

粮草轮作中前茬作物土壤浸提液对后茬作物的化感效应

姜智英,李亚娟*,高亚君,刘艳君

(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:【目的】为筛选区域适应性粮草轮作模式,实现农业产业结构调整。【方法】设计玉米—豌豆(C-Pe),青贮玉米—燕麦(Sm-O),马铃薯—玉米(Po-C),豌豆—高粱(Pe-B),燕麦—青贮玉米(O-Sm)和2龄苜蓿(2A)6个不同粮草轮作模式,进行田间小区试验,前茬作物(牧草)收获后采集根区0~20、20~40 cm 土层土壤样品,制备土壤浸提液,测定粮草轮作中前茬土壤浸提液对后茬作物幼根生长特性及根系化感效应的影响。【结果】(1)与其他模式相比,C-Pe、Sm-O模式对后茬作物根长、根系活力的促进作用最显著,分别比CK增加83.0%、226.3%。(2) Sm-O模式对后茬作物株根干重的促进作用最显著,较对照增加71.9%、106.1%。(3)所有浸提液对后茬作物根系化感效应指数均大于0,说明6种粮草轮作模式前后茬均有正向的化感效应,其中,O-Sm模式促进作用最大,综合化感效应指数SE在0.3~0.6之间;2A模式促进作用最小,SE在0.050~0.20之间。【结论】轮作模式对根系的促进作用表现为O-Sm>Sm-O>C-Pe>Po-C>Pe-B>2A,且0~20 cm 土层促进作用高于20~40 cm 土层。

关键词:粮草轮作;土壤浸提液;幼根;根生长;化感效应

中图分类号:S344.1⁺4 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2023)04-0057-08

DOI:10.13817/j.cnki.cycp.2023.04.008



在农业生产过程中,种植模式和耕作时长直接影响土壤质量的变化^[1]。作物品种单一连作种植,会导致土壤物理结构恶化、矿物质元素不平衡化、土壤中自毒物质积累增多^[2],使植物病原菌的活性增强、数量增加^[3],有益微生物的生长却受到抑制^[4],继而导致土壤肥力、土地生产力下降,作物品质和产量降低、病虫害发生情况加剧^[5];且长期连作产生的化感物质也会减少土壤微生物群落多样性,严重影响作物产量和品质^[6]。轮作可以弥补连作的不足,在一定程度上减轻

连作障碍的发生^[7]。尤其是豆科牧草或绿肥饲草与禾本科作物粮草轮作,既可通过共生固氮为禾本科作物提供氮素营养,又可利用禾本科作物收获后的土壤环境促进自身的生物固氮^[8]。

粮草轮作中将苜蓿引入草田轮作系统,是常用手段^[9-10],如豆科牧草—青贮玉米—甘蓝轮作模式是一种有利于提高青贮玉米的产量,并有助于改善土壤环境状况的较为理想的轮作模式^[11]。譙记等^[12]研究表明不同的轮作模式对青贮玉米的产量、品质、土壤成分和土壤酶活性等能产生不同程度的作用。连作后土壤中有机酸类物质的积累,导致作物产量下降^[13]。根系作为植物的重要器官之一,其生长状况与活力对植物吸收水分和养分有重要影响,植物主要通过根系所接触的土壤获取养分^[14]。耕作种植模式会明显影响作物根系发育,深耕条件下生物炭对烤烟根系活力及土壤微生物数量也有促进作用^[15],吴国丽等^[16]的研

收稿日期:2022-01-06;修回日期:2022-01-17

基金项目:甘肃省自然科学基金(20JR5RA036);甘肃省高校教师创新能力提升项目(2019B-071)

作者简介:姜智英(1998-),女,四川雅安人,硕士研究生。

E-mail:275938105@qq.com

*通信作者。E-mail:lijj@gsau.edu.cn

究也表明不同模式的轮作能促进棉花根系发育和棉花根系的生理活性。因此,适宜的轮作既可以增加作物产量,提高作物品质;又能改善土壤的理化性质、提高和恢复土壤肥力^[17-18],做到用地养地相结合。

因此,本研究在黄土高原丘陵区实施粮草轮作、耕地质量提升以及发展种养循环农业的背景下,进行田间粮草轮作试验,研究轮作中前茬作物土壤浸提液对后茬作物幼根的影响,明确前茬作物对后茬作物的化感效应,为初步筛选出区域适应性粮草轮作模式和发展种养循环农业提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于宁夏回族自治区固原市原州区三营镇黄铎堡乡,地理位置N 36°17',E 106°5',属黄土高原暖温半干旱气候,海拔1 580 m,年均降水量350~550 mm,蒸发量1 753.2 mm,无霜期138 d,全年日照时数2 518.2 h,年平均气温6.1℃,积温2 750℃。土壤类型为黑垆土,质地为沙壤土。轮作试验前种植玉米。

1.2 供试品种

供试作物、牧草品种如下:豌豆品种为中豌4号(*Pisum sativum* cv. Zhongwan No. 4),青贮玉米为京科青贮(*Zea mays* cv. Jingke),紫花苜蓿为甘农4号(*Medicago sativa* cv. Gannong No. 4),燕麦为海威(*Avena sativa* cv. Haywire),马铃薯为青薯9号(*Solanum tuberosum* cv. Qingshu No. 9),高粱为F10(*Sorghum bicolor* cv. F10),玉米为正大12(*Zea mays* cv. ZD12)。其中青贮玉米、燕麦购于北京正道生态科技有限公司,其他作物品种均购于当地种子市场。

1.3 田间轮作试验设计

试验设6个轮作模式(表1),试验年度分别种植玉米、豌豆、燕麦、青贮玉米、高粱、苜蓿。田间小区面积5 m×7 m,每个小区重复3次。玉米、青贮玉米和高粱采用穴播,玉米和青贮玉米行距40 cm,株距20 cm,高粱行距20 cm,株距15 cm,苜蓿、燕麦条播,行距15 cm,苜蓿播种量23 kg/hm²,燕麦播种90 kg/hm²,豌豆撒播,播种量120 kg/hm²。玉米、青贮玉米、高粱4月初播种,苜蓿、燕麦和豌豆4月中旬播种。

设计6种轮作模式(第2-3年,表1)。

表1 田间轮作种植设计

Table 1 Planting design of field rotation experiment

处理记号	轮作模式
C-Pe	玉米-豌豆
Sm-O	青贮玉米-燕麦
2A	2龄苜蓿
Po-C	马铃薯-玉米
Pe-B	豌豆-高粱
O-Sm	燕麦-青贮玉米

1.4 土样采集

作物收获后,在每个种植小区,用“S”型样线法使用土钻采集每个处理样地植物根部5 cm附近的0~20 cm和20~40 cm土层土壤,标记采样地点、日期深度;除去枯枝落叶,挑出植物细根,均匀混合,快速带回实验室,过1 mm筛,存于4℃冰箱备用。

1.5 测定方法

1.5.1 土壤浸提液制备 前茬作物、牧草根区土壤浸提液制备方法:土样加水混合(1:1),室温振荡1 h,浸提24 h后过滤得土壤浸提原液(定性滤纸和0.45 μm滤膜二重过滤,以获得不含微生物的母液),保存于4℃冰箱中备用。再将土壤浸提原液按25.0%、37.5%、50.0%配制成低(L)、中(M)、高(H)3个不同浓度的土壤浸提液(表2)。

表2 土壤浸提液浓度对照表

Table 2 Soil extracts concentration

土层/cm	编号	土壤浸提液浓度/%
0~20	L1	25.0
	M1	37.5
	H1	50.0
20~40	L2	25.0
	M2	37.5
	H2	50.0

1.5.2 室内种子培养试验方法 将供试种子用1%的NaClO消毒30 min,再用自来水冲洗2~3次,最后用蒸馏水冲洗3次。在直径为9 cm的培养皿中加入等量洗净并烘干的50 g细河沙,分别加入上述6种土壤浸提液15 mL,以等量蒸馏水细河沙培养皿为对照(CK)。供试种子直播于培养皿中,每皿50粒,每个处理3次重复,置于25℃的光照培养箱中(光照10 h/d)连续培养7 d(每日在各培养皿加蒸馏水10 mL)。

单株根长:连续培养7 d后,各处理中选取10株幼苗测量根长,具体参照Williams^[19]的方法求其平

均值。

单株根干重:将植株根部沙子清理干净并把根置于事先烘干、称重后的铝盒中。在105℃的烘箱中杀青30 min,再将温度调至70℃烘至恒重并称重,计算单株根干重。

根系活力:采用乙酸乙酯浸提-TTC还原法测定^[20]

化感效应指数(response index, *RI*)具体参照Williamson等^[19]的方法。

$$RI = (T - T_0) / T_0$$

式中:*T*为测试项目的处理值,*T*₀为对照值;当*RI*>0为促进作用,当*RI*<0时为抑制作用。

综合化感效应指数(synthetical allelopathic index, *SE*)为前茬土壤浸提液的同一处理下同一作物的根长、根干重的化感效应指数(*RI*)的算术平均值^[21]。

$$SE = \frac{\sum_{j=1}^m a_j}{n}$$

式中:*a*为数据项*RI*; *j*为数据项*RI*的序数; *n*为该级别数据项*RI*的总个数。当*SE*>0为促进作用;当*SE*<0为抑制作用。

1.6 数据分析

Excel(2016)软件进行分析、数据统计与绘制,用SPSS软件进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同轮作模式土壤浸提液对后茬作物根长的影响

6种不同轮作模式下后茬作物的根长与CK相比都有增长(表3)。0~20 cm土层,除O-Sm轮作的L1和Pe-B轮作的H2外,后茬作物根长的增长率表现为C-Pe>Sm-O>Po-C>2A>Pe-B>O-Sm,最大增长率分别为83.0%、45.4%、32.5%、28.7%、24.2%、22.6%。在L1、M1、H1的处理下,都是C-Pe轮作根长比CK最显著增加(*P*<0.05),分别增加了64.9%、83.0%、46.8%。20~40 cm土层,后茬作物根长的增长率表现为C-Pe>Po-C>Sm-O>Pe-B>2A>O-Sm,最大增长率分别为49.9%、42.6%、20.5%、18.0%、14.5%,较0~20 cm土层有所下降,。在L2、M2、H2的处理下,都是C-Pe轮作根长比CK最显著增加(*P*<0.05),分别增加了59.3%、56.8%、69.7%。

表3 不同轮作模式土壤浸提液对后茬作物根长的影响

Table 3 Effect of soil extracts on root length of subsequent crops in different rotation patterns

土层/cm	轮作处理	根长						
		CK/cm	L/cm	增长率/%	M/cm	增长率/%	H/cm	增长率/%
0~20	C-Pe	2.48±0.26 ^b	4.09±0.58 ^a	64.9	4.54±0.25 ^a	83.0	3.64±0.44 ^{ab}	46.8
	Sm-O	6.36±0.58 ^b	7.74±0.11 ^{ab}	21.7	9.06±0.48 ^a	42.4	9.25±0.42 ^a	45.4
	2A	4.00±0.16 ^a	4.81±0.58 ^a	20.2	4.37±0.35 ^a	9.2	5.15±0.61 ^a	28.7
	Po-C	4.59±0.29 ^{ab}	5.09±0.52 ^{ab}	10.9	5.69±0.49 ^{ab}	23.9	6.08±0.51 ^{ab}	32.5
	Pe-B	6.00±0.58 ^c	7.18±0.53 ^a	19.7	7.45±0.49 ^{bc}	24.2	7.26±0.49 ^a	21.0
	O-Sm	4.69±0.58 ^b	3.77±0.58 ^b	-19.6	5.75±0.56 ^b	22.6	4.75±0.55 ^b	1.3
20~40	C-Pe	2.48±0.26 ^b	3.95±0.61 ^{ab}	59.3	3.89±0.53 ^{ab}	56.8	4.21±0.53 ^a	69.7
	Sm-O	6.36±0.58 ^b	7.95±0.42 ^b	25.0	7.00±0.58 ^a	10.1	9.07±0.54 ^a	42.6
	2A	4.00±0.16 ^a	4.68±0.64 ^a	17.0	4.70±0.55 ^a	17.5	4.72±0.68 ^a	18.0
	Po-C	4.59±0.29 ^{ab}	6.07±0.64 ^{ab}	32.2	6.88±0.51 ^{ab}	49.9	6.00±0.42 ^a	30.7
	Pe-B	6.00±0.58 ^c	7.22±0.64 ^{bc}	20.3	7.23±0.54 ^{bc}	20.5	5.74±0.47 ^c	-4.3
	O-Sm	4.69±0.58 ^b	5.37±0.55 ^{ab}	14.5	5.26±0.80 ^b	12.1	5.12±0.39 ^a	9.2

注:图中数据表示平均值±标准误,小写字母表示不同轮作处理间的差异显著性。L:0~20 cm和20~40 cm土层的25.0%土壤浸提液;M:0~20 cm和20~40 cm土层的37.5%土壤浸提液;H:0~20 cm和20~40 cm土层的50.0%土壤浸提液,下同

2.2 不同轮作模式土壤浸提液对后茬作物单株根干重的影响

6种不同轮作模式下后茬作物的单株根干重与

CK相比都有显著增加(*P*<0.05),除2A轮作的L1(表4)。0~20 cm土层,后茬作物单株根干重的增长率表现为Sm-O>O-Sm>C-Pe>2A>Po-C>

Pe-B,最大增长率分别为71.9%、69.9%、58.2%、52.2%、39.1%、33.6%。在L1和M1的处理下,都以O-Sm轮作单株根干重比CK增加最显著($P<0.05$),分别增加了24.3%、69.9%;在H1的处理下,Sm-O轮作单株根干重比CK增加最显著($P<0.05$),增加了71.9%。20~40 cm土层,后茬作物单

株根干重的增长率表现为Sm-O>Po-C>2A>O-Sm>Pe-B>C-Pe,最大增长率分别为106.1%、52.3%、43.5%、39.8%、27.3%、13.4%,除Sm-O,较0~20cm土层有所下降。在L2、M2、H2的处理下,都是Sm-O轮作单株根干重比CK增加最显著($P<0.05$),分别增加了40.8%、106.1%、72.9%。

表4 不同轮作模式土壤浸提液对后茬作物单株根干重的影响

Table 4 Effect of soil extract of different crop rotations on the roots dry weight of subsequent crops

土层/cm	处理	根干重						
		CK/mg	L/mg	增长率/%	M/mg	增长率/%	H/mg	增长率/%
0~20	C-Pe	7.52±3.05 ^a	8.59±0.72 ^a	14.3	11.9±1.22 ^a	58.2	8.63±0.84 ^a	14.8
	Sm-O	3.77±0.78 ^b	4.33±0.50 ^b	14.8	4.81±0.66 ^{ab}	27.6	6.48±1.16 ^{ab}	71.9
	2A	0.23±0.04 ^a	0.12±0.02 ^a	-47.8	0.27±0.08 ^a	17.4	0.35±0.06 ^a	52.2
	Po-C	15.75±4.19 ^b	16.94±2.6 ^a	7.6	21.91±1.02 ^{ab}	39.1	20.90±2.02 ^{ab}	32.7
	Pe-B	2.71±0.65 ^a	2.82±0.93 ^a	4.0	3.62±0.79 ^a	33.6	3.27±0.39 ^a	20.7
	O-Sm	12.62±3.16 ^b	15.69±1.13 ^a	24.3	21.45±1.54 ^a	69.9	13.30±1.27 ^b	5.4
20~40	C-Pe	7.52±3.05 ^a	8.27±0.49 ^a	9.9	8.53±0.32 ^a	13.4	7.71±0.59 ^a	2.5
	Sm-O	3.77±0.78 ^b	5.31±0.29 ^{ab}	40.8	7.77±1.76 ^a	106.1	6.52±0.06 ^{ab}	72.9
	2A	0.23±0.04 ^a	0.28±0.02 ^a	21.7	0.31±0.06 ^a	34.8	0.33±0.02 ^a	43.5
	Po-C	15.75±4.19 ^b	17.54±2.47 ^{ab}	11.4	23.98±2.16 ^{ab}	52.3	19.41±1.91 ^{ab}	23.2
	Pe-B	2.71±0.65 ^a	3.45±0.35 ^a	27.3	2.91±1.2 ^a	7.4	3.28±0.4 ^a	21.0
	O-Sm	12.62±3.16 ^b	17.06±3.13 ^a	35.2	17.65±1.74 ^b	39.8	13.82±2.78 ^a	9.5

2.3 不同轮作模式对后茬作物根系活力的影响

除O-Sm轮作的L1和Po-C轮作的H2,6种不同轮作模式后茬作物的根系活力都显著提高($P<0.05$)(表5)。0~20 cm土层,后茬作物根系活力的增长规律表现为:C-Pe>Sm-O>O-Sm>2A>Pe-B>Po-C,最高增长率分别为166.7%、159.8%、141.5%、106.3%、47.9%、35.0%。在L1、M1、H1的处理下,分别是Sm-O、O-Sm、C-Pe轮作根系活力的增加最显著($P<0.05$),比CK增加了131.1%、141.5%、166.7%。20~40 cm土层,后茬作物根系活力的增长率表现为Sm-O>C-Pe>O-Sm>2A>Po-C>Pe-B,最大增长率分别为226.3%、213.3%、112.1%、109.0%、50.0%、10.2%,较0~20 cm土层有所提高。在L1和M1的处理下,C-Pe轮作根系活力的增加最显著($P<0.05$),比CK分别增加了99.2%、213.3%;在H2的处理下,Sm-O轮作根系活力的增加最显著($P<0.05$),比CK增加了226.3%。

2.4 根的化感效应指数

不同轮作模式前茬作物土壤浸提液对作物根系

化感作用都有促进,SE均大于0(表6)。0~20 cm土层,后茬作物根长、根干重化感作用促进规律分别表现为C-Pe>Sm-O>Po-C>Pe-B>2A>O-Sm、O-Sm>Po-C>Pe-B>2A>Sm-O>C-Pe。其中C-Pe、O-Sm在M1下较CK促进作用最显著($P<0.05$),其RI分别在0.4~0.9、0.6~0.9之间,最大值为0.83、0.86;O-Sm、C-Pe在L1下较CK促进作用最不显著,最小值为0.02、0.14。20~40 cm土层,除O-Sm、Sm-O个别浓度,后茬作物根长、根干重促进作用比0~20 cm土层有所降低,分别表现为C-Pe>Po-C>O-Sm>Sm-O>2A>Pe-B、O-Sm>Sm-O>Po-C>2A>Pe-B>C-Pe。其中C-Pe、O-Sm在H1下较CK促进作用最显著($P<0.05$),其RI分别在0.5~0.7、0.8~0.9之间,最大值为0.70、0.97;Pe-B、Sm-O在H1下较CK促进作用最不显著($P<0.05$),最小值为0.10、0.03。

根系化感综合效应表明,整体促进作用表现为O-Sm>Sm-O>C-Pe>Po-C>Pe-B>2A。

0~20cm土层,Sm-O在H1下较CK促进作用最显著,SE值为0.58;Pe-B在L1下较CK促进作用最不

表 5 不同轮作模式后茬作物的根系活力

Table 5 Root activity of subsequent crops in different rotation patterns

mg/(g·h)

土层/cm	处理	根系活力						
		CK/ (mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	L/ (mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	增长率/%	M/ (mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	增长率/%	H/ (mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	增长率/%
0~20	C-Pe	44.34±3.03 ^e	78.38±1.73 ^{cd}	0.77	69.20±1.97 ^d	0.56	118.28±9.06 ^b	1.67
	Sm-O	20.56±2.37 ^c	47.53±2.88 ^b	1.31	25.14±2.31 ^c	0.22	53.41±3.50 ^b	1.60
	2A	288.10±8.83 ^c	295.25±8.66 ^c	0.02	302.26±6.39 ^c	0.05	594.38±12.37 ^b	1.06
	Po-C	87.94±4.39 ^c	77.37±1.22 ^{cd}	-0.12	118.78±1.79 ^b	0.35	83.56±1.82 ^c	-0.05
	Pe-B	625.78±28.66 ^b	644.10±26.46 ^b	0.03	925.53±30.71 ^a	0.48	637.00±32.07 ^b	0.02
	O-Sm	71.79±2.72 ^e	70.53±1.97 ^e	-0.02	173.41±7.54 ^a	1.42	115.73±2.83 ^{cd}	0.61
20~40	C-Pe	44.34±3.03 ^e	88.33±4.36 ^a	0.99	138.94±1.55 ^c	2.13	75.10±3.60 ^d	0.69
	Sm-O	20.56±2.37 ^c	21.24±2.55 ^c	0.03	20.67±2.47 ^c	0.01	67.10±3.05 ^a	2.26
	2A	288.10±8.83 ^c	393.98±7.2 ^{5b}	0.37	275.07±15.55 ^c	-0.05	602.19±11.93 ^a	1.09
	Po-C	87.94±4.39 ^c	121.00±5.10 ^b	0.38	131.96±5.20 ^a	0.50	68.70±1.54 ^d	-0.22
	Pe-B	625.78±28.66 ^b	654.55±28.97 ^b	0.05	622.97±43.35 ^b	0.00	689.62±51.96 ^b	0.10
	O-Sm	71.79±2.72 ^e	122.29±3.73 ^c	0.70	152.28±4.14 ^b	1.12	108.22±4.04 ^d	0.51

显著,SE值为0.18。20~40 cm土层促进作用比0~20 cm土层稍低,O-Sm在H1下较CK促进作用最显

著,SE值为0.64;Pe-B在M1下较CK促进作用最不明显,SE值为0.14。

表 6 不同轮作模式后茬作物的根系化感效应

Table 6 Root allelopathic effect of subsequent plant in different rotation patterns

土层/cm	处理	根长化感效应指数 RI			单株根干重化感效应指数 RI			综合化感效应指数 SE		
		L	M	H	L	M	H	L	M	H
0~20	C-Pe	0.65 ^b	0.83 ^a	0.47 ^b	0.14 ^{ab}	0.18 ^b	0.15 ^a	0.40	0.51	0.31
	Sm-O	0.22 ^{ab}	0.42 ^a	0.45 ^a	0.15 ^b	0.28 ^b	0.70 ^{ab}	0.18	0.35	0.58
	2A	0.20 ^a	0.09 ^a	0.29 ^a	0.22 ^a	0.27 ^a	0.25 ^a	0.21	0.18	0.27
	Po-C	0.33 ^b	0.24 ^{ab}	0.32 ^{ab}	0.58 ^b	0.52 ^a	0.33 ^{ab}	0.46	0.38	0.33
	Pe-B	0.31 ^{bc}	0.21 ^a	0.33 ^{bc}	0.04 ^a	0.34 ^a	0.58 ^a	0.18	0.27	0.45
	O-Sm	0.02 ^b	0.08 ^b	0.10 ^b	0.64 ^b	0.86 ^a	0.77 ^{bc}	0.33	0.47	0.43
20~40	C-Pe	0.59 ^{ab}	0.57 ^{ab}	0.70 ^a	0.10 ^a	0.13 ^b	0.03 ^{ab}	0.35	0.35	0.36
	Sm-O	0.25 ^b	0.11 ^a	0.10 ^a	0.67 ^{ab}	0.80 ^{ab}	0.73 ^b	0.46	0.45	0.42
	2A	0.22 ^a	0.23 ^a	0.17 ^a	0.28 ^a	0.23 ^a	0.21 ^a	0.25	0.23	0.19
	Po-C	0.32 ^{ab}	0.28 ^{ab}	0.53 ^a	0.11 ^{bc}	0.40 ^b	0.23 ^a	0.22	0.34	0.38
	Pe-B	0.20 ^{bc}	0.20 ^a	0.12 ^c	0.27 ^a	0.07 ^a	0.21 ^a	0.24	0.14	0.17
	O-Sm	0.21 ^{ab}	0.12 ^b	0.30 ^a	0.96 ^a	0.83 ^b	0.97 ^{ab}	0.59	0.47	0.64

3 讨论

为提高作物产量和品质,改善由连作和过度施肥引起的土壤理化性质的破坏,粮草轮作是农业生产可持续发展中必不可少的种植模式。在我国淮河流域,多年的水稻-小麦轮作中过量施肥导致环境破坏,土壤养分利用不充分,严重制约了当地农业的可持续发展^[22],而利用粮草轮作中牧草与水稻对土壤中营养物质的吸收差异,能调节作物对土壤养分的利用率^[24]。科学合理的粮草轮作模式,不仅能使作物增产增效,

改善农业产业结构,获取更高经济收益,还能增强土地使用效率,提高生物多样性,实现农业的科学发展^[25]。本研究中,5种轮作模式对根系生长的促进作用都高于对照和苜蓿连作。

根系是植株吸收养分和水分的器官,其生长状况能反映作物养分和水分的吸收能力。研究表明,轮作作物的根长、根系活力和根总体积均显著高于连作模式^[26]。轮作模式能提升植物根系活力^[27]、促进根系发育,增加根长^[28]。有研究表明,高粱与苜蓿轮作,高粱根系总长度、根表面积等农艺性状整体提高了1.4~

1.6倍,且促进了其根系往深土层生长,改善连作高粱根系分布较浅的情况^[29]。尹国丽等^[30]对苜蓿幼苗胚根的生长研究中表明,随各轮作模式下土壤浸提液浓度的增加,对后茬作物苜蓿幼苗胚根的促进作用也更加明显。本研究也表明,轮作模式前茬土壤浸提液可以显著提高后茬作物的根长和根干重。白录顺等^[31]的研究也表明,玉米、大豆单间作条件下,其根系主要集中在0~10 cm土层,且根系密度、根长、根表面积、根长密度、根体积等随着土层深度的增加而呈减小的趋势。李蕊等^[32]在对大豆植株不同生育期的根长密度的研究中也得出大豆植株根长密度均随着土层深度的增加而减小的结论。本研究表明,H1浓度的处理对根系生长促进作用最显著,且0~20 cm土层整体促进作用是高于20~40 cm土层。此试验是对作物前期生长的关键因素——根系做研究,要完整的评价前茬作物的土壤浸提液对后茬作物的影响,还需要在整个生长周期内对作物行进行深入的研究,更好的为粮草轮作提供参考。

4 结论

玉米—豌豆、青贮玉米—燕麦、苜蓿—苜蓿、马铃薯—玉米、豌豆—高粱、燕麦—青贮玉米6种轮作模式下前茬土壤浸提液都能有效促进后茬作物幼根生长,玉米—豌豆轮作模式对根长的促进作用强于其他模式,最高增长值在M1处理下达到了83.0%;青贮玉米—燕麦轮作模式对单株根干重、根系活力的促进作用强于其他模式,最高增长值分别在M2、H2处理下达到了106.1%、226.3%;燕麦—青贮玉米轮作模式综合化感效应高于其他模式,最高值在H2下达到了0.64。总体来看0~20 cm土层的促进作用高于20~40 cm土层。结合本研究中后茬作物的根长、单株根干重、根系活力以及化感综合效应指数的增长趋势,燕麦—青贮玉米、青贮玉米—燕麦和玉米—豌豆3种粮草轮作模式能够促进后茬作物根系的生长,可在区域粮草轮作种植设计中应用。

参考文献:

- [1] 梁萌,王志方,马健,等. 还田棉秆腐解与土壤理化性质对氮肥施用的响应特征[J]. 新疆农业科学, 2021, 58(8): 1427—1434.
- [2] 尹国丽,蔡卓山,陶葺,等. 不同草田轮作方式对土壤肥力、微生物数量及自毒物质含量的影响[J]. 草业学报, 2019, 28(3): 42—50.
- [3] 王飞,李世贵,徐凤花,等. 连作障碍发生机制研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2013(5): 6—13.
- [4] 邱立友,戚元成,王明道. 植物次生代谢物的自毒作用及其与连作障碍的关系[J]. 土壤, 2010, 42(1): 1—7.
- [5] 吴红森,林文雄. 药用植物连作障碍研究评述和发展透视[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(6): 775—793.
- [6] 顾美英,徐万里,茆军,等. 新疆绿洲农田不同连作年限棉花根际土壤微生物群落多样性[J]. 生态学报, 2012, 32(10): 3031—3040.
- [7] 陈华,赵文军,王正旭,等. 不同轮作模式下氮素调控对烤烟质量及氮肥利用的影响[J]. 河南农业科学, 2021, 50(9): 87—95.
- [8] 王延平,王华田. 植物根分泌的化感物质及其在土壤中的环境行为[J]. 土壤通报, 2010, 41(2): 501—507.
- [9] 曾昭海. 豆科作物与禾本科作物轮作研究进展及前景[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(1): 57—61.
- [10] 田福平,师尚礼,洪绶曾,等. 我国草田轮作的研究历史及现状[J]. 草业科学, 2012, 29(2): 320—326.
- [11] 王仪明,雷艳芳,魏臻武,等. 不同轮作模式对青贮玉米产量、品质及土壤肥力的影响[J]. 核农学报, 2017, 31(9): 1803—1810.
- [12] 譙记,娄芬,杨西友,等. 不同轮作模式对青贮玉米产量和土壤肥力的影响[J]. 现代畜牧科技, 2018(3): 5—6.
- [13] Larkin R P. Characterization of soil microbial communities under different potato cropping systems by microbial population dynamics, substrate utilization, and fatty acid profiles[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2003, 35(11): 1451—1466.
- [14] Lynch J P, Brown K M. Topsoil foraging—an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability[J]. Plant Soil, 2001, 237(2): 225—237.
- [15] 胡瑞文,刘勇军,荆永锋,等. 深耕条件下生物炭对烤烟根系活力、叶片SPAD值及土壤微生物数量的动态影响[J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(6): 1223—1230.
- [16] 吴国丽,魏飞,刘建国,等. 不同种植模式对连作棉花根系生长和生理指标的影响[J]. 中国棉花, 2019, 46(3): 11—15.
- [17] 张荟荟,张学洲,阿斯娅·曼力克,等. 北疆平原荒漠区粮草轮作模式经济效益分析[J]. 草地学报, 2021, 29(5): 1107—1112.

- [18] 谢泽宇,罗珠珠,李玲玲,等. 黄土高原不同粮草种植模式土壤碳氮及土壤酶活性[J]. 草业科学, 2017, 34(11): 2191—2199.
- [19] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1988, 14 (1) : 181—187.
- [20] 刘鹏,毕江涛,罗成科,等. 耐盐菌添加对盐胁迫下水稻种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(2): 246—256.
- [21] 包赛很那,王向涛,武俊喜,等. 苗期直茎黄芪根浸提液对8种西藏野生植物化感作用的研究[J]. 草业学报, 2021, 30(5): 211—220.
- [22] 张福锁,王激清,张卫峰,等中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915—924.
- [23] 江舟,魏臻武. 淮河流域不同豆科牧草生产性能及对土壤养分的影响[J]. 中国草地学报, 2021, 43(7): 54—62.
- [24] 张成君,师尚礼,康文娟,等. 不同轮作模式土壤酶活性特征及与化学性质的关系[J]. 中国草地学报, 2020, 42(5): 92—102.
- [25] 任继周,侯扶江. 草地农业系统是食品安全的重要保证——关于“三聚氰胺奶粉”事件的反思[J]. 草业科学, 2009, 26(8): 6—9.
- [26] 魏全全,苟久兰,赵欢,等. 黄壤区烤烟轮作与连作根系形态、产量及养分吸收的变化[J]. 西南农业学报, 2018, 31(11): 2294—2299.
- [27] 吴哲宽,孙光伟,陈振国,等. 不同轮作模式对烤烟产质量的影响[J]. 山西农业科学, 2019, 47(3): 370—373.
- [28] 黄尚书,武琳,叶川,等. 耕作深度对红壤坡耕地花生根系生长及活力的影响[J]. 江西农业学报, 2018, 30(12): 9—12.
- [29] 王劲松,樊芳芳,郭珺,等. 不同作物轮作对连作高粱生长及其根际土壤环境的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(7): 2283—2291.
- [30] 尹国丽,吴芳,陶茸,等. 苜蓿轮作玉米\小麦土壤浸提液对苜蓿种子萌发和幼苗生理及生长的影响[J]. 草业学报, 2018, 27(5): 153—161.
- [31] 白录顺,范茂攀,王自林,等. 间作模式下玉米/大豆的根系特征及其与团聚体稳定性的关系[J]. 水土保持研究, 2019, 26(1): 124—129.
- [32] 李蕊,杨越,李彦生,等. 基于玉米—大豆轮作的不同施肥体系对大豆开花后根系形态及产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(1): 64—73.

Effects of soil extracts from the preceding plant on allelopathy of the subsequent plant seedlings in grain–forage rotation

JIANG Zhi-ying, LI Ya-juan*, GAO Ya-jun, LIU Yan-jun

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

Abstract: [Objective] In order to screen the regional adaptive grain-forage rotation patterns and realize the adjustment of agricultural industrial structure, [Method] six different grain-forage rotation patterns, including maize-pea (C—Pe), silage maize—oat (Sm—O), potato—corn (Po—C), pea—sorghum (Pe—B), oat—silage maize (O—Sm) and 2—year—old alfalfa (2A) were designed and field plot experiments were conducted. Soil samples of preceding crop (forage) in the root zone were collected from 0~20 cm and 20~40 cm depth after harvesting, and soil extracts solutions were prepared to investigate the effects of soil leaching solutions from the preceding plant on the growth characteristics and the allelopathy effects of the early roots from the subsequent plant in the grain— forage rotation. [Result] The results showed that: 1) compared with other patterns, the C—Pe and Sm—O patterns had the

most significant effects on root length and root activity of subsequent plant, increasing 83.0% and 226.3%, respectively, compared with CK. 2) The Sm—O pattern had the most significant effects on root dry weight and root activity of the subsequent plant, increasing 71.9% and 106.1%, respectively, compared with CK. 3) The indices of the allelopathic effects of all the extracts on the roots of the post—crop plants were greater than 0, indicating that the six cereal grass rotation patterns had positive allelopathic effects on both the pre— and post—crop. The O—Sm pattern had the greatest allelopathy effect with the allelopathy effect index (SE) among 0.3~0.6. The 2A pattern had the lowest allelopathy effect with the SE among 0.05~0.2. **【Conclusion】** The order of promoting effects of crop rotation patterns on root system was O—Sm>Sm—O>C—Pe>Po—C>Pe—B>2A, and the promoting effect of 0—20 cm soil layer was higher than that of 20~40 cm soil layer.

Key words: Grain—forage rotation; soil extracts; early roots; root growth; allelopathic effect

(上接 56 页)

Study on positive variation types of alfalfa by re—onboard in space

ZHANG Jian-hua^{1,2}, CHAI Xiao-qin^{2,3*}, DING Yao-hong¹, LIU Fen-hong¹, YU Jin¹

(1. Tianshui Shenzhou Lvping Agricultural Science & Technology, Tianshui 741030, China; 2. Gansu Provincial Space Breeding Technology Innovation Center, Tianshui 741030, China; 3. Tianshui Institute of agricultural Sciences, Tianshui 741001, China)

Abstract: **【Objective】** In order to explore the positive mutagenic effect of alfalfa (*Medicago sativa*) by re—onboard in space and screen plants for different variation types. **【Method】** Through the measurement of the production performance index such as plant height, leaf—stem ratio, fresh—dry ratio, multi—leaf rate, branch number and biomass of Zhongtian No. 1 alfalfa carried on Shenzhou No. 10 spacecraft, eight positive variation types were identified and characterised. **【Result】** Forty—six multifoliolate plants including 5 leaflets (9), 7 leaflets (5), multi—branch (5), rapid growth (7), yellow flower (3), white flower (4), disease—resistance and adversity—resistance (9), and early maturity (4) were selected via optimal selection. The major variations in alfalfa after its re—onboard in space occurred in primary nursery, and a few variations occurred in variant nursery. The most obvious variation after the re—onboard of Zhongtian No. 1 was the increase of leaf numbers. Rate of leaf variations of single multifoliolate plant was significantly ($P<0.05$) higher than control. **【Conclusion】** The variation of alfalfa through space—flight mutagenesis techniques is the variation on the basis of the main characteristics of the plant itself. Therefore, we can select and carry out space mutation breeding in a targeted manner.

Key words: alfalfa; re—onboard; variation types; germplasm resources