



不同施肥处理下工矿复垦区大豆根际效应分析

张变华^{1,2}, 靳东升², 张强², 郜春花², 李建华²

(1. 忻州师范学院, 山西 忻州 034000; 2. 山西省农业科学院 农业环境与资源研究所, 山西 太原 030031)

摘要: 为了研究工矿复垦区不同施肥处理下的大豆根际效应, 采用土壤农化分析法、微生物平板培养法和土壤酶活性测定方法对不同生育期不同施肥处理下大豆根际和非根际土壤中的养分、微生物区系、酶活性指标进行了测定和分析。结果表明: 在大豆不同生育期, 不同施肥处理下根际对全氮、有机质、有效磷、速效钾、水解性氮的富集均具有正向效应, 且施肥处理下大豆根际效应强于对照处理; 在苗期与开花期, 有机无机配施处理与 CK 处理间根际各种养分富集率差异均显著; 在鼓粒期与成熟期, 有机无机配施处理与 CK 处理间根际全氮、有机质、速效钾富集率差异显著。在大豆不同生育期不同施肥处理下根际酶活性、根际微生物数量均高于非根际, 且有机无机配施肥处理与 CK 处理间根际效应差异显著; 过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶根际效应均与土壤有机质富集率显著相关, 碱性磷酸酶与水解性氮和速效钾显著相关; 细菌根际效应与全氮、有机质富集率显著相关, 放线菌根际效应与全氮、有效磷富集率显著相关, 而真菌与养分富集率相关性较差。总体来看, 在该工矿复垦区大豆不同生育期有机无机配施处理下根际效应较强。

关键词: 工矿复垦区; 大豆; 施肥处理; 根际效应

Analysis on the Rhizosphere Effects of Different Fertilization Treatments on Soybean in Industrial and Mining Reclamation Areas

ZHANG Bian-hua^{1,2}, JIN Dong-sheng², ZHANG Qiang², GAO Chun-hua², LI Jian-hua²

(1. Xinzhou Teachers College, Xinzhou 034000, China; 2. Institute of Agricultural Environment and Resources, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China)

Abstract: In order to study the rhizosphere effect of soybean under different fertilization treatments in industrial and mining reclamation areas, the nutrients, microflora and enzyme activity indexes of rhizosphere and non-rhizosphere soil were measured respectively by soil agrochemical analysis, microorganism plate culture and soil enzyme activity determination method. The results showed that the rhizosphere had positive effects on the enrichment of total nitrogen, organic matter, available phosphorus, available potassium and hydrolyzable nitrogen under different fertilization treatments at the soybean growth stage, and the rhizosphere effect of soybean under different fertilization treatments was stronger than that under control. There were significant differences in the enrichment rates of nutrients between organic-inorganic fertilizer treatment and CK during seedling and flowering period. And there were significant differences in total nitrogen, organic matter and available potassium concentration between the combined mature and inorganic fertilizer treatment and CK during the seed-filling and mature period. Rhizosphere enzyme activity and microorganism quantity were higher than those of non-rhizosphere, and organic-inorganic fertilizer treatment was significantly higher than that of control at the soybean growth stage. The rhizosphere effects of catalase, urease, and sucrose were significantly related to soil organic matter concentration rate, and alkaline phosphatase was significantly related to hydrolyzed nitrogen and available potassium. Bacterial rhizosphere effect was significantly correlated with total nitrogen and organic matter enrichment rate, actinomycorrhizal rhizosphere effect was significantly correlated with total nitrogen and available phosphorus enrichment rate. Generally speaking, the rhizosphere effect under organic and inorganic fertilization at different growth stages of soybean in industrial and mining reclamation area was stronger.

Keywords: Industrial and mining reclamation area; Soybean; Fertilization treatments; Rhizosphere effect

工矿区复垦土壤具有有机质含量低, 团聚体少, 微生物活性差的特点^[1-5], 大豆作为改良土壤质量的先锋作物, 是矿区土地复垦与生态重建的首选作物, 而大豆根际是连接植物、土壤和微生物的纽带, 因此开展大豆根际效应研究对矿区复垦土壤质量培育具有重大意义。根际效应指由于植物根系

的细胞组织脱落物和根系分泌物为根际微生物提供了丰富的营养和能量, 与非根际相比, 植物根际土壤的微生物数量丰富, 活性较高^[6], 同时在土壤有机质的转化以及提供植物养料、维持土壤肥力等方面都产生正面效应^[7-8]。因此通过对植物根际与非根际土壤养分、微生物数量、酶活性等指标的比

收稿日期: 2018-09-10

基金项目: 国家重点联合基金子课题(U1710255-6); 山西省农业科学院省政府重点工作项目(YCX2017D2501); 忻州师范学院重点学科建设课题(xk201407)。

第一作者简介: 张变华(1976-), 女, 硕士, 讲师, 主要从事矿区复垦与生态重建研究。E-mail: sxdxbzh@126.com。

通讯作者: 靳东升(1979-), 男, 硕士, 副研究员, 主要从事矿区复垦与生态重建研究。E-mail: sxdxjds@126.com。

较,可以很好地表征植物根际效应。目前已有众多研究者对植物根际效应进行了研究,如杜明新等^[9]发现高寒沙化草地根际土壤有机碳含量高于非根际,而根际全氮含量低于非根际;胡静等^[10]发现内蒙古大草原割草与放牧对大针茅根际土壤全磷的根际效应不明显,有效磷在根际与非根际之间差异不明显;杨刚等^[11]发现北方旱寒区小麦、胡麻、油菜根际土壤肥力均高于非根际,而玉米根际土壤肥力低于非根际土壤。目前也有学者们对于矿区植物根际进行了研究,如杨期和等^[12]发现粤东铅锌尾矿区3种优势植物根际土壤酶的活性均显著高于非根际土壤;滕应等^[13]研究发现浙江铜矿复垦红壤区不同牧草根际微生物群落利用碳源种类和数量存在明显差异。在大豆根际土壤研究方面,研究者在黑龙江对不同施肥处理下大豆根际土壤养分、酶活性、微生物区系及微生物生物量碳氮等方面开展了研究,发现施肥可以增加大豆根际细菌、放线菌数量与微生物生物量碳,但大豆根际效应研究却鲜有报道,尤其对贫瘠的矿区复垦土壤立地条件下的大豆根际效应研究更少^[14-17],因此,本文以山西古交工矿复垦区为研究对象,研究不同施肥处理下大豆生育期(苗期、开花期、鼓粒期、成熟期)根际效应,旨在为矿区复垦与生态重建工作提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

大豆品种为晋豆21。

1.2 试验设计

试验区位于山西省古交屯兰工矿复垦区,2014年开始复垦为农田耕地,2017年为复垦第四年,该区年平均气温18℃,平均降水量460mm,为温带大陆性气候,2017年4月在试验区施肥,分为4个处理,即有机(M)、无机(F)、有机无机(MF)与对照(CK)处理,氮肥以150kg·hm⁻²等氮量施肥,无机肥使用晨雨复合肥(N:P₂O₅:K₂O=18:12:10),有机肥使用平遥国青有机肥(有机质含量53.48%,含氮2.2%)。

1.3 方法

1.3.1 样品采集 根际土壤取样按照Riley等^[18]的抖落法:各试验小区选取长势相同的大豆15~20株,轻轻抖落大块土,然后将根系周围(1~5mm)附着的土壤全部抖落或用毛刷轻轻刷下,得到根际土壤。非根际土壤样品采集大豆株间0~20cm的土壤,每个处理3次重复,将采集的土样混合均匀,分为两部分,一部分自然风干,过筛进行养分与酶活

性分析试验;另一部分放入灭菌袋,密封后(4℃保温箱)带回室内,剩余土样放在-80℃冰箱冷冻保存。

1.3.2 测定项目与方法 对4次采集的土样采用平板培养法进行微生物数量测定,细菌培养使用牛肉膏蛋白胨培养基,放线菌培养使用改良高氏I号培养基,真菌培养使用孟加拉红培养基。土壤酶活性测定方法参照关松荫等^[19]方法。土壤有机质、全氮、水解性氮、速效磷和速效钾含量,参照鲍士旦^[20]方法测定。

1.4 数据分析

对于根际效应的强弱,本文用富集率表示根际对土壤养分的富集程度,计算公式为:

富集率(%) = [(根际含量 - 非根际含量) / 非根际含量] × 100^[10]

用根际与非根际(R/S)的比值来表示微生物数量、酶活性的根际效应^[21-22]。

利用Excel 2007、Spss 22.0软件进行数据整理、方差分析和相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同生育期不同施肥处理大豆根际养分富集率比较分析

在大豆不同生育期,不同施肥处理下根际全氮、有机质、水解性氮、有效磷、速效钾富集率均为正值,说明根际效应为正向作用,根际含量高于非根际(表1)。

在大豆苗期、开花期、鼓粒期、成熟期,施肥处理下根际全氮、有机质、水解性氮、有效磷、速效钾富集率均高于CK处理。其中苗期、开花期MF处理与CK处理差异显著(P<0.05)。苗期MF处理下根际有机质、水解性氮、有效磷富集率最高,F处理下大豆根际全氮和速效钾富集率最高。

开花期,MF处理下根际对各种养分的富集率均最高。

鼓粒期,MF处理与CK处理间根际全氮、有机质、有效磷、速效钾富集率差异显著(P<0.05),水解性氮富集率差异不明显(P<0.05)。各施肥处理中MF处理下根际全氮、有机质、有效磷、速效钾富集率最高,F处理下大豆根际水解性氮富集率最高。

在大豆成熟期MF处理与CK处理间根际全氮、有机质、水解性氮、速效钾富集率差异显著(P<0.05)。各施肥处理中MF处理下根际对各种养分的富集率均最高。

表1 不同生育期不同施肥处理下大豆根际养分富集率

Table 1 Concentration rate of nutrients in rhizosphere of soybean under different fertilization treatments during different growing stage

生育期 Growing stage	处理 Treatment	全氮 Total nitrogen	有机质 Organic matter	水解性氮 Available nitrogen	有效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium
苗期 Seedling	CK	0.11 ± 0.02 c	0.25 ± 0.03 b	0.44 ± 0.04 c	0.11 ± 0.06 b	0.02 ± 0.00 c
	F	0.49 ± 0.07 a	0.28 ± 0.06 b	0.86 ± 0.10 b	0.27 ± 0.03 a	0.05 ± 0.00 ab
	M	0.32 ± 0.08 b	0.34 ± 0.06 ab	0.76 ± 0.08 b	0.33 ± 0.02 a	0.05 ± 0.00 a
	MF	0.33 ± 0.00 b	0.40 ± 0.06 a	1.26 ± 0.17 a	0.37 ± 0.07 a	0.03 ± 0.00 b
开花期 Flowering	CK	0.21 ± 0.08 b	0.03 ± 0.01 d	0.32 ± 0.09 b	0.19 ± 0.05 b	0.02 ± 0.00 b
	F	0.32 ± 0.08 ab	0.25 ± 0.01 c	0.46 ± 0.01 ab	0.21 ± 0.08 b	0.03 ± 0.01 ab
	M	0.31 ± 0.07 ab	0.38 ± 0.05 b	0.34 ± 0.10 b	0.23 ± 0.07 ab	0.02 ± 0.01 b
	MF	0.40 ± 0.06 a	0.56 ± 0.04 a	0.53 ± 0.11 a	0.35 ± 0.04 a	0.04 ± 0.00 a
鼓粒期 Seed-filling	CK	0.17 ± 0.05 b	0.07 ± 0.02 c	0.19 ± 0.05 a	0.15 ± 0.04 b	0.03 ± 0.01 c
	F	0.22 ± 0.07 b	0.12 ± 0.04 b	0.34 ± 0.09 a	0.65 ± 0.07 a	0.03 ± 0.01 c
	M	0.23 ± 0.02 b	0.19 ± 0.01 a	0.25 ± 0.09 a	0.61 ± 0.12 a	0.07 ± 0.01 b
	MF	0.38 ± 0.02 a	0.19 ± 0.02 a	0.28 ± 0.10 a	0.71 ± 0.04 a	0.22 ± 0.00 a
成熟期 Mature	CK	0.01 ± 0.00 c	0.11 ± 0.01 c	0.42 ± 0.03 b	0.16 ± 0.02 a	0.07 ± 0.00 b
	F	0.03 ± 0.00 c	0.13 ± 0.00 c	0.52 ± 0.08 ab	0.17 ± 0.01 a	0.15 ± 0.07 a
	M	0.12 ± 0.02 b	0.32 ± 0.05 b	0.49 ± 0.03 ab	0.19 ± 0.02 a	0.17 ± 0.03 a
	MF	0.31 ± 0.03 a	0.39 ± 0.04 a	0.58 ± 0.05 a	0.23 ± 0.09 a	0.19 ± 0.02 a

不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平存在显著差异。下同。
Different lowercase indicate significant difference at 5% level. The same below.

2.2 不同生育期不同施肥处理大豆根际与非根际土壤酶活性比较

在大豆不同生育期,不同施肥处理下大豆根际过氧化氢酶活性均高于非根际,顺序均为 MF > M > F > CK。在大豆开花期不同施肥处理下大豆根际与

非根际过氧化氢酶活性最高,在成熟期过氧化氢酶活性最低(图1)。在大豆不同生育期内,施肥处理下大豆过氧化氢酶活性和根际效应均高于对照处理,且MF处理与CK处理差异显著($P < 0.05$),在开花期MF处理下根际效应最强,R/S值为1.46(表2)。

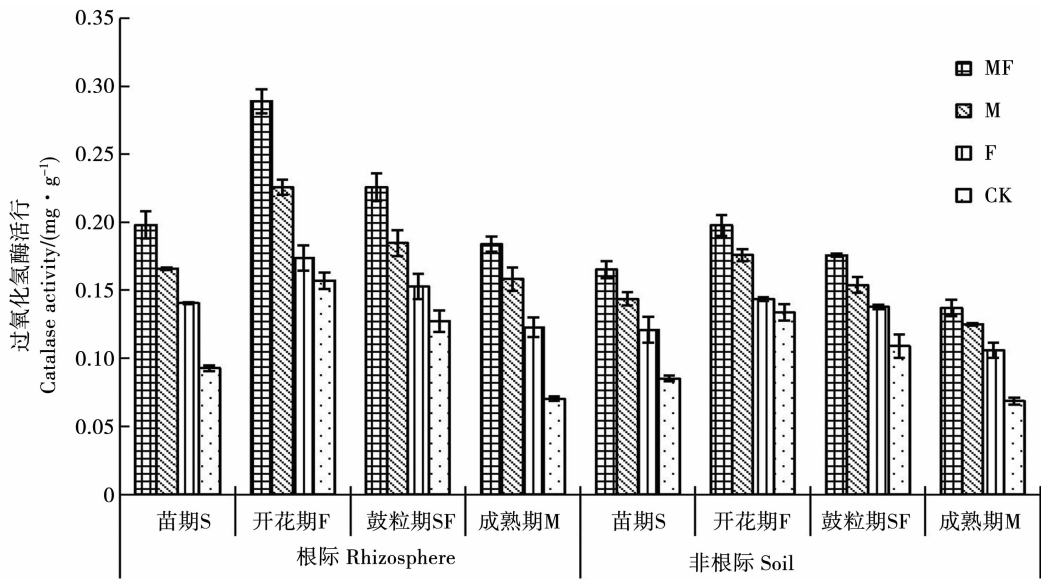


图1 不同生育期不同施肥处理下大豆根际与非根际土壤过氧化氢酶活性
Fig. 1 Catalase activity in soybean rhizosphere and soil under different fertilization treatment during different growing stage

在大豆不同生育期,不同施肥处理下根际脲酶活性均高于非根际,根际脲酶活性在开花期和鼓粒期表现为 MF > F > M > CK,在苗期和成熟期表现为 MF > M > F > CK;而非根际脲酶活性在任一时期均为 MF > M > F > CK(图2)。在大豆生长的不同时

期,施肥处理下脲酶活性根际效应均高于对照处理,MF处理与CK处理差异显著($P < 0.05$),在苗期MF处理下脲酶活性根际效应最强,R/S值为2.04(表2)。

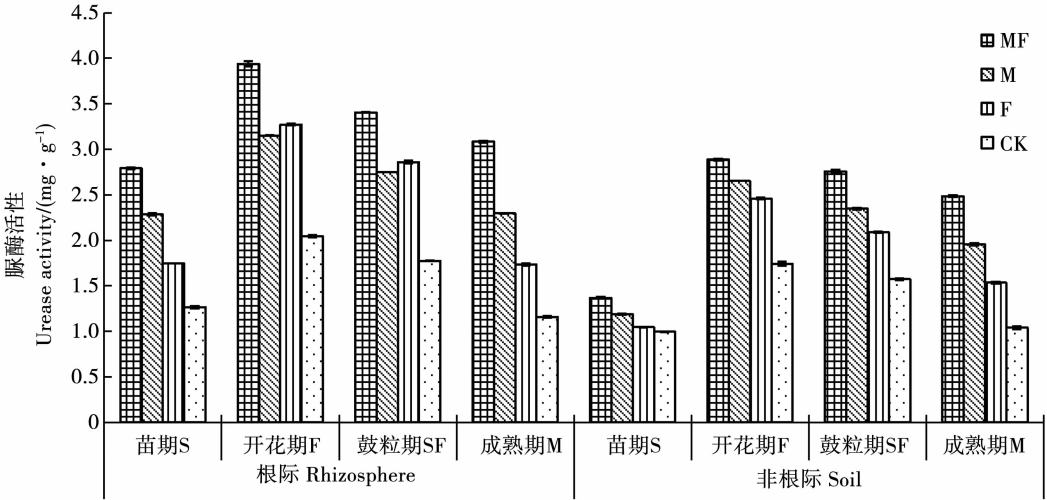


图2 不同生育期不同施肥处理下大豆根际与非根际土壤脲酶活性
Fig. 2 Urease activity in soybean rhizosphere and soil under different fertilization treatment during different growing stage

在大豆不同生育期,不同施肥处理下根际蔗糖酶活性均高于非根际,均表现为 MF > M > F > CK,且在苗期蔗糖酶活性最低,鼓粒期最高(图3)。在大豆生长的不同时期,施肥处理下蔗糖酶活性根际

效应均高于对照处理,MF处理与CK处理差异最为显著($P < 0.05$),在成熟期MF处理下根际效应最强,R/S值为1.36(表2)。

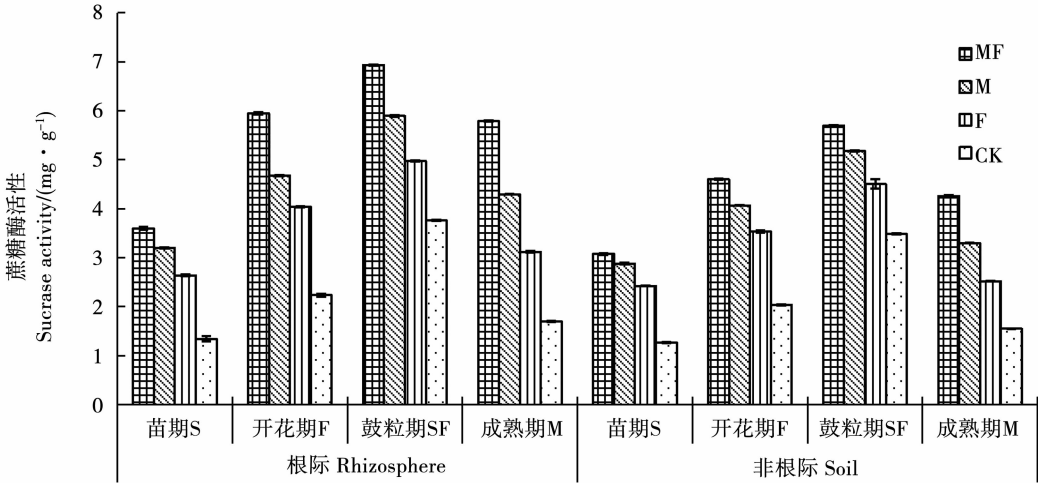


图3 不同生育期不同施肥处理下大豆根际与非根际土壤蔗糖酶活性
Fig. 3 Sucrase activity in soybean rhizosphere and soil under different fertilization treatment during different growing stage

在大豆不同生育期,不同施肥处理下根际碱性磷酸酶活性均高于非根际,根际与非根际碱性磷酸酶活性最高值均出现在大豆开花期,最低值分别出现在苗期和成熟期。在苗期和开花期不同施肥处理下大豆根际与非根际土壤碱性磷酸酶活性表现为 MF > F > M > CK,而在鼓粒期与成熟期为 MF > M

> F > CK(图4)。在大豆生长的不同时期,施肥处理下碱性磷酸酶活性根际效应均高于对照处理,MF处理与CK处理差异最为显著($P < 0.05$),在成熟期MF处理下根际效应最强,R/S值最大,为1.94(表2)。

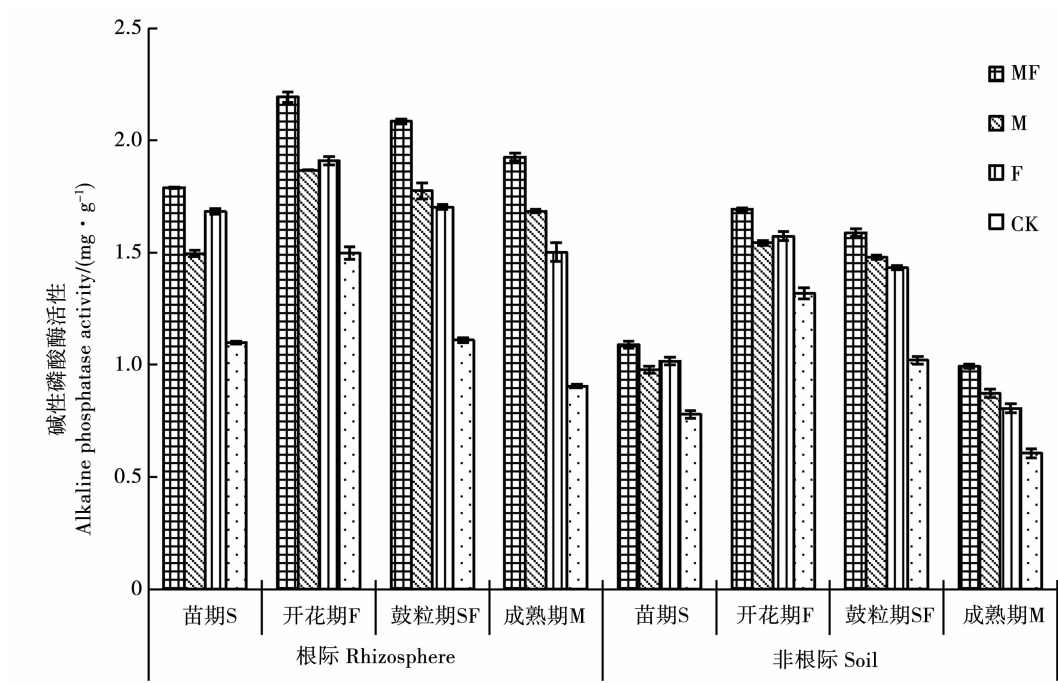


图 4 不同生育期不同施肥处理下大豆根际与非根际土壤碱性磷酸酶活性

Fig. 4 Alkaline phosphatase activity in soybean rhizosphere and soil under different fertilization treatment during different growing stage

表 2 大豆不同生育期不同施肥处理下土壤酶活性根际效应值 (R/S)

Table 2 Value of R/S about the soil enzyme activity of soybeans under different fertilization treatment during different growing periods

生育期 Growing stage	处理 Treatment	过氧化氢酶 Catalase	脲酶 Urease	蔗糖酶 Sucrase	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase
苗期 Seedling	CK	1.08 ± 0.04 b	1.27 ± 0.01 d	1.06 ± 0.02 c	1.41 ± 0.04 c
	F	1.17 ± 0.09 ab	1.67 ± 0.02 c	1.09 ± 0.01 b	1.66 ± 0.02 a
	M	1.16 ± 0.04 ab	1.92 ± 0.01 b	1.11 ± 0.01 b	1.53 ± 0.03 b
	MF	1.20 ± 0.02 a	2.04 ± 0.01 a	1.17 ± 0.01 a	1.64 ± 0.02 a
开花期 Flowering	CK	1.18 ± 0.05 b	1.17 ± 0.01 d	1.09 ± 0.01 c	1.14 ± 0.04 c
	F	1.21 ± 0.06 b	1.33 ± 0.00 b	1.14 ± 0.01 b	1.21 ± 0.02 b
	M	1.28 ± 0.06 b	1.19 ± 0.00 c	1.15 ± 0.00 b	1.20 ± 0.00 b
	MF	1.46 ± 0.10 a	1.36 ± 0.01 a	1.29 ± 0.00 a	1.29 ± 0.01 a
鼓粒期 Seed-filling	CK	1.08 ± 0.07 c	1.13 ± 0.01 d	1.08 ± 0.00 d	1.08 ± 0.02 c
	F	1.13 ± 0.06 bc	1.37 ± 0.01 a	1.10 ± 0.03 c	1.19 ± 0.00 b
	M	1.20 ± 0.03 b	1.17 ± 0.00 c	1.14 ± 0.00 b	1.20 ± 0.01 b
	MF	1.29 ± 0.07 a	1.24 ± 0.01 b	1.22 ± 0.00 a	1.31 ± 0.01 a
成熟期 Mature	CK	1.03 ± 0.05 c	1.11 ± 0.02 c	1.10 ± 0.01 d	1.49 ± 0.06 b
	F	1.17 ± 0.13 bc	1.13 ± 0.02 c	1.24 ± 0.00 c	1.86 ± 0.06 a
	M	1.27 ± 0.07 ab	1.17 ± 0.01 b	1.30 ± 0.00 b	1.93 ± 0.05 a
	MF	1.34 ± 0.05 a	1.24 ± 0.01 a	1.36 ± 0.01 a	1.94 ± 0.03 a

2.3 不同生育期不同施肥处理大豆根际与非根际土壤微生物区系差异比较

在大豆不同生育期,不同施肥处理下根际细菌、放线菌、真菌数量均高于非根际。对于细菌而言,在大豆不同生育期均为 MF 处理下大豆根际与

非根际细菌数量最多,且 MF 处理下 R/S 最大,任一时期 MF 处理与 CK 处理差异均显著 ($P < 0.05$)。对于放线菌而言,在大豆不同生育期,均为 MF 处理下大豆根际与非根际放线菌数量最多,在大豆苗期、开花期和鼓粒期,均为 MF 处理下 R/S 最大,且

MF 处理与 CK 处理差异显著 ($P < 0.05$), 而成熟期各施肥处理间差异不明显。对于真菌而言, 在大豆苗期、开花期, 施肥处理下根际与非根际真菌数量大于 CK, 而其它时期均为施肥处理下大豆根际与非根际真菌数量均小于 CK 处理, 不同生育期均为 MF

处理下 R/S 值最小, 且 MF 处理与 CK 处理间差异显著 ($P < 0.05$) (表 3)。综上说明 MF 处理有助于工矿复垦区大豆根际与非根际土壤细菌、放线菌数量增加, 真菌数量减少, 进而改善矿区土壤质量。

表 3 大豆不同生育期不同施肥处理下根际与非根际微生物区系

Table 3 Microflora of rhizosphere and soil of soybean under different fertilization during different growing periods stage (cuf·g ⁻¹)										
生育期 Growing stage	处理 Treatment	细菌 Bacterias			放线菌 Actinobacterias			真菌 Fungi		
		根际 R (×10 ⁶)	非根际 S (×10 ⁴)	R/S	根际 R (×10 ⁶)	非根际 S (×10 ⁴)	R/S	根际 R (×10 ⁶)	非根际 S (×10 ⁴)	R/S
苗期 Seeding	CK	56 ± 1.73 d	98 ± 2.65 b	57 ± 1.96 d	60 ± 6.24 d	40 ± 3.79 d	15 ± 1.04 a	49 ± 8.19 d	23 ± 1.73 d	21 ± 0.21 a
	F	88 ± 2.00 c	100 ± 7.00 b	88 ± 4.56 c	105 ± 8.72 c	64 ± 6.56 c	16 ± 2.94 a	83 ± 6.24 b	48 ± 1.15 c	17 ± 0.09 b
	M	120 ± 5.00 b	185 ± 4.36 a	65 ± 1.42 b	140 ± 2.65 b	81 ± 8.54 b	17 ± 1.54 a	96 ± 3.46 a	65 ± 2.65 b	15 ± 0.10 bc
开花期 Flowering	MF	186 ± 2.65 a	192 ± 2.51 a	97 ± 21.10 a	174 ± 5.19 a	94 ± 5.57 a	19 ± 0.72 a	67 ± 7.93 c	54 ± 1.53 a	12 ± 0.14 c
	CK	105 ± 2.52 d	171 ± 5.57 c	61 ± 1.71 d	89 ± 3.61 d	101 ± 6.24 d	9 ± 0.92 d	81 ± 5.20 b	63 ± 4.36 b	13 ± 0.15 a
	F	155 ± 4.35 c	204 ± 5.56 b	76 ± 1.18 c	148 ± 3.61 c	138 ± 5.69 c	11 ± 0.24 c	93 ± 4.93 a	67 ± 2.52 ab	14 ± 0.04 a
鼓粒期 Seed-filling	M	196 ± 2.88 b	205 ± 2.00 b	96 ± 2.27 b	204 ± 2.65 b	157 ± 4.58 b	13 ± 0.21 b	78 ± 1.73 bc	73 ± 2.65 a	11 ± 0.05 b
	MF	289 ± 5.03 a	237 ± 2.65 a	122 ± 3.31 a	278 ± 2.65 a	193 ± 11.27 a	14 ± 0.73 a	72 ± 2.65 c	68 ± 2.08 ab	11 ± 0.02 b
	CK	39 ± 2.65 d	130 ± 6.08 d	30 ± 2.12 b	65 ± 5.29 c	94 ± 4.58 bc	7 ± 0.83 c	69 ± 4.58 a	46 ± 2.65 a	15 ± 0.19 a
成熟期 Mature	F	53 ± 2.65 c	161 ± 6.50 c	33 ± 0.52 b	99 ± 5.20 b	88 ± 2.31 c	11 ± 0.29 a	56 ± 2.00 b	48 ± 2.08 a	12 ± 0.91 b
	M	64 ± 2.31 b	193 ± 6.03 b	33 ± 2.21 b	103 ± 4.36 b	102 ± 2.65 b	10 ± 0.46 b	41 ± 7.81 c	36 ± 2.65 b	11 ± 0.14 b
	MF	97 ± 1.73 a	216 ± 16.10 a	45 ± 2.64 a	156 ± 3.61 a	129 ± 7.00 a	12 ± 0.45 a	33 ± 2.08 c	30 ± 1.00 c	11 ± 0.10 b
	CK	0.5 ± 0.02 d	96 ± 1.01 d	1 ± 0.02 d	21 ± 1.15 a	69 ± 6.56 b	3 ± 0.44 a	58 ± 8.54 a	46 ± 1.00 a	13 ± 0.17 ab
	F	8 ± 0.10 c	106 ± 4.00 c	8 ± 0.38 c	23 ± 4.36 a	72 ± 4.93 b	3 ± 0.47 a	49 ± 3.61 a	31 ± 3.21 b	16 ± 0.19 a
	M	10 ± 0.89 b	172 ± 1.00 a	6 ± 0.52 b	27 ± 4.36 a	84 ± 2.08 a	3 ± 0.48 a	38 ± 2.08 b	29 ± 4.04 bc	13 ± 0.20 ab
	MF	12 ± 0.50 a	137 ± 2.00 b	9 ± 0.50 a	29 ± 7.81 a	89 ± 1.15 a	3 ± 0.90 a	28 ± 2.08 c	25 ± 1.00 c	11 ± 0.04 b

2.4 不同施肥处理下大豆根际与非根际根际效应指标间相关性分析

微生物数量、酶活性是表征土壤质量优劣的敏感性指标。因此利用大豆不同生育期不同施肥处理下根际与非根际土壤微生物数量比 R/S、酶活性 R/S 与根际养分富集率进行相关性分析, 探讨不同生育期不同施肥处理下影响大豆根际效应的因素间关联程度。从表 4 中可以看出, 细菌 R/S 与全氮、有机质富集率正相关 ($P < 0.01$), 与其它土壤养

分含量相关性不大, 而放线菌 R/S 与土壤全氮 ($P < 0.01$)、有效磷富集率 ($P < 0.05$) 正相关, 真菌 R/S 值与土壤养分富集率相关性不大。蔗糖酶活性根际效应与土壤有机质 ($P < 0.01$)、速效钾富集率 ($P < 0.05$) 正相关, 脲酶根际效应与土壤有机质、水解性氮的富集率正相关, 过氧化氢酶活性根际效应与土壤全氮 ($P < 0.05$)、有机质 ($P < 0.01$) 富集率正相关。碱性磷酸酶活性根际效应与土壤中水解氮和速效钾富集率正相关 ($P < 0.05$)

表 4 大豆根际与非根际微生物数量比、酶活性比与根际养分富集率的相关性

Table 4 Relation between number of microorganisms, enzyme activity ratio and nutrient concentration rate of soybean rhizosphere and soil						
	项目 Item		全氮	有机质	水解氮	有效磷
			Total nitrogen	Organic matter	Available nitrogen	Available phosphorus
细菌 Bacterias	皮尔逊相关系数 Pearson correlation coefficients		0.748 **	0.635 **	0.383	0.316
	显著性 Significance		0.001	0.008	0.148	0.232
放线菌 Actinobacterias	皮尔逊相关系数 Pearson correlation coefficients		0.688 **	0.466	0.429	0.516 *
	显著性 Significance		0.003	0.069	0.097	0.041

续表 4

项目 Item		全氮 Total nitrogen	有机质 Organic matter	水解氮 Available nitrogen	有效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium
真菌	皮尔逊相关系数 Pearson correlation coefficients	-0.194	-0.416	-0.121	-0.136	0.264
Fungi	显著性 Significance	0.472	0.109	0.655	0.616	0.323
过氧化氢酶	皮尔逊相关系数 Pearson correlation coefficients	0.539 *	0.750 * *	0.146	0.231	0.347
Catalase	显著性 Significance	0.031	0.001	0.590	0.390	0.188
脲酶	皮尔逊相关系数 Pearson correlation coefficients	0.436	0.569 *	0.840 * *	0.332	-0.226
Urease	显著性 Significance	0.091	0.022	0.000	0.209	0.399
蔗糖酶	皮尔逊相关系数 Pearson correlation coefficients	0.070	0.529 *	0.176	-0.077	0.654 * *
Sucrase	显著性 Significance	0.796	0.035	0.515	0.777	0.006
碱性磷酸酶	皮尔逊相关系数 Pearson correlation coefficients	-0.161	0.263	0.536 *	-0.169	0.551 *
Phosphatase	显著性 Significance	0.551	0.324	0.032	0.532	0.027

* * 表示 0.01 水平上的显著性; * 表示 0.05 水平上的显著性。
* * representing the significance of 0.01 level; * representing the significance of 0.05 level.

3 讨 论

施肥对土壤养分含量的影响因作物、肥料、土壤类型的不同而存在差异。无机肥可增加土壤速效养分含量,提高土壤供肥强度;有机肥可改良土壤结构和改善养分库容,提高土壤供肥容量,两者结合是改良土壤、培肥地力的重要措施。本研究结果表明在大豆整个生育期内,不同施肥处理下大豆根际有机质、全氮、全磷、水解性氮、速效磷、有效钾含量均高于非根际,与杨刚等^[11]多学者报道的结果相类似。不同施肥处理下矿区大豆根际各种酶活性、根际微生物数量均高于非根际,与杨期和等^[12]、方改霞等^[23]对矿区植物、矿区艾蒿根际微生物的研究结果类似,且有机无机配施处理下工矿复垦区大豆根际养分富集率、酶活性、微生物数量根际效应最强。

土壤酶参与土壤中各种生物化学过程,与有机质矿化分解、营养元素循环、能量转移及土壤环境等密切相关。土壤微生物是土壤质量的重要组成部分,对于调节植物生长发育、抑制病害微生物生长、促进植物所需营养元素的循环等有重要作用。从本研究结果看,在大豆任一生育期,有机肥无机肥配施处理能显著增加土壤微生物数量,这与谷岩等^[15-17]的报道相一致。在大豆不同生育期同一施肥处理下根际养分、微生物数量、酶活性的变化趋势与前人^[15-16]对黑龙江大豆的研究结果较为相似,都在大豆生长旺盛时期出现峰值,但峰值出现的时间有所差异,这可能与研究区域所处的环境因素如降水量、气温等相关。

通过研究发现,大豆根际酶活性、微生物数量

根际效应与养分富集率相关性较强。具体来说,不同施肥处理下各种酶活性根际效应除碱性磷酸酶外均与根际有机质富集率显著相关;过氧化氢酶与土壤全氮、脲酶与水解氮、蔗糖酶与速效钾、碱性磷酸酶与水解性氮、速效钾的相关性较强;细菌与全氮、有机质富集率显著相关,放线菌与全氮、有效磷富集率显著相关,而真菌与养分富集率的相关性较差。

4 结 论

研究表明工矿复垦区不同施肥处理下大豆根际效应较为显著,根际效应的强弱与土壤养分相互联系和影响,有机肥无机肥配施下种植大豆对矿区复垦土壤质量的改善和提高有重要的作用。但本研究仅从工矿复垦区大豆根际养分富集率、酶活性与微生物区系方面进行了根际效应分析,随着现代分子生物学的发展,从大豆对工矿复垦区土壤改良的机理方面进行深层次研究势在必行,本研究仅为矿区复垦土壤改良工作提供部分基础工作。

参考文献

[1] 王卓理,耿鹏旭,王海荣. 基于模糊数学的复垦土壤综合肥力评价和趋势[J]. 中国矿业, 2011, 20(4):51-55. (Wang Z L, Geng P X, Wang H R. Comprehensive assessment and tendency analysis of soil fertility of reclaimed land based on fuzzy mathematics [J]. China Mining Magazine, 2011, 20(4): 51-55.)

[2] 李玲. 高潜水位平原区采煤塌陷地复垦土壤特征与分类研究[D]. 北京:中国矿业大学,2011. (Li L. Characteristics and classification of reclaimed soil in coal-mining subsidence areas with high groundwater [D]. Beijing: China University of Mining and Technology,2011.)

[3] Houston K, Thomas A B, Jason L H, et al. Policy guidance for identifying and effectively managing perpetual environmental impacts from new hardrock mines[J]. Environmental Science & Policy, 2010, 13(6): 558-566.

[4] 杨慧荣. 不同修复措施对土壤团聚体形成及稳定的影响[D]. 北京:中国矿业大学, 2014. (Yang H R. Effect on soil aggregate formation and stability with different restoration measures[D]. Beijing:China University of Mining and Technology,2014.)

[5] 樊文华,白中科,李慧峰,等. 不同复垦模式及复垦年限对土壤微生物的影响[J]. 农业工程学报,2011, 27(2): 330-337. (Fan W H, Bai Z K, Li H F, et al. Effects of different vegetation restoration patterns and reclamation years on microbes in reclaimed soil[J]. Transactions of the CSAE, 2011,27(2): 330-337.)

[6] 花东来,陈奇凌,李铭,等. 不同施肥处理对灰枣根际微生物的影响[J]. 新疆农业科学,2014,51(7):1277-1283. (Hua D L,Chen Q L, Li M, et al. Effects of different fertilization treatments on the Hui Jujube rhizosphere microorganisms[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2014,51(7):1277-1283.)

[7] 孙传伯,高健,杨有兰,等. 菜用大豆根际土壤微生物生态群落变化多样性研究[J]. 园艺与种苗,2013(11):35-37. (Sun C B,Gao J,Yang Y L, et al. Study on the soybean dynamic variation of ecologic community in green soybean rhizosphere[J]. Horticulture & Seed, 2013(11):35-37.)

[8] Lynch J M, Whipps J M. Substrate flow in the rhizosphere[J]. Plant Soil,1990,129:1-10.

[9] 杜明新,张丽静,梁坤伦,等. 高寒沙化草地不同灌木根际与非根际土壤氮素、有机碳含量特征[J]. 中国草地学报,2011, 33(4):18-24. (Du M X,Zhang L J,Liang K L, et al. Characteristics of nitrogen and organic carbon content in rhizosphere and bulk soil under different shrubs in the Alpine Sandy Grassland [J]. Chinese Journal of Grassland,2011,33(4):18-24.)

[10] 胡静,侯向阳,王珍,等. 割草和放牧对大针茅根际与非根际土壤养分和微生物数量的影响[J]. 应用生态学报, 2015,26(11):3482-3488. (Hu J,Hou X Y, Wang Z, et al. Effects of mowing and grazing on soil nutrients and soil microbes in rhizosphere and bulk soil of Stipa grandis in a typical steppe[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015,26(11): 3482-3488.)

[11] 杨刚,孙万仓,王丽萍,等. 北方旱寒区冬油菜不同后茬作物根际与非根际土壤肥力研究[J]. 干旱地区农业研究, 2015,33(3): 55-62. (Yang G, Sun W C, Wang L P, et al. Study on rhizosphere and non-rhizosphere soil fertilities of different crops after harvest of winter rape in the north dry-cold area[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015,33(3): 55-62.)

[12] 杨期和,刘惠娜,李清华,等. 粤东铅锌尾矿区3种优势植物根际土壤微生物的活性研究[J]. 中国农学通报,2012, 28(30):56-64. (Yang Q H,Liu H N,Li Q H, et al. Study on the microbial activity of rhizosphere soil for three dominant plant in Pb. Zn wasteland in Eastern Guangdong province[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2012,28(30):56-64.)

[13] 滕应,黄昌勇,龙健等. 复垦红壤中牧草根际微生物群落功能多样性[J]. 中国环境科学,2003, 23(3):295-299. (Teng Y, Huang,C Y, Long J, et al. Functional diversity of microbial community in herbage rhizosphere of reclaimed red soils [J]. China Environmental Science, 2003, 23(3): 295-299.)

[14] 谷岩,邱强,王振民,等. 连作大豆根际微生物群落结构及土壤酶活性[J]. 中国农业科学,2012,45(9):3955-3964. (Gu Y, Qiu Q, Wang Z M, et al. Effects of soybean continuous cropping on microbial and soil enzymes in soybean rhizosphere[J]. Scientia Agricultura Sinica,2012,45(9):3955-3964.)

[15] 谷岩,吴春胜,王振民,等. 不同施肥处理对大豆根际土壤微生物和酶活性的影响[J]. 大豆科学,2010,29(6):1008-1012. (Gu Y, Wu C S,Wang Z M, et al. Effect of different fertilizer treatment on soil microorganism and enzyme activities in soybean [J]. Soybean Science,2010,29(6):1008-1012.)

[16] 孟庆英,于忠和,贾绘彬,等. 不同施肥处理对大豆根际土壤微生物及土壤肥力影响[J]. 大豆科学,2011,30(3):471-475. (Meng Q Y,Yu Z H,Jia H B, et al. Effects of different fertilizer treatment on rhizosphere soil microoganisms and fertility of soybean [J]. Soybean Science, 2011,30(3): 471-475.)

[17] 张红骥,孙彬,裴占江,等. 有机无机复混肥对大豆根际微生物区系及幼苗生长的影响[J]. 大豆科学,2010,29(6):1016-1019. (Zhang H J,Sun B, Pei Z J, et al. Effects of organic and inorganic compound fertilizers on soybean rizosphere microorganism and seedling growth [J]. Soybean Science, 2010,29(6):1016-1019.)

[18] Riley D, Barber S A. Bicarbonate accumulation and pH changes at the soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] root-soil interface[J]. Soil Science Society of America Journal,1969,33(6):905-908.

[19] 关松荫,张德生,张志明. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京:中国农业出版社,1986. (Guan S Y,Zhang D S,Zhang Z M. Soil enzymes and research methods [M]. Beijing: China Agriculture Press,1986.)

[20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000. (Bao S D. Soil analysis in agricultural chemistry[M]. Beijing:China Agriculture Press,2000.)

[21] 侯颖. 采煤塌陷复垦初期土壤微生物及根际效应研究[J]. 广东农业科学,2013, 40(15):72-76. (Hou Y. Soil microorganism and rhizospheric effect in early stage of reclamation in core-mining subsidence area [J]. Guang Dong Agriculture Science,2013,40(15):72-76.)

[22] 胡亚林,汪思龙,颜绍. 影响土壤微生物活性和群落结构因素研究[J]. 土壤通报, 2006, 27(1):170-176. (Hu Y L,Wang S L, Yan S. Research advances on the factors influencing the activity and community structure of soil microorganism[J]. China Journal of Soil Science, 2006,27(1): 170-176.)

[23] 方改霞. 矿区与非矿区艾蒿根部微生物数量比较研究[J]. 广东农业科学, 2009, 36(5):155-158. (Fang G X. Study on the number of micro-organisms at root of mugwort in soil in mining and non- mining area [J]. Guangdong Agriculture Science,2009, 36(5):155-158.)