤 pH 值和土壤容重表示。

设复垦土地内某一点  $(x, y)$  在  $t$  年的土壤生产力水平为  $y(x, y, t)$ , 则:

$$y(x, y, t) = f[\vec{e}(x, y, t), \vec{n}(x, y, t)] \quad (1)$$

式中:  $\vec{e} = (x, y, t)$  为  $(x, y)$  点  $t$  年的土壤的环境因子向量,  $\vec{e} = (e_1, e_2, \dots, e_M)$ ,  $e_1 \sim e_M$  表示  $1 \sim M$  个土壤环境因子;  $\vec{n} = (x, y, t)$  为  $(x, y)$  点  $t$  年的土壤养分因子向量,  $\vec{n} = (n_1, n_2, \dots, n_N)$ ,  $n_1 \sim n_N$  表示  $1 \sim N$  个土壤养分因子。因此,  $t$  年单位面积的复垦土壤的生产力水平为:

$$y(t) = \frac{1}{A} \int_A f[\vec{e}(x, y, t), \vec{n}(x, y, t)] dx dy \quad (2)$$

式中:  $A$ ——复垦土地的面积或范围。(2)式考虑了环境因子与养分因子的空间变异和时间变异, 空间变异和时间变异和时间变异分别用式(3)~(4)、(5)~(6)表示:

$$\vec{e}(x, y, t_0) = \vec{e}(t_0) + \Delta \vec{e}(x, y, t_0) \quad (3)$$

$$\vec{n}(x, y, t_0) = \vec{n}(t_0) + \Delta \vec{n}(x, y, t_0) \quad (4)$$

$$\vec{e}(x_0, y_0, t) = \vec{e}(x_0, y_0, t_0) + \Delta \vec{e}(x_0, y_0, t) \quad (5)$$

$$\vec{n}(x_0, y_0, t) = \vec{n}(x_0, y_0, t_0) + \Delta \vec{n}(x_0, y_0, t) \quad (6)$$

于是, 考虑空间变异的  $t_0$  年单位面积的复垦土壤生产力水平为:

$$y(t_0) = \frac{1}{A} \int_A f[\vec{e}(t_0) + \Delta \vec{e}(x, y, t), \vec{n}(t_0) + \Delta \vec{n}(x, y, t)] dx dy \quad (7)$$

式中:  $\vec{e}(t_0), \vec{n}(t_0)$  为  $t_0$  年  $\vec{e}, \vec{n}$  因子的多点平均值;  $\Delta \vec{e}(x, y, t_0), \Delta \vec{n}(x, y, t_0)$  为  $t_0(x, y)$  年  $\vec{e}, \vec{n}$  点因子值相对于多点平均值的变差值。

如果用整体空间变异系数  $\overline{r_e}(t_0), \overline{r_n}(t_0)$  代替  $\Delta \vec{e}(x, y, t_0), \Delta \vec{n}(x, y, t_0)$  (7) 式即为:

$$y(t_0) = f[\vec{e}(t_0) + \overline{r_e}(t_0), \vec{n}(t_0) + \overline{r_n}(t_0)] \quad (8)$$

而考虑时间变异的复垦土壤生产力为:

$$y(x_0, y_0, t) = [\vec{e}(x_0, y_0, t_0) + \Delta \vec{e}(x_0, y_0, t), \vec{n}(x_0, y_0, t_0) + \Delta \vec{n}(x_0, y_0, t)] \quad (9)$$

式中:  $\vec{e}(x_0, y_0, t_0)$  为某点  $(x_0, y_0)$  初始年的土壤环境因子值;  $\vec{n}(x_0, y_0, t_0)$  为某点  $(x_0, y_0)$  初始年的土壤养分因子值;  $\Delta \vec{e}(x_0, y_0, t)$  为某点  $(x_0, y_0)$  于  $t$  年的土壤环境因子变差值;  $\Delta \vec{n}(x_0, y_0, t)$  为某点  $(x_0, y_0)$  于  $t$  年的土壤养分因子变差值。

若考虑复垦地块单位面积的复垦土壤生产力, 可设

$$\vec{e}(x_0, y_0, t_0) = \vec{e}(t_0), \vec{n}(x_0, y_0, t_0) = \vec{n}(t_0), \Delta \vec{e}(x_0, y_0, t) = \overline{r_e}(t), \Delta \vec{n}(x_0, y_0, t) = \overline{r_n}(t) \text{ 则 (9) 式为}$$

$$y(t) = f[\vec{e}(t_0) + \overline{r_e}(t), \vec{n}(t_0) + \overline{r_n}(t)] \quad (10)$$

可见(8)、(10)在形式上是完全一致的, 即复垦土壤的时空变异对土壤生产力的影响规律一致。以(10)为例, 对  $y(t)$  在  $[\vec{e}(t_0), \vec{n}(t_0)]$  的某一邻域内泰勒展开, 并略去高阶无穷小量,  $y(t)$  可简化为:

$$y(t) = [1 + r_y] f[\vec{e}(t_0), \vec{n}(t_0)] \quad (11)$$

$$r_y = [\overline{r_e} \frac{\partial}{\partial r_e} + \overline{r_n} \frac{\partial}{\partial r_n}] + \frac{1}{2!} [\overline{r_e} \frac{\partial}{\partial r_e} + \overline{r_n} \frac{\partial}{\partial r_n}]^2 + \dots \quad (12)$$

式(11)直观地表明由于环境因子和养分因子的变异而带来的土壤生产力偏离初始状态, 偏离度可用  $r_y$  表示。

1.2 复垦土壤生产力指数的修正模型(MPI)

复垦土壤生产力的修正模型(卞正富,张国良 2000)满足下列基本要求和基本假设:①以式(8)、(10)、(11)为基础,即考虑土壤属性的空间变异性和时间变异性;②考虑 $\vec{e}$ 与 $\vec{n}$ 两类因子的相关性;③吸取PI和FPI用适应性表示生产力的优点(其中PI和FPI直接源于文献[1]),对其按照①、②的要求进行修正;④考虑不同土壤层的属性对土壤生产力的影响;⑤MPI与土壤生产力y呈正比,且是线性关系。

根据上述要求,容易写出MPI的形式为:

$$MPI=(1+R_{MPI})MPI(\vec{e},\vec{n})$$
$$\vec{e}=(\bar{e}_{1j},\bar{e}_{2j},\cdots,\bar{e}_{mj}),j=1\sim s$$
$$\vec{n}=n_{1j},n_{2j},\cdots,n_{nj},j=1\sim s$$
$$MPI(\vec{e},\vec{n})=\sum_{i=1}^M[\sum_{j=1}^S w_i w_{L_j} S(\bar{e}_{ij})]+\sum_{i=1}^N[\sum_{j=1}^S w_{M+i} w_{L_j} S(\bar{n}_{ij}')] \tag{16}$$
$$r_{MPI}=\frac{1}{s(M+N)}[\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^S s(r\bar{e}_{ij})+\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^S s(r\bar{n}_{ij}')] \tag{17}$$

式中:MPI——考虑土壤因子时空变异和养分因子与环境因子相关性的复垦土壤生产力指数, $MPI(\vec{e},\vec{n})$ ——未考虑土壤因子时空变异,但考虑了养分因子与环境因子相关性的复垦土壤生产力指数; $r_{MPI}$ ——因时空变异而加的修正系数; $\vec{e}$ ——不同土层的各个样点环境因子平均向量; $\vec{n}$ ——不同土层的各个样点养分因子平均值向量; $s$ ——土层数; $w_i$ ——土壤因子*i*的权重, $\sum_{i=1}^{m+n} w_i=1$ ; $w_{L_j}$ ——*j*第层土的权重; $s(\bar{e}_{ij})$ ——土层*i*环境因子平均值 $\bar{e}_{ij}$ 对作物生长的适应性; $s(\bar{n}_{ij}')$ ——*j*层土层*i*养分因子平均值 $\bar{n}_{ij}$ 根据 $\bar{e}_{ij}$ 修正后得到 $\bar{n}_{ij}'$ 的对作物生长的适应性; $s(r\bar{e}_{ij})$ ——*j*土层*i*环境因子相对于平均值的变异系数使 $\bar{e}_{ij}$ 适应性增减值; $s(r\bar{n}_{ij}')$ ——*j*土层*i*养分因子相对于平均值的变异系数使 $\bar{n}_{ij}'$ 适应性增减值。

2 MPI 模型应用

阜新矿区某块复垦地土壤pH值、容重、速效氮、速效磷、速效钾及有机质与对照田相应指标对比如表1。对照田种植玉米实际生产力水平为5635kg/hm<sup>2</sup>,复垦田的实际验证产量为4500kg/hm<sup>2</sup>。

表1 阜新矿区某复垦地与对照田的土壤环境因子、养分因子对比

土壤类别	环境因子			养分因子		
	酸碱度 pH	容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	速效氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有机质/ (10 <sup>4</sup> mg·kg <sup>-1</sup> )
复垦土壤	7.0	1.44	4.82	24.56	48.94	0.55
对照田土壤	7.4	1.18	8.31	11.47	68.63	1.29

利用MPI评价复垦土壤生产力的步骤为: 确定不同因子的权重W=(w<sub>i</sub>)和不同土壤层的权重WL=(WL<sub>j</sub>); 选择不同因子对作物生长的适应性函数S(e<sub>ij</sub>)和s(n<sub>ij</sub>); 确定环境因子对养分因子的修正标准,并修正养分因子取值; 利用环境因子e<sub>ij</sub>和修正后的养分因子值n<sub>ij</sub>′,根据适应性函数对不同土层的不同评价因子进行适应性评定,得到复垦土壤的环境因子与养分因子适应性分值; 按式(16)分别求取复垦土壤与对照土壤的MPI; 按式(17)分别求取参考文献:

复垦土壤与对照土壤的r<sub>MPI</sub>; 按式(13)分别计算复垦土壤和对照土壤的MPI; 用式(18)计算复垦土壤生产力水平。

$$y_r=\frac{MPI_r}{MPI_c}\times y_c \tag{18}$$

式中:y<sub>r</sub>——复垦土壤生产力水平(kg/hm<sup>2</sup>);MPI<sub>r</sub>——复垦土壤的MPI指数;MPI<sub>c</sub>——对照田的MPI指数;y<sub>c</sub>——对照田的生产力水平(kg/hm<sup>2</sup>)。

W<sub>i</sub>和WL<sub>j</sub>的确定方法可以用多元统计分析法,层次分析法等方法确定,本例取W=(0.2,0.2,0.15,0.15,0.15,0.15),WL<sub>1</sub>=1;不同因子对作物生长适应性函数S(e<sub>ij</sub>)和S(n<sub>ij</sub>)依式(19)~(24)算出,酸碱度、容重、速效氮、速效磷、速效钾、有机质分别用pH、d、Na、Pa、Ka和O.M.表示。

$$S_{pH}=\begin{cases} 1 & pH \in [6, 7, 5] \\ \frac{1}{3}pH-1 & pH \in [3, 6] \\ -\frac{2}{3}+6 & pH \in [7, 5, 9] \end{cases} \tag{19}$$
$$S_d=\begin{cases} 1 & d \leq 1.30 \\ 1.88-0.68d & d \in [1.3, 1.55] \\ 5.98-3.32d & d \in [1.55, 1.8] \end{cases} \tag{20}$$
$$S_{Na}=\begin{cases} 1 & Na \geq 100 \\ 0.01Na & Na \in [0, 100] \end{cases} \tag{21}$$
$$S_{Pa}=\begin{cases} 1 & Na \geq 15 \\ 0.05Pa+0.25 & Pa \in [5, 15] \\ 0.1Pa & Pa \in [0, 5] \end{cases} \tag{22}$$
$$S_{Ka}=\begin{cases} 1 & Ka \geq 200 \\ 3 \times 10^{-3}Ka+0.4 & Ka \in [100, 200] \\ 0.007Ka & Ka \in [0, 100] \end{cases} \tag{23}$$
$$S_{O.M.}=\begin{cases} 1 & O.M. \geq 2 \\ (0.5882 \times O.M.-0.1765)^{0.3762} & O.M. \in [0.3, 2] \\ 0 & O.M. \leq 0.3 \end{cases} \tag{24}$$

复垦土壤与对照土壤养分的修正值如表2。本例养分因子按土壤容重取值而修正,按土壤容重修正的标准是以百分比d<sub>c</sub>/d%进行修正,d<sub>c</sub>为对照田土壤容重,d为复垦土壤的容重;按pH值修正标准见文献[1]。

表2 复垦土壤与对照土壤养分因子修正值

土壤类别	环境因子			养分因子		
	酸碱度 pH	容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	速效氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有机质/ (10 <sup>4</sup> mg·kg <sup>-1</sup> )
复垦土壤	7.0	1.44	3.53	12.48	39.74	0.42
对照田土壤	7.4	1.18	8.31	11.47	68.63	1.29

据修正值所作的适应性评定结果如表3。

表3 不同因子的适应性评定

土壤类别	环境因子适应性			养分因子适应性		
	酸碱度 pH	容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	速效氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有机质/ (10 <sup>4</sup> mg·kg <sup>-1</sup> )
复垦土壤	1	0.900	0.0353	0.8740	0.2782	0.3688
对照田土壤	1	1.09776	0.0831	0.8235	0.4803	0.8159

本例为复垦初始年评价,r<sub>a</sub>,r<sub>n</sub>均为0,因此r<sub>MPI</sub>=0,容易计算得到MPI<sub>r</sub>为0.6134,MPI<sub>c</sub>为0.7259,y<sub>r</sub>为4761.7kg/hm<sup>2</sup>,结果表明,MPI法的评价结果与实际产量值相差216.7kg/hm<sup>2</sup>,误差为5.8%。说明本法有一定可信度,适用于矸石山复垦土壤的生产力的评价。

[1] 卞正富,张国良. 矿山复垦土壤生产力指数的修正模型[J]. 土壤学报,2000,37(1):124-130.  
[2] 刘青柏,刘明国,刘兴双,等. 阜新地区矸石山植被恢复的调查分析[J]. 沈阳农业大学学报,2003,34(6):434-437.