

不同种植模式土壤水浸提液对胡麻的化感效应

陈 军, 罗 影, 王立光, 李进京, 叶春雷, 罗俊杰*

(甘肃省农业科学院生物技术研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 采用浸提液生物测试法研究了不同种植模式土壤水浸提液对胡麻的化感效应。结果表明: 1) 不同处理土壤水浸提液对胡麻种子萌发有不同程度的抑制作用, 高浓度处理比低浓度处理抑制作用更强, 且抑制效应由大到小依次是胡麻连作 > 胡-麦间作 > 撂荒 > 小麦连作, 说明胡麻连作更能产生连作障碍, 自毒效应明显; 2) 不同处理土壤水浸提液对胡麻幼苗的苗鲜重、根鲜重、根长有不同程度的抑制作用, 且高浓度主要抑制苗鲜重、根鲜重和根长, 低浓度主要抑制根鲜重、根长, 胡麻连作和撂荒处理对幼苗生长抑制要大于胡-麦间作和小麦连作处理; 3) 不同处理土壤水浸提液对胡麻影响的综合效应随浸提液浓度的升高而增大, 而小麦连作高浓度处理比低浓度处理抑制作用变化不明显, 且综合效应由大到小依次是胡麻连作 > 撂荒 > 胡-麦间作 > 小麦连作; 4) 不同种植模式处理土壤可以减轻胡麻连作产生的化感效应, 处理顺序为小麦连作 > 胡-麦间作 > 胡麻连作。综上所述, 胡麻连作障碍问题确实存在, 合理的作物布局有利于改善由于胡麻自身化感物质积累所造成的连作障碍。

关键词: 土壤水浸提液; 胡麻; 种植模式; 化感效应

中图分类号: S344; S565.9

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2017) 03-0125-06

化感效应是指一种活体植物产生并通过挥发、淋溶、分泌和分解等方式向环境释放某些化学物质而对该种植物或周围其它植物的生长和发育产生有益或有害影响的化学生态学现象^[1]。自毒作用是化感效应的一个显著特点, 它是植物通过地上部淋溶、挥发、根系分泌或残体腐解等方式向土壤中释放一些化学物质, 对同茬 (或下茬) 的同种或同科植物的生长产生直接或间接毒害作用^[2]。20 世纪 80 年代, 张宝琛等^[3]对我国绝大部分农林作物和林木的化感作用进行考察, 表明植物的化感作用在我国各地的粮食作物、经济作物、蔬菜和人工林等系统中普遍存在。

胡麻具有抗旱、抗寒、耐瘠薄的特点, 是我国西北、华北干旱高寒地区的主要经济作物和重要的油料作物。甘肃胡麻常年播种面积 13.3 万 hm^2 左右,

总产 15 万 t, 播种面积占全国的 30% 以上, 而总产占全国的 40% 以上, 在全国胡麻生产中占有重要的地位^[4-5]。随着我国农业产业结构不断调整, 我国胡麻的种植面积不断扩大。但是由于相对粗犷的种植制度使得胡麻连作种植年限不断增加, 胡麻连作障碍日益严重, 这种现象已经成为制约我国胡麻高产稳产的主要限制因子。赵宝平等^[6]指出胡麻消耗地力大, 连作不利于胡麻稳产、丰产, 合理的轮作换茬与用地养地相结合才能达到胡麻长期连续增产。

有关胡麻连作障碍方面的研究报道较少, 以往对胡麻的研究主要侧重于良种选育、推广及农艺栽培技术的改良等方面, 对大田胡麻连作障碍的成因及机制研究方面进展缓慢, 有关不同栽培模式是否可以改善或缓解胡麻化感效应的研究报道很少。因此, 本试验以影响化感效应的土壤因素为对象, 设计了胡麻连作、小麦连作、撂荒处理、胡-麦间作 4 种不同栽培模式土壤水浸提液对胡麻种子萌发和幼苗生长的影响, 旨在了解不同种植模式处理土壤对胡麻化感效应的大小和作用规律, 以及是否可以有效改善或降低土壤微环境对胡麻的化感效应, 为进一步研究胡麻连作障碍的消减技术, 尽快实现对胡麻连作障碍的有效调控, 提供理论依据和技术支撑。

收稿日期: 2016-03-30; 最后修订日期: 2016-07-12

基金项目: 国家胡麻产业技术体系 (CARS-17-SYZ-6); 甘肃省农业科学院科技创新工程—现代农业生物技术集成与应用 (2015GAAS02)。

作者简介: 陈军 (1984-), 男, 甘肃榆中人, 硕士研究生, 研究实习员, 主要从事作物栽培及生理方面的研究工作。E-mail: chenjun004@126.com。

通讯作者: 罗俊杰, E-mail: hnsjjie@163.com。

1 材料与方法

1.1 样品的采集和处理

于2015年8月20日收获期,在榆中县良种厂胡麻连作障碍试验地,分别采集胡麻连作、胡-麦间作、撂荒、小麦连作4个不同种植模式处理的根际土壤,土壤样品采集采用“S”型布点,保证10~15个采样点,每个采样点的土壤要尽可能均匀一致,用四分法去除多余土壤,每个小区采样土壤充分混合后剔除腐叶、枯叶,放4℃保存备用。

1.2 浸提液制取

将去离子水400 mL,土壤40 g,置于500 mL试剂瓶中,于25℃条件下往返振荡48 h后过滤得水浸提母液,在4℃保存备用。

1.3 试验方法

把母液浸提液(土:水=1:10)分别按0.05、0.1 g/mL两个浓度配成测试液^[4,7],培养供试种子(陇亚10号)。浸提液加入铺有2层定性滤纸的培养皿中(每皿加测试液5 mL),每皿放入均匀一致、经20%的次氯酸钠溶液消毒15 min并用蒸馏水冲洗3~5遍的受体种子50粒,重复3次。将培养皿置于人工气候箱中,培养温度为25℃,黑暗培养24 h,出芽后L:D(光暗比)=12:12,光照强度6 000 lx,每天加5 mL测试液,每隔24 h观察种子萌发状况,第3 d统计发芽势,第7 d统计发芽率。在发芽试验的基础上,挑选第1 d萌发种子的幼苗10株,再每天向皿内加入上述浓度浸提液5 mL,L:D=12:12,光照强度6 000 lx,第7 d测定各项指标,根鲜重和苗鲜重用电子天平称量,根长和苗高用ImageJ软件测定分析,其他各项指标的计算方法^[8]如下:

发芽率 GR (%) = 7 d 内正常发芽的种子数 / 供试种子总数 × 100。

发芽势 GE (%) = 前3 d 内正常发芽种子数 / 供试种子总数 × 100。

发芽指数 GI = $\sum (G_t/D_t)$ 。G_t表示在第t d种子的发芽数;D_t代表相应的发芽天数。

活力指数 VI = GI × S。式中,S为第7 d测得的整株幼苗鲜重(g)。

采用发芽速率指数(I)来定量评价自毒物质对种子发芽的延缓作用。计算公式为: $I = 2(5x_1 + 4x_2 + 3x_3 + 2x_4 + 1x_5)$,这里的x是指每隔24 h发芽

的种子数,x₁是24 h记录的发芽数,x₂是48 h记录的发芽数,以此类推。

参照Williamson等的方法,以化感作用抑制率(RI)作为化感作用的研究指标: $RI = (T_i - T_0) / T_0 \times 100\%$,式中T_i为处理值,T₀为对照值。RI > 0表示具有促进作用,RI < 0表示具有抑制作用。RI绝对值越大,其化感作用潜力(促进或抑制作用)越大^[9]。

苗长的抑制率(IR),按如下公式计算: $IR(\%) = [T/C - 1] \times 100$;IR表示抑制率,T表示处理,C表示对照^[10]。

综合效应(SE):是供体对同一受体各个测试项目的对照抑制百分率的算术平均值^[9]。

$$SE = \frac{\sum_{j=1}^n (IR)_j}{n}$$

式中,SE为综合效应,(IR)_j为第j个测定指标化感作用抑制率;n为测定指标IR的总个数。

1.4 试验数据统计及分析

所有试验数据均用Excel和SPSS 20.0统计完成;多重分析方法为Duncan's新复极差法。

2 结果与分析

2.1 土壤水浸提液对胡麻种子萌发的影响

不同处理土壤水浸提液对胡麻种子的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数有不同程度的抑制作用(表1,表2),高浓度比低浓度抑制作用更强,且抑制效应由大到小依次是胡麻连作 > 胡-麦间作 > 撂荒 > 小麦连作;在0.1 g/mL浓度,胡麻连作处理抑制作用最为明显,其发芽指数和活力指数与CK比较差异显著,发芽势和发芽率差异不显著,其他处理与CK比较无差异,说明胡麻连作较其他种植模式更容易产生自毒物质;在0.05 g/mL浓度,各处理的发芽速率指数、发芽指数与CK比较差异显著,发芽率、发芽势、活力指数差异不显著。

2.2 土壤水浸提液对胡麻幼苗生长的影响

不同处理土壤水浸提液对胡麻幼苗的苗鲜重、根鲜重、根长有不同程度的抑制作用(表3,表4),且在高浓度主要抑制苗鲜重、根鲜重和根长,在低浓度主要抑制根鲜重、根长。与CK比较,胡麻连作处理在0.1 g/mL浓度的苗鲜重、根长差异显著,且随浓度降低抑制效果减弱;撂荒处理在

高、低浓度均对胡麻根鲜重、根长有强烈抑制作用；小麦连作处理随着浓度的降低对胡麻幼苗根长的抑制降低，对根鲜重抑制增加；胡-麦间作处理

随浓度降低抑制效果减弱；与胡麻连作和撂荒处理比较，胡-麦间作和小麦连作模式可以改善由于化感效应引起的胡麻的自毒作用。

表 1 0.1 g/mL 浓度土壤水浸提液对胡麻种子萌发的影响

土壤水浸提液 (0.1 g/mL)	发芽速率 指数 (I)	发芽指数 (GI)	GI 抑制率 (RI, %)	发芽率 (GR, %)	GR 抑制率 (RI, %)	发芽势 (GE, %)	活力指数 (VI)	VI 抑制率 (RI, %)	总抑制率 (RI, %)
CK (清水)	1 121a	46.75a	—	96a	—	96a	3.31a	—	—
撂荒	1 059b	44.25ab	-5.30	94a	-2.04	94a	3.11ab	-6.04	-15.42
胡-麦间作	1 034b	42.67ab	-8.69	95a	-2.06	95a	3.11ab	-6.04	-18.85
胡麻连作	773c	39.25b	-16.00	91a	-5.17	91a	2.56b	-22.66	-49.00
小麦连作	1 104b	46.00a	-1.55	92a	-4.13	92a	3.36a	1.51	-8.30

注：同列中相同小写字母表示在 $P \geq 0.05$ 差异不显著 (Duncan's 法)。下同。

表 2 0.05 g/mL 浓度土壤水浸提液对胡麻种子萌发的影响

土壤水浸提液 (0.05 g/mL)	发芽速率 指数 (I)	发芽指数 (GI)	GI 抑制率 (RI, %)	发芽率 (GR, %)	GR 抑制率 (RI, %)	发芽势 (GE, %)	活力指数 (VI)	VI 抑制率 (RI, %)	总抑制率 (RI, %)
CK (清水)	1 121a	46.75a	—	96a	—	96a	3.31a	—	—
撂荒	1 096b	45.75ab	-3.69	94a	-2.04	94a	3.32a	-0.30	-8.07
胡-麦间作	1 056b	44.08b	-5.65	91a	-2.66	91a	3.15a	-3.02	-13.99
胡麻连作	962c	43.17b	-7.62	93a	-3.08	93a	3.21a	-4.83	-18.61
小麦连作	1 010b	45.08ab	-4.23	93a	-3.08	93a	3.27a	-1.21	-11.60

表 3 0.1 g/mL 浓度土壤水浸提液对胡麻幼苗生长的影响

土壤水浸提液 (0.1 g/mL)	苗鲜重 (mg)	苗鲜重抑制率 (RI, %)	根鲜重 (mg)	根鲜重抑制率 (RI, %)	根长 (cm)	根长抑制率 (RI, %)	株高 (cm)	株高抑制率 (RI, %)	总抑制率 (RI, %)
CK (清水)	$7.09 \times 10^{-2}a$	—	$2.35 \times 10^{-2}a$	—	8.73a	—	3.38b	—	—
撂荒	$7.03 \times 10^{-2}a$	-0.92	$2.02 \times 10^{-2}a$	-13.86	7.33ab	-16.08	3.93a	16.16	-14.70
胡-麦间作	$7.29 \times 10^{-2}a$	2.82	$2.12 \times 10^{-2}a$	-9.59	7.98ab	-8.59	3.93a	16.11	0.75
胡麻连作	$6.54 \times 10^{-2}b$	-7.76	$2.10 \times 10^{-2}a$	-10.45	6.83b	-21.8	3.54b	4.78	-35.23
小麦连作	$7.31 \times 10^{-2}a$	3.10	$2.30 \times 10^{-2}a$	-1.92	8.35a	-4.35	3.56b	5.33	2.16

表 4 0.05 g/mL 浓度土壤水浸提液对胡麻幼苗生长的影响

土壤水浸提液 (0.05 g/mL)	苗鲜重 (mg)	苗鲜重抑制率 (RI, %)	根鲜重 (mg)	根鲜重抑制率 (RI, %)	根长 (cm)	根长抑制率 (RI, %)	株高 (cm)	株高抑制率 (RI, %)	总抑制率 (RI, %)
CK (清水)	$7.09 \times 10^{-2}a$	—	$2.35 \times 10^{-2}a$	—	8.73a	—	3.38b	—	—
撂荒	$7.27 \times 10^{-2}a$	2.47	$1.95 \times 10^{-2}a$	-16.84	7.80a	-10.64	3.93a	16.30	-8.71
胡-麦间作	$7.30 \times 10^{-2}a$	2.96	$2.19 \times 10^{-2}a$	-6.61	8.29a	-5.02	3.57b	5.47	-3.20
胡麻连作	$7.29 \times 10^{-2}a$	2.82	$2.15 \times 10^{-2}a$	-7.46	8.19a	-6.17	3.51b	3.87	-6.94
小麦连作	$7.31 \times 10^{-2}a$	3.10	$2.29 \times 10^{-2}a$	-2.35	8.58a	-1.74	4.07a	17.47	16.48

2.3 土壤水浸提液对胡麻影响的综合效应

不同处理土壤水浸提液对胡麻影响的综合效应随着浸提液浓度的升高而增大 (表 5)，而小麦连

作处理高浓度比低浓度抑制作用变化不明显，且综合效应由大到小依次是胡麻连作 > 撂荒 > 胡-麦间作 > 小麦连作；胡麻连作土壤的综合抑制效应最

高,说明胡麻连作的土壤水浸提液确实对胡麻起到明显抑制作用;撂荒处理在高、低浓度下均对胡麻有抑制作用,且高于胡-麦间作和小麦连作,由此推断胡-麦间作和小麦连作栽培模式有利于改善胡麻连续种植带来的连作障碍。

表5 不同处理土壤水浸提液对胡麻影响的综合效应

土壤水浸 提液	浓度		综合效应
	(0.1 g/mL)	(0.05 g/mL)	
CK (清水)	—	—	—
撂荒	-3.77	-2.10	-5.87
胡-麦间作	-2.26	-2.15	-4.41
胡麻连作	-10.53	-3.19	-13.72
小麦连作	-0.77	0.61	-0.16

排除土壤本身的制约,由土壤微环境对胡麻影响的综合效应(表6)可以看出,不同栽培模式土壤能有效地改善胡麻连作产生的化感伤害,其中小麦连作>胡-麦间作>胡麻连作。

表6 土壤微环境对胡麻影响的综合效应

土壤水浸 提液	浓度		综合效应
	(0.1 g/mL)	(0.05 g/mL)	
撂荒 (CK)	—	—	—
胡-麦间作	1.50	0.01	1.51
胡麻连作	-6.76	-0.98	-7.74
小麦连作	3.00	2.83	5.83

3 讨论

化感物质是生物体内产生的非营养性物质,主要是植物的次生代谢物质。Rice 等把化感物质归为14类:(1)水溶性有机酸、直链醇、脂肪醛和酮;(2)简单的不饱和内酯;(3)长链脂肪酸和多炔;(4)苯醌、萘醌、蒽醌和复合苯醌;(5)简单酚、苯甲酚、苯甲酸及其衍生物;(6)肉桂酸及其衍生物;(7)香豆素类;(8)类黄酮;(9)丹宁;(10)萜类和甾类化合物;(11)氨基酸和多肽;(12)生物碱和氰醇;(13)硫化物和芥子油苷;(14)嘌呤和核苷^[11]。张学文等^[12]认为植物产生的化感类物质主要是低分子量的物质,且一般通过植物次级代谢活动产生,可大致分为脂肪族化合物、类脂物及内酯、萜类化合物、芳香族化合物4大类。

对于化感物质作用机制的研究,早在1994年

Gershenzon^[13]就已经提出,自毒物质可通过影响细胞膜透性、酶功能和活性、离子吸收、光合作用、蛋白质和RNA合成等多种途径影响作物的生长。Anaya等^[14]也相应报道了类萜类化合物毒性机理的研究。目前国内外对于化感作用机理的研究主要表现在:(1)影响植物激素代谢,抑制细胞生长和分化;(2)影响线粒体正常工作;(3)干扰细胞膜通透性,抑制植物对养分的吸收;(4)阻碍植物根系对养分的吸收,使其无法透过细胞膜;(5)对酶活性的影响;(6)对光合作用、呼吸作用的影响;(7)对蛋白质合成的影响;(8)对水分吸收和利用的影响;(9)对矿质营养吸收的影响^[14-15]。

合理利用植物化感作用以及农作制度在作物增产、植物保护、生物防治等方面有着广阔的应用前景,也是解决连作障碍的一项安全且有效的措施^[16]。目前生产上常用的克服连作障碍的技术有:合理的作物布局如轮作、间作、套种,选用抗(耐)重茬品种、嫁接、无土栽培、合理的土壤管理、生物防治等。赵尊练等^[17]研究了蔬菜连作后提出:间作套种不仅可以提高土地利用率和单位面积的产出,而且可以部分解决连作障碍问题。Li等^[18]也研究证实了合理的轮、间、套作有利于维持土壤微生物的多样性及活性,并且可以有效抑制单一栽培模式中有害微生物的繁衍,同时还能提高农作物的产量。Latha等^[19]提出了用PGPR的生物防治技术,该技术在克服农业连作障碍,提高农作物品质方面具有重要作用。

孔垂华^[20]认为酚类和类萜类化合物是高等植物的主要化感物质。不同种植模式处理土壤水浸提液对胡麻种子的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数有不同程度的抑制作用(表1,表2),高浓度处理比低浓度处理抑制作用更强,特别是在种子萌发的第一天尤为突出,具有明显的阻滞作用,分析可能是化感物质如酚类或是类萜类化合物抑制了种子的吸胀吸水或酶活性的转化,且抑制效应由大到小依次是胡麻连作>胡-麦间作>撂荒>小麦连作;在0.1 g/mL浓度,胡麻连作处理抑制作用最为明显,其发芽指数和活力指数与CK比较差异显著,说明胡麻连作较其他种植模式更能产生自毒作用;在0.05 g/mL浓度,胡-麦间作处理的发芽势、发芽率和发芽指数与CK比较差异显著,这与张凤娟等^[21]的研究结论一致。

不同种植模式处理土壤水浸提液对胡麻幼苗的

苗鲜重、根鲜重、根长有不同程度的抑制作用(表3,表4),且在高浓度主要抑制苗鲜重、根鲜重和根长,在低浓度主要抑制根鲜重、根长,说明抑制胡麻幼苗生长主要是抑制了根的生长。与CK比较,胡麻连作处理在0.1 g/mL浓度的苗鲜重、根长差异显著,且随浓度降低抑制效果减弱;撂荒处理在高、低浓度均对胡麻根鲜重、根长有抑制作用;小麦连作处理随着浓度的降低对胡麻幼苗根长的抑制降低,对根鲜重抑制增加;胡-麦间作处理随浓度降低抑制效果减弱;与胡麻连作和撂荒处理比较,胡-麦间作和小麦连作模式可以改善自毒物质对胡麻的自毒作用,这与赵尊练等^[17]研究了蔬菜连作后提出的论断一致。

不同处理土壤水浸提液对胡麻影响的综合效应随着浸提液浓度的升高而增大(表5),而小麦连作处理高浓度处理比低浓度处理抑制作用变化不明显,且综合效应由大到小依次是胡麻连作>撂荒>胡-麦间作>小麦连作;胡麻连作土壤的综合抑制效应最高,说明胡麻连作的土壤水浸提液确实对胡麻起到明显抑制作用;撂荒处理在高、低浓度下均对胡麻有抑制作用,且高于胡-麦间作和小麦连作,由此推断胡-麦间作和小麦连作处理可以改善自毒物质对胡麻生长带来的自毒作用,推测胡麻、小麦自身的分泌物可以改善单一种植土壤的化感物质积累,但是化感物质在土壤中滞留、迁移、转化过程研究还有待进一步去验证。排除土壤本身的制约,由土壤微环境对胡麻影响的综合效应(表6)可以看出,胡麻连作处理土壤微环境的化感效应最为明显,且随浓度升高而化感效应增强;胡-麦间作、小麦连作处理均明显改善胡麻生长的土壤微环境,且小麦连作比胡-麦间作处理更能促进胡麻生长,说明不同栽培模式对胡麻连作障碍能够起到一定的消减作用,这一结论也验证了Li等^[18]、李逢雨等^[22]、You等^[23]提出的合理的作物布局有利于改善、缓解由于作物自身化感物质积累所造成的连作障碍。但是,由于作物连作障碍的原因十分复杂,连作障碍往往是多因素共同作用的结果,与土壤条件、植物生物学特性、农业措施密切相关,要尽快实现对胡麻连作障碍的有效调控,需要从生物学特性、病虫害及环境因子等多方面多角度多层面的系统研究。

4 结论

(1) 不同种植模式处理土壤水浸提液对胡麻种

子的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数有不同程度的抑制作用(表1,表2),高浓度处理比低浓度处理抑制作用更强,且抑制效应由大到小依次是胡麻连作>胡-麦间作>撂荒>小麦连作,说明胡麻连作更能产生连作障碍,自毒效应明显。

(2) 不同种植模式处理土壤水浸提液对胡麻幼苗的苗鲜重、根鲜重、根长有不同程度的抑制作用(表3,表4),且在高浓度主要抑制苗鲜重、根鲜重和根长,在低浓度主要抑制根鲜重、根长,说明高浓度土壤水浸提液进一步影响地上部生长。胡麻连作和撂荒处理对幼苗生长抑制要大于胡-麦间作和小麦连作处理。

(3) 不同处理土壤水浸提液对胡麻影响的综合效应随着浸提液浓度的升高而增大(表5),而小麦连作处理高浓度处理比低浓度处理抑制作用变化不明显,且综合效应由大到小依次是胡麻连作>撂荒>胡-麦间作>小麦连作。

(4) 不同种植模式可以减轻胡麻连作产生的化感伤害,其作用大小顺序为小麦连作>胡-麦间作>胡麻连作(表6)。

参考文献:

- [1] 高承芳,林仕欣,林碧芬,等. 3个多花黑麦草品种化感作用研究[J]. 草业科学, 2011, 28(9): 1676-1680.
- [2] Tilman D. Plant strategies and the dynamics and structure of plant communities [M]. USA: Princeton University Press, 1988. 37.
- [3] 张宝琛,白雪芳,顾立华,等. 生化他感作用与高寒草甸上人工草场自然退化现象的研究[J]. 生态学报, 1989, 9(2): 115-120.
- [4] 梁东升,王毅荣. 甘肃胡麻产量对气候变化的区域响应[J]. 中国农业气象, 2007, 28(4): 409-411.
- [5] 赵利,牛俊义,李长江,等. 地肤水浸提液对胡麻化感效应的研究[J]. 草业学报, 2010, 19(2): 191-193.
- [6] 赵宝平,齐冰洁. 小杂粮安全生产技术指南[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012.
- [7] 叶文斌,樊亮,叶建龙. Zn盐和干旱胁迫对纹党种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(2): 107-109.
- [8] 陈丽华,高秋雨,吴毅歆,等. 4种悬浮种衣剂对4种牧草萌发和幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报, 2016, 32(8): 1-7.
- [9] Ma R J, Wang M L, Zhao K, et al. Allelopathy of aqueous extract from *Ligularia virgaurea*, a dominant weed in pschro-grassland, on pasture plants [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(5): 845-850.
- [10] 张晓松,孟祥英,王薇,等. 丛枝菌根真菌对镉污染土壤

- 中黑麦草幼苗生长的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2015, 20 (6): 122-126.
- [11] 陈遂中, 谢慧琴, 王春娟, 等. 蔗草化感作用的研究 [J]. 草业科学, 2010, 27 (3): 50-54.
- [12] 张学文, 刘亦学, 刘万学, 等. 植物化感物质及其释放途径 [J]. 中国农学通报, 2007, 23 (7): 295-297.
- [13] Gershenzon J. Metabolic costs of terpenoid accumulation in higher plants [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1994, 20 (6): 1281-1328.
- [14] Anaya A L, Hernández - Bautista B E, Torres - Barragán A, et al. Phytotoxicity of cacalol and some derivatives obtained from the roots of *Psacalium decompositum* (A. Gray) H. Rob. & Brettell (Asteraceae), matarique or maturin [J]. *Journal of chemical ecology*, 1996, 22 (3): 393-403.
- [15] 杨凤军, 安子靖, 杨薇薇. 番茄连作对日光温室土壤微生物及土壤理化性状的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2016, (1): 42-46.
- [16] 阮弈平, 喻景权. 蔬菜连作障碍中中毒作用及其缓解措施研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [17] 赵尊练, 杨广君, 巩振辉, 等. 克服蔬菜作物连作障碍问题之研究进展 [J]. 中国农学通报, 2007, 23 (12): 277-281.
- [18] Li Q H, Wu F Z, Yang Y, et al. Effects of rotation and interplanting on soil bacterial communities and cucumber yield [J]. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 2009, 59: 431-439.
- [19] Latha P, Anand T, Rappathi N. Antimicrobial activity of plant extracts and induction of systemic resistance in tomato plants by mixtures of PGPR strains and Zimmu leaf extract against *Alternaria solani* [J]. *Biology Control*, 2009, 50 (2): 85-93.
- [20] 孔垂华. 植物与其它有机体的化学作用—潜在的有害生物控制途径 [J]. 中国农业科学, 2007, 40 (4): 737-739.
- [21] 张凤娟, 徐兴友, 陈凤敏, 等. 黄顶菊茎叶浸提液对白菜和水稻幼苗化感作用的初步研究 [J]. 西北植物学报, 2008, 28 (8): 1669-1674.
- [22] 李逢雨, 孙锡发, 冯文强, 等. 水稻秸秆水浸提液对小麦的化感作用研究 [J]. 西南农业学报, 2008, 21 (4): 960-964.
- [23] You H X, Liang Y L, Lü W, et al. Research on the allelopathy of root secretion of different crops on cucumber [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science)*, 2006, 34 (6): 101-105.

Allelopathy of soil aqueous extracts from different planting patterns on oil flaxseed

CHEN Jun, LUO Ying, WANG Li-guang, LI Jin-jing, YE Chun-lei, LUO Jun-jie* (Biotechnology Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070)

Abstract: Study on allelopathy of soil aqueous extracts from different planting patterns on flax were tested by the methods of bioassay. The results showed: 1) Different treatment of soil aqueous extracts had different degree's inhibition on flax seed germination, and high concentration treatment was more effective than that of low concentration treatment. Inhibition effect ranked as flax continuous cropping > flax-wheat intercropping > abandoned > wheat continuous cropping, which means that flax continuous cropping produced more continuous cropping obstacle, and the toxic effect was obvious; 2) Different treatment of soil aqueous extracts had different degree's inhibition of shoot fresh weight, root fresh weight and root length on flax seedling growth, and in high concentration mainly inhibited shoot fresh weight, root fresh weight and root length, at low concentrations mainly inhibited root fresh weight and root length. The effects of flax continuous cropping and abandoned was greater than those of flax - wheat intercropping and wheat continuous cropping; 3) The inhibition synthesis effect (SE) of different soil aqueous extracts increased with the rising of concentration, but the treatment of high concentration treatment was less than that of the low concentration treatment in wheat continuous cropping, and comprehensive effect from large to small in turn was flax continuous cropping > abandoned > flax - wheat intercropping > wheat continuous cropping; 4) Different planting patterns of soil obviously improved allelopathic effects of flax continuous cropping, and the effect ranked as wheat continuous cropping > flax-wheat intercropping > flax continuous cropping. In summary, flax continuous cropping obstacle occurred, rational crop rotation help to improve the flax allelochemicals accumulation caused by continuous cropping obstacle.

Key words: soil aqueous extracts; flax; planting patterns; allelopathy