利用富钾板岩与胶质芽孢杆菌制备土壤修复剂的配施研究

梅小乐[1]，白昕冉[2]，郑春丽[2]，唐舒婷[2]，楚鑫[2]，杨泽茹[2]

（1. 内蒙古农业大学 水利与土木工程建筑学院，内蒙古 呼和浩特 010000
2. 内蒙古科技大学 能源与环境学院，内蒙古 包头 014010）

摘要：以紫穗槐为种植对象，验证了白云鄂博富钾板岩固体发酵产物与胶质芽孢杆菌配施制备出的土壤修复剂性能。试验结果表明，两种原料添加的最优配比为土壤与固体发酵产物添加比 30:1，菌液添加量为 2.50 L/m^2。通过对种植的紫穗槐生物学性状及土壤理化性质的分析发现，紫穗槐的发芽率、茎长和干鲜重指标分别达到空白处理的 3.00、1.96、14.67 倍，土壤的含水率、有机质、有效磷和速效钾含量分别提高了 6.10、1.20、3.42、1.30 倍，均达到显著水平（$p < 0.05$）。加入胶质芽孢杆菌菌液后土壤中的稀土元素总量降低了 51.56 mg/kg。此土壤修复剂旨在增加土壤肥力，代替或减少化学肥料的施用量，并可以有效的、资源化的、合理的利用白云鄂博矿区富钾板岩，改善矿区废石堆积及周边生态区域污染等问题。

关键词：富钾板岩；胶质芽孢杆菌；土壤修复剂；紫穗槐；稀土元素

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2020.05.019

中图分类号：TD989；X53 **文献标志识码** A **文章编号：**1000-6532（2020）05-0130-07

土壤是人类生存的重要载体，为作物提供养分，是根系伸展固定的重要媒介[1]。研究人员利用矿物质对土壤进行修复研究早已开展，其中涉及多种天然矿物。迄今为止，已有近 60 种天然矿物质参与到土壤修复之中[1]。日本研究人员利用天然沸石修复土壤取得了不错的效果。在沙质土壤和黑钙土中使用沸石不仅可以改善土壤，还可以明显提高植物的产量和质量。Alberto 等[2]研究了沸石作为慢速植物养分肥料和土壤修复剂的特性及其应用，结果表明氮、磷、钾富集沸石是一种适宜的缓释养分源，可使作物增产 20%，提高产品质量。郑春丽等[3]的研究表明，固体发酵的方式可以使富钾板岩中的大量及微量元素得到释放，并且通过西红柿的种植，发现固体发酵的产物可缩短种子的休眠期，促进其生长。本研究将富钾板岩的固体发酵产物与胶质芽孢杆菌相结合，制备出一种可以将富钾板岩中的矿物质元素溶出的土壤修复剂[4-6]，并且通过对干旱盐碱环境下的先锋植物紫穗槐的种植，探索到一种富钾板岩发酵产物与微生物菌剂的较优配比，此修复剂可以提高土壤养分，并且有降低土壤中稀土元素含量的作用，达到了对西北地区盐碱土进行修复修复的作用。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

（1）试验土壤：取自内蒙古科技大学植物种

收稿日期：2019-07-08；**改回日期：**2019-08-04
基金项目：国家自然科学基金项目 (NSFC41561094、NSFC41867061)；内蒙古科技计划项目
作者简介：梅小乐（1980-），男，硕士，讲师，主要从事水资源利用保护和生物处理技术等方面的研究。
通讯作者：郑春丽（1979-），女，博士，教授，主要从事矿区生态及污染场地修复的研究。
E-mail：zhengchunli1979@163.com

万方数据

植基地和包钢尾矿库周边，过 0.034 mm 备用。不同土壤的基本理化性质见表 1。

表 1　不同土壤理化性质

Table 1　Physical and chemical properties of different soils

土壤类型	pH 值	含水率 /‰	有机质 /(g·kg^{-1})	有效磷 /(mg·kg^{-1})	速效钾 /(mg·kg^{-1})
大棚土	8.05 ± 0.02	4.88 ± 0.12	29.76 ± 0.27	41.95 ± 5.70	78.99 ± 4.80
尾矿土	8.27 ± 0.03	4.81 ± 0.31	12.60 ± 0.14	22.62 ± 2.64	84.54 ± 3.96

（3）市面购入土壤修复剂：来自山东金耀生物技术有限公司。灰色粉末状，pH 值 7.2，有效活菌数≥ 2 *1011 个 /g。

（4）胶质芽孢杆菌菌液：购自 GIMCC，产品编号 GIMCC GIM1.15。

（5）紫穗槐种子：购自内蒙古呼和浩特市种子站。

1.2　试验设计与方法

盆栽试验之前对紫穗槐种子进行预处理，处理采用浸泡法，用 50 ℃的蒸馏水在恒温培养箱中浸泡种子 24 h[7]。将胶质芽孢杆菌种子液于超净工作台接种至 LB 液体培养基中，将菌液扩培至 5 L，28 ℃，200 r/min 下培养 48 h，OD600 值约为 1.3 ~ 1.4 时停止培养。将扩培好的菌液于 4 ℃、8000 r/min 下离心 8 min，去上清液，用超纯水将沉淀稀释至 5 L，放于 4 ℃冰箱备用。

选用 18 cm×18 cm 的花盆装入 1.5 kg 表 3 中设计的配比混合物，为了保证基质的透气性，其中 20 % 土壤用蛭石替代。加菌组每盆加入 100 mL 准备好的胶质芽孢杆菌菌液，加入量约为 2.5 L/ m^2。每盆播种紫穗槐种子 30 粒，播种完成后每三天进行一次轻度松土。每天保证光照 10 h，光照强度约 1000 Lux。每隔一天浇水一次，每次每盆约为 100 mL。每组配比进行三个平行处理，种植周期为 120 d。

（2）富钾板岩固体发酵：将富钾板岩矿石磨至粉末状过 74 μm 筛子后，与牛粪等常见农产品按一定比例混合接入 EM 菌剂置堆发酵 35 d 至腐熟。按照 NY 525-2012 生物有机肥标准对发酵产物进行指标检测。富钾板岩固体发酵产物基本理化性质见表 2。

表 2　富钾板岩固体发酵产物理化性质

Table 2　Physicochemical properties of solid fermentation products of potassium-rich slate

处理	pH 值 (1:2.5)	含水率 %	有机质 /(g·kg^{-1})	速效钾 /(mg·kg^{-1})	总钙 /(g·kg^{-1})	总镁 /(g·kg^{-1})	总养分 /(g·kg^{-1})	有效活菌数个 /g
富钾板岩发酵产物	8.5 ± 0.03	24.6 ± 0.10	120 ± 0.28	84.54 ± 4.50	37.3 ± 1.51	20.4 ± 1.29	82.6 ± 2.47	(5.75 ± 0.02)*1011

盆栽试验中土壤基质的不同配比方法见表 3。

表 3　盆栽土壤不同配比处理方法

Table 3　Treatment methods of different proportions of potted soil

盆栽土壤	编号	处理方法 比例	处理方法 胶质芽孢杆菌菌液
大棚土空白	B0J0	−	−
	B0J1	−	+
大棚土：固体发酵产物	B2J0	20：1	−
	B2J1	20：1	+
	B3J0	30：1	−
	B3J1	30：1	+
	B4J0	40：1	−
	B4J1	40：1	+
	B5J0	50：1	−
	B5J1	50：1	+
尾矿土：固体发酵产物	W3J0	30：1	−
	W3J1	30：1	+
大棚土：市面修复剂	S3J0	30：1	−
	S3J1	30：1	+

注：表中“−”表示不添加，“+”表示添加

1.3　测定项目与方法

分别测定各处理组土壤的 pH 值、含水率、有机质、有效磷、速效钾及稀土元素含量；测量 120 d 内紫穗槐的发芽率、根茎叶长变化及植株干鲜重等指标。

pH 值的测定采用电位法，含水率的测定采用电热鼓风干燥箱烘干法，有机质采用干烧法测定，有效磷采用碳酸氢钠法测定，速效钾的测定采用

万方数据

乙酸铵提取法，土壤中稀土元素含量测定采用四酸消解法处理后用 ICP-AES 测定 [9-10]。在播种后的第 30 d 记录其发芽率，并对幼苗适当定株。播种 120 d 后，测定不同处理下紫穗槐的根、茎、叶长及植株干鲜重。

测定结果用 JMP 9 进行分析，绘图软件为 Origin9。

2　结果与讨论

2.1　不同配比处理对紫穗槐种子发芽率的影响

不同配比下紫穗槐种子的发芽率见图 1。

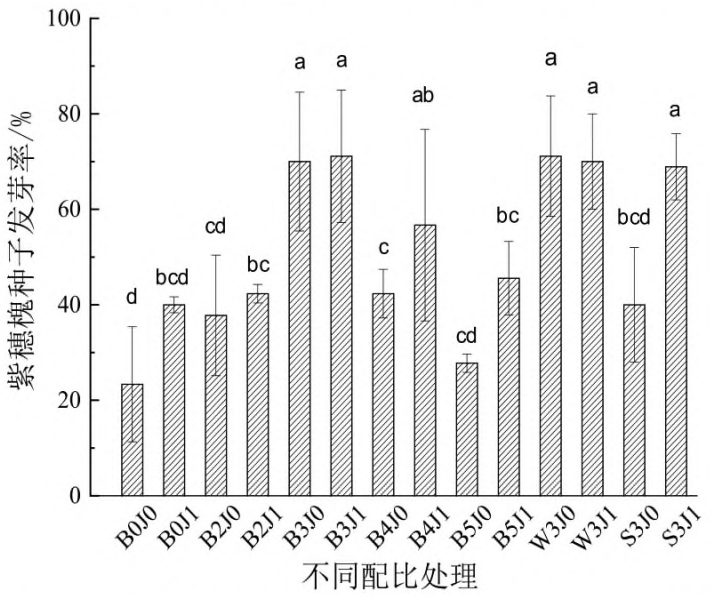


图 1　不同配比处理下紫穗槐种子的发芽率

Fig .1　Germination rate of seeds under different treatment ratios

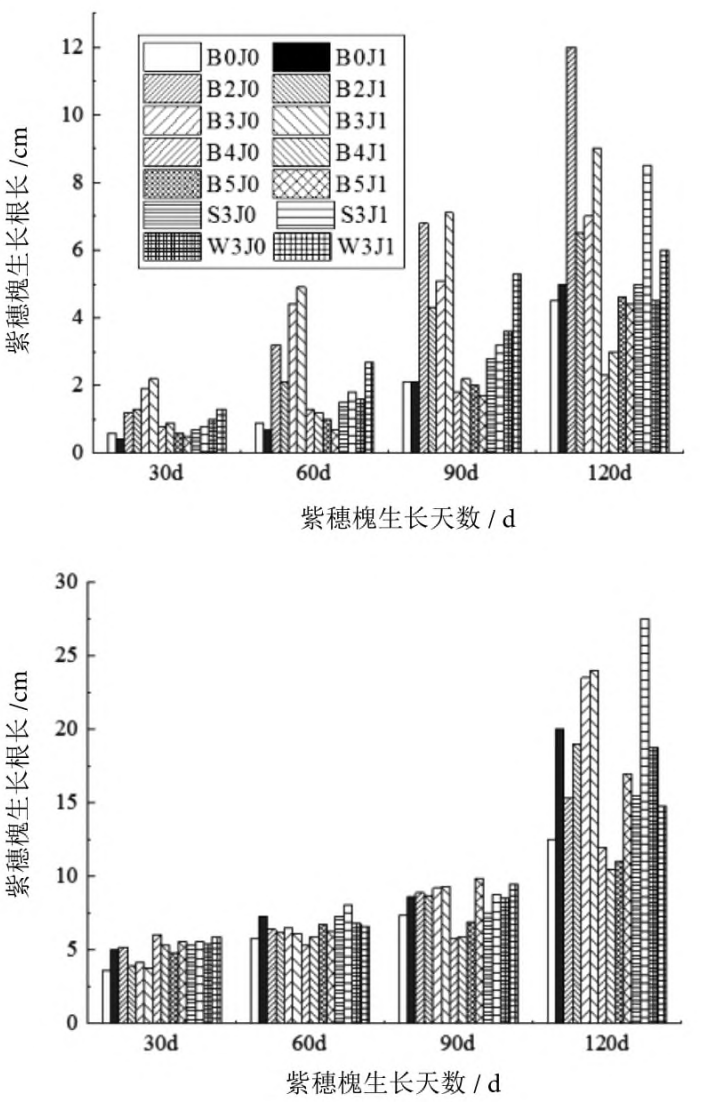
由图 1 可以看出尾矿土、大棚土分别和富钾板岩发酵产物 30:1 配施的处理组无论是否施加胶质芽孢杆菌都使紫穗槐种子发芽率的提高达到了显著水平，是空白处理（B0J0）的 3 倍。富钾板岩发酵产物的添加可以显著提高紫穗槐种子的发芽率（$p < 0.05$），发芽率随着发酵产物添加量的下降呈先升高后下降的趋势，原因可能是发酵产物的过量添加可能引起肥力过高，抑制了紫穗槐种子的发芽，此后紫穗槐发芽率随着发酵产物添加量减少呈下降趋势。各不同配比处理组添加菌液均可使种子发芽率显著提升（$p < 0.05$），与前人 [8-9] 的研究结果相似，其中市面土壤修复剂处理组配施胶质芽孢杆菌菌液后发芽率提高了 30%。不同配比处理下紫穗槐种子发芽情况较优的处理组依次为 W3J0 > B3J1 > B3J0 > W3J1 > S3J1 > B4J1。

2.2　不同配比处理对紫穗槐的生物学性状的影响

2.2.1 不同配比处理对紫穗槐生长根、茎、叶长的影响

紫穗槐生长至 120 d 时，植物根部长势较好的为 B2J0、B3J1 和 S3J1，分别达到 12 cm、9 cm、8.5 cm，是 B0J0 空白处理的 3 倍，是 S3J0 市面土壤修复改良剂单独处理的 2 倍。由此可见添加富钾板岩发酵产物以及胶质芽孢杆菌可以增加植物根长，壮大根系。

紫穗槐生长至 120 d 时，茎长长势最好的为 S3J1、B3J0 和 B3J1，分别达到 27.5 cm、23.5 cm、20 cm，是 B0J0 空白处理和 S3J0 市面土壤修复改良剂单独处理的 2 倍。叶长长势最好的为 W3J1、B3J0 和 S3J1，分别达到 2.6 cm 和 1.8 cm，是 B0J0 空白处理和 S3J0 市面土壤修复改良剂单独处理的 2 倍。



万方数据

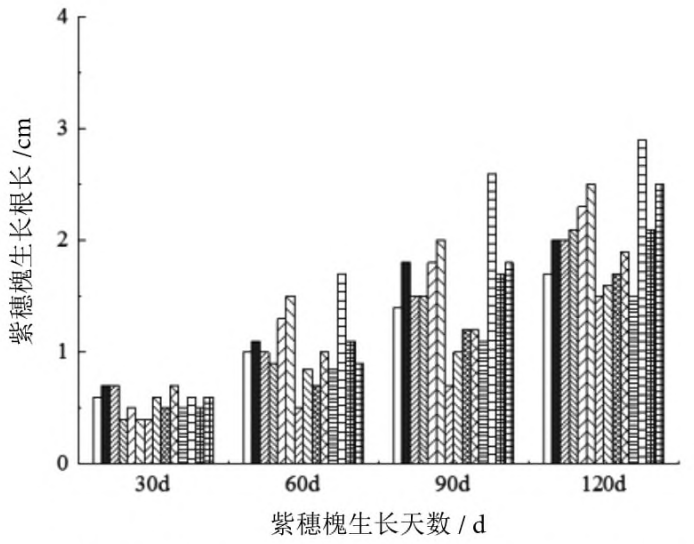


图 2　不同配比处理下种植 120 天后紫穗槐的根（a）、茎（b）、叶长（c）

Fig .2　Roots (a), stems (b) and leaf length (c) of amorpha fruticose after 120 days of planting at different ratios

由图 2 可以看出长势较好的处理组为 B3J0、B3J1 和 S3J1，随后是 B2J0 组，对于市面土壤修复改良剂来讲，加入胶质芽孢杆菌可以使植物长势更加优秀。紫穗槐在尾矿土壤中的发芽率和长势都较为良好，说明尾矿土中的金属元素对紫穗槐的发芽和生长都有着一定的促进作用。

2.2.2 不同配比处理对紫穗槐植株干鲜重的影响

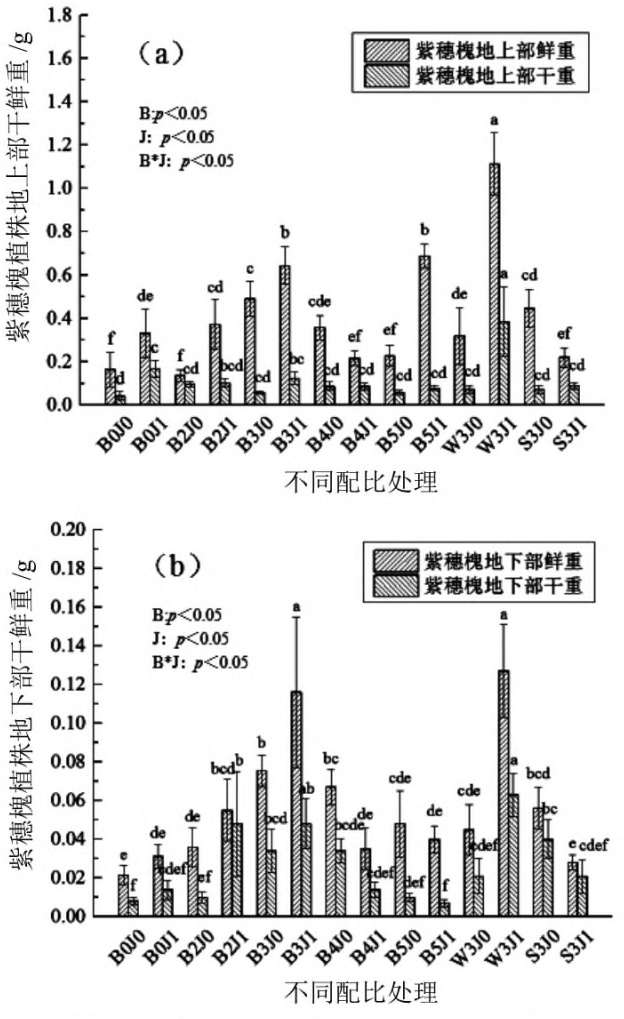


图 3　不同配比处理下紫穗槐的地上部（a）、地下部（b）干鲜重

Fig.3　Dry fresh weight of aboveground part (a) and underground part (b) of amorpha fruticose under different ratios

由图 3 可知，与空白处理相比，施加富钾板岩发酵产物（B）及胶质芽孢杆菌（J）同样可以提高紫穗槐的地上部与地下部的鲜重。但单独施用富钾板岩发酵物时，地上部的鲜重在 B3J0 达到最高为 0.49 g，而后逐渐降低。除 B4 处理外，富钾板岩发酵产物配施胶质芽孢杆菌后，均显著提高了植物的鲜重。此外，富钾板岩发酵产物仅在 B3 及 B4 处理下配施胶质芽孢杆菌显著提高了地下部鲜重。尾矿土加 30:1 的富钾板岩发酵物（W3J0）与施用市面土壤调理剂加 30:1 的富钾板岩发酵物（S3J0）的地上部与地下部的鲜重均显著低于单独施用 30:1 的富钾板岩发酵物（B3J0）处理。但配施胶质芽孢杆菌的 W3J1 地上部鲜重达到 1.1128 g，显著高于 S3J1 与 B3J1 处理。

2.3　不同配比处理对紫穗槐盆栽土壤理化性质的影响

2.3.1 不同配比处理对紫穗槐盆栽土壤基本理化性质的影响

不同配比处理下盆栽土壤的基本理化性质见图 4。

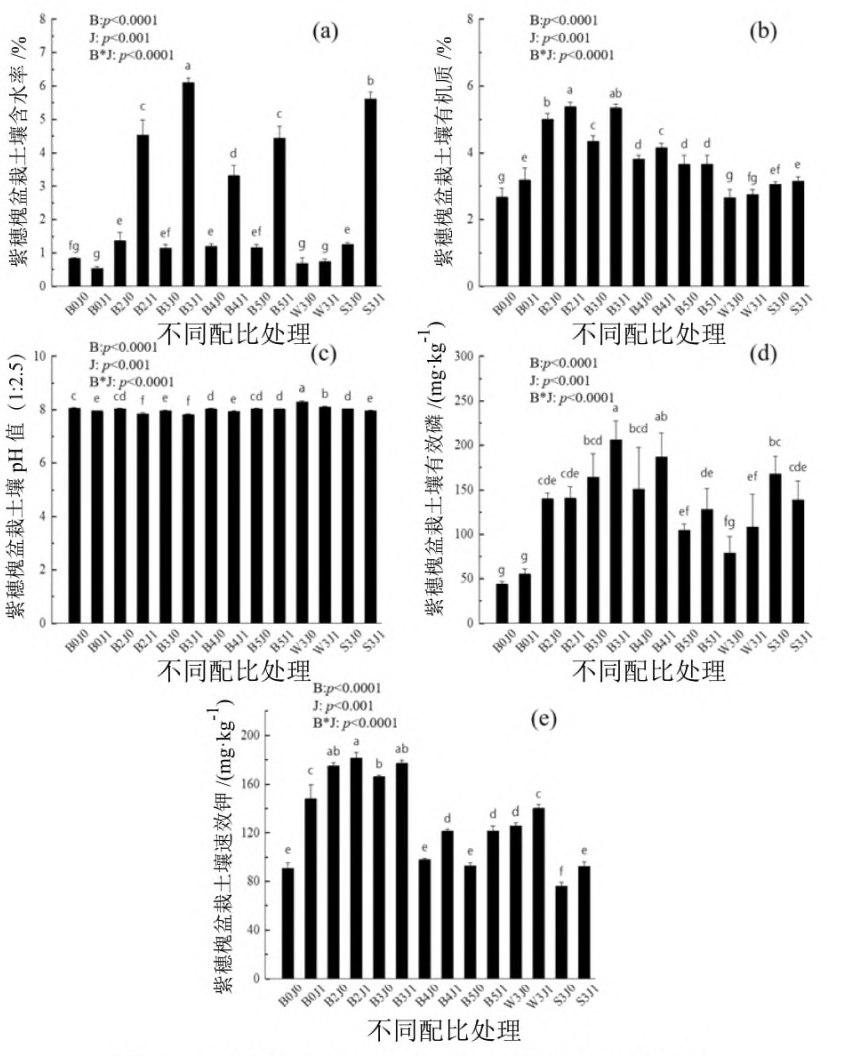


图 4　紫穗槐盆栽土壤的基本理化性质

Fig .4　Basic physical and chemical properties of potted soil of fruiting locust

万方数据

由图 4 可知，种植紫穗槐的盆栽处理中，大棚土与富钾板岩发酵物不同配比，或添加胶质芽孢杆菌均可显著提高土壤的含水率及有机质，胶质芽孢杆菌单独添加也同样提高了土壤含水率，但对有机质作用不显著。但随着富钾板岩发酵物的用量降低，土壤含水率及有机质在单施富钾板岩发酵物处理间没有显著差异。土壤 pH 值在 B0J0 的 8.06 降低至 B3J0 处理 7.97，而后又在 B4J0，B5J0 逐渐上升，配施胶质芽孢杆菌后土壤 pH 值降低，B3J1 处理土壤 pH 值为 7.83。由 JMP 交互分析可知富钾板岩发酵物与胶质芽孢杆菌对土壤 pH 值表现出极显著的交互作用（$p < 0.001$）。

未施用胶质芽孢杆菌的情况下，施用市面土壤调理剂（S3J0）的土壤含水率与大棚土施用相同比例的富钾板岩发酵物土壤（B3J0）间没有显著差异，但均显著高于尾矿土与富钾板岩发酵物 30:1（W3J0）处理有机质则是在 B3J0 中最高，而后是 S3J0，W3J0 最低。土壤 pH 值的降低程度也是大棚土与富钾板岩发酵物 30：1 配施的 B3 处理最低。

大棚土与富钾板岩发酵物不同配比的处理速效磷速效钾含量均高于空白处理（B0J0）。加入胶质芽孢杆菌可以提高土壤中速效磷含量，但差异不显著，其中增幅最明显的为 B3 处理组，B3J0 中速效磷为 164.43 mg/kg，B3J1 处理中增高到 206.16 mg/kg。与尾矿土与市面调理剂配施富钾板岩发酵物的处理（W3J0，S3J0）相比，B3J0 处理中含有更高的速效磷及速效钾。但 W3J0 与 S3J0 配施胶质芽孢杆菌后可显著提高速效钾含量（$p < 0.001$），由 S3J0 中的 76.16 mg/kg 增长到 92.20 mg/kg，由 W3J0 中的 125.9 mg/kg 增长到 140.08 mg/kg。

2.3.2 配施土壤修复剂种植紫穗槐对尾矿土壤中重金属和稀土元素含量的影响

种植紫穗槐的尾矿土中重金属元素及稀土元素含量见表 4、表 5。

表 4　种植紫穗槐的尾矿土中重金属元素含量

Table 4　Contents of heavy metal elements in the tailing soil planted with amorpha fruticose

	Mn/ (mg·kg^{-1})	Cr/ (mg·kg^{-1})	Cd/ (mg·kg^{-1})	Cu/ (mg·kg^{-1})	Zn/ (mg·kg^{-1})	Pb/ (mg·kg^{-1})
国家背景值	583	53.9	0.1	20	67.7	23.6
内蒙背景值	570.61	36.5	0.05	12.9	48.6	15
尾矿土	290.75	101.75	0.137	15.3	54	16.4
W3J0	360.25	149.8	0.158	19.8	61.9	19.2
W3J1	307.5	103.3	0.141	14.9	52.4	17.0

表 5　种植紫穗槐的尾矿土中稀土元素含量

Table 5　The contents of rare earth elements in tailings soil planted with amorpha fruticose

稀土元素含量 /(mg·kg^{-1})	尾矿土	W3J0	W3J1
La	68.3	71.56	58.05
Ce	125	138.2	107.48
Pr	14.5	16.03	13.7
Nd	21.5	30.14	36.27
Sm	7.8	8.21	7.95
Eu	1.42	1.36	1.28
Gd	6.63	10.93	7.25
Tb	1.02	1.34	0.95
Dy	4.97	5.47	4.38
Ho	0.93	0.95	0.91
Er	2.77	3.31	2.68
Tm	0.47	0.52	0.45
Yb	2.87	2.61	2.36
Lu	0.42	0.47	0.33
Y	25.8	26.9	23.1
Sc	11.1	11.5	10.8
稀土元素总量	295.5	329.5	277.94

由上表可知，单施富钾板岩发酵产物会增加种植紫穗槐的尾矿土中的 Mn、Cr、Cd、Cu、Zn 和 Pb 元素的含量，原因可能是富钾板岩发酵产物中含有一定量的重金属元素，但加入胶质芽孢杆菌菌液后，上述金属元素含量得到降低，基本恢复到原土水平。降低幅度最大的为 Cr 元素，加入菌液之后比单施富钾板岩发酵产物时下降了 31%，Mn 元素在加入菌液之后比单施富钾板岩发酵产物下降了 14%，其余测定的四种元素下降幅度均不明显。加入富钾板岩发酵产物和胶质芽孢杆菌菌液后尾矿土中的 Mn、Cr、Cd、Cu、Zn 和 Pb 元素与原尾矿土含量没有显著性差异。

由表 5 可知，单施富钾板岩发酵产物会增加种植紫穗槐的尾矿土中稀土元素含量，W3J0 处理

万方数据

较原尾矿土稀土元素含量增加了 34 mg/kg，原因可能是富钾板岩发酵产物中含有一定量的稀土元素，但加入胶质芽孢杆菌菌液后，稀土元素含量降低，比单施富钾板岩发酵产物处理降低了 51.56 mg/kg，比原尾矿土降低了 17.56 mg/kg。

3　结　论

（1）加入富钾板岩发酵产物、胶质芽孢杆菌菌液以及两者同时施用的交互作用对土壤中的含水率、有机质和速效钾含量的提高作用显著（$p < 0.05$），单施富钾板岩发酵产物对土壤有效磷含量提高作用效果显著（$p < 0.05$），土壤 pH 值有降低但变化幅度不大。

（2）加入胶质芽孢杆菌可以使土壤中的稀土元素总量降低，加入胶质芽孢杆菌菌液后，稀土元素含量降低，比单施富钾板岩发酵产物处理降低了 51.56 mg/kg，比原尾矿土降低了 17.56 mg/kg。利用富钾板岩发酵产物与胶质芽孢杆菌制备成的土壤修复剂可以在增加土壤养分的同时，修复稀土污染。

（3）通过对紫穗槐的种植，富钾板岩发酵产物与胶质芽孢杆菌菌液的最优施用配比为土壤与固体发酵产物添加比 30:1，菌液添加量 2.5 L/m^2。在此处理下，土壤的含水率、有机质、有效磷和速效钾含量较空白处理提高了 6.1、1.2、3.42 和 1.3 倍，pH 值下降了 0.12，土壤中稀土元素总量降低 17.56 mg/kg，下降比例为 5.9%。紫穗槐的发芽率、茎长和干鲜重指标达到空白处理的 3、2、14 倍。该施用配比的修复效果在本试验中略优于购买到的土壤修复剂，为新产品的形成提供了重要参考。

参考文献：

[1] 于阳辉，李永霞，张俊红，等．非金属矿物在土壤改良中的应用现状与发展前景 [J]. 中国非金属矿工业导刊，2005(1): 37-39.

Yu Y H, Li Y X, Zhang J H, et al. Application status and development prospect of non-metallic minerals in soil improvement [J]. China Non-metallic Minerals Industry Guide, 2005(1) : 37-39.

[2]De C B A C, Anch o Oliviera, Patrícia Peronti, et al. Brazilian sedimentary zeolite　use in agriculture[J]. Microporous and Mesoporous Materials, 2013, 167(Complete):16-21.

[3] 郑春丽，陈敏洁，袁浩容，等．采用固体发酵与微生物浸出相结合利用白云鄂博富钾板岩的方法 [J]. 河南师范大学学报：自然科学版，2015, 43(04):94-99.

Zheng C L, Chen M J, Yuan H R, et al. Utilization of Bayan Obo potassium-rich SLATE by solid fermentation and microbial leaching [J]. Journal of Henan Normal University:Natural Science edition, 2015, 43(04):94-99.

[4] 李甘雨，林海，董颖博，等．胶质芽孢杆菌释放矿物元素效果及机理研究进展 [J]. 金属矿山，2017(01): 113-118.

Li G Y, Lin H, Dong Y B, et al. Research progress on the effect and mechanism of mineral element release by Bacillus gelatinus [J]. Metal Mine, 2017(1): 113-118.

[5]Yang X, Li Y, Lu A , et al. Effect of Bacillus mucilaginosus D4B1 on the structure and soil-conservation-related properties of montmorillonite [J]. Applied Clay Science, 2015, 119:141-145.

[6]Liu W, Xu X ,Wu X , et al. Decomposition of silicate minerals by Bacillus mucilaginosusin liquid culture [J]. Environmental Geochemistry & Health, 2006, 28(1-2):133-140.

[7] 李甘雨，林海，董颖博，等．胶质芽孢杆菌释放矿物元素效果及机理研究进展 [J]. 金属矿山，2017(1): 113-118.

Li G Y, Lin H, Dong Y B, et al. Research progress on the effect and mechanism of mineral element release by Bacillus gelatinus [J]. Metal Mine, 2017(1): 113-118.

[8] 李青梅，陆秀君，马里，等．胶质芽孢杆菌菌剂对四种蔬菜种子发芽及幼苗生长的影响 [J]. 北方园艺，2017(1) : 10-13.

Li Q M, Lu X J, Ma L, et al. Effect of bacillus coliform on seed germination and seedling growth of four kinds of vegetables [J]. Northern Horticulture, 2017(1) : 10-13.

[9] 鲁如坤．土壤农业化学分析方法 [M]. 北京：中国农业科技出版社，2000.

Lu R K. Soil agricultural chemical analysis methods[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.

[10] 中华人民共和国农业部．NY 525-2012 有机肥料 [S]. 北京：中国农业出版社。

Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY 525-2012 Organic fertilizers [S]. Beijing: China Agricultural Press.

（下转至 17 页）

万方数据

Xanthate and sulfide on the degradation of xanthate [J] . Mineral Conservation and utilization, 2019 (1) : 17-22.
[74] 曹学锋 , 吴江求 , 孟祥松 , 等 . 降低湖南某多金属矿选矿废水 COD 试验研究 [J]. 有色金属 : 选矿部分 ,2019 (1):67-72.
Cao X F, Wu J Q, Meng X S et al. Experimental study on reducing COD in mineral processing wastewater of a polymetallic ore in Hunan [J] , Non-ferrous metal: mineral processing part, 2019 (1) : 67-72.
[75] 徐承焱 , 孙体昌 , 鄢功军 , 等 . 黄药在硫化矿浮选过程中分布的影响因素研究 [J]. 有色金属 : 选矿部分 ,2019 (2):91-96.
Xu C Y, Sun T C, Yan G J, et al. Study on influence factors of xanthate distribution in flotation of sulfide ores [J] , Non-ferrous metal: beneficiation section, 2019 (2) : 91-96.
[76] 吴斌 . 新疆某选厂选矿废水处理及回用试验研究 [J]. 有色金属 : 选矿部分 ,2019 (4) :16-21.
Wu Bin. Experimental study on treatment and reuse of mineral processing wastewater in a concentrator in Xinjiang province [J]. Non-ferrous metal: mineral processing part, 2019 (4): 16-21.

The Development of Flotation Reagent in 2019

Zhu Yimin
(Hunan Research Institute of Non-ferrous Metals, Changsha, Hunan, China)

Abstract: The information about flotation reagents in 2019 were partly collected in this paper. Meanwhile, the six aspects of sulphide mineral collectors, oxide mineral collectors, regulators, foaming agent, the structure and properties of flotation reagentsand and wastewater treatment were introduced and briefly commented.

Keywords: Flotation reagents; Sulphide minerals; Oxide minerals; Collectors; Regulators; Foaming agent ;structure and properties of flotation reagentsand ;Wastewater treatments

（上接 139 页）

Study on the Preparation of Soil Remediation Agent by Potassium-rich Slate and Colloid Bacillus

Mei Xiaole[1], Bai Xinran[2], Zheng Chunli[2], Tang Shuting[2], Chu Xin[2], Yang Zeru[2]
(1.School of Water Conservancy and Civil Engineering and Architecture, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia, China; 2. College of Energy and Environment, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, Inner Mongolia, China.)

Abstract: The properties of soil remediation agent prepared by the combined application of potassium rich slate solid fermentation products and colloid bacillus in bayan obo were verified.The test results showed that the optimal ratio of the two raw materials was the ratio of soil to solid fermentation products 30:1, and the added amount of bacterial liquid was 2.50 L/m^2. Through various of plant and the soil physical and chemical properties and biological character analysis it was found that the germination rate, stem length and dry weight of various indicators respectively reached 3.00, 1.96, 14.67 times of blank processing, soil moisture content, organic matter, available phosphorus and available potassium content increased respectively 6.10, 1.20, 3.42, 1.30 times, reaching significant level ($p < 0.05$). And the total amount of rare earth elements in the soil was reduced by 51.56 mg/kg after the addition of colloid bacillus solution. The purpose of this soil remediation agent is to increase soil fertility, replace or reduce the amount of chemical fertilizer, and make effective, resource-based and rational use of potassium-rich slate in bayan ebo mining area to improve waste rock accumulation and pollution in surrounding ecological areas.

Keywords: Potassium-rich slate; Bacillus mucilaginosus; Soil remediation agent; Amorpha fruticose; Rare earth elements.

万方数据