

不同覆土厚度的煤矸石充填复垦区 土壤生产力评价

刘会平, 严家平, 樊雯

(安徽理工大学 地球与环境学院, 安徽淮南 232001)

摘要:以淮南矿区新庄孜煤矿采煤塌陷区土地复垦区为研究对象, 调查了不同覆土厚度的煤矸石充填复垦区土壤生产力状况, 发现在以煤矸石充填为基底, 上覆不同表土厚度的区域土壤生产能力差异较大, 其中覆土较厚的地块小麦产量达到 $5\ 770\ \text{kg}/\text{hm}^2$, 覆土较薄的地块只有 $4\ 736\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。运用了复垦土壤生产力指数的修正模型(MPI)对不同覆土厚度的复垦地块生产力进行评价。结果表明, 覆土 75 cm 和 90 cm 的地块的水解性氮和速效钾的适应性接近于对照地块, 速效磷和有机质的适应性稍微偏低, 生产力水平接近于对照地块; 覆土 40 cm 和 60 cm 的地块土壤的养分普遍偏低, 限制了农作物的生长; 通过对评价结果的误差分析显示, 本次评价的最小误差为 1.65%, 最大误差为 4.33%, 运用 MPI 模型对煤矸石复垦土壤生产力的评价具有较高的精确度。

关键词:覆土厚度; MPI 模型; 适应性; 生产力

中图分类号: TD993

文献标识码: B

文章编号: 1006-8759(2010)01-0052-05

THE EVALUATION OF SOIL PRODUCTIVITY IN RECLAMATION DISTRICT FILLING BY COAL GANGUE WITH DIFFERENT THICKNESS OF COVERING SOIL

LIU Hui-Ping, YAN Jia-Ping, FAN Wen

(School of Earth and Environmental Science, Anhui University of
Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: Taking Xinzhuangzi mining subsidence area in Huainan Coal Mining Area for example. It is studied the productivity of reclamation soil which is filled by coal gangue with different thickness of covering soil, and found that the productivity of reclamation soil with different covering thickness differ gentle when on the base of filling with coal gangue, in which the production of wheat in plots covered with thicker soil is $5\ 770\ \text{kg}/\text{hm}^2$, the thinner block only is $4\ 736\ \text{kg}/\text{hm}^2$. Evaluate the productivity of reclamation soil with different soil cover thickness using Modified Index of Reclaimed Soil Productivity (MPI) model. The results show that the adaptive of hydrolyzable nitrogen and available potassium is close to the control plots when the soil thicknesses are 75 cm and 90 cm, while the available phosphorus and organic matter is on the low side in some sort, the levels of their productivity verges on the control block; the nutrients of the plots with 40 cm and 60 cm are generally lower which are limiting the growth of crops.

Through the error analysis of evaluation results, it is indicated that the minimum error of this

evaluation is 1.65%, and the maximum error is 4.33%, the evaluation of gangue reclaimed soil productivity using of MPI model has high accuracy.

Keywords: thickness of covering soil; MPI model; adaptive; productivity

1 研究区背景

研究区位于淮南西部的新庄孜井田,区内可采与局部可采煤层有 16 层,可采总厚度约 31.96 m,系煤层群开采。多煤层的重复采动,导致地面沉陷延续时间长,沉陷程度大,地表最大下沉 13 m 左右。同时,经过 50 多年的开采,区内煤矸石堆存量超过 100 万 t, 占用了大量的土地。2005 年选择新庄孜矿基本稳定的沉陷区,作为新庄孜矿覆土造地工程区,首先将沉陷区表层 60 cm 粘土剥离,再用煤矸石充填沉陷区。在充填过程中,为了保证回填土地的保水性能,将粒径大的矸石回填到塌陷区的底部,然后依次回填小粒径矸石,在将矸石倒入塌陷坑的同时,人工将黄土铲入矸石中混合,以增加保水性能;最后用剥离的表土覆盖煤矸石^[1]。复垦区面积 23 hm²。工程完工后,复垦区以种植小麦、大豆轮作为主。

受机械施工措施的影响,在复垦区形成了覆土厚度不均匀的地块,表土厚度较厚的有 90 cm,较薄的只有 40 cm。2009 年 5 月份对不同覆土厚度的煤矸石充填复垦区土壤生产力状况进行了调查,发现不同覆土厚度地块的土壤生产能力差异较大,其中覆土较厚的地块小麦产量达到 5 770 kg/hm²,覆土较薄的地块只有 4 736 kg/hm²。

为了研究不同覆土厚度复垦土壤的理化特性及其生产力水平,科学指导土地复垦工程,我们在新庄孜矿复垦区选择四个不同覆土厚度的试验地块(见图 1),按网格法布点,分两个土层(0~20 cm、20~40 cm)采集土壤混合样,并选择附近正常农田作为对照点,对土壤 pH、容重、水解性氮、速效 P、速效 K、有机质等理化特性进行了分析测试,结果见表 1。

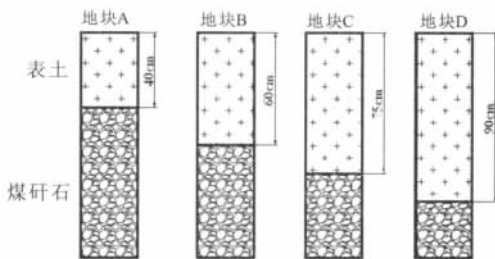


图 1 不同地块覆土厚度示意图

表 1 淮南新庄孜矿复垦区不同复垦地与对照地块的土壤环境因子、养分因子对比

土壤类别	采样深度/cm	环境因子			养分因子		
		pH	容重/(g·cm ⁻³)	水解性氮/(mg·kg ⁻¹)	速效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	有机质/(10 ³ mg·kg ⁻¹)
对照地块	0~20	7.4	1.14	54.48	14.25	255.8	1.9
	20~40	7.5	1.4	36.4	3.88	224.47	1.34
A 地块	0~20	7.9	1.16	43.71	14.36	190.33	1.24
	20~40	8	1.5	51.09	11.85	146.02	0.86
B 地块	0~20	7.8	1.1	45.02	15.97	242.95	1.32
	20~40	7.9	1.48	40.74	9.34	182.39	0.85
C 地块	0~20	7.7	1.09	50.86	15.61	266.83	1.54
	20~40	7.8	1.43	43.96	11.49	229.77	1.47
D 地块	0~20	7.9	1.16	80.22	20.98	242.49	1.58
	20~40	7.9	1.5	32.45	10.24	219.69	1.11

2 不同覆土厚度土壤生产力评价

2.1 评价方法

本文选择复垦土壤生产力指数的修正模型^[2](MPI) 对不同覆土厚度复垦土壤生产力进行评价。MPI 考虑了因子之间的相关性和因子本身的变异性,具有较高的精确度,适用于矸石山复垦土壤的生产力的评价^{[2][3]}。

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。本次评价养分因子用水解性氮、速效 P、速效 K 与有机质含量表示,环境因子用土壤 pH 值和容重表示。

复垦土壤生产力的修正模型满足下列基本要求和基本假设: ①考虑土壤属性的空间变异性和时间变异性; ②考虑环境因子与养分因子的相关性; ③吸取 PI 和 FPI 用适应性表示生产力的优点,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:

$$MPI = (1 + R_{MPI}) MPI(\vec{e}, \vec{n}) \quad (1)$$

$$\vec{e} = (e_{1j}, e_{2j}, \dots, e_{Mj}), j = 1 \sim s \quad (2)$$

$$\vec{n} = (n_{1j}, n_{2j}, \dots, n_{Nj}), j = 1 \sim s \quad (3)$$

$$MPI(\vec{e}, \vec{n}) = \sum_{i=1}^M \left[w_i \sum_{j=1}^s W L_j S(e_{ij}) \right] + \sum_{i=1}^N \left[w_{M+i} \sum_{j=1}^s W L_j S(n_{ij}) \right] \quad (4)$$

$$r_{MPI} = \frac{1}{s(M+N)} \left[\sum_{i=1}^M \sum_{j=2}^s S(re_{ij}) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^s S(rn_{ij}) \right] \quad (5)$$

式中: MPI 为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,

$MPI(\vec{e}, \vec{n})$ 为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} 为因时空变异而加的修正系数; \vec{e} 为不同土层的各个样点环境因子平均向量; \vec{n} 为不同土层的各个样点养分因子平均值向量; s 为土层数; W_i 为土壤因子 i 的权重, $\sum_{i=1}^{mn} W_i=1$; wL_j 为第 j 层土的权重; $s(\bar{e}_{ij})$ 为土层 i 环境因子平均值 \bar{e}_{ij} 对作物生长的适应性; $s(\bar{n}_{ij})$ 为 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; $s(re_{ij})$ 为 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; $s(rn_{ij})$ 为 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。

2.2 定量评价

利用 MPI 评价复垦土壤生产力的步骤为: ①确定不同因子的权重 $W=(w_i)$ 和不同土壤层的权重 $WL=(WL_j)$; ②选择不同因子对作物生长的适应性函数 $s(e_{ij})$ 和 $s(n_{ij})$; ③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; ④利用环境因子 e_{ij} 和修正后的养分因子值 n_{ij}' , 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; ⑤按式(4) 分别求取复垦土壤与对照土壤的 $MPI(\vec{e}, \vec{n})$; ⑥按式(5) 分别求取复垦土壤与对照土壤的 r_{MPI} [3]; ⑦按式(1) 分别计算复垦土壤和对照土壤的 MPI; ⑧用式(6) 计算复垦土壤生产力水平。

$$y_r = \frac{MPI_r}{MPI_c} \times y_c \quad (6)$$

式中: y_r 为复垦土壤生产力水平 (kg / hm²);

MPI_r 为复垦土壤的 MPI 指数; MPI_c 为对照田的 MPI 指数; y_c 为对照田的生产力水平。

w_i 和 WL_j 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, 本次评价取 $W=(0.2, 0.2, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15)$, $WL=(0.7, 0.3)$ 。不同因子对作物生长适应性函数 $s(e_{ij})$ 和 $s(n_{ij})$ 依式(7)~(12) 算出, 酸碱度、容重、水解性氮、速效磷、速效钾、有机质分别用 pH、d、Nh、Pa、Ka 和 O.M. 表示。

$$S_{pH} = \begin{cases} 1 & pH \in [6, 7.5] \\ \frac{1}{3}pH-1 & pH \in [3, 6] \\ -\frac{2}{3}+6 & pH \in [7.5, 9] \end{cases} \quad (7)$$

$$S_d = \begin{cases} 1 & d \leq 1.30 \\ 1.88-0.68d & d \in [1.3, 1.55] \\ 5.98-3.32d & d \in [1.55, 1.8] \end{cases} \quad (8)$$

$$S_{Nh} = \begin{cases} 1 & Nh \geq 100 \\ 0.01Nh & Nh \in [0, 100] \end{cases} \quad (9)$$

$$S_{Pa} = \begin{cases} 1 & Pa \geq 15 \\ 0.05Pa+0.25 & Pa \in [5, 15] \\ 0.1Pa & Pa \in [0, 5] \end{cases} \quad (10)$$

$$S_{Ka} = \begin{cases} 1 & Ka \geq 200 \\ 3 \times 10^{-3} Ka+0.4 & Ka \in [100, 200] \\ 0.007Ka & Ka \in [0, 100] \end{cases} \quad (11)$$

$$S_{O.M.} = \begin{cases} 1 & O.M. \geq 2 \\ (0.5882 \times O.M. - 0.1765)^{0.3762} & O.M. \in [0.3, 2] \\ 0.007Ka & O.M. \leq 0.3 \end{cases} \quad (12)$$

本次评价养分因子分别按 pH 值和土壤容重取值而修正, 按 pH 值修正的标准参考文献[1], 按土壤容重修正的标准是以百分比 d_c / d % 进行修正, d_c 为对照田土壤容重; d 为复垦土壤的容重。复垦土壤与对照土壤养分的修正值如表 2。

表 2 不同复垦土壤与对照土壤养分因子修正值

土壤类别	采样深度 /cm	环境因子			养分因子		
		pH	容重 / (g.cm ⁻³)	水解性氮 / (mg.kg ⁻¹)	速效磷 / (mg.kg ⁻¹)	速效钾 / (mg.kg ⁻¹)	有机质 / (10 ⁴ mg.kg ⁻¹)
对照地块	0~20	7.4	1.14	54.48	14.25	255.8	1.9
	20~40	7.5	1.4	36.4	3.88	224.47	1.34
A 地块	0~20	7.9	1.16	39.69	8.79	186.67	1.21
	20~40	8	1.5	44.12	6.9	136.15	0.79
B 地块	0~20	7.8	1.1	43.76	10.76	256.82	1.34
	20~40	7.9	1.48	36.07	5.73	174.26	0.78
C 地块	0~20	7.7	1.09	50.11	10.78	265.12	1.59
	20~40	7.8	1.43	40.46	7.4	222.7	1.42
D 地块	0~20	7.9	1.16	72.53	13.03	235.45	1.52
	20~40	7.9	1.5	27.8	6.26	202.17	1.02

根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	采样深度 /cm	环境因子适应性			养分因子适应性		
		pH	容重 /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	水解性氮 /($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效磷 /($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效钾 /($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有机质 /($10^4\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
对照地块	0~20	1	1	0.5448	0.9625	1	0.9774
	20~40	1	0.928	0.364	0.84	1	0.8312
A 地块	0~20	0.7333	1	0.3969	0.6895	0.96	0.7904
	20~40	0.6667	0.86	0.4412	0.595	0.8085	0.6262
B 地块	0~20	0.8	1	0.4376	0.788	1	0.8312
	20~40	0.7333	0.8736	0.3607	0.5365	0.9228	0.6214
C 地块	0~20	0.8667	1	0.5011	0.789	1	0.9013
	20~40	0.8	0.9076	0.4046	0.62	1	0.8312
D 地块	0~20	0.7333	1	0.7253	0.9105	1	0.8826
	20~40	0.7333	0.86	0.278	0.563	1	0.7238

依据表 3,可以算出 $MPI_c = 0.8982$ 。本次评价为复垦第四年评价,对照地块种植的小麦实际产量为 $6\ 130\ \text{kg}/\text{hm}^2$,复垦土壤的 r_{MPI} 、 MPI 、 y_r 以及评价误差分析如表 4。

表 4 评价结果和误差分析

土壤类别	$MPI(e,n)$	r_{MPI}	MPI	y_r /($\text{kg}\cdot(\text{hm})^{-2}$)	实际产量 /($\text{kg}\cdot(\text{hm})^{-2}$)	评价误差 /%
A 地块	0.7433	-0.0193	0.7239	4 941	4 736	4.33
B 地块	0.7792	-0.0186	0.7604	5 19	4 996	3.88
C 地块	0.8274	0.0013	0.8287	5 656	5 514	2.58
D 地块	0.8231	0.0084	0.8315	5 675	5 770	1.65

3 评价结果分析

3.1 评价因子的适应性分析

如图 2、3 所示,四个地块的容重的适应性接近于对照地块,说明煤矸石复垦土壤无压实问题,土壤强度适宜于作物根系的生长。复垦土壤的速效钾的适应性大部分都接近于对照土壤的水平,只有覆土 40 cm 地块稍微偏低,尤其是在 20~40 cm 的土壤中。覆土 75 cm、90 cm 地块的水解性氮的适应

性基本达到了对照地块的水平,在 0~20 cm 土壤中,90 cm 地块的适应性甚至超过了对照土壤。四个地块的速效磷和有机质的适应性普遍低于对照地块的水平,覆土 75 cm、90 cm 地块稍好,覆土 40 cm 地块最差。因此,煤矸石复垦土壤的速效磷、有机质等养分偏少,影响农作物的正常生长,在土地利用过程中,可以通过施加绿肥、无机肥料等措施来提高土壤养分含量。

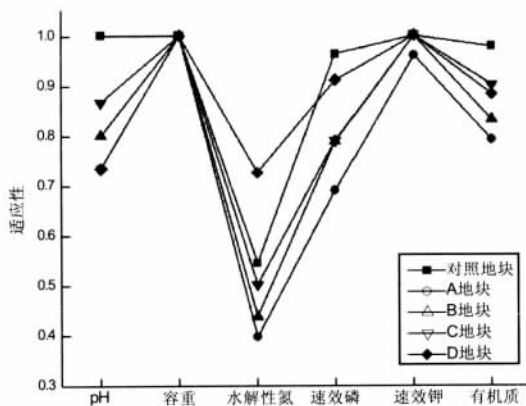


图 2 0~20cm 处土壤不同因子适应性

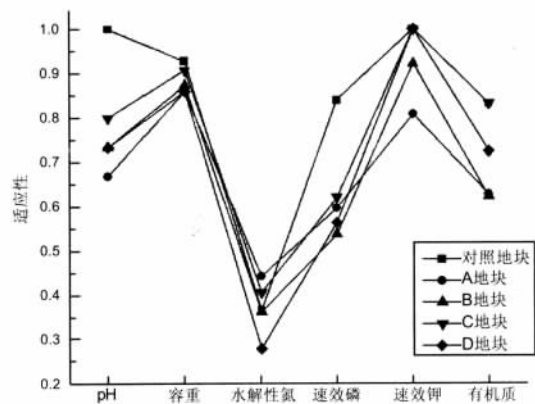


图 3 20~40cm 处土壤不同因子适应性

3.2 复垦土壤生产力评价结果分析

(1) 从表4的评价结果可以看出,四个地块中,覆土75 cm、90 cm地块的生产力较好,但稍低于对照地块,这是由于有机质和P等养分不足,以及在塌陷区填充复垦过程中,原有的土壤结构遭到破坏,复垦土壤需要一个熟化的过程。覆土40 cm、60 cm地块的生产力都比较差,其有机质、N、P、K等养分普遍偏低,土壤总体肥力太差。

(2) 通过对评价结果的误差分析可以看出,本次评价的最小误差为1.65%,最大误差为4.33%,与参考文献^{[2],[3]}(误差分别为5.6%、5.8%)相比较,误差有所降低。可见,本文分两个土层进行评价,以及评价因子和权重的选择是比较合

理的,有效地提高了MPI模型的精确度。同时,进一步验证了MPI模型适用于煤矸石复垦土壤生产力的评价。

参考文献:

- [1] 徐良骥,严家平,高永梅等.煤矿塌陷区覆土造地综合研究——以新庄孜矿为例[J].煤田地质与勘探,2007,35(1):56~58.
- [2] 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.
- [3] 刘青柏,刘明国,冯景刚. MPI模型在矸石山复垦土壤生产力评价中的应用[J].水土保持研究,2006,13(3):24~25.
- [4] 卞正富.矿区土地复垦界面要素的演替规律及其调控研究[J].中国土地科学,1999,13(2):6~11.

(上接第47页)

实施水源地信息公告制度。加大宣传力度,鼓励公众共同保护水源地安全。广泛发动群众,使饮用水水源保护成为全民的自觉行动;增强公众的参与意识和自我保护意识,强化舆论和群众监督,调动全社会力量做好饮用水源保护工作;建立饮用水水源地水质信息网络,加强信息反馈,增强快速反应能力,发现污染事故及时排除并向当地政

府和上级环保部门报告。

3 结语

饮用水安全保护意义重大而长远,各级环保部门需要做的工作很多,不但要从思想上重视,更应该进一步落实到具体的行动中去。真正做到一手抓防范,一手抓治理。在水污染防治方面,不断探索、积极创新,确保人民群众喝上放心的水。

(上接第51页)

题更应引起足够的重视,采取适当的防治措施,制定相应的治理对策,加强污染治理,尽最大努力改善土壤环境,保证人民身体健康。

参考文献

- [1] 陈怀满,郑荣春,周东美等.关于我国土壤环境保护研究中一些值得关注的问题[J].农业环境科学学报,2004,23(6):1244~1245.

- [2] 黄铭洪,骆永明.矿区土地修复与生态恢复[J].土壤学报,2003,40(2):161~169.
- [3] 奚旦立,孙裕生,刘秀英.环境监测(第三版)[M].北京:高等教育出版社,2004,7:594~595.
- [4] 丁桑岚.环境评价概论[M].北京:化工出版社,2001,4:136~137.
- [5] 中华人民共和国国家标准.土壤环境质量标准(GB 15618-1995)[S].国家环境保护局,1995.
- [6] 廖自基.微量元素的环境化学及生物效应[M].中国环境科学出版社,1992:185~267.