

柳枝稷根际土化感潜势的环境异质性表达

钟雯瑾¹, 安雨¹, 马永清^{1,2}

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要:以不同生长环境(宁夏固原、陕西杨凌)条件下的4个柳枝稷品种('Pathfinder'、'Foresberg'、'Nebraska 28'、'Dakota')为试材,以生菜、苜蓿和多花黑麦草为受体,采用室内皿培养芽测试法,研究了柳枝稷根际土浸提液对受体种子的影响。结果表明:柳枝稷根际土对3种受体的化感潜势是由品种和环境效应共同作用的结果。'Dakota'根际土浸提液对生菜的化感作用环境效应最为强烈,在相同环境(杨凌)条件下,对生菜的化感促进作用最强;'Forestberg'和'Dakota'对苜蓿幼苗生长的结果表明,2种柳枝稷根际土的化感表达对生长环境的响应不敏感,而'Pathfinder'表现较为强烈。'Nebraska 28'对苜蓿幼苗生长的化感作用在品种间表现突出;多花黑麦草幼苗生长对柳枝稷根际土的化感响应表现出环境异质性;种植在杨凌和固原的'Pathfinder'、'Forestberg'和'Dakota'分别对生菜及苜蓿种子萌发均有显著的抑制作用。该研究可为柳枝稷作为牧草引种及其与其它牧草间套作、混播等提供科学依据。

关键词:柳枝稷;根际土;化感作用;环境异质性

中图分类号:S 567.23 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)15-0189-05

柳枝稷(*Panicum virgatum* L.)属禾本科黍属多年生草本植物,生态适应性强,具有抗寒、抗盐碱、水土保持

持等特性^[1-5]。种植柳枝稷不仅能为生产能源提供原材料^[6],还可替代化石燃料以减少温室气体和有毒有害气体的排放^[7-8],改善生态环境^[9],亦可作为新型牧草引种,丰富牧草种质资源,促进畜牧业的发展,具有环境生态与经济的双重效益,前景可观。

关于根系分泌物的研究始于20世纪(1904年)德国微生物学家 Hilten 所提出的根际(Rhizosphere)概念^[10]。根系分泌物是指植物根系向周围环境释放的各种化学物质,包括糖类、有机酸、多酚化合物、酶、类黄酮等。其中,一些酚酸类物质、萜类有机化合物具有一定的化感

第一作者简介:钟雯瑾(1990-),女,硕士研究生,研究方向为植物营养与生态学。E-mail:zhongwenjin728@163.com.

责任作者:马永清(1963-),男,教授,博士生导师,现主要从事化学生态学及植物化感作用和寄生植物生理生态等研究工作。E-mail:mayongqing@ms.iswc.ac.cn.

基金项目:国家“十二五”农村领域国家科技计划资助项目(2011BAD31B05)。

收稿日期:2014-04-29

Quantitative Analysis of Two Green Plant's Rhizosphere Micro-organisms

XIAO Chun-ling, CHEN Gui-hua

(School of Life Sciences, Jinggangshan University, Ji'an, Jiangxi 343009)

Abstract: The number of rhizosphere micro-organisms and nitrogen physiological group microbes of two green plants in the campus were studied by the method of spread plate and MPN. The results showed that the rhizosphere soil microbial was mainly dominated by bacteria, the number of bacteria of *Rubrum* and *Rhododendron* were 5.60×10^5 cfu/g and 2.15×10^5 cfu/g, respectively, followed by actinomycetes and fungi. The sequence of the number of nitrogen physiological group microbes was nitrate bacteria > azotobacter > ammonifying bacteria > denitrifying bacteria. In the rhizospheric soil, there were significant differences among the number of bacteria, fungi and ammonifying bacteria, similar as the actinomycetes and azotobacter. There were no significant differences between the nitrate bacteria and denitrifying bacteria.

Key words: green plant; rhizosphere micro-organisms; group and number

作用,可抑制其它植物种子萌发和根系生长^[11-13]。植物在环境胁迫下,通常会向环境释放化感物质进而抑制种内外其它植物的生长以提高其自身的竞争能力^[14],不同养分水平的土壤对化感作用的表达有显著影响^[15]。Ross 等^[16]研究发现,在营养胁迫下,氮和磷的缺乏使植物萜类挥发油含量分别增加了 29%和 18%。根系分泌物中的化感物质是植物与其它生物进行化学防御和通讯的信息物质,具有除草、杀虫、改良土壤、抑制土壤硝化作用、固氮、增强氮肥有效性等多种功能^[17]。关于柳枝稷的化感作用的研究则鲜见报道。Shui 等^[18]研究发现,柳枝稷植株的化感作用具有明显的品种效应,其化感潜势与自身染色体倍性具有一定关系。因此,该研究以 4 个柳枝稷品种为试材,以生菜、苜蓿和多花黑麦草为受体,研究了柳枝稷根际土浸提液对受体种子的影响,鉴定柳枝稷根际土的化感潜势,以期为提高牧草产量和品质以及草地人工群落的建立提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

宁夏回族自治区固原市河川乡西北农林科技大学野外试验站,地处东经 105°10′~106°58′、北纬 35°14′~37°04′,属黄土高原梁状丘陵类型。该地区海拔平均高度 1 750 m,相对高差 234 m,年均温度 7℃,年降雨量 350 mm,≥10℃年积温 2 573℃,无霜期 152 d,植被区划属典型草原区,土壤类型为黄绵土从普通黑垆土向淡黑垆土过渡区。

西北农林科技大学水土保持研究所,位于陕西杨凌示范区,位于东经 108°~108°7′,北纬 34°12′~34°20′。属于大陆性季节型半湿润气候,最高海拔 530.1 m,最低海拔 403.2 m。年平均降水 660 mm,年平均气温 13.0℃,1 月份平均气温 -2℃,7 月份平均气温 26.7℃,≥10℃年积温不少于 4 300~4 500℃,无霜期 200 d 以上,年日照时数 2 300~2 900 h,适宜农作物生长。

1.2 试验材料

供试柳枝稷种子由日本宇都宫大学杂草科学中心提供,于 2007 年分别播种在西北农林科技大学宁夏固野外试验站和西北农林科技大学水土保持研究所试验田,柳枝稷基本特征详见表 1。受体种子生菜(*Lactuca sativa* L.)、苜蓿(*Medicago sativa* L.)、多花黑麦草(*Lolium multiflorum* L.),选购于杨凌博示种业。

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备 2009 年 7 月采取营养生长时期的柳枝稷根际土,过 1 mm 筛,4℃冷藏备用。

1.3.2 种子消毒 选取成熟、饱满的受体种子置于有效

表 1 柳枝稷基本特征

Table 1 Basic characteristic of the tested switchgrass

名称	生态型	染色体倍性	原产地
Variety	Ecotype	Ploidy level	Original place
‘Pathfinder’	高地 Upland	八倍体 Octoploid	Nebraska/Kansas 40°
‘Forestberg’	高地 Upland	四倍体 Tetraploid	South Dakota 44°
‘Nebraska 28’	高地 Upland	未知 Unknown	Northern Nebraska 42°
‘Dakota’	高地 Upland	四倍体 Tetraploid	North Dakota 46°

质量分数为 1%NaClO 溶液消毒 1 min,再将其置于 75%(v/v)的乙醇溶液消毒 3 min,无菌水冲洗 4~5 次,无菌保存备用。

1.3.3 制备蒸馏水浸提液 称取柳枝稷根际土 25、10、5 g,加入 50 mL 水于三角瓶内并用铝箔纸封口,置于超声波中震荡 30 min 后过滤。得到土水比为 1:2、1:5、1:10 的浸提液,其浓度分别为 0.5、0.2、0.1 g/mL。

1.3.4 生物测试 取不同浓度浸提液 3 mL 加入放有 2 层直径为 9 cm 的普通定性滤纸(滤纸经过高温灭菌)的塑料培养皿中,选取生菜、苜蓿、黑麦草种子,每皿 20 粒。将培养皿置于 25℃的恒温箱中培养 72 h 后测量受体胚根、胚芽长和发芽率。

1.3.5 生物测定 参照 Leather 等^[19]培养皿滤纸法进行生物测定,以生菜胚根、胚芽长和发芽率为化感评价指标。参照 Williamson 等^[20]的化感作用评价方法,当 $T \geq C$ 时,化感指数 $RI = 1 - C/T$;当 $T < C$ 时,化感指数 $RI = T/C - 1$ 。其中, C 为对照值, T 为处理值。当化感指数 $RI > 0$ 时,为促进作用;化感指数 $RI < 0$ 时,为抑制作用, RI 的绝对值代表化感作用强度的大小。

1.4 数据分析

试验数据均采用 Excel 2003 和 DPS 6.55 分析数据和作图。

2 结果与分析

2.1 柳枝稷根际土对生菜幼苗生长的化感作用

生菜是化感作用生物测试中常用受体,对化感物质的响应较敏感。通过柳枝稷根际土浸提液对生菜的化感作用研究发现,柳枝稷根际土的化感潜势表达随着生境不同而产生相应变化,由表 2 可以看出,种植在固原的柳枝稷对生菜幼苗的生长抑制作用较明显,种植在杨凌的柳枝稷对生菜幼苗的促进作用较大。‘Pathfinder’、‘Forestberg’、‘Nebraska 28’高浓度 0.5 g/mL 根际土浸提液对生菜幼苗生长的影响较小,2 种环境处理间差异不显著,随着浸提液浓度的降低,种植在杨凌的柳枝稷的促进作用增强较为明显。与固原相比,均达到显著水平。‘Dakota’ 0.5、0.2、0.1 g/mL 根际土浸提液中 2 种环境处理差异显著,说明‘Dakota’根际土对生菜的化感

作用表现出较强的环境效应。另外,根际土化感潜势也会在品种间形成差异,杨凌‘Dakota’对生菜幼苗生长的

促进作用强于同处理的其它 3 个品种,分别达到 30%、40%、44%的促进率。

表 2 柳枝稷根际土浸提液对生菜幼苗生长的化感作用

Table 2 The effect of allelopathic extracted from switchgrass rhizosphere soil on lettuce seedling growth

浓度 Concentration /g · mL ⁻¹	‘Pathfinder’		‘Forestberg’		‘Nebraska 28’		‘Dakota’	
	固原 Guyuan	杨凌 Yangling	固原 Guyuan	杨凌 Yangling	固原 Guyuan	杨凌 Yangling	固原 Guyuan	杨凌 Yangling
0.5	0.02 b	0.04 b	-0.05 b	-0.12 b	-0.04 b	-0.06 b	0.07 b	0.30 a
0.2	-0.10 b	0.36 a	-0.27 c	0.34 a	0.02 b	0.30 a	-0.03 b	0.40 a
0.1	-0.17 d	0.22 b	0.01 c	0.26 b	-0.14 cd	0.28 ab	-0.14 cd	0.44 a

注:不同小写字母表示在同一行中差异显著($P < 0.05$)。表中数值 $RI = (RI_{\text{根长}} + RI_{\text{芽长}}) / 2$ 。下同。

Note: Different lowercase letters mean significant different at $P < 0.05$ level in the same row. The values in the table $RI = (RI_{\text{Radicle length}} + RI_{\text{Coleoptile length}}) / 2$. The same below.

2.2 柳枝稷根际土对苜蓿幼苗生长的影响

由表 3 可以看出,4 种柳枝稷根际土对苜蓿的化感作用的品种间浓度效应并不明显,‘Forestberg’、‘Dakota’根际土浸提液对苜蓿的化感作用与其它 2 个品种不同,环境间差异不显著,说明该品种柳枝稷根际土对苜蓿的化感作用受环境影响小。固原的降雨量较小,因此对苜蓿幼苗的生长抑制作用相对最弱;‘Dakota’表现为环境异质性随着浓度降低而增强;‘Pathfinder’、‘Nebraska 28’表现出较强的环境异质性,随着根际土浸提液浓度的减小而化感作用增强。其中,固原‘Nebraska 28’对苜蓿幼苗的生长抑制作用为 4 个品种中最强,且高浓度 0.5 g/mL 2 种环境间差异不显著,低浓度 0.2、0.1 g/mL

2 种环境间差异显著,而杨凌‘Nebraska 28’随着浓度减小而化感促进作用增强,低浓度促进作用均为品种中最高,0.1 g/mL 浸提液表现出 34%的促进率。

2.3 柳枝稷根际土对黑麦草幼苗生长的影响

由表 4 可以看出,柳枝稷根际土对黑麦草的化感作用表现出明显的环境差异性,杨凌 4 种柳枝稷的化感促进作用均强于固原,2 种生境间差异显著。其中,杨凌‘Nebraska 28’的化感促进作用在相同处理下均较弱,在低浓度浸提液中仍表现抑制作用,且差异显著;在 0.1 g/mL 浸提液中 2 种环境间差异不显著。另外,在一定浓度范围内‘Nebraska 28’对黑麦草的抑制作用在同一环境下为品种中最强,与其它品种形成显著差异。

表 3 柳枝稷根际土浸提液对苜蓿幼苗生长的化感作用

Table 3 The effect of allelopathic extracted from switchgrass rhizosphere soil on alfalfa seedling growth

浓度 Concentration /g · mL ⁻¹	‘Pathfinder’		‘Forestberg’		‘Nebraska 28’		‘Dakota’	
	固原 Guyuan	杨凌 Yangling	固原 Guyuan	杨凌 Yangling	固原 Guyuan	杨凌 Yangling	固原 Guyuan	杨凌 Yangling
0.5	-0.10 cd	0.26 a	0.03 abcd	0.19 ab	-0.13 d	0.05 abcd	0.11 abc	-0.03 bcd
0.2	-0.18 cd	0.20 a	-0.05 bc	0.09 ab	-0.33 d	0.23 a	-0.20 cd	-0.08 bc
0.1	-0.27 cd	0.11 ab	-0.06 bcd	-0.03 bcd	-0.33 d	0.34 a	0.01 bc	0.18 ab

表 4 柳枝稷根际土浸提液对多花黑麦草幼苗生长的化感作用

Table 4 The effect of allelopathic extracted from switchgrass rhizosphere soil on annual ryegrass seedling growth

浓度 Concentration /g · mL ⁻¹	‘Pathfinder’		‘Forestberg’		‘Nebraska 28’		‘Dakota’	
	固原 Guyuan	杨凌 Yangling	固原 Guyuan	杨凌 Yangling	固原 Guyuan	杨凌 Yangling	固原 Guyuan	杨凌 Yangling
0.5	-0.22 c	0.27 a	-0.18 c	0.23 a	-0.27 c	0.01 b	-0.19 c	0.21 a
0.2	-0.10 bc	0.22 a	-0.13 bc	0.31 a	-0.27 c	-0.05 b	-0.16 bc	0.32 a
0.1	-0.28 c	0.13 a	-0.09 b	0.11 a	-0.16 bc	-0.08 b	-0.09 b	0.22 a

2.4 柳枝稷根际土对 3 种受体种子萌发的影响

由表 5 可以看出,受体种子萌发也是影响植物化感作用的一个指标。与幼苗生长相比,柳枝稷对受体种子萌发的影响略有差异,虽然固原的柳枝稷对生菜幼苗生长抑制作用较明显,但对发芽率的影响较弱,甚至还促进了种子萌发。杨凌的‘Nebraska 28’对生菜种子萌发的抑制作用较其它品种弱,与对照差异不显著,而固原

的‘Nebraska 28’对苜蓿种子萌发无显著影响。相比之下,固原的‘Pathfinder’、‘Forestberg’和‘Dakota’的高浓度浸提液(0.5 g/mL)对苜蓿种子萌发有显著的抑制作用,抑制作用随着浓度的降低而减弱,与对照差异不显著;柳枝稷根际土对黑麦草种子的萌发受环境因素影响较小,只有‘Forestberg’与‘Dakota’在 0.1 g/mL 浸提液刺激下,会表现出一定的抑制作用。

表 5

柳枝稷根际土浸提液对 3 种受体种子萌发的影响

Table 5

Allelopathic effect of rhizosphere soil extract of switchgrass on recipients' germination

品种 Variety	浓度 Concentration /g · mL ⁻¹	生菜 Lettuce		苜蓿 Alfalfa		多花黑麦草 Annual ryegrass	
		固原	杨凌	固原	杨凌	固原	杨凌
		Guyuan	Yangling	Guyuan	Yangling	Guyuan	Yangling
‘Pathfinder’	0.5	78.3 abc	80.0 bcd	51.7 b	45.0 cd	96.7 a	95.0 ab
	0.2	88.3 ab	83.3 abc	46.7 b	56.7 abc	85.0 bc	83.3 b
	0.1	80.0 abc	70.0 d	51.7 b	53.3 abcd	95.0 ab	91.7 ab
‘Forestberg’	0.5	86.7 abc	78.3 bcd	48.3 b	53.3 abcd	93.3 abc	86.7 ab
	0.2	90.0 a	85.0 abc	46.7 b	55.0 abc	83.3 c	86.7 ab
	0.1	75.0 bc	78.3 bcd	45.0 b	35.0 d	85.0 bc	85.0 b
‘Nebraska 28’	0.5	78.3 abc	88.3 ab	58.3 ab	46.7 bcd	91.7 abc	90.0 ab
	0.2	86.7 abc	78.3 bcd	45.0 b	53.3 abcd	91.7 abc	85.0 b
	0.1	88.3 ab	88.3 ab	45.0 b	65.0 ab	96.7 a	86.7 ab
‘Dakota’	0.5	85.0 abc	80.0 bcd	46.7 b	63.3 abc	95.0 ab	91.7 ab
	0.2	73.3 c	73.3 cd	50.0 b	68.3 a	90.0 abc	93.3 ab
	0.1	86.7 abc	86.7 ab	60.0 ab	60.0 abc	93.3 abc	83.3 b
对照	0.5	73.3 c	93.3 a	68.3 a	60.0 abc	91.7 abc	98.3 a
	0.2	88.3 ab	86.7 ab	60.0 ab	63.3 abc	96.7 a	93.3 ab
	0.1	73.3 c	86.7 ab	48.3 b	61.7 abc	88.3 abc	98.3 a

注:不同小写字母表示在同一列中差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters mean significantly different at $P < 0.05$ level in the same column.

3 讨论与结论

植物长期受到环境胁迫会影响其化感物质的分泌及其作用方式,宁夏回族自治区固原市属半干旱地区,多年平均降雨量 420 mm^[21],降雨量偏低导致植物长期处于水分胁迫环境中。因此,植物因争夺水分而增加其化感物质的分泌^[6,22-23],产生并积累了大量的次生代谢物质,进而通过对周围植物的生长起到抑制或促进作用。柳枝稷地上部分化感物质的分泌通过雨水和雾滴等方式淋溶^[24],或通过植物残体分解进入土壤发生化感作用,在土壤中迁移与转化进而影响周边植物生长。陕西省杨凌示范区地区属半湿润地区,多年平均降雨量 590.6 mm^[25],降水相对富足,可为植物生长提供所需水分,因而根际土的化感作用具有明显的环境异质性,这与 Bestelmeyer 等^[26]的研究结果大体一致。另外,柳枝稷的品种效应也在对受体的化感作用中有所体现,与其品种自身生长特性及其染色体倍性等有关^[18]。杨凌的‘Dakota’对生菜幼苗生长的促进作用强于同处理的其它 3 个品种,种植在固原和杨凌的‘Nebraska 28’对苜蓿的影响分别表现出较高的抑制作用和促进作用,对黑麦草的抑制作用尤为突出,与课题组研究的柳枝稷植株的化感作用相似。固原的‘Forestberg’和‘Dakota’对苜蓿幼苗生长的抑制作用较弱,可作为该地区与苜蓿间套作、混播等优选品种。并且,‘Forestberg’在 2 种环境处理下对苜蓿幼苗生长并无显著差异,可以优选与苜蓿建立稳定的人工牧草生态群落。相比之下,杨凌的‘Pathfinder’和‘Nebraska 28’对苜蓿幼苗生长促进作用优于其它品

种。因此,依据不同地区柳枝稷的化感作用差异性表达来确定耕作措施尤为重要。通过研究不同生境的柳枝稷对黑麦草的化感作用可得知,杨凌的‘Nebraska 28’不适合与同科牧草间套作。目前,仅仅通过柳枝稷根际土化感作用来确定其人工牧草群落稳定性还远远不够,作为牧草或能源物质生产,还需进一步结合柳枝稷的生态适应性及生物学产量等相关研究,以优化生产结构及耕作模式。

参考文献

- [1] Casler M D, Vogel K P, Taliaferro C M, et al. Latitudinal adaptation of switchgrass populations[J]. Crop Science, 2004, 44(1): 293-303.
- [2] Hsu F H, Nelson C J, Hatches A G. Temperature effects on germination of perennial warm season forage grasses[J]. Crop Science, 1985, 25(1): 215-220.
- [3] Mitchell R B, Moore K J, Moore L E, et al. Predicting developmental morphology in switchgrass and big bluestem[J]. Agronomy Journal, 1997, 89(4): 827-832.
- [4] Wolf D D, Fiske D A. Planting and Managing Switchgrass for Forage, Wildlife and Conservation [M]. Virginia: Virginia Cooperative Extension Publication, 1995: 418-423.
- [5] Hope H J, McElroy A. Low-temperature tolerance of switchgrass (*Panicum virgatum* L.)[J]. Canadian Journal of Plant Science, 1990, 70(5): 1091-1096.
- [6] McLaughlin S B, Samson R, Bransby D, et al. Evaluating physical, chemical, and energetic properties of perennial grasses as biofuels[C]//Proc Bio Energy, 1996: 15-20.
- [7] Garten C T, Wullschlegel S D. Soil carbon dynamics beneath switchgrass as indicated by stable isotope analysis [J]. Journal of Environmental Quality, 2000, 29(2): 645-654.
- [8] Mani S, Tabil L G, Shahab S. Grinding performance and physical prop-

- erties of wheat and barley straws, corn stover and switchgrass[J]. Biomass and Bioenergy, 2004, 27(4): 339-352.
- [9] Hopkins A A, Taliaferro C M, Christian C D. Chromosome number and nuclear DNA content of several switchgrass populations[J]. Crop Science, 1996, 36: 1192-1195.
- [10] Hartmann A, Rothballer M, Schmid M, Lorenz hiltner, a pioneer in rhizosphere microbial ecology and soil bacteriology research[J]. Plant and Soil, 2008, 312(1): 7-14.
- [11] Hamdi B, Inderjit D L, Olofsdotter M, et al. Laboratory bioassay for phytotoxicity: An example from wheat straw[J]. Agronomy Journal, 2001, 93(1): 43-48.
- [12] Guenzi W D, McCalla T M. Phenolic acids in oats, wheat, sorghum, and corn residues and their phytotoxicity[J]. Agronomy Journal, 1966, 58(3): 303-304.
- [13] Debbie J R, Cherney J A. Fibre and soluble phenolic monomer composition of morphological components of sorghum stover[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1991, 54(4): 645-649.
- [14] 孔垂华, 徐涛, 胡飞, 等. 环境胁迫下植物的化感作用及其诱导机制[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 849-854.
- [15] Inderjit D L, Foy C L, Dakshini K M M. Pluchea lanceolata: A noxious perennial weed[J]. Weed Technology, 1998, 12: 190-193.
- [16] Ross J D, Sombrero C. Environmental control of essential oil production in Mediterranean plants[C]. In: Harborne J B, Tomas-Barberan F A, eds. Ecological Chemistry and Biochemistry of Plant Terpenoids. Oxford: Clarendon Press, 1991: 83-94.
- [17] Bertin C, Yang X, Weston L A. The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere[J]. Plant and Soil, 2003, 256: 67-83.
- [18] Shui J F, An Y, Ma Y Q, et al. Allelopathic potential of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) on perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.)[J]. Environmental Management, 2010, 46(4): 590-598.
- [19] Leather G R, Einhelling F A. Bioassays in the study of allelopathy [M]//Putman A R, Tang C S. The Science of Allelopathy. New York: John Wiley & Sons, 1986: 133-145.
- [20] Williamson G B, Richards D. Bioassays for Allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls [J]. Journal of Chemistry Ecology, 1988, 14(1): 181-187.
- [21] 安韶山, 黄懿梅, 李壁成, 等. 用典范相关分析研究宁南宽谷丘陵区不同土地利用方式土壤酶活性与肥力因子的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 704-709.
- [22] 陈龙池, 廖利平, 汪思龙, 等. 根系分泌物生态学研究[J]. 生态学报, 2002, 21(6): 57-62.
- [23] Tang C S, Cai W F, Kohl K, et al. Plant stress and allelopathy[J]. ACS Symposium Series, 1995, 582: 142-147.
- [24] Jimenez-Osornio F M V Z, Kumamoto J, Wasser C. Allelopathy activity of *Chenopodium ambrosioides* L. [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 1996, 24(3): 195-205.
- [25] 吕玲, 吴普特, 赵西宁, 等. 杨凌城区雨水资源利用潜力计算及其效益分析[J]. 干旱地区农业研究, 2009(5): 225-229.
- [26] Bestelmeyer B T, Ward J P, Havstad K M. Soil-geomorphic heterogeneity governs patchy vegetation dynamics at an arid ecotone[J]. Ecology, 2006, 87(4): 963-973.

Allelopathic Potential Expression of the Environmental Heterogeneity in Switchgrass Rhizosphere Soil

ZHONG Wen-jin¹, AN Yu¹, MA Yong-qing^{1,2}

(1. College of Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Taking four cultivars of switchgrass ('Pathfinder', 'Forestberg', 'Nebraska 28', 'Dakota') from different growth conditions (Guyuan, Yangling) as materials, and lettuce, alfalfa and annual ryegrass seeds as recipients. Effect of the extract of rhizosphere soil of switchgrass on the seed of recipients was studied by biological test methods. The results showed that the rhizosphere soil allelopathic potential of switchgrass on three recipients was the result of both variety and environmental. Effect of the extract of 'Dakota' rhizosphere soil on lettuce was the most intense between the two environments, and the strongest promotion was preformed in lettuce seedling growth at same condition (Yangling) among the cultivars. Allelopathic effect of 'Forestberg' and 'Dakota' to alfalfa seedling growth showed that the two switchgrass rhizosphere were not sensitive to the environment, while the performance 'Pathfinder' was stronger. The allelopathic effect of 'Nebraska 28' on alfalfa seedling growth was outstanding among the tested varieties. Ryegrass seedling growth showed allelopathic response to environmental heterogeneity; Lettuce seed germination were inhibited by 'Pathfinder', 'Forestberg' and 'Dakota' in Yangling and the alfalfa seed germination were significantly inhibited by the same three varieties in Guyuan. The research could provide the scientific basis for using switchgrass as forage introduction, intercropping and mixed seeding with other forage.

Key words: switchgrass; rhizosphere soil; allelopathic effect; environmental heterogeneity