

紫花苜蓿播种量对根际和非根际土壤微生物数量及酶活性的影响

温素军,赵育堂,南丽丽,汪 堃

(甘肃农业大学 草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心,甘肃 兰州 730070)

摘要:在甘肃绿洲灌区,以当前区域优势品种甘农3号紫花苜蓿为试验材料,采用完全随机设计,设4个播量处理(12.0,16.0,20.0和24.0 kg/hm²),对紫花苜蓿根际与非根际土壤微生物数量及酶活性进行研究,为首蓿生产实践中选择合理的栽培方式提供科学依据。结果表明:苜蓿根际和非根际土壤细菌、放线菌、真菌数量及脲酶、脱氢酶、碱性磷酸酶活性均随播量增加呈先升高后降低趋势,在播量为20 kg/hm²时,根际和非根际土壤微生物数量及酶活性均最大,且根际高于非根际,土壤微生物数量与酶活性间有一定的相关性,且二者均有明显的季节变化,放线菌,真菌数量及碱性磷酸酶,脱氢酶活性均在9月最大,4月最小;在不同土层,0~20 cm大多高于20~40 cm。综上,在甘肃绿洲灌区苜蓿播量为20 kg/hm²,有利于提高苜蓿根际土壤生物性质。

关键词:苜蓿;根际;非根际;播量

中图分类号:S541 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)03-0105-06

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2020.03.016

根际是土壤—植物根系—微生物三者相互作用的场所和各种物质循环和能量流动的门户^[1]。由于受植物根系活动的影响,根际土壤的物理、化学和生物学特征显著不同于非根际土壤^[2]。土壤酶主要来自于动物、植物根系、微生物的细胞分泌物以及残体分解物,其活性能反映土壤生物活性和土壤生化反应强度,且土壤酶对外界环境变化敏感,是评价土壤肥力、土壤质量及土壤健康的重要生化指标^[3]。土壤微生物以真菌、细菌和放线菌为主,是土壤最具有活性的成分,其菌群比例的变化可作为衡量土壤肥力状况的重要指标^[4]。

有关播量对紫花苜蓿(*Medicago sativa*)产量^[5]、

品质^[6]及草地土壤生物性质^[7]的影响已有报道,但有关播量对苜蓿人工草地根际与非根际土壤酶活性及微生物数量的变化少见报道,而播量影响苜蓿群体大小,不同群体密度下苜蓿生长发育不同,根际环境也可能不同。为此,在甘肃绿洲灌区研究紫花苜蓿根际和非根际土壤微生物数量和酶活性的季节动态变化及其对播量的响应,为更清楚地认识苜蓿与其根际土壤生物间的相互作用,为首蓿生产实践中选择合理的栽培方式提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验在甘肃武威黄羊镇牧草试验站(N 37°55', E 102°40')进行,地处河西走廊东端,属大陆性气候,农业区划为中温带荒漠灌区。年均温7.2℃,年降水量150 mm,年蒸发量2 019.9 mm,海拔1 530.88 m,无霜期154 d。土壤类型为沙壤土,0~20 cm土层pH为8.70,有机质、全氮、全磷含量分别为10.60、7.07和3.32 g/kg,速效氮、磷、钾含量分别为88.2、13.24

收稿日期:2019-07-14; 修回日期:2020-02-17

基金项目:国家自然科学基金(31460630);现代农业产业技术体系建设专项(CARS-34)

作者简介:温素军(1997-),男,四川绵阳人,在读硕士。

E-mail:1197941680@qq.com

南丽丽为通讯作者。

E-mail:nanll@gsau.edu.cn

和 119.95 mg/kg^[8]。

1.2 试验设计

供试苜蓿为甘农 3 号紫花苜蓿 (*M. sativa* cv. Gannong No. 3)。设 4 个播量,分别为 12.0, 16.0, 20.0, 24.0 kg/hm²,行距均为 20 cm,小区面积 20 m² (4 m×5 m),小区间距为 40 cm,重复 3 次。2014 年 7 月 15 日人工开沟条播,播深 2 cm。播前浇一次底墒水,施磷酸二胺 400 kg/hm² 作为基肥。生长期间,每茬苜蓿测产后进行灌溉。

1.3 测定指标及方法

于 2018 年 4 月 25 日、7 月 25 日、9 月 25 日,按五点取样法选取苜蓿植株,将其 0~20、20~40 cm 根系区土样挖出,抖掉根系外围土,取紧贴在根表附近的土样,混合后作为根际土;非根际土壤样品为条播苜蓿行间土壤,用土钻按 S 形取 0~20、20~40 cm 土层的样品,重复 4 次,土样使用前过 2 mm 筛^[9]。

土壤细菌、真菌、放线菌分别用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基培养、马丁孟加拉红培养基、改良高氏 1 号培养基,其检测及计数方法均采用平皿梯度稀释法^[10-11]。土壤脲酶、碱性磷酸酶和脱氢酶分别采用靛酚蓝比色法、磷酸苯二钠(用硼酸缓冲液)比色法、氯化三苯基四氮唑(TTC)比色法测定^[12]。

表 1 苜蓿根际与非根际土壤细菌数量

Table 1 Comparison of soil bacterial quantity in rhizosphere and non-rhizosphere of alfalfa

10⁴ cfu/g

处理	播量 (kg·hm ⁻²)	0~20 cm			20~40 cm		
		4 月	7 月	9 月	4 月	7 月	9 月
根际	12.0	4.53 ^{aC}	11.42 ^{aB}	6.09 ^{aB}	3.22 ^{bC}	8.60 ^{bC}	5.85 ^{bC}
	16.0	6.65 ^{aA}	9.65 ^{aC}	6.95 ^{aA}	4.22 ^{bB}	9.47 ^{bB}	7.47 ^{bB}
	20.0	6.84 ^{aA}	13.84 ^{aA}	7.26 ^{aA}	5.65 ^{bA}	10.97 ^{bA}	9.74 ^{bA}
	24.0	5.82 ^{aB}	9.49 ^{aC}	6.92 ^{aA}	4.36 ^{bB}	9.20 ^{bB}	4.44 ^{bD}
非根际	12.0	4.37 ^{aC}	8.00 ^{aD}	5.17 ^{aC}	3.03 ^{bC}	3.86 ^{bF}	3.21 ^{bE}
	16.0	4.76 ^{aC}	8.34 ^{aD}	6.35 ^{aB}	3.09 ^{bC}	7.16 ^{bD}	3.56 ^{bE}
	20.0	6.20 ^{aA}	11.79 ^{aB}	6.55 ^{aB}	4.10 ^{bB}	7.61 ^{bD}	4.42 ^{bD}
	24.0	4.95 ^{aC}	6.48 ^{aE}	5.81 ^{aC}	1.81 ^{bD}	6.16 ^{bE}	2.37 ^{bF}

注:不同小写字母表示不同土层间差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示不同播量间差异显著($P<0.05$)。下同

2.2 根际与非根际土壤酶活性的比较

脲酶是决定土壤中氮转化的关键酶。脱氢酶活性高低反映土壤微生物的活动强度^[15]。碱性磷酸酶活性反映土壤对有效磷供给的潜在能力,可以表征土壤的肥力状况(特别是磷状况)^[16]。0~40 cm 土层根际土壤脲酶、碱性磷酸酶、脱氢酶活性分别为 0.18~2.12 mg/(g·24 h)、0.12~1.13 mg/(g·24 h)和 0.

1.4 数据分析

用 Excel 2013 进行数据处理后,用 SPSS 22.0 统计软件进行方差分析、相关分析和显著性检验,用 Duncan 氏新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 根际与非根际土壤微生物数量的比较

在 0~40 cm 土层,根际土壤细菌、放线菌、真菌数量分别在 3.22~13.84($\times 10^4$) cfu/g、2.21~18.45($\times 10^4$) cfu/g 和 0.84~3.53($\times 10^2$) cfu/g,非根际土壤细菌、放线菌、真菌数量分别在 1.81~11.79($\times 10^4$) cfu/g、1.54~12.79($\times 10^4$) cfu/g 和 0.21~2.53($\times 10^2$) cfu/g,根际和非根际土壤细菌、放线菌、真菌数量均随播量增加呈先增加后减小趋势,在播量为 20 kg/hm²,根际和非根际土壤细菌、放线菌、真菌数量均最大,且根际高于非根际,根际和非根际土壤中的微生物以细菌数量最多,放线菌次之,真菌最少,这与大多数学者的研究结果^[13-14]一致。在不同季节,细菌数量表现为 7 月>9 月>4 月,放线菌和真菌均表现为 9 月>7 月>4 月;在同一播量下根际和非根际土壤微生物数量在不同月份均为 0~20 cm 土层显著高于 20~40 cm 土层($P<0.05$)(表 1,2)。

21~0.66 μ g/(g·24 h),非根际土壤脲酶、碱性磷酸酶、脱氢酶分别为 0.14~2.02 mg/(g·24 h)、0.10~0.96 mg/(g·24 h)和 0.11~0.54 μ g/(g·24 h),根际和非根际土壤脲酶、碱性磷酸酶、脱氢酶活性均随播量增加呈先升高后下降趋势,均在播量为 20 kg/hm² 时活性最强,且根际高于非根际;在不同季节,脲酶活性 7 月最高,4 月次之,9 月最小,而脱氢酶和碱性磷酸

表 2 苜蓿根际与非根际土壤放线菌数量

Table 2 Comparison of soil actinomycetes quantity in rhizosphere and non-rhizosphere of alfalfa

处理	播量 (kg · hm ⁻²)	10 ⁴ cfu/g					
		0~20 cm			20~40 cm		
		4 月	7 月	9 月	4 月	7 月	9 月
根际	12.0	5.62 ^{aC}	8.87 ^{aD}	9.08 ^{aD}	2.21 ^{bB}	5.62 ^{bB}	6.09 ^{bC}
	16.0	5.85 ^{aC}	9.65 ^{aC}	15.67 ^{aB}	3.37 ^{bA}	6.77 ^{bA}	7.38 ^{bB}
	20.0	7.26 ^{aA}	18.45 ^{aA}	20.36 ^{aA}	3.42 ^{bA}	6.03 ^{bB}	8.44 ^{bA}
	24.0	6.47 ^{aB}	10.16 ^{aB}	13.90 ^a	3.72 ^{bA}	5.44 ^{bB}	7.96 ^{bB}
非根际	12.0	4.09 ^{aD}	7.11 ^{aE}	7.80 ^{aE}	1.54 ^{bC}	3.09 ^{bD}	5.46 ^{bD}
	16.0	5.17 ^{aC}	7.72 ^{aE}	9.81 ^{aD}	2.65 ^{bB}	4.02 ^{bC}	5.85 ^{bD}
	20.0	5.64 ^{aC}	8.39 ^{aD}	12.79 ^{aC}	3.13 ^{bA}	4.23 ^{bC}	6.65 ^{bC}
	24.0	4.36 ^{aD}	6.64 ^{aF}	8.11 ^{aE}	2.32 ^{bB}	4.13 ^{bC}	6.08 ^{bC}

表 3 苜蓿根际与非根际土壤真菌数量

Table 3 Comparison of soil fungi quantity in rhizosphere and non-rhizosphere of alfalfa

处理	播量 (kg · hm ⁻²)	10 ² cfu/g					
		0~20 cm			20~40 cm		
		4 月	7 月	9 月	4 月	7 月	9 月
根际	12.0	0.73 ^{aB}	1.58 ^{aB}	2.29 ^{aB}	0.25 ^{bA}	1.00 ^{bA}	1.48 ^{bB}
	16.0	1.14 ^{aA}	1.45 ^{aB}	2.29 ^{aB}	0.44 ^{bA}	0.84 ^{bB}	1.65 ^{bB}
	20.0	1.23 ^{aA}	1.55 ^{aB}	3.53 ^{aA}	0.56 ^{bA}	1.31 ^{bA}	2.67 ^{bA}
	24.0	0.70 ^{aB}	2.34 ^{aA}	3.12 ^{aA}	0.42 ^{bA}	1.36 ^{bA}	1.88 ^{bB}
非根际	12.0	0.45 ^{aB}	0.67 ^{aC}	1.17 ^{aC}	0.21 ^{bA}	0.27 ^{bB}	0.56 ^{bC}
	16.0	0.72 ^{aB}	0.85 ^{aC}	1.90 ^{aC}	0.35 ^{bA}	0.43 ^{bB}	1.04 ^{bB}
	20.0	0.87 ^{aB}	1.23 ^{aB}	2.53 ^{aB}	0.46 ^{bA}	1.09 ^{bA}	2.10 ^{bA}
	24.0	0.54 ^{aB}	1.00 ^{aB}	1.51 ^{aC}	0.23 ^{bA}	0.73 ^{bB}	1.48 ^{bB}

表 4 苜蓿根际与非根际土壤脲酶活性

Table 4 Comparison of soil urease activity in rhizosphere and non-rhizosphere of alfalfa

处理	播量 (kg · hm ⁻²)	mg/(g · 24 h)					
		0~20 cm			20~40 cm		
		4 月	7 月	9 月	4 月	7 月	9 月
根际	12.0	1.35 ^{aA}	1.99 ^{aA}	0.23 ^{aA}	0.62 ^{bB}	1.40 ^{bA}	0.19 ^{bA}
	16.0	1.47 ^{aA}	2.04 ^{aA}	0.26 ^{aA}	0.97 ^{bA}	1.62 ^{bA}	0.18 ^{bA}
	20.0	1.62 ^{aA}	2.12 ^{aA}	0.26 ^{aA}	1.15 ^{bA}	1.82 ^{bA}	0.24 ^{bA}
	24.0	0.73 ^{aB}	2.00 ^{aA}	0.23 ^{aA}	0.39 ^{bB}	1.61 ^{bA}	0.19 ^{bA}
非根际	12.0	0.57 ^{aB}	1.80 ^{aAB}	0.20 ^{aA}	0.28 ^{bB}	1.39 ^{bA}	0.14 ^{bA}
	16.0	0.72 ^{aB}	1.91 ^{aA}	0.22 ^{aA}	0.36 ^{bB}	1.48 ^{bA}	0.16 ^{bA}
	20.0	0.86 ^{aB}	2.02 ^{aA}	0.24 ^{aA}	0.69 ^{bB}	1.53 ^{bA}	0.19 ^{bA}
	24.0	0.44 ^{aB}	1.66 ^{aB}	0.18 ^{aA}	0.21 ^{bB}	1.30 ^{bA}	0.13 ^{bA}

表 5 苜蓿根际与非根际土壤碱性磷酸酶活性

Table 5 Comparison of soil alkaline phosphatase activity in rhizosphere and

处理	播量 (kg·hm ⁻²)	non-rhizosphere of alfalfa					
		0~20 cm			20~40 cm		
		4月	7月	9月	4月	7月	9月
根际	12.0	0.63 ^{aA}	0.79 ^{aA}	0.90 ^{aA}	0.12 ^{bA}	0.19 ^{bA}	0.61 ^{bA}
	16.0	0.69 ^{aA}	0.95 ^{aA}	1.08 ^{aA}	0.14 ^{bA}	0.20 ^{bA}	0.60 ^{bA}
	20.0	0.76 ^{aA}	0.96 ^{aA}	1.13 ^{aA}	0.19 ^{bA}	0.24 ^{bA}	0.62 ^{bA}
	24.0	0.39 ^{aB}	0.74 ^{aA}	0.85 ^{aA}	0.12 ^{bA}	0.19 ^{bA}	0.59 ^{bA}
非根际	12.0	0.35 ^{aB}	0.55 ^{aB}	0.64 ^{aB}	0.10 ^{bA}	0.14 ^{bA}	0.28 ^{bA}
	16.0	0.40 ^{aB}	0.57 ^{aB}	0.78 ^{aB}	0.12 ^{bA}	0.16 ^{bA}	0.35 ^{bA}
	20.0	0.45 ^{aB}	0.72 ^{aA}	0.96 ^{aA}	0.14 ^{bA}	0.17 ^{bA}	0.51 ^{bA}
	24.0	0.31 ^{aB}	0.71 ^{aA}	0.83 ^{aA}	0.09 ^{bA}	0.13 ^{bA}	0.48 ^{bA}

表 6 苜蓿根际与非根际土壤脱氢酶活性

Table 6 Comparison of soil dehydrogenase activity in rhizosphere and

处理	播量 (kg·hm ⁻²)	non-rhizosphere of alfalfa					
		0~20 cm			20~40 cm		
		4月	7月	9月	4月	7月	9月
根际	12.0	0.23 ^{aB}	0.54 ^{aB}	0.56 ^{aB}	0.21 ^{aA}	0.31 ^{bA}	0.36 ^{bA}
	16.0	0.31 ^{aA}	0.55 ^{aB}	0.60 ^{aAB}	0.25 ^{bA}	0.34 ^{bA}	0.44 ^{bA}
	20.0	0.36 ^{aA}	0.61 ^{aA}	0.66 ^{aA}	0.26 ^{bA}	0.41 ^{bA}	0.47 ^{bA}
	24.0	0.27 ^{aB}	0.57 ^{aB}	0.64 ^{aA}	0.23 ^{aA}	0.31 ^{bA}	0.39 ^{bA}
非根际	12.0	0.15 ^{aB}	0.40 ^{aC}	0.44 ^{aB}	0.11 ^{aA}	0.23 ^{bA}	0.34 ^{bB}
	16.0	0.17 ^{aB}	0.43 ^{aC}	0.48 ^{aB}	0.11 ^{bA}	0.26 ^{bA}	0.42 ^{aA}
	20.0	0.22 ^{aA}	0.51 ^{aA}	0.54 ^{aA}	0.13 ^{bA}	0.29 ^{bA}	0.44 ^{bA}
	24.0	0.16 ^{aB}	0.47 ^{aB}	0.52 ^{aA}	0.12 ^{aA}	0.27 ^{bA}	0.37 ^{bB}

酶活性均 9 月份最大,7 月居中,4 月最小;根际和非根际在同一播量下,在不同月份 3 种酶活性均表层土显著高于下层土($P<0.05$)(表 4~6)。

2.3 根际与非根际土壤生物学性质相关性分析

土壤微生物数量与酶活性间存在一定的相关性。其中细菌数量与放线菌、真菌数量及脲酶、碱性磷酸酶、脱氢酶活性呈极显著正相关,相关系数分别为 0.535、0.396、0.681、0.432、0.592;放线菌数量与真菌

数量及碱性磷酸酶、脱氢酶活性呈极显著正相关,相关系数分别为 0.824、0.862、0.865;真菌数量与碱性磷酸酶、脱氢酶活性呈极显著正相关,相关系数分别为 0.782、0.843;碱性磷酸酶活性与脱氢酶活性呈极显著正相关,相关系数为 0.851(表 7)。这是因为微生物在其生命活动过程中释放分泌酶^[17];在土壤酶的作用下,土壤有机物质和有机残体分解成不同的中间产物和最终产物,为微生物提供了营养物质和能量^[18]。

表 7 苜蓿根际与非根际土壤生物学性质相关性分析

Table 7 Correlation analysis among soil biological properties in rhizosphere and non-rhizosphere of alfalfa

指标	细菌	放线菌	真菌	脲酶	磷酸酶	脱氢酶
细菌	1.000					
放线菌	0.535**	1.000				
真菌	0.396**	0.824**	1.000			
脲酶	0.681**	0.023	-0.192	1.000		
磷酸酶	0.432**	0.862**	0.782**	0.004	1.000	
脱氢酶	0.592**	0.865**	0.843**	0.100	0.851**	1.000

注:* $P<0.05$, ** $P<0.01$

3 讨论

根际是植物、土壤和微生物相互联系的特殊生态区域,是土壤生物学性质最活跃的微域。植物根系通过吸收作用、根系分泌物及根际微生物的活动导致根际土壤的生物学性质显著不同于非根际土壤。研究表明,根际土壤的养分含量显著高于非根际土壤,即存在明显的“根际效应”^[19]。本研究中,不同播量下苜蓿根际土壤微生物数量和酶活性均高于非根际,这是由于植物根系分泌物(如:碳水化合物、氨基酸、有机酸等)为微生物群落的生长繁殖提供了可直接利用的基质^[20],且在播量为20 kg/hm²时,土壤微生物数量与酶活性高于其他播量,可能是由于过低播量(12, 16 kg/hm²)其植株数量及根量小,根系分泌物少,进而影响到根际生长环境,降低了根际土壤酶活性和微生物数量;过高播量(24 kg/hm²),因群体增大,植株总量及根系总量增多,但单株营养竞争加剧,单株光合能力降低,向根系输送的光合产物减少;而中等播量(20 kg/hm²),植株根量适宜,植株光合能力得到有效发挥,光合产物充足,根部微生物数量及其有效活动提高,增加了土壤酶活性。此外,本研究中,苜蓿根际土壤中细菌数量偏小,可能是由于植物根系分泌物对微生物群落结构有选择塑造作用^[21],若苜蓿根际分泌物具有抗菌活性,会直接使苜蓿土壤细菌数目减小,或若根系分泌物存在促进真菌和放线菌生长繁殖的物质,经过竞争作用,同样会造成苜蓿土壤细菌数量变小。同时,土壤微生物群落组成也与温度和水分条件相关。随土壤深度的增加,土壤有机质含量变低、通气性下降,进而影响土壤微生物数量和酶活性,导致土壤微生物数量和酶活性下层土低于上层土^[22]。本研究也证实苜蓿根际和非根际土壤微生物数量与酶活性会随着土层的深入而降低。

大量研究表明,土壤酶活性和微生物数量有明显季节变化^[23-24]。本研究中,苜蓿根际和非根际土壤真菌、放线菌数量及碱性磷酸酶、脱氢酶活性均9月>7月>4月,细菌数量7月最高,4月最低,而脲酶活性7月最高,9月最低,适宜的温度、水分条件可能是主要的原因。

4 结论

甘肃绿洲灌区苜蓿根际和非根际土壤微生物数量

及酶活性均随苜蓿播量增加呈先升高后降低趋势,在播量为20 kg/hm²时,根际和非根际土壤微生物数量及酶活性均最大,且两者呈极显著正相关关系,随土层深度的增加大多呈减小趋势。土壤微生物数量及酶活性季节变化明显。放线菌、真菌数量及碱性磷酸酶、脱氢酶活性均9月最大,4月最小;细菌数量7月最高,4月最小;脲酶活性7月最高,9月最低。

参考文献:

- [1] 肖列,刘国彬,李鹏,等.短期CO₂浓度升高和干旱胁迫对白羊草土壤碳氮和微生物根际效应的影响[J].应用生态学报,2017,28(10):3251-3259.
- [2] 马志良,赵文强,刘美,等.增温对高寒灌丛根际和非根际土壤微生物生物量碳氮的影响[J/OL].应用生态学报. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.201906.024>.
- [3] Paz Jimenez M D, Horra A M, Peuzzo L. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35(4): 302-306.
- [4] 孟自力,叶美金,闫延梅,等.间作大蒜对小麦根际土壤微生物数量及土壤酶活性的影响[J].农业资源与环境学报,2018,35(5):430-438.
- [5] 刘东霞,刘贵河,杨志敏.种植及收获因子对紫花苜蓿干旱产量和茎叶比的影响[J].草业学报,2015,24(3):48-57.
- [6] 南丽丽,师尚礼,郭全恩,等.甘肃荒漠灌区播量和行距对紫花苜蓿营养价值的影响[J].草业学报,2019,28(1):108-119.
- [7] 南丽丽,汪堃,李小彦,等.播量和行距对苜蓿根际土壤生物性质的影响[J].草地学报,2018,26(6):1330-1336.
- [8] 田丰,于闯,付双军,等.7份红豆草对低温的生理响应及抗寒性评价[J].甘肃农业科技,2018(10):21-26.
- [9] 张守仕,谢克英,乔宝营,等.果树根际土壤取样分析技术研究[J].落叶果树,2015,47(6):25-27.
- [10] 许光辉,郑洪元.土壤微生物分析方法手册[M].北京:农业出版社,1986.
- [11] 中国科学院南京土壤研究所微生物室.土壤微生物研究法[M].北京:科学出版社,1985.
- [12] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1987.
- [13] 漆永红,曹素芳,李雪萍,等.甘南州临潭县青稞根际土壤养分含量、酶活性和微生物数量与根腐病的关系研究[J].草地学报,2018,26(4):877-884.
- [14] 黄召存,陈娇,熊瑛,等.保护性耕作对蚕豆根际土壤微生物数量和酶活性的影响[J].干旱地区农业研究,

- 2018,36(3):79-85.
- [15] 薛立, 邝立刚, 陈红跃, 等. 不同林分土壤养分、微生物与酶活性的研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 280-285.
- [16] Kromer S, Green D M. Acid and alkaline phosphatase dynamics and their relationship to soil microclimate in a semiarid woodland [J]. Soil biology and biochemistry, 2000, 32: 179-188.
- [17] 林大仪. 土壤学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002: 70-72.
- [18] 于闯, 南丽丽, 魏永鹏, 等. 甘肃省盐碱地主要植物群落土壤理化性质及酶活性研究[J]. 草原与草坪, 2016, 36(3): 72-77.
- [19] Toberman H, Chen C R, Xu Z H. Rhizosphere effects on soil nutrient dynamics and microbial activity in an Australian tropical lowland rainforest [J]. Soil Research, 2011, 49: 652-660.
- [20] 李娇, 蒋先敏, 尹华军, 等. 不同林龄云杉人工林的根系分泌物与土壤微生物[J]. 应用生态学报, 2014, 25(2): 325-332.
- [21] 吴林坤, 林向民, 林文雄. 根系分泌物介导下植物-土壤-微生物互作关系研究进展与展望[J]. 植物生态学报, 2014, 38(3): 298-310.
- [22] 吴旭东, 张晓娟, 谢应忠, 等. 不同种植年限紫花苜蓿人工草地土壤有机碳及土壤酶活性垂直分布特征[J]. 草业学报, 2013, 22(1): 245-251.
- [23] 南丽丽, 师尚礼, 郁继华. 荒漠灌区不同种植年限苜蓿草地土壤微生物特性[J]. 草地学报, 2016, 24(5): 975-980.
- [24] 江晓东, 迟淑筠, 宁堂原, 等. 少免耕模式对土壤呼吸的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(2): 253-256.

Effects of seeding rate on soil microorganism and enzyme activity in the rhizosphere and non rhizosphere of alfalfa

WEN Su-jun, ZHAO Yu-tang, NAN Li-li, WANG Kun

(College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory of Grassland Ecosystem, Ministry of Education/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Alfalfa (*Medicago sativa* cv. Gannong No. 3) was used as the experimental material to study the effect of seeding rates (12.0, 16.0, 20.0, and 24.0 kg seed/ha) on soil microbes and enzyme activity in the rhizosphere and non-rhizosphere in arid oasis of Gansu Province through a complete random experiment design with three replicates in order to provide the reasonable farming methods for alfalfa production. Results showed that soil microorganism and enzyme activity increased first and then decreased with the increase of seeding rate, and they reached the highest at the seeding rate of 20.0 kg/ha, and they were higher in the rhizosphere than those in the non-rhizosphere. There was a certain correlation between the amount of soil microorganisms and the activity of soil enzymes with obvious seasonal variation pattern. The amount of actinomycetes and fungi, and the activity of alkaline phosphatase and dehydrogenase reached the highest in September and the lowest in April, and they were higher in 0~20 cm layer than those in 30~40 layer.

Key words: alfalfa; rhizosphere; non-rhizosphere; seeding rate