

DOI:10.11937/bfyy.201707039

# 覆盖紫花苜蓿对采煤沉陷区植物生长和土壤化学生物性状的影响

王志刚<sup>1</sup>, 毕银丽<sup>1</sup>, 何瑞敏<sup>2</sup>, 刘文文<sup>1</sup>, 裴浪<sup>1</sup>, 申振<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学(北京) 煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 北京 100083;

2. 中国神华能源股份有限公司 神东煤炭分公司技术研究院, 陕西 榆林 719315)

**摘要:**以神东矿区采煤沉陷地种植的复垦植物(野樱桃、文冠果、欧李和山杏)为试材,采用野外原位监测方法,研究覆盖紫花苜蓿和未覆盖处理(对照,CK)对植物生长及土壤化学和生物性状的影响。结果表明:覆盖紫花苜蓿处理的野樱桃、文冠果、欧李和山杏苗木地上部干质量比未覆盖处理显著增加 31.7%~54.6%,根干质量增加 25.6%~41.0%;同样地,植物成活率和叶色值分别增加到 85%和 32.0 以上,显著高于对照;覆盖处理的土壤碱解氮、有机质、速效磷、速效钾含量增幅较对照分别达到 12.5%~17.9%、14.0%~17.8%、14.0%~23.2%、13.6%~28.4%,差异显著;土壤酸性磷酸酶、蔗糖酶、脲酶和硝酸还原酶活性分别比对照显著提高 36.4%~41.6%、21.8%~51.2%、33.6%~44.7%、20.5%~39.9%。因此,覆盖紫花苜蓿有利于改善神东采煤沉陷区复垦植物生长、提高土壤化学和生物学性状水平,为矿区生态恢复提供依据。

**关键词:**采煤沉陷区;覆盖紫花苜蓿;复垦植物;土壤化学性状;土壤酶活性

**中图分类号:**S 551<sup>+</sup>.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)07-0174-05

中国是世界上最大的煤炭生产和消费国,煤炭在我国一次性能源消费构成中达到 66%,占我国已探明化石能源的 84.7%;因此,未来一段时间内仍会作为我国的主要能源<sup>[1]</sup>。据统计,我国 90%煤炭采用井工开采生产,产生大面积采空区并形成大量塌陷地,在坡度较大的地区甚至导致山体滑坡;而地表裂缝使土壤侵蚀加剧,加速土壤的干旱和沙化<sup>[2]</sup>。同时,开采扰动也导致植物生长缓慢、生物活性降低和功能紊乱,严重制约矿区植被生长和生态功能恢复。但是,以往采用工程技术手段很难做到标本兼

治,覆草技术不仅有效补充土壤养分,还可以调节土壤温度,加速修复矿区受损生态,因此近年来逐渐成为矿区生态环境研究的热点<sup>[3-4]</sup>。

通常在植物的树盘、株间覆盖秸秆、绿肥、杂草等有机物料称之为覆草技术,这一技术在日本、美国和西欧等发达国家果园土壤培肥中使用十分广泛,并日趋成熟。覆草促进植物生长和改善土壤结构的效果已经被广泛证实,例如覆草 2 年后樱桃新梢旺盛生长期提前,粗度比对照增加 30.2%,叶片质量、叶面积和叶长提高 20.5%、5.3%、20.4%;叶绿素含量、光合速率分别增加 35.8%和 54.7%;叶片氮浓度和土壤氮、有机质及酶活性显著提高<sup>[5-6]</sup>。类似地,覆草茶苗成活率提高,茶树长势旺盛;冬季覆草还有一定保温作用,冻土深度减小,降低茶苗根系冻害,覆草越厚效果越明显<sup>[7-8]</sup>。同样地,果园覆草提高土壤含水量,保持土壤温度,促进土壤大团粒结构形成和调节土壤孔隙度,提高土壤保水和保肥性能<sup>[9-11]</sup>。另外,酶是一切生物化学循环的主要参与者,是生态系统物质循环和能量流动中最活跃的生物活性物质,其活性强弱表征土壤物质代谢的旺盛强度,是土

**第一作者简介:**王志刚(1982-),男,博士,讲师,现主要从事矿区生态重建和环境治理等研究工作。E-mail:wzg6818691@126.com

**责任作者:**毕银丽(1971-),女,博士,教授,博士生导师,现主要从事微生物在矿区生态重建等研究工作。E-mail:ylbi88@126.com

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(51574253);国家重点研发计划资助项目(2016YFC0501106);神华科技创新资助项目(CSIE13023514)。

**收稿日期:**2016-12-13

壤肥力重要指标。酶活性不仅与土壤生产力密切相关,更表明生态环境功能的健康状况<sup>[3]</sup>。研究表明,农田土壤覆盖豆科牧草、紫花苜蓿和三叶草能够提高土壤微生物数量和酶活性,增加植被生物量及物种多样性<sup>[6,10-11]</sup>。因此,覆草技术是干旱贫瘠矿区未来生态恢复的重要研究方向。

神东矿区是神府(陕西省神木县与府谷县)东胜(内蒙古自治区东胜市,现鄂尔多斯市)矿区的简称,是我国目前已探明储量最大的煤田,产量居全国首位。神东矿区位于毛乌素沙漠边缘,属于典型的半干旱和半沙漠的温带大陆性季风气候,土壤类型以沙土为主,保水保肥能力差、植被稀疏,目前对矿区退化沙土化学、生物性状及复垦植物生长初期效果影响的报道较少。因此,现以矿区常见的典型复垦植物野樱桃、欧李、文冠果和山杏为宿主植物,以退化沙土为基质,研究覆盖紫花苜蓿对植物生长的调节效应和退化沙土生物和化学性状的改良作用,以期今后利用覆盖紫花苜蓿技术恢复矿区生态环境提供参考依据和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验基地位于内蒙古鄂尔多斯市伊金霍洛旗乌兰木伦镇(东经 110°4′;北纬 39°18′),属于神东矿区活鸡兔采煤沉陷地,位于陕北黄土高原沟壑区向毛乌素沙漠的过渡地带。基地位于沟壑区的三道梁上,海拔高度 1 100~1 300 m,年平均气温 8℃,≥0℃年均积温 3 550℃,年均降水量约 150 mm,主要集中在 7—9 月,年均蒸发量约 2 000 mm,多年平均大风日数 15 d,最多可达 40 d,最大风速 20 m·s<sup>-1</sup>以上,属于典型半干旱半沙漠温带大陆性气候。土壤基本性状为 pH 7.92,碱解氮 29.7 mg·kg<sup>-1</sup>,有机质 4.21 g·kg<sup>-1</sup>,速效磷 4.03 mg·kg<sup>-1</sup>和速效钾 31.4 mg·kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 试验材料

1.2.1 供试植物 以神东矿区采煤沉陷地复垦广泛采用的树龄 1 年左右的野樱桃(*Prunus discadenia*)、欧李(*Prunus dictyneura*)、文冠果(*Xanthoceras sorbifolium*)和山杏(*Armeniaca sibirica*) 4 种经济树种为供试植物。上述苗木具有生长速度快和耐干旱贫瘠的特征。

1.2.2 供试紫花苜蓿 供试紫花苜蓿为当地野生的紫花苜蓿,以 6—7 月第一茬苜蓿现蕾期至进入盛花期期间的新鲜紫花苜蓿为宜,刈割成 10~15 cm,

将所述覆草范围内的全部表层 1~2 cm(如 1 cm)土壤移开,露出新土,将紫花苜蓿以 10~12 cm(如 10 cm)的厚度均匀平铺在新土表面,然后在铺好的紫花苜蓿上均匀覆土 1~2 cm(具体可覆盖回移开的表层土壤),覆土遍及所述覆草范围。

### 1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 试验于 2014 年在神东矿区活鸡兔采煤沉陷沙地进行。试验设置覆盖紫花苜蓿(+C)和不覆盖(-C) 2 种处理,覆盖和对照区均种植野樱桃、欧李、文冠果和山杏,每处理 3 次重复,共计 2×4×3=24 个小区。覆盖区和对照区的小区面积均为 240 m<sup>2</sup>,长度和宽度分别为 20 m 和 12 m,苗木种植规格均为 2 m×2 m,每个小区种植 60 株。4 月初进行苗木移栽,6 月中旬在苗木根部进行覆盖操作,每株苗木覆盖约 500 g 新鲜紫花苜蓿。对照区不覆盖紫花苜蓿,其它管理措施完全相同。

1.3.2 样品采集 2015 年 10 月中旬在每个小区以 2 m×2 m 的样方,按‘S’形方法随机定位选取 5~6 个样点,采集土壤样品混合成一个土样,装入自封袋带回室内风干,过 2 mm 的土壤筛备用。同时,选择 3 株苗木整体挖出,用蒸馏水将根部清洗干净,烘干称重。

### 1.4 项目测定

1.4.1 植物生长指标测定 2015 年 7 月进行以下植物生长指标的监测。成活率:清点每个小区成活的苗木,与栽植苗木总数的百分比。成活率(%)=(成活苗木的数量/栽植苗木的总数量)×100;叶色值(SPAD):采用 SPAD-502 叶绿素仪测定(浙江托普生产),每个小区随机选择 30 株苗木,选取枝条中部无损伤的新鲜叶片进行测定。

1.4.2 土壤化学指标和酶活性测定 土壤碱解氮含量采用碱解扩散法测定;有机质含量采用重铬酸钾外加热法测定;速效磷含量采用钼锑抗比色法测定;速效钾含量采用 pH 7.0 醋酸铵浸提-火焰光度法测定;pH 采用电位法(水土比 2.5:1)测定<sup>[12]</sup>。土壤酸性磷酸酶活性采用改进的 Tabatabai 和 Brimmer 方法测定;蔗糖酶活性采用水杨酸比色法测定;脲酶活性采用改进的 Hoffmann 和 Teiche 比色法测定;硝酸还原酶活性采用亚硝酸还原比色法测定<sup>[12]</sup>。

### 1.5 数据分析

试验数据采用 Excel 2010 进行均值和标准差计算并作图;利用统计分析软件 SAS 8.0 (SAS institute, Cary, NC, 2003)在 5%显著水平下进行 LSD 多重

比较检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 覆盖紫花苜蓿对复垦植物生长的影响

由表1可知,未覆盖紫花苜蓿处理的植物成活率在59%~65%,覆盖紫花苜蓿处理的野樱桃、欧李、文冠果和山杏的成活率分别达到87%、91%、

88%、85%;覆盖紫花苜蓿处理叶片 SPAD 值分别为33.5、31.9、32.5、32.9,比对照显著提高25.4%、31.8%、23.1%、31.1%。同样地,覆盖紫花苜蓿地上部干质量比对照显著增加31.7%、37.3%、40.8%、54.6%,根系干质量变化趋势一致(表1),二者交互效应对上述指标也有显著影响。

表1 覆盖紫花苜蓿对植物生长特性的影响

Table 1 Effect of alfalfa covering on plant species growth conditions					
物种 Species	处理 Treatment	成活率 Survival Rate/%	叶色值 SPAD Value	植株干质量 Shoot dry weight/(g·株 <sup>-1</sup> )	根系干质量 Root dry weight/(g·株 <sup>-1</sup> )
野樱桃 Wild cherry	不覆草-C	65b	26.7b	55.5b	11.3b
	覆草+C	87a	33.5a	73.1a	15.8a
欧李 <i>Cerasus humilis</i>	不覆草-C	64b	24.2b	62.2b	14.6b
	覆草+C	91a	31.9a	85.4a	18.5a
文冠果 Shiny leaf yellowhorn	不覆草-C	63b	26.4b	659.0b	117b
	覆草+C	88a	32.5a	928.0a	165a
山杏 Apricot	不覆草-C	59b	25.1b	493.0b	168b
	覆草+C	85a	32.9a	762.0a	211a
显著性	树种差异性 P(S)	*	*	*	*
ANOVA	覆草差异性 P(C)	*	*	*	*
	交互作用 P(S×C)	*	*	*	*

注:表中数值为3次重复的平均值±标准偏差,不同小写字母表示同一物种下覆盖紫花苜蓿处理和对照处理在5%水平差异显著( $P<0.05$ );-C表示植物不覆盖紫花苜蓿处理,+C表示植物覆盖紫花苜蓿处理。P(S)为树种之间差异显著性;P(C)为覆盖紫花苜蓿差异显著性;P(S×C)为树种和覆盖紫花苜蓿的交互作用;\*表示在5%水平上差异显著。表2、3同。

Note: The mean values are three replicates in the table (M±STDEV). Different lowercase letters indicates there are significant differences between -C and +C at the 5% level by LSD ( $P<0.05$ ); -C indicates that without alfalfa covering treatment and +C indicates that with alfalfa covering treatment. P(S) indicates there are significant differences among different plant species; P(C) indicates there are significant differences between two alfalfa covering treatments; P(S×C) indicates that the interactions between plant species and alfalfa covering; asterisk indicates there are significant differences at 5% level by LSD. The same as Table 2 and Table 3.

### 2.2 覆盖紫花苜蓿对土壤化学性状的影响

土壤化学性状是表征土壤肥力的重要指标。由表2可知,覆盖紫花苜蓿显著促进野樱桃、欧李、文冠果和山杏种植区的土壤碱解氮含量,分别增加

12.5%、17.9%、15.4%、15.2%。同样地,覆盖紫花苜蓿后土壤有机质含量分别为6.16、6.05、6.15、6.18 g·kg<sup>-1</sup>,比对照显著提高17.8%、12.2%、17.1%、14.0%。

表2 覆盖紫花苜蓿对土壤化学性状的影响

Table 2 Effect of alfalfa covering on soil major chemical properties						
物种 Species	处理 Treatment	碱解氮 Available N /(mg·kg <sup>-1</sup> )	有机质 OM /(g·kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Olsen P /(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available K /(mg·kg <sup>-1</sup> )	pH /(2.5:1)
野樱桃 Wild cherry	不覆草-C	34.5b	5.23b	5.87b	40.3b	8.10a
	覆草+C	38.8a	6.16a	7.23a	45.8a	8.09a
欧李 <i>Cerasus humilis</i>	不覆草-C	34.1b	5.39b	6.06b	40.6b	8.10a
	覆草+C	40.2a	6.05a	7.19a	49.8a	8.09a
文冠果 Shiny leaf yellowhorn	不覆草-C	36.3b	5.25b	6.08b	39.8b	8.09a
	覆草+C	41.9a	6.15a	6.93a	50.0a	8.12a
山杏 Apricot	不覆草-C	34.1b	5.42b	6.02b	41.6a	8.11a
	覆草+C	39.3a	6.18a	7.13a	53.4a	8.09a
显著性	树种差异性 P(S)	*	*	*	*	NS
ANOVA	覆草差异性 P(C)	*	*	*	*	NS
	交互作用 P(S×C)	*	*	*	*	NS

同样地,覆盖紫花苜蓿显著提高野樱桃、欧李、文冠果和山杏土壤速效磷和速效钾含量,与对照相比,增幅分别达到23.2%、18.6%、14.0%、18.4%和

13.6%、22.7%、25.6%、28.4%。覆盖紫花苜蓿对土壤pH无显著影响,可能与覆盖紫花苜蓿促进宿主植物根系呼吸、养分有效性提高、根系形态变化和分

泌物增加相关。同样地,覆盖紫花苜蓿和树种的交互作用对上述指标的变化有显著影响。

### 2.3 覆盖紫花苜蓿对土壤酶活性的影响

由表3可知,与对照处理相比,覆盖紫花苜蓿的野樱桃、欧李、文冠果和山杏的土壤酸性磷酸酶活性显著增加37.7%、41.6%、36.4%、40.0%;蔗糖酶活

性显著提高21.8%、34.5%、51.2%、44.5%;脲酶活性显著上升43.8%、40.5%、44.7%、33.6%;硝酸还原酶活性提高20.5%、29.3%、39.9%、27.9%。同时,植物类型和覆盖紫花苜蓿均对酶活性有显著影响;二者交互作用对上述指标也有显著影响。

表3 覆盖紫花苜蓿对土壤酶活性的影响

Table 3		Effect of alfalfa covering on soil enzymatic activities			
物种 Species	处理 Treatment	酸性磷酸酶 Acid phosphatase / $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	蔗糖酶 Sucrase / $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$	脲酶 Urease / $(\text{NH}_4^+ - \text{N} \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1})$	硝酸还原酶 Nitratase / $(\text{NO}_2^- - \text{N} \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1})$
野樱桃	不覆草-C	62.3b	24.3b	1.62b	8.42b
Wild cherry	覆草+C	85.8a	29.6a	2.33a	10.15a
欧李	不覆草-C	65.2b	22.9b	1.58b	7.68b
<i>Cerasus humilis</i>	覆草+C	92.3a	30.8a	2.22a	9.93a
文冠果	不覆草-C	68.5b	21.7b	1.61b	8.07b
Shiny leaf yellowhorn	覆草+C	93.4a	32.8a	2.33a	11.29a
山杏	不覆草-C	70.5b	22.9b	1.52b	7.73b
Apricot	覆草+C	98.7a	33.1a	2.03a	9.89a
显著性	树种差异性 P(S)	*	*	*	*
ANOVA	覆草差异性 P(C)	*	*	*	*
	交互作用 P(S×C)	*	*	*	*

## 3 讨论与结论

研究表明覆草促进复垦矿区植物的生长发育,这与覆草对其它植物促生作用相似<sup>[13]</sup>。该研究所在的神东采煤沉陷区气候干旱、土壤贫瘠,复垦初期植物根系难以形成根毛或根毛数量很少,定植困难;采用覆草技术可提高表层土壤水分含量、增加养分浓度、提高了土壤酶活性、缩小土壤温度的年际和月份差,为复垦植物的定植生长创造条件。因此,覆草能增强矿区复垦植物适应极端干旱和贫瘠土壤的能力。

覆草促进土壤有机质含量提高,可能是覆草腐烂后向土壤提供有效养分,同时输入活性有机物,进一步促进土壤化学性状改善。该研究发现,覆草增加复垦种植区土壤有机质含量,加之复垦土壤较为贫瘠,覆草和秋冬季节枯枝落叶的腐烂转化为有机质含量提供可能。同时,覆草向土壤输入更多的氮、磷和钾等矿质营养<sup>[14]</sup>,添加新鲜有机物质显著提高5~10 cm农田土壤速效磷和速效钾;同样地,水田覆草也可以提高速效磷、速效钾和碱解氮含量,促进土壤团粒结构形成和调节孔隙度,进一步促进土壤肥力良性循环<sup>[15]</sup>。同时,覆草可以提高土壤转化酶和脲酶活性,加快有机物质分解,有利于改善土壤理化性状;同时提高寒冷季节的土壤温度和湿度,对缓冲环境胁迫能力具有一定作用。该研究得出,覆草提

高了土壤磷酸酶、蔗糖酶、脲酶和硝酸还原酶活性,这与覆草改善水分、调节土壤pH、增加土壤有机质密切相关<sup>[16]</sup>。同时,土壤脲酶、磷酸酶与速效养分含量呈正相关关系,说明脲酶和磷酸酶是土壤氮、磷养分形成、积累和循环的主导因子,可以作为评价覆草影响土壤质量的生物学指标<sup>[17-18]</sup>。需要注意的是,在覆草初期适当补充氮肥,实施科学管理,克服短期内覆草与植物根系竞争水分和养分,调整碳、氮比例,有利于土壤生产力持续发展。

该研究证实覆盖紫花苜蓿影响采煤沉陷区生态恢复,对植物生长和土壤养分循环具有重要作用。矿区覆草提高植物的成活率、叶色值、生物量、土壤化学性状和酶活性,进一步改善了矿区生态环境。但是,该试验只针对500 g·株<sup>-1</sup>的紫花苜蓿覆盖量下土壤和植物指标进行研究,不同覆盖量对矿区生态环境的影响程度、不同植物之间的覆盖量是否一致还需要进一步探讨。

### 参考文献

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴[J]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
- [2] 钱鸣高, 缪协兴, 许家林. 资源与环境协调(绿色)开采[J]. 煤炭学报, 2007, 32(1): 1-7.
- [3] 李少朋, 毕银丽, 陈咄圳, 等. 外源钙与丛枝菌根真菌协同对玉米生长的影响与土壤改良效应[J]. 农业工程学报, 2013, 29(1): 109-115.
- [4] 杜善周, 毕银丽, 王义, 等. 丛枝菌根对神东煤矿区塌陷地的修复作用与生态效应[J]. 科技导报, 2010, 28(7): 41-44.

- [5] 王齐瑞,谭晓风,张琳. 覆草栽培对甜樱桃生长及光合速率的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2006, 23(1): 24-28.
- [6] 王栋,李辉信,胡锋. 不同耕作方式下覆草旱作稻田土壤肥力特征[J]. 土壤学报, 2011, 48(6): 1203-1209.
- [7] 姚元涛,王长君. 北方茶园无性良种苗覆草和遮阴效果研究[J]. 广东茶业, 2012(5): 25-26.
- [8] 王洪刚. 果园覆草技术综合效应研究[J]. 水土保持研究, 2001, 8(3): 55-57.
- [9] 边世荣. 榆林山地果树覆草栽培技术综述[J]. 安徽农学通报, 2010, 16(11): 134-134.
- [10] 吴婕,朱钟麟,郑家因. 秸秆覆盖还田对土壤理化性质及作物产量的影响[J]. 西南农业学报, 2006, 19(2): 192-195.
- [11] 徐胜利,陈小青,陈青云. 荒漠绿洲香梨园覆草节水效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(1): 97-101.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 2000.
- [13] 胡浩,薛建辉,吴永波,等. 生物覆盖对冰脆李人工林土壤养分及酶活性的影响[J]. 西南林业大学学报, 2013, 33(3): 15-19.
- [14] 贾碑,孙伟,史韵亮. 树盘覆草对核桃园土壤养分及幼树产量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2008(3): 35-36.
- [15] 王栋. 覆草旱作条件下稻田土壤肥力性状、碳氮动态及水稻生产力特征研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [16] 殷丽琼,施自明,刘军,等. 秸秆覆盖对成龄茶园土壤养分的影响[J]. 南方农业学报, 2013(9): 1483-1487.
- [17] 崔晓晓,王纪杰,俞元春,等. 喀斯特峡谷区植被恢复过程中土壤酶活性的变化[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2011, 35(2): 103-107.
- [18] 田亚玲,曹福亮. 银杏-茶间作模式对土壤养分和酶活性的影响[J]. 林业科技开发, 2012, 26(5): 41-45.

## Effects of Alfalfa Covering on Plant Growth and Soil Chemical and Biological Properties Amelioration in Coal Mining-induced Subsidence Area

WANG Zhigang<sup>1</sup>, BI Yinli<sup>1</sup>, He Ruimin<sup>2</sup>, LIU Wenwen<sup>1</sup>, QIU Lang<sup>1</sup>, SHEN Zhen<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083;  
2. Shendong Coal Technology Research Institute in China Shenhua Group, Yulin, Shaanxi 719315)

**Abstract:** To investigate the effects of alfalfa covering on wild cherry, shiny leaf yellowh orn, *Cerasus humilis*, wild apricot of four species growth, major chemical properties and enzymatic activities in the degenerated sandy soil, a field experiment in Shendong coal mining-induced subsidence area were carried out. The results showed that the four species shoot dry weight were improved significantly averaged by 31.7%—54.6%, and root dry weight by 25.6%—41.0%. Similarly, alfalfa covering treatment improved plants survivals and leaf SPAD were increased up to 85% and 32.0, respectively. Compared with the controls, soil available N, organic matter, Olsen P, available K were enhanced by 12.5%—17.9%, 14.0%—17.8%, 14.0%—23.2%, 13.6%—28.4%, respectively. Meanwhile, soil acid phopshatase, sucrase, urease and nitratase activities in alfalfa covering were significantly higher by 36.4%—41.6%, 21.8%—51.2%, 33.6%—44.7%, and 20.5%—39.9% than those corresponding non-covering treatments. Therefore, alfalfa covering dramatically enhanced land restoration conditions via improving plant growths and major chemical or biological properties of soil, which provided some suggestions for long-term ecological improvements by alfalfa covering technology.

**Keywords:** coal mining-induced subsidence area; alfalfa covering treatment; reclamation species; soil chemical properties; soil enzymatic activities