

نتیجه مطالعات احیا و کشت گیاه در معدن طلا واقع در مرکز معدن طلای مانیتوبا (MANITOBA (AU) MINESITE)

مابع از رشد و تجمع گیاهان می‌شود. پس از کشت مدت زمانی، پسماندها، تاجیه وسیعی را بدون پوشش گیاهی ایجاد می‌کنند که باعث ایجاد منعی عظیم از تولیدات گرد و غباری می‌شود. این گرد و غبارها باعث می‌شوند که محیط وسیعی تا نزدیکی پسماندها آلوده و سلامت افراد را تهدید کند. این خاک‌ها به دلیل محتوای بالای فلزات قابل کشاورزی نیستند. اکسید شدن پسماندها را می‌توان با پوشش سطح با خاک سپس کاشت و رشد دوباره گیاهان کنترل کرد. میزان خود پایداری و ثبات گیاهان یکی از اجزای مهم برنامه احیای



گیاهان و جلوگیری از تلف شدن و هدر رفتن خاک محیطا به شمار می‌رود. پایداری گیاهان به نوع بستگی دارد که باعث کاهش جذب اسید و همچنین کم شدن ترش‌ساز اسید و عدم نفوذ این ذرات مخرب به آب‌های زیرزمینی می‌شود. برای نگهداری گیاهان پایدار و مقاوم می‌توان از طریق کنترل pH نزدیک سطح و با اضافه کردن آهک و همچنین افزودن کود و مواد حاصلخیز کننده اقدام کرد. گیاه پالایی به دلیل اهمیت پالایش در بیشتر کشورها انجام شده است. در زمینه گیاه پالایی، فرولانی گونه‌های آزادی که تشکیل دهنده تجمعات زیستی هستند، بسیار مهم است. این گیاهان قادرند نیم تا یک درصد در حالت خشک فلزات را جذب کنند. گیاهان در پایان مرحله رشد، درو و سوزانده می‌شوند و پیک کاله زیستی غنی از فلز به‌وجود می‌آید. این کاله حاصل شده شامل بیشتر از $Au \ 2V \ mg/kg$ است. فناوری معدنکاری گیاهی می‌تواند موجب یافت کاله و کانی‌های موجود در خاک شود که روشی غیر اقتصادی بوده و از روش معدنکاری که به صورت مرسوم صورت می‌گیرد، مفیدتر است. کاله‌های زیستی اغلب سولفور آزاد بوده و گداختن آنها نسبت به سولفیدها نیاز به انرژی کمتری دارد.

این پروژه برای تعیین پتانسیل گیاه پالایی پسماندهای معدن و تولید کاله‌های زیستی توسط پژوهشگران سازمان زمین‌شناسی Manitoba انجام شد که مشخص کننده گونه‌های گیاهی است که می‌توانند فلزات سنگین را جذب کنند. در مرحله اول انجام پروژه، تخم ۱۴ گونه گیاهی روی پسماندهای معدن کشت شد. نتیجه این بود که چند گونه گیاهی توانستند به حیات خود ادامه دهند و در دو یا سه محل تعیین شده بنون این‌که پالایش خاک، صورت گیرد، رشد کردند. پس از این مرحله و با بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد که این گیاهان به میزان فرولان دارای Au و Cu

هستند. پس از این، بررسی رشد و بقای در هند، نیاز به گیاه پالایی و زدودن این عناصر دیده شد. از طریق میزان جدا کردن فلزات از گیاهانی که در محل پسماندها رشد کردند این امکان فراهم شد تا بتوان گیاهان مناسب‌تری عمل گیاه پالایی و ایجاد کاله زیستی را تشخیص داد. نتایج اولیه آنالیز حاصل از رشد گیاهان روی پسماندها مشخص کرد این گیاهان در حد قابل توجهی از Au و Zn غنی هستند.

وجود معدن و فرآیندهای معدنکاری در حد قابل توجهی میزان فلزات در محیط را افزایش می‌دهد و همین مسئله، اثرات مخرب روی محیط اطراف، زمین، هوا و کیفیت آب‌ها می‌گذارد. این اثرات و فرولانی فلزات موجود در گیاهان نمی‌تواند به‌وسیله فرآیندهای طبیعی مورد نیاز گیاه حاصل شده باشد. کاهش pH پسماندهای معدنی که در نتیجه اکسید شدن در شرایط هوای نمتاک بوجود می‌آید، قابلیت حل‌الیت فلزات سنگین بالا می‌رود و به نفوذ کامل این فلزات به خاک منجر می‌شود. این چاب‌جایی فلزات از پسماندها و نفوذ آنها به پایین حتی می‌تواند سفره آب‌های زیرزمینی را آلوده سازد. کاهش pH وجود فلزات در حد نسبی، کمبود پوشش گیاهی و فقدان مواد آلی معدنی

محتوی فلزی کانه‌های زمینی، معمولاً بیشتر از کانه‌های مرسوم بوده و این در حالی است که فضای لازم برای ذخیره‌سازی آن کمتر است. هدف چند منظوره این مطالعات، مشخص کردن فاکتورهای لازم برای معدنکاری گیاهی پسماندهای معدنی و معین کردن مکان‌های آلوده به فلزات سنگین است. توسط این مطالعات که به پایه علمی استوار است میتوان به پاکسازی پسماندهای معدنی و استخراج فلزات سنگین توسط تکنیک‌های معدنکاری گیاهی دست یافت. گونه‌های گیاهی که برای این آزمایش استفاده می‌شود باید بومی بوده تا در برابر شرایط محیطی هم مقاومت لازم را داشته باشد. این آزمایشات بیشتر برای تعیین میزان فلزات سنگین بخصوص طلا صورت گرفته است. آلودگی خاکها بواسطه فلزات سنگین و تنش‌های فلزات و پسماندهای سولفیدی موجود، سلامت انسان‌ها را به خطر می‌اندازد. معدنکاری گیاهی یک تکنیک جدید برای استخراج فلزات از کانه‌های درجه پایین یا پسماندهای سولفیدی که بسیار مفید قایده بوده است.

این آزمایشات با پسماندهای مربوط به مرکز Manitoba و با رسوبات حاوی طلا آغاز و پالایش گیاهی و معدنکاری گیاهی روی این مواد صورت گرفته است. آزمایش‌ها روی سنگ‌های رسوبی که توسط سیلی از جنس گابرو قطع شده‌اند، صورت گرفت و در این رسوبات طلا نیز به وفور وجود دارد.

مشخصات زمین شناسی پسماندها و توصیف محل‌های آزمایش شده

برای انجام این آزمایش‌ها، سه محل آزمایش در نزدیکی لبه‌های پسماندها و پوشش‌های گیاهی در معرض و تحت شرایط باد و نور خورشید و زهکشی تعیین شده است. اولین محلی که مشخص شده دور از محل پسماندها و دارای مقدار کمی پوشش گیاهی بوده است. محل دوم در وسط تجمعات پسماندی تعیین شده که فاقد پوشش گیاهی بوده و به شدت در معرض باد و نور خورشید قرار داشته است و به میزان فراوان هم در آن زهکشی دیده می‌شود. محل سوم جایی بین پسماندها انتخاب شده که دارای زهکشی و پوشش گیاهی فراوان است. در محیط ۱، pH ۵ تا ۴ اندازه‌گیری شده، در محیط ۲، pH ۳ و در محیط ۳ میزان pH از ۵ تا ۷

متغیر بوده است. به منظور آنالیزهای ژئوشیمیایی تعداد ۲۰ نمونه از پسماندهایی که توسط سوراخ کردن زمین و از عمق ۱ متری برداشت شده است، از طریق مجموع داده های حاصل از آنالیز سوپمنت توترون فعال مشخص شده که در بخش قاعدتهای و بخش انتهایی میزان فلزات در این پسماندها غنی تر است. با این بررسی‌ها میزان Au در محیط ۱ (3450 ppb) و در محیط ۲ (2640-1110) و در محیط ۳ (958-265) تعیین شده است. تجمعات استثنایی Cu در محیط ۱ (834-5740 ppm) و در محیط ۲ 10-1710 ppm و در محیط ۳ (4510-3150) اندازه‌گیری شده‌اند. علاوه بر آن میزان Ag (up to 6 ppm) و Bi (up to 127 ppm) در محیط یک به این میزان بوده و میزان آرسنیک در تمامی محل‌های آزمایش شده (20-2) است.

مطالعه منطقه: بقای گونه‌های گیاهی

لیندا کلاشت گونه‌های گیاهی طبیعی و دفن آنها در جنگل به منظور انجام مطالعات آغاز شد. سپس گونه‌های گیاهی در سه منطقه‌ای که در بالا توضیح داده شده، کاشته شدند. گونه‌های گیاهی همانند زغال اخته قرمز، بید مشک زرد، بید سیدی سرخ، صنوبر سفید، کاج دراز برگه، کاج سیاه، درخت گوشه در محل‌های مختلف کاشته شد.

یک سال بعد زغال اخته قرمز، بید مشک زرد و صنوبر در این محیط‌ها رشد کرد. در محیط رشد این گونه‌ها لایه‌ای در حد ۵ سانتیمتر روی پسماندهای معدنی موجود در محیط ۲ افزوده شد.

پس از مدتی روی هر سه محیط کود گیاهی اضافه شد. درخت خردل هندی، خردل سفید، علف کتدم باربک و بلندچمن زرد مایل به قرمز، نوعی گیاه با دوام از تیره سوسنیان و حصیر، اینها گیاهانی بودند که توانستند در محیط ۱ و ۲ باقی بمانند، در حالی که این گونه‌ها در محیط ۲ باقی نمانده و سریع‌تر از بین رفتند به هر حال هنگامی که کود گیاهی به قسمت بالایی پسماندهای معدنی محیط ۲ وارد و با آنها مخلوط شد این گیاهان قادر بودند تا حدود ۳ ماه به رشد خود ادامه دهند. پس از آن رشد مجدد ریشه گیاه در محیطی که کود گیاهی با پسماندهای غنی از فلزات سنگین ترکیب نشده بود، شاخص خوبی برای



Sample ID	Pt (ppb)	Au (ppb)	Tl	Pb	Bi	Th	U
Plants growing in the field							
D-site 1, planted	-13	642	0.277	20.4	30.7	0.454	0.374
S-site 1, wild	9	671	0.279	29.3	46.0	0.450	0.338
S-site 1, planted	5	310	0.349	18.1	27.9	0.353	0.267
A-site 1, wild	-4	464	0.161	10.1	13.5	0.154	0.367
W-site 1, planted	-4	343	0.123	10.7	23.3	0.229	0.116
W-site 1, wild	-4	174	0.009	7.01	8.86	0.125	0.085
D-site 3, planted	-7	91	0.082	32.1	32.4	0.096	0.096
P-site 3, planted	8	123	0.412	44.1	44.8	0.137	0.077
W-site 3, planted	-5	93	0.125	28.9	21.4	0.122	0.162
Plants growing in the greenhouse							
D-site 1	5	141	0.020	2.08	1.13	0.060	0.033
D-site 1	-3	85	0.031	3.28	1.43	0.038	0.020
D-site 1	-4	8	0.005	0.32	0.08	0.004	0.006
D-site 1	-4	125	0.007	8.23	1.12	0.034	0.030
Wildry-site 1	3	50	0.036	4.62	5.00	0.058	0.127
Slender Wheatgrass-site 1	-2	123	0.031	5.05	6.07	0.065	0.274
P-site 1	5	253	0.038	8.79	7.48	0.088	0.220
S-site 1	-17	1,580	0.073	58.9	14.7	0.139	0.414
D-site 3	-3	-3	0.041	4.27	0.80	0.028	0.016
D-site 3	-4	4	0.024	3.13	0.55	0.022	0.058
D-site 3	5	6	0.034	4.22	1.51	0.047	0.060
D-site 3	-3	5	0.009	4.37	0.86	0.028	0.027
Wildry-site 3	3	30	0.055	14.5	5.13	0.155	0.277
Slender Wheatgrass-site 3	-2	34	0.066	17.5	8.11	0.213	0.351
P-site 3	-4	122	0.069	23.4	10.2	0.175	0.186
S-site 3	70	232	0.31	224	23.1	0.37	0.40
Control material V7A	44	8	0.623	23.0	0.06	0.517	0.411
Standard reference data V7A etc.	40	11	0.623	22.9	0.18	0.522	0.384
	16	8	0.009	2.1	0.14	0.048	0.031

D-dogwood, S-white spruce, A-aspen, W-willow, P-jack pine

سازش گیاه با شرایط محیطی بود بین گونه‌های گیاهی که در محیط یک گلخانه شدند کاج سیاه بیشترین سرعت رشد را داشت. از طریق سرعت و میزان ترشحات که توسط گونه بید سیدی سرخ انجام می‌گیرد می‌توان میزان فشار را اندازه‌گیری نمود. در نتیجه مشخص شد که وجود و چگونگی زهکشی و تأثیرات حفاظتی گیاهان در محیط به خوبی می‌تواند میزان محتوای فلزات سنگین را در خاک تحت تأثیر قرار دهد. نرخ درخت خردل هندی و خردل سفید در محیطی که کود روی پسماندهای معدنی اضافه شد، جوانه زدن و رشد کردند این مسأله کشف مهمی برای مشخص ساختن گونه های مناسب برای گیاه پالایی و معدنکاری گیاهی است. چندین گونه بومی مانند ترنجبین و دم اسبیان روی پسماندها رشد کردند علاوه بر آن نوعی کاهو روی این پسماندها کشف شد که رشد نسبتاً خوبی هم داشتند. توانایی تجمع فلزات و سازگاری این گونه‌ها آنها را مناسب برای انجام عملیات گیاه پالایی و معدنکاری گیاهی قرار داد.

آنالیزهای عنصری بافت گیاهان

نتیجه آنالیزهای انجام شده روی گیاهانی که از ماشین دروکننده‌ای که گیاهان محیط ۱ و ۳ را در می‌سوزاند و رشد این گیاهان در شرایط گلخانه‌ای، نشان دهنده تجمع زیاد فلزات در گونه‌های گیاهی انتخاب شده است. نتایج حاصل از آنالیز سنوبر و کاج دراز برگ گرجستانی هم در محیط و هم در شرایط گلخانه‌ای نشان دهنده حجم بالایی از طلا بود. درخت بید مشک به مقدار فرولان در طول رشد، زیگک را جذب کرده بود. داده‌های حاصله همچنین میزان نسبتاً بالایی از Ni, As و Se توسط گیاهان کیم گونه‌های آزمایش شده گزارش کردند. به هر حال گونه‌های کیم و شمار محدودی از نمونه‌ها مورد آزمایش قرار گرفتند و برای به دست آوردن و مطالعه با جزئیات بیشتر، نیاز است تا نمونه‌های بیشتری مورد آزمایش قرار گرفته تا بتوان به جذب فلزات مسفر توسط گیاهان پی برد و نظری قاطع در مورد ظرفیت جذب گیاهان داد.

مطالعات گلخانه‌ای

در جبهه‌های کوچکی که داخل آنها پسماندهای معدنی وجود دارد، گونه‌هایی همانند خردل هندی، خردل سفید، چمن زرد مایل به قرمز، دم اسبیان موجود، حبسیرهای بلند کشت و در محیط گلخانه قرار گرفتند و این جبهه‌ها با آب مقطر، آب‌پاشی شده تا رطوبت لازم برای کشت و رشد گونه گیاهی فراهم باشد. این تخم‌های گیاهی در جبهه‌هایی که به نسبت یک به یک با