

基于模糊综合评价法的表土替代材料养分指标评价

杨卓, 程丽, 盛世博, 刘娜, 辛建宝 (中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司, 辽宁沈阳 110015)

摘要 为了筛选出一种适宜的表土替代材料,以5种采矿剥离物为原料,制成不同粒径配比的表土替代材料,通过室内盆栽试验测定其理化性质,对比分析各处理的养分指标,利用模糊综合评价法对表土替代材料养分指标进行评价,选出最优配比。结果表明,pH是表土替代材料养分指标评价的重要因子,在各个养分指标的含量中速效钾水平最高,其次为有效磷,而有机质和碱解氮的含量较低;变异系数从大到小依次为碱解氮>有机质>有效磷>速效钾>pH。主成分分析结果表明,各指标权重分别为pH 0.28、速效钾 0.26、碱解氮 0.23、有效磷 0.21、有机质 0.02;模糊综合评价结果表明,4A 配比[其粒径配比1号剥离物(2.0~3.0 mm);2号剥离物(2.0~3.0 mm);3号剥离物(1.0~2.0 mm);4号剥离物(1.0~2.0 mm);5号剥离物(0.5~1.0 mm)=4:4:2:1:3]是此次试验的最优配比。

关键词 表土替代材料;养分指标;模糊综合评价;主成分分析

中图分类号 S156.99 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)02-0066-06

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.02.018

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Evaluation of Nutrient Indexes of Substitution Materials for Topsoil Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

YANG Zhuo, CHENG Li, SHENG Shi-bo et al (CCTEG Shenyang Engineering Company, Shenyang, Liaoning 110015)

Abstract In order to screen out a suitable topsoil substitute material, this study used five mining stripped materials as raw materials to make topsoil substitute materials with different particle size ratios. The physical and chemical properties were measured through indoor pot experiments, and the nutrient indicators of each treatment were compared and analyzed. The fuzzy comprehensive evaluation method was used to evaluate the nutrient index of the topsoil substitute material, and select the optimal ratio. The results showed that pH was an important factor for the evaluation of nutrient indicators of alternative topsoil materials. Among the content of various nutrient indicators, the level of available potassium was the highest, followed by available phosphorus, while the content of organic matter and alkaline nitrogen was lower; the coefficient of variation: alkaline nitrogen > organic matter > effective phosphorus > available potassium > pH. Principal component analysis results showed that the weight of each indicator was pH 0.28, available potassium 0.26, alkaline nitrogen 0.23, available phosphorus 0.21, organic matter 0.02. The fuzzy comprehensive evaluation results showed that the 4A ratio [the particle size ratio No.1 stripper (2.0-3.0 mm); No.2 stripper (2.0-3.0 mm); No.3 stripper (1.0-2.0 mm); No.4 stripper (1.0-2.0 mm); No.5 peeling object (0.5-1.0 mm) = 4:4:2:1:3] was the optimal ratio of this test.

Key words Topsoil substitute materials; Nutrient index; Fuzzy comprehensive evaluation; Principal component analysis

我国内蒙古地区露天矿资源丰富,露天开采形成大量的平台和边坡,表面积远大于原开采区的表面积,导致表土资源匮乏,急需适宜的表土替代材料来解决土地复垦过程中表土资源不足的问题^[1]。以采矿工作产生的剥离物作为基质,经人工配比、改良,促使其风化、熟化后的材料是较为理想的表土替代材料。适宜的表土替代材料可以为矿区排土场生态恢复植物提供良好的立地条件^[2-4]。目前表土替代材料的筛选方法尚停留于根据各土层物理、化学、生物和环境特性及出苗率的情况分别进行探讨,总结出较为适宜的配方^[5],但尚未形成一种系统的方法。模糊综合评价法在土壤肥力综合评价中应用较多,但尚未有人将这一方法用于筛选表土替代材料,这个方法很好地解决了各种不确定的、难以量化的问题,得出合理的结果,并且结果清晰、系统性强。

2019年6月,该研究在内蒙古某矿山排土场选取5种露天矿剥离物,制成不同配比的表土替代材料,进行室内盆栽试验,采用主成分分析法确定表土替代材料的养分指标权重,土壤养分指标是评价土壤肥力的重要标志,能供应和协调植物生长的营养与环境条件,对土地的可持续利用具有重

要作用^[6-7]。笔者利用模糊综合评价法对表土替代材料的养分指标进行综合评价,最终筛选出该试验中最适宜的表土替代材料。

1 材料与方法

1.1 样品采集 2019年6月,在内蒙古某矿山排土场选取5种露天矿剥离物,分别命名为1~5号剥离物,该矿区位于内蒙古自治区通辽市西北端,地理坐标为119°08'~119°46'E、45°10'~45°40'N。1~4号剥离物位于采坑东帮,5号剥离物位于采坑西帮。1~5号剥离物取土点高程分别为874、914、940、978和982 m。采集露天矿剥离物后将其风干、破碎后过3 mm筛备用,各矿山剥离物的养分初始值见表1。

表1 剥离物养分初始值

Table 1 The initial nutrient value of overburden material

剥离物 Overburden material	有机质 Organic matter g/kg	碱解氮 Alkaline nitrogen mg/kg	有效磷 Available phosphorus mg/kg	速效钾 Available potassium mg/kg	pH
1号 No.1	74.5	129.0	4.4	970	8.94
2号 No.2	70.8	115.0	6.5	545	8.82
3号 No.3	13.4	104.0	15.7	770	8.65
4号 No.4	8.1	83.3	17.5	375	8.47
5号 No.5	5.5	38.3	5.7	150	8.81

该试验利用5种矿山剥离物为基质,根据不同矿山剥离物选用的粒径范围设置3个粒径处理,各处理中1号、2号剥

基金项目 中国煤炭科工集团有限公司科技创新创业资金专项重点资助项目(2018-2-ZD005);中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司科技创新项目(NK001-2018)。

作者简介 杨卓(1985—),女,黑龙江伊春人,高级工程师,硕士,从事土地复垦与生态重建、绿色矿山建设等方面研究。

收稿日期 2021-05-10;修回日期 2021-06-17

离物共用相同粒径范围,3号、4号共用相同粒径范围,各处理使用的粒径范围见表2。每种矿山剥离物设置4个用量水平,基于3因素4水平正交试验得到16个处理,每个处理设3个重复,每个处理用土量1kg,各处理用土量比例见图1。将3个粒径范围处理与16个用量处理组合得到48个处理。分别表示为1A~16A、1B~16B和1C~16C。各表土替代材料

按配比要求共称取1kg,搅拌均匀后置于外口径为15cm、高10cm的硬质塑料盆中,加300mL去离子水造墒,室温下放置14d后进行种植。披碱草种子经24h恒温催芽后,均匀地播种于室温放置14d的土壤中,播种深度为1.0~1.5cm,每盆30粒。待披碱草出苗后第10天测定土壤的pH、有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量。

表 2 不同处理选用的粒径范围

Table 2 The particle size range selected for different treatments

处理 Treatment	1号剥离物 Overburden material 1	2号剥离物 Overburden material 2	3号剥离物 Overburden material 3	4号剥离物 Overburden material 4	5号剥离物 Overburden material 5
A	2.0~3.0	2.0~3.0	1.0~2.0	1.0~2.0	0.5~1.0
B	0.5~1.0	0.5~1.0	2.0~3.0	2.0~3.0	1.0~2.0
C	1.0~2.0	1.0~2.0	0.5~1.0	0.5~1.0	2.0~3.0

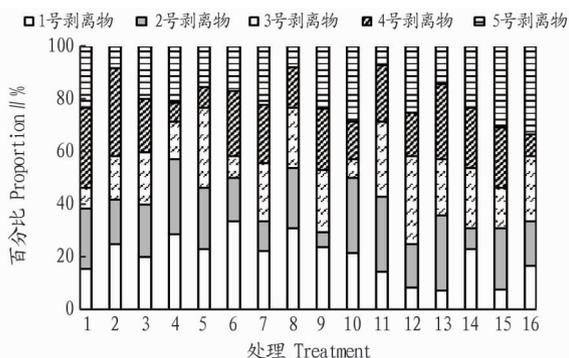


图 1 各矿山剥离物用量比例

Fig.1 The proportion of overburden material in each mine

1.2 测定方法 土壤理化性质的测定方法参见《土壤农化

分析》^[8],该试验所测化学指标包括 pH、有机质、碱解氮、有效磷和速效钾;pH 采用电位法测定,有机质采用重铬酸钾-浓硫酸外加热法测定,碱解氮采用碱解扩散法测定,有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定,速效钾采用乙酸铵浸提火焰光度计法测定。

1.3 数据处理与分析 利用 SPSS 26.0 进行数据处理和主成分分析,利用 Excel 2010 进行模糊综合评价;主成分分析中,公因子提取采用主成分法(或其他方法),因子旋转采用斜交旋转法;模糊评价中采用主成分分析法确定权重^[9]。

2 结果与分析

2.1 表土替代材料养分指标的描述性统计分析 48 种表土替代材料理化性质见图 2~6。对 48 个表土替代材料处理的养分指标数据进行统计分析,结果发现(表 3),表土替代材

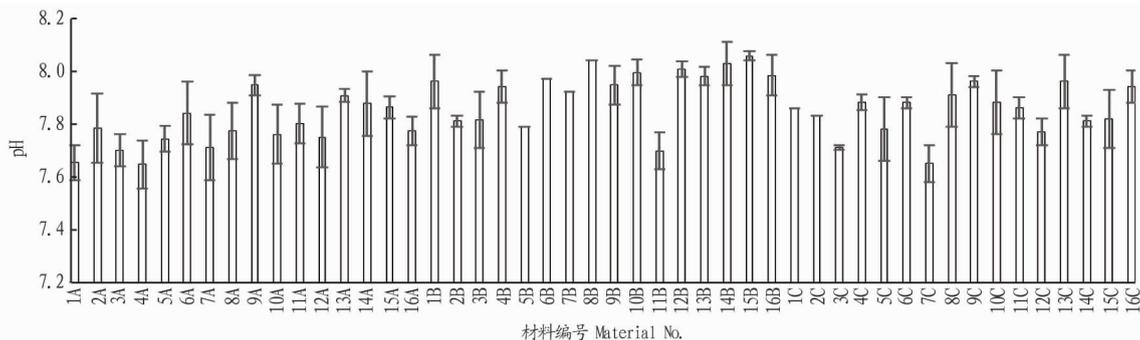


图 2 48 种表土替代材料 pH

Fig.2 pH of 48 alternative topsoil materials

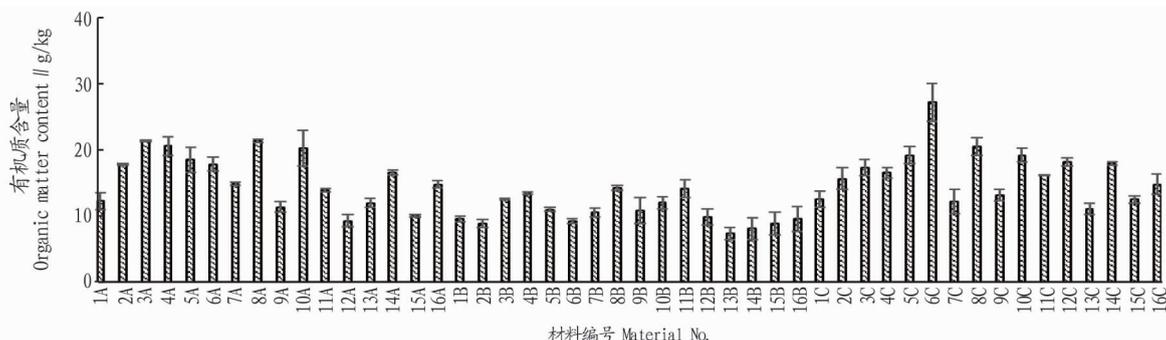


图 3 48 种表土替代材料有机质含量

Fig.3 The organic matter content of 48 alternative topsoil materials

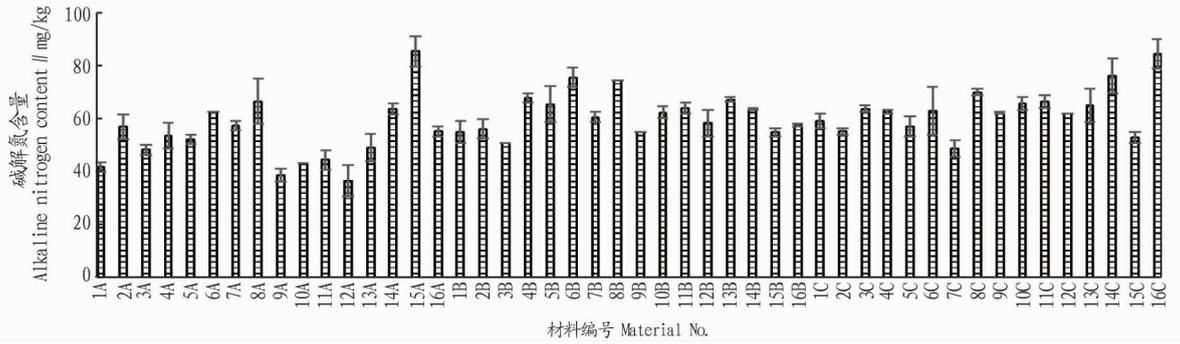


图4 48种表土替代材料碱解氮含量

Fig.4 The alkaline nitrogen content of 48 alternative topsoil materials

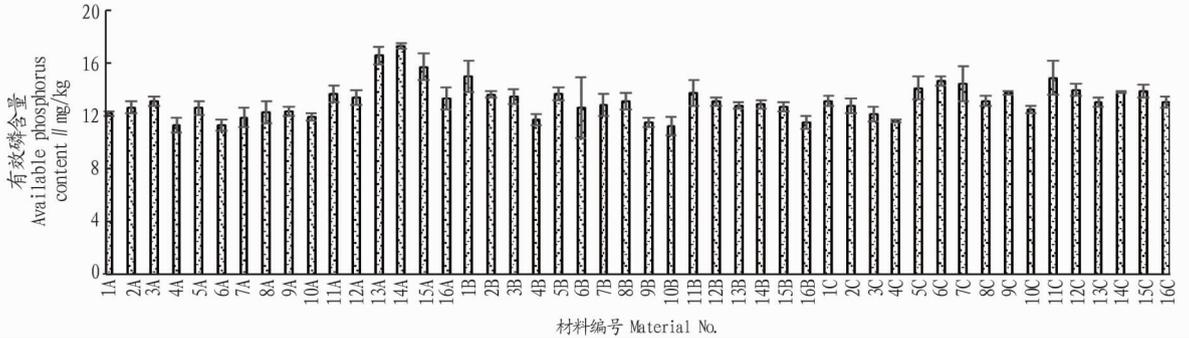


图5 48种表土替代材料有效磷含量

Fig.5 The available phosphorus content of 48 alternative topsoil materials

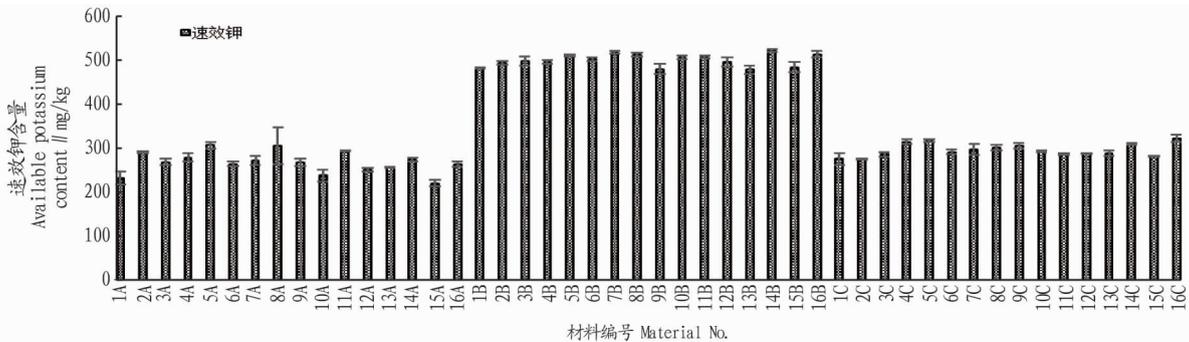


图6 48种表土替代材料速效钾含量

Fig.6 The available potassium content of 48 alternative topsoil materials

料的速效钾含量平均值为 354.31 mg/kg,根据第二次全国土壤普查制定的土壤养分分级标准,速效钾含量达到 1 级水平;有效磷含量为 11.22~17.29 mg/kg,各处理中有效磷含量均达到 3 级水平;有机质含量为 7.25~27.03 g/kg,大部分处于 3 级和 4 级,仅有 12.5%处于 5 级,有机质含量较贫乏;碱解氮含量水平最低,均处在 4 级和 5 级范围内。pH 的变异系数最低,为 0.73%,属于弱变异;有机质和碱解氮的变异系数较大,分别为 6.65%和 7.72%,相对而言属于强变异,说明表土替代材料中有机质和碱解氮含量受其他因素影响较大;有效磷和速效钾变异系数分别为 4.29%和 1.88%,属于中等变异强度。

2.2 表土替代材料模糊综合评价养分指标权重的确定 对 pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾 5 个养分指标进行主成分分析,公共因子总方差见表 4,前 3 个公共因子的特征值较高,累计贡献率达 85.165%,表明原来 5 个指标所反映信息可

以由前 3 个主成分来表征。

表 3 表土替代材料养分指标描述性统计分析结果

Table 3 The descriptive statistical analysis results of nutrient indicators of topsoil substitute materials

项目 Item	pH	有机质 Organic matter g/kg	碱解氮 Alkaline nitrogen mg/kg	有效磷 Available phosphorus mg/kg	速效钾 Available potassium mg/kg
最大值 Maximum value	8.06	27.03	85.72	17.29	522.00
最小值 Minimum value	7.65	7.25	36.59	11.22	220.33
平均值 Average value	7.86	14.19	59.60	13.16	354.31
标准差 Standard deviation	0.06	0.94	4.60	0.56	6.65
变异系数 CV//%	0.73	6.65	7.72	4.29	1.88

表 4 公共因子解释的总方差

Table 4 The total variance explained by common factors

成分 Ingredient	特征值 Eigen- values	方差贡献率 Variance contribut- ion rate//%	累计贡献率 Cumulative contributi- on rate//%
1	2.207	44.146	44.146
2	1.091	21.826	65.972
3	0.960	19.193	85.165
4	0.421	8.425	93.590
5	0.321	6.410	100

通过斜交旋转得到各因子旋转成分矩阵见表 5。结果表明,第一主成分特征值为 2.207,贡献率占 44.146%,此主成分中荷载最大的因子为速效钾(0.793),其次为 pH(0.763)。碱解氮和有效磷对第一主成分贡献较低,而有机质对第一主成分的贡献为负值,说明随着速效钾和 pH 贡献的增加,有机质对第一主成分的作用减弱,因此,第一主成分为速效钾和 pH 综合因子。第二主成分特征值为 1.091,贡献率为 21.826%,此成分荷载最大的因子为碱解氮(0.957),而后依次为 pH(0.358)、速效钾(0.303)、有机质(0.201)和有效磷(0.057),这些因素荷载较低,因此第二主成分可以命名为碱解氮因子。第三主成分特征值为 0.960,贡献率为 19.193%,此成分荷载最大的因子为有效磷(0.983),其他因素荷载较低,因此,第三主成分可以命名为有效磷因子。

将旋转成分矩阵荷载系数计算结果归一化处理后确定各指标权重分别为 pH 0.28、速效钾 0.26、碱解氮 0.23、有效磷 0.21、有机质 0.02。

表 6 表土替代材料各肥力指标评价等级临界值及权重

Table 6 The critical values and weights of various fertility index evaluation grades of topsoil substitute materials

评价等级 Evaluation grade	pH	速效钾 Available potassium mg/kg	碱解氮 Alkaline nitrogen mg/kg	有效磷 Available phosphorus mg/kg	有机质 Organic matter g/kg
很高 Very high	7.6~8.7	>150	>120	>20	>30
高 High	—	>100~150	>90~120	>10~20	>20~30
中 Moderate	—	50~100	60~90	5~10	10~20
低 Lower	—	<50	<60	<5	<10
权重 Weights	0.28	0.26	0.23	0.21	0.02

(4) 建立单因素模糊综合判断矩阵。首先求得归一化指标关于等级的隶属度,从而得到单因素评判矩阵 $R_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}\}$, 根据隶属度函数构建从 U 到 V 的模糊关系矩阵。根据各养分指标与植物生长的关系^[10], 该试验中土壤 pH、有机质、速效钾、碱解氮和有效磷含量(X)与产量(Y)呈 S 型曲线关系^[11], 隶属函数为:

$$u(x) = r_{ij} = \begin{cases} 1 & (x_{ij} \geq x_0) \\ \frac{x_0 - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}} & (x_{ij} < x_0) \end{cases} \quad (1)$$

式中, x_{ij} 为指标值, x_{\max} 为指标中最大值, x_{\min} 为指标中最小值, x_0 为临界值, 从 U 到 V 的模糊关系矩阵为:

表 5 旋转成分矩阵荷载系数

Table 5 The load factor of rotation component matrix

成分 Ingredient	1	2	3
pH	0.763	0.358	0.095
有机质 Organic matter	-0.891	0.201	-0.098
碱解氮 Alkaline Nitrogen	0.112	0.957	0.054
有效磷 Available phosphorus	0.004	0.057	0.983
速效钾 Available potassium	0.793	0.303	-0.270

2.3 模糊综合评价表土替代材料养分指标 对照第二次全国土壤普查制定的土壤养分分级表, 根据各个养分指标所处范围难以综合判别表土替代材料的养分指标高低, 故引用模糊综合评价法进行综合评判。该试验采用模糊综合评价的单级评判模型, 步骤如下:

(1) 建立评判对象的因素集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 即表土替代材料肥力指标, 包括 pH、速效钾、碱解氮、有效磷和有机质 5 个指标, $n=5$ 。

(2) 建立评判集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 。参照第二次全国土壤普查制定的土壤养分分级表, 该试验中表土替代材料各指标的评价等级分为很高、高、中、低 4 个等级, 即 $m=4$, 分别赋值 2.0、1.0、0.5、-1.0, 其中破披草最适宜生长的 pH 在 7.6~8.7, 而该试验中表土替代材料的 pH 均为 7.6~8.1, 已在最适宜范围内, 故在此次评价中 pH 在 7.6~8.7, 等级均为很高。

(3) 确定权重 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 。采用主成分分析结果确定各指标的权重^[9], 该试验中各指标权重见表 6。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

(5) 进行综合评判。由于 U 中的各因素有不同的侧重, 因此对每个因素赋予不同的权重。在该试验中, 权重矩阵为 $A = \{0.28, 0.26, 0.23, 0.21, 0.02\}$, 在 R 与 A 求出之后, 模糊综合评判为 $B = A \times R$ 。综合评判后, B 可看作是 V 上的模糊向量, 即为 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$, 采用最大隶属法则处理, 得到最终评判结果, 需要对评判等级赋值, 得出相当于各评判等级规定的参数列向量 $C = (c_1, c_2, \dots, c_m)^T$, 得出等级参数的评判结果: $p = B \times C$, p 是一个实数, 可将各个指标综合效应量化。评价结果见表 7。

表7 表土替代材料模糊综合评价结果

Table 7 The fuzzy comprehensive evaluation results of alternative topsoil materials

编号 No.	p 值 p value	编号 No.	p 值 p value	编号 No.	p 值 p value
1A	0.066 59	1B	0.052 08	1C	0.058 62
2A	0.062 10	2B	0.059 93	2C	0.059 77
3A	0.064 31	3B	0.059 43	3C	0.072 51
4A	0.068 75	4B	0.062 52	4C	0.065 51
5A	0.063 37	5B	0.067 70	5C	0.061 05
6A	0.067 54	6B	0.059 87	6C	0.062 74
7A	0.066 05	7B	0.062 93	7C	0.055 53
8A	0.069 32	8B	0.056 61	8C	0.062 42
9A	0.053 18	9B	0.055 67	9C	0.060 31
10A	0.062 07	10B	0.060 89	10C	0.064 73
11A	0.059 16	11B	0.071 81	11C	0.063 36
12A	0.060 58	12B	0.051 95	12C	0.068 30
13A	0.052 64	13B	0.059 72	13C	0.060 74
14A	0.060 95	14B	0.057 79	14C	0.066 01
15A	0.061 51	15B	0.049 65	15C	0.059 32
16A	0.061 82	16B	0.054 17	16C	0.060 50

评价结果表明(表7),表土替代材料不同配比的养分指标评价结果(p 值)在0.049 65~0.072 51,结合评价结果,并参考分等定级方法^[12],将表土替代材料养分指标等级划分为4个等级,如表8所示。

表8 表土替代材料不同配比的养分指标分级及比例

Table 8 The nutrition index classification and different proportions of topsoil substitute materials

等级 Level	p 值 p value	比例 Proportion//%
1级 Level 1	>0.07	4.17
2级 Level 2	>0.06~0.07	58.33
3级 Level 3	0.05~0.06	35.42
4级 Level 4	<0.05	2.08

48个表土替代材料配比等级见图7,其中达到1级的表土替代材料配比为3C和11B,占比为4.17%,是此次配比试验中最优的两组配比,养分指标含量处于较高水平。其粒径配分别为3C中1号剥离物(1.0~2.0 mm):2号剥离物(1.0~2.0 mm):3号剥离物(0.5~1.0 mm):4号剥离物(0.5~1.0 mm):5号剥离物(2.0~3.0 mm)=1:1:1:1:1;11B中,1号剥离物(0.5~1.0 mm):2号剥离物(0.5~1.0 mm):3号剥离物(2.0~3.0 mm):4号剥离物(2.0~3.0 mm):5号剥离物(1.0~2.0 mm)=2:4:4:3:1。2级和3级表土替代材料占比较大,分别为58.33%和35.42%,养分指标含量处于中等水平;4级表土替代材料仅有一个配比为15B,其占比为2.08%。

运用相同的评价体系对48个配比的初始养分指标进行评价,并将48个配比的养分指标评价结果与初始养分指标值相减,结果如图8所示,其中35个配比的评价结果大于初始评价价值,该试验取土地较为集中,可以排除地理位置产生的差异。究其原因,表土替代材料的初始有机质含量为34.46 g/kg,而种植披碱草后有机质含量为7.25~27.03 g/kg,

表明在植物生长期间有机质分解转化为其他养分^[13-16],导致其含量显著降低。

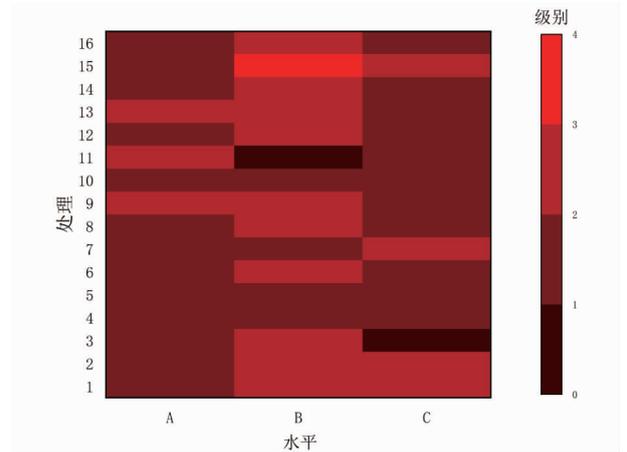


图7 表土替代材料评价等级

Fig.7 Evaluation grade of topsoil substitute materials

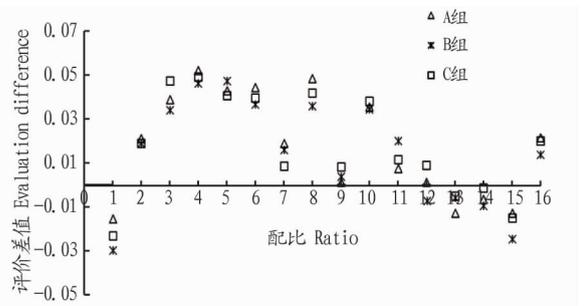


图8 3组配比养分指标评价差值

Fig.8 Differences in evaluation of three groups of nutritional indicators

综合养分指标等级与养分指标评价差值的结果,4号配比的评价结果优于其他配比,养分指标评价差值均较大,整体评价结果较好,3组配比中养分指标评价大小关系为4A>4C>4B,这表明A组配比选取的粒径范围较B、C两组更加利于养分发挥作用。此次表土替代材料配比试验中筛选出的最优配比为4A配比,其粒径配比1号剥离物(2.0~3.0 mm):2号剥离物(2.0~3.0 mm):3号剥离物(1.0~2.0 mm):4号剥离物(1.0~2.0 mm):5号剥离物(0.5~1.0 mm)=4:4:2:1:3。

3 讨论

3.1 表土替代材料各养分指标情况 对48个表土替代材料处理的养分指标数据进行统计分析,发现表土替代材料的pH的变异系数最低,这与试验中5种矿山剥离物本身pH相差不大有关;根据第二次全国土壤普查制定的土壤养分分级标准,速效钾含量达到1级水平,有效磷含量均达到3级水平,有机质含量较低,有研究表明^[17-18],土壤有机质的含量与地形息息相关,高海拔有利于有机质的积累,而该试验中所用剥离物均长时间处于地下较深处,不利于有机质的积累。碱解氮含量水平最低,均处在4级和5级范围内,在无外源氮肥施入的情况下,土壤氮素的主要来源是有机质的分解,其次是生物固氮作用和大气氮沉降^[19],而该试验中有机质含量也较低,通过有机质分解获得的氮素极少,因此后续对

表土替代材料的改良可考虑施加外源性氮肥来提高氮素含量。

3.2 模糊综合评价养分指标权重的确定方法 在模糊综合评价中构建权重向量至关重要,权重的确定方法一般有专家打分法、AHP 法、主成分分析法等,其中主成分分析法应用较为广泛。刘少春等^[20]采用主成分分析法对蔗田土壤 12 个养分指标进行综合评价,结果表明蔗田土壤肥力水平总体偏低。赵蛟等^[9]利用主成分分析法确定权重,采用模糊综合评价法对建瓯市毛竹林土壤肥力开展评价,结果表明建瓯市毛竹林地土壤肥力总体属于中上等水平。该研究采用主成分分析法确定模糊综合评价指标权重分别为 pH 0.28、速效钾 0.26、碱解氮 0.23、有效磷 0.21、有机质 0.02,其中有机质由于在主成分分析中贡献率较低导致其权重最低,权重的大小与表土替代材料养分指标的含量和变异系数关系密切。

3.3 模糊综合评价结果 根据模糊综合评价养分指标的结果,3 组配比中养分指标评价大小关系为 4A>4C>4B,从 A、B、C 3 组表土替代材料的粒径配比情况来看,2.0~3.0 mm 粒径含量较多是 A 组表土替代材料的显著特点,大粒径有利于提高表土替代材料的通透性^[21-22],增强呼吸作用,减少板结,增加表土替代材料的孔隙度,提高持水量,并且由于水分含量高,不易于表土替代材料养分的矿化分解,因此养分含量较高^[23]。而 B 组和 C 组的 0.5~1.0 mm 粒径较多,粒径较小导致表土替代材料透水性差,易板结,不利于植物生长。

4 结论

本研究利用模糊综合评价法对表土替代材料养分指标进行评价,结果表明,pH 是表土替代材料养分指标评价的重要因子,在各个养分指标的含量中速效钾水平最高,其次为有效磷,而有机质和碱解氮的含量较低;变异系数从大到小依次为碱解氮>有机质>有效磷>速效钾>pH。主成分分析结果表明,各指标的权重分别为 pH 0.28、速效钾 0.26、碱解氮 0.23、有效磷 0.21、有机质 0.02。模糊综合评价结果表明,4A 配比[其粒径配比 1 号剥离物(2.0~3.0 mm):2 号剥离物(2.0~3.0 mm):3 号剥离物(1.0~2.0 mm):4 号剥离物(1.0~2.0 mm):5 号剥离物(0.5~1.0 mm)=4:4:2:1:3]明显优于其他配比,为此次试验筛选出的最优配比。

(上接第 65 页)

- [27] 於方,王金南,曹东.中国环境经济核算技术指南[M].北京:中国环境科学出版社,2009.
- [28] 刘钦普.中国化肥施用强度及环境安全阈值时空变化[J].农业工程学报,2017,33(6):214-221.
- [29] 白晓龙,杨春和.农村畜禽养殖废水处理技术与展望[J].中国资源综合利用,2015,33(6):30-34.

参考文献

- [1] 刘雪冉,胡振琪,许涛,等.露天煤矿表土替代材料研究综述[J].中国矿业,2017,26(3):81-85.
- [2] SHRESTHA R K,LAL R.Changes in physical and chemical properties of soil after surface mining and reclamation[J].Geoderma,2011,161(3/4):168-176.
- [3] FELLETT G,MARCHIOL L,DELLE VEDOVE G,et al.Application of biochar on mine tailings:Effects and perspectives for land reclamation[J].Chemosphere,2011,83(9):1262-1267.
- [4] BOYER S,WRATTEN S D.The potential of earthworms to restore ecosystem services after opencast mining-A review[J].Basic and applied ecology,2010,11(3):196-203.
- [5] 胡振琪,位蓓蕾,林衫,等.露天矿上覆岩土层中表土替代材料的筛选[J].农业工程学报,2013,29(19):209-214.
- [6] DUMANSKI J,PIERI C.Land quality indicators;Research plan[J].Agriculture ecosystems & environment,2000,81(2):93-102.
- [7] WANG J,FU B J,QIU Y,et al.Analysis on soil nutrient characteristics for sustainable land use in Danangou catchment of the Loess Plateau,China[J].Catena,2003,54(1/2):17-29.
- [8] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3 版.北京:中国农业出版社,2000.
- [9] 赵蛟,徐梦洁,庄舜尧,等.基于模糊综合评价法的建瓯市毛竹林地土壤肥力评价[J].土壤通报,2018,49(6):1428-1435.
- [10] 靳晓.大兴安岭天然次生林土壤肥力的评价模型[D].哈尔滨:东北林业大学,2019.
- [11] 王建国,杨林章,单艳红.模糊数学在土壤质量评价中的应用研究[J].土壤学报,2001,38(2):176-183.
- [12] 张凤荣,安萍莉,王军艳,等.耕地分等中的土壤质量指标体系与分等方法[J].资源科学,2002,24(2):71-75.
- [13] 邢启鑫,饶良懿,王志臻,等.内蒙古砒砂岩不同类型区土壤有机质与速效钾特征[J].水土保持学报,2019,33(6):257-264,272.
- [14] 居玛汗·卡斯木,张丽娜,范鹏,等.黄土高原不同生态类型区果园地土壤肥力特征综合评价及其区域差异特征研究[J].水土保持研究,2015,22(1):316-323.
- [15] 袁海峰,王立民,罗春雨,等.黑瞎子岛地区土壤养分特征分析[J].国土与自然资源研究,2018(6):76-81.
- [16] 许文霞,翟勇,黄婷,等.石河子垦区农田土壤有机质和全氮空间分布特征研究[J].土壤通报,2015,46(6):1352-1358.
- [17] 陈双林,郭子武,杨清平.毛竹林土壤酶活性变化的海拔效应[J].生态学杂志,2010,29(3):529-533.
- [18] 张捷,刘洋,张健,等.马尾松人工林林冠层降雨再分配及其氮磷特征[J].生态学杂志,2014,33(6):1451-1458.
- [19] 彭佳佳,胡玉福,肖海华,等.生态修复对川西北沙化草地土壤有机质和氮素的影响[J].干旱区资源与环境,2015,29(5):149-153.
- [20] 刘少春,张跃彬,郭家文,等.基于养分丰缺分级的蔗田土壤肥力主成分综合分析[J].西南农业学报,2016,29(3):611-617.
- [21] 赵明月,赵文武,刘源鑫.不同尺度下土壤粒径分布特征及其影响因素:以黄土丘陵沟壑区为例[J].生态学报,2015,35(14):4625-4632.
- [22] 王静娅,张风华.干旱区典型盐生植物群落土壤团聚体组成及有机碳分布[J].生态学报,2016,36(3):600-607.
- [23] 李有民,周华荣,侯海生.新疆伊犁皮里其河流域表层土壤养分特征[J].干旱区研究,2010,27(2):290-296.
- [30] 周凯,郭林,郜国玉,等.河南省农村生活污水治理现状及政策建议[J].农业现代化研究,2019,40(3):387-394.
- [31] 陈淑媛.欠发达地区农村生活垃圾治理的问题及对策:以罗定市为例[J].安徽农业科学,2018,46(36):67-69.
- [32] 田宜水.中国规模化养殖场畜禽粪便资源化生产潜力评价[J].农业工程学报,2012,28(8):230-234.
- [33] 李文哲,徐名汉,李晶宇.畜禽养殖废弃物资源化利用技术发展分析[J].农业机械学报,2013,44(5):135-142.