

轮作小麦消减胡麻连作障碍的效应研究

王立光,叶春雷,陈军,李进京,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:为探讨轮作小麦对胡麻连作障碍的消减作用,通过田间试验研究了轮作小麦对胡麻株高和产量的影响,并通过测定土壤酶活性和土壤水提取液化感作用,探寻消减连作障碍的机制。结果表明:重茬种植胡麻导致连作障碍现象突出,表现为连作3a时株高、出苗率、千粒重和单株产量分别降低14.0%、7.75%、33.8%和43.2%,而第二年轮作小麦可以消减连作障碍,使下茬胡麻株高和产量保持在胡麻连作1a水平,分别为69.7cm和1.43g·株⁻¹。轮作小麦后土壤过氧化氢酶、脲酶和碱性磷酸酶活性分别为2.41mL·g⁻¹·h⁻¹、2.32mg·g⁻¹·d⁻¹和9.04mg·g⁻¹·d⁻¹,与连作1a胡麻地土壤酶活性无显著性差异,但连作将使部分土壤酶活性发生较大变化,表现为连作2a后土壤过氧化氢酶、土壤脲酶、碱性磷酸酶的活性分别降低至2.16mL·g⁻¹·h⁻¹、8.18mg·g⁻¹·d⁻¹和2.01mg·g⁻¹·d⁻¹,表明轮作小麦可通过保持部分土壤酶活性消减连作障碍,从而利于下茬胡麻生长。与胡麻连作相比,轮作小麦使土壤水提取液对胡麻种子萌发和幼苗生长的化感自毒作用减弱,并表现出综合化感效应为0.21%的促进作用,使发芽指数(46.0)、发芽势(92.0%)、活力指数(3.36)、根长(8.35cm)及根重(23.17mg)等指标与CK和TC1处理下无显著性差异,而连作加剧土壤水提取液自毒作用,对胡麻种子萌发和幼苗生长的抑制作用增强,且综合化感效应随连作年限增加分别降低至-8.61%和-17.01%,表明轮作小麦可以通过影响土壤自毒作用消减胡麻连作障碍。综上所述,胡麻重茬种植将导致明显的连作障碍,合理轮作小麦有利于维持胡麻地土壤酶活性、降低土壤自毒作用,从而消减胡麻连作障碍的发生。

关键词:胡麻;连作障碍;小麦;轮作;土壤酶;化感效应

中图分类号:S344 **文献标志码:**A

The effect of rotation wheat on reducing continuous cropping obstacle of oil flax

WANG Liguang, YE Chunlei, CHEN Jun, Li Jinjing, LUO Junjie

(Biotechnology Research Institute Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: In order to explore the effects of wheat rotation for reducing continuous cropping obstacle of oil flax, field experiments were conducted. The plant height and yield of oil flax were studied, and soil enzyme activity and the allelopathy of water extracts of soil were analyzed. The results showed that heavy stubble cultivation of oil flax caused the phenomenon of continuous cropping obstacle. Oil flax continuous cropping for three year showed that the plant height, the rate of emergence, the thousand grain weight and the per plant yield decreased by 14.0%, 7.75%, 33.8% and 43.2%, respectively. Wheat rotation eliminated continuous cropping obstacle, so that the plant height and yield remained at the level of first year, which was 69.7 cm and 1.43 g·plant⁻¹, respectively. After wheat rotation, catalase, urease and alkaline phosphatase activities in the soil were 2.41 mL·g⁻¹·h⁻¹, 2.32 mg·g⁻¹·d⁻¹ and 9.04 mg·g⁻¹·d⁻¹, respectively. There was no significant difference between the soil enzyme activity in the soil of continuous cropping of oil flax for one year. Continuous cropping led to major changes in soil enzyme activity. The activity of soil catalase, urease and alkaline phosphatase decreased to 2.16 mL·g⁻¹·h⁻¹, 8.18 mg·g⁻¹·d⁻¹ and 2.01 mg·g⁻¹·d⁻¹, respectively. This indicates that wheat rotation can reduce continuous cropping obstacle by maintaining part of soil enzyme activity, which is beneficial to the growth of the next year's oil flax. Compared with continuous cropping, wheat rotation weakens the allelopathic self-toxicity of soil water extracts on oil flax seed germination and seedling growth, and shows a comprehensive allelopathic effect of 0.21% promotion, which reduces the germination index (46.0), germination potential (92.0%), vigor index (3.36), root length (8.35 cm) and root weight (23.17 mg) etc. indicators compared with CK and TC1 treatment. Continuous cropping aggravates the self-toxicity of soil water extracts, and the inhibitory effect on oil flax seed germination and seedling growth is enhanced, and the comprehensive allelopathic effect increases with the continuous cropping years, respectively decreasing to -8.61% and -17.01%. This indicates that wheat rotation can reduce continuous cropping obstacle of oil flax by affecting soil self-toxicity. In conclusion, heavy stubble cultivation will lead to obvious continuous cropping obstacle, and reasonable rotation wheat is beneficial to maintain soil enzyme activity of oil flax, reduce soil self-toxicity, and thus reduce the occurrence of continuous cropping obstacle.

收稿日期:2018-11-20

修回日期:2020-02-02

基金项目:甘肃省农业科学院中青年基金(2016GAAS53);国家现代农业产业技术体系(GARS-17-SYZ-6);国家自然科学基金(31660391,31460350);甘肃省农业科学院科技创新工程(2015GAAS02)

作者简介:王立光(1982-),男,山东临沂人,助理研究员,博士,主要从事植物生理及分子生物学研究。E-mail:wodepengyouwlg@163.com

通信作者:罗俊杰(1962-),男,陕西华县人,研究员,主要从事农业生态、作物栽培与耕作研究。E-mail:sjlsjlie@gsagr.ac.cn

$\text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ and $2.01 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ after continuous cropping of oil flax for two years. This indicated that wheat rotation reduced continuous cropping obstacle by maintaining soil enzyme activity, which was conducive to the growth of next stubble oil flax. Compared with continuous cropping of oil flax, rotation with wheat reduced the allelopathy autotoxicity of aqueous extracts from soil on seed germination and seedling growth of oil flax, and showed 0.21% synthesis effect that promoted action. The germination index (46.0), germination potential (92.0%), vitality index (3.36), root length (8.35 cm) and root weight (23.17 mg) were not significantly different from that of CK and TC1 conditions. Continuous cropping enhanced water extractable toxin in soil, which had a negative effect on the germination and seedling growth of oil flax. The synthesis effect was reduced to -8.61% and -17.01% with the increase of years of continuous cultivation, and the inhibition effects were enhanced. It was indicated that rotation of wheat could reduce the continuous cropping obstacle of oil flax by reducing the autotoxicity. In summary, heavy crop cultivation of oil flax led to obvious continuous cropping obstacle. Reasonable rotation with wheat helped to maintain the soil enzyme activity and reduce the autotoxicity of oil flax land, thus, reducing the occurrence of continuous cropping obstacle in oil flax.

Keywords: oil flax; continuous cropping obstacle; wheat; crop rotation; soil enzyme; autotoxicosis

胡麻 (*Linum usitatissimum*) 为亚麻科亚麻属植物,是北温带地区 1 a 生自花授粉草本油用纤维作物。在我国,胡麻是西北和华北黄土高原地区重要的经济作物和油料作物,西北地区种植面积最大,华北次之。胡麻油因含有多种不饱和脂肪酸、维生素及木酚素等营养成分,食用可以预防高血脂症和动脉粥样硬化,成为人们越来越喜爱的商品食用油,致使对胡麻的需求量急剧增加^[1]。但随着胡麻需求的不断增长和耕地面积的减少,胡麻连作障碍现象突出,导致胡麻产量下降,品质降低,已经成为制约胡麻生产的主要问题。

连作障碍是农业生产过程中经常出现的一种现象,早在公元前 300 年就被人们所认识。随着集约化种植程度提高,现代农业呈现单一连作种植特点,造成连作障碍现象越来越严重^[2]。研究表明,轮作是一种传统而有效的农业种植模式,由于不同作物类型对土壤理化性质和酶活性等的影响也有很大区别^[3],利用不同作物轮作是克服连作障碍的有效途径之一^[4-6]。选择正确的作物进行轮作不仅有利于提高农业生态系统的生产力,提高作物产量,也可以有效改善生态环境,消减连作障碍的危害。报道显示合理轮作是减轻黄瓜、烤烟、三七及马铃薯等作物连作障碍的有效措施^[5,7-10]。在长期的种植和研究中,科研人员对胡麻品种选育^[11-13]、规范化种植^[14]、深加工及胡麻油使用价值^[1,15-16]等方面做了大量工作,并取得一系列科研成果,但对胡麻连作障碍的报道还比较少。实际生产过程中发现,随着胡麻种植年限增加,胡麻生长出现明显减退,胡麻连作障碍现象突出,而轮作小麦可以消减连作障碍的影响,但胡麻连作障碍现象和轮作小

麦消减效果及其原因的研究较少,因此,本试验通过研究胡麻连作及轮作小麦对胡麻生长及产量、土壤酶活性、土壤自毒作用的影响,以期建立合理可行的减缓胡麻连作障碍的种植方式,为胡麻栽培及连作障碍的有效调控提供理论依据及技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验品种

试验用胡麻品种为陇亚 10 号,该品种抗倒伏、抗旱、落黄好、高抗枯萎病,适于甘肃省低位山、中位山旱地种植。小麦品种为陇春 20 号,由甘肃省农科院提供。

1.2 田间试验处理

田间试验设置胡麻连作 1 a (TC1)、胡麻连作 2 a (TC2)、胡麻连作 3 a (TC3) 和胡麻-小麦轮作 (TR, 首年种植胡麻, 下年种植小麦, 以此类推) 处理, 每个处理重复 3 次, 随机区组排列, 小区面积 27 m^2 ($6 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$)。为防止小区间相互影响, 小区间用宽 60 cm、高 50 cm 土埂分割。胡麻种植时每小区播种相同数量胡麻种子, 萌发一个月后统计出苗率及测定株高, 每隔一个月测定株高 1 次, 直至收获。收获后对胡麻每株产量及千粒重进行测定、统计分析。

1.3 土样采集

在收获后分别采集各处理的根际土壤, 土壤样品采集采用“S”型布点, 保证各处理 10~12 个采样点, 每个小区采样土壤充分混合, 剔除枯叶、腐叶。一部分土壤用于测定酶活性, 一部分用于水提液制备。

1.4 土壤酶活性测定

土壤过氧化氢酶活性采用高锰酸滴定法测

定^[17];碱性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定^[18];脲酶活性采用靛酚蓝比色法测定^[17];蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定^[17]。

1.5 土壤水提液制备及自毒作用测定

分别称取 40 g 根际土壤置于棕色试剂瓶内,加入 400 mL 蒸馏水,充分震荡后置于摇床振荡提取 48 h,过滤获得 $100 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液母液 ($1 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 为 1 mL 蒸馏水中含有 1 g 所采样品干物质的提取液),于 4℃ 冰箱保存,用于后续试验。选取大小一致的胡麻种子(陇亚 10 号),经 20% NaClO 消毒 15 min,灭菌蒸馏水漂洗 5 次,均匀摆放在铺有两层滤纸,大小一致的 90 mm 灭菌培养皿中,每皿摆放 40 粒,分别加入不同浓度的提取液 8 mL,对照组为蒸馏水(CK),每个处理 3 次重复。将培养皿置于 25℃ 恒温,光照 12 h,黑暗 12 h 的人工气候室培养箱内培养,种子萌发以胚根突破种皮为标准。种子萌发过程中,每隔 1 d 加入对应的 3 mL 提取液,保持滤纸湿润,每隔 24 h 统计 1 次发芽数,第 3 天统计发芽势(GP),第 7 天统计发芽率(GR)和发芽指数(GI),挑选第一天萌发的幼苗 10 株,吸水纸吸干,测定根长(RL)、株高(SL)、根鲜重(RW)和苗鲜重(SW)。计算各处理发芽指数和活力指数(VI)并计算各指标的抑制率。计算公式如下:

发芽率(GR) = 7 d 正常发芽种子数/供试种子数 × 100%

发芽势(GP) = 前 3 d 内正常发芽种子数/供试种子数 × 100%

$$\text{发芽指数 (GI)} = \sum (Gt/Dt)$$

式中, G_t 为在第 t 天发芽的种子数; D_t 为相应的发芽天数。

$$\text{活力指数 (VI)} = GI \times S$$

式中, S 为第 7 天测得的整株幼苗鲜重(g)。

$$\text{化感作用抑制率 (RI)} = (T_i/T_0 - 1) \times 100\%$$

式中, T_i 为测试项目的处理值, T_0 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,表明其化感作用潜力(促进或抑制)越大。

综合效应(SE):以供体对同一受体各测试项目(发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、根长、苗高、根鲜质量、苗鲜质量)的抑制百分率(RI)的算术平均值表示。 $SE < 0$ 时表示抑制作用, $SE > 0$ 时表示促进作用,绝对值的大小代表综合化感作用强弱。

1.6 数据分析

利用 Microsoft Excel 软件对原始数据进行处理,通过 SPSS 20.0 软件,对数据进行单因子方差分析,用新复极差法(Duncan)做显著性分析,利用软件 sigmaplot 10.0 和 Adobe Photoshop 作图。

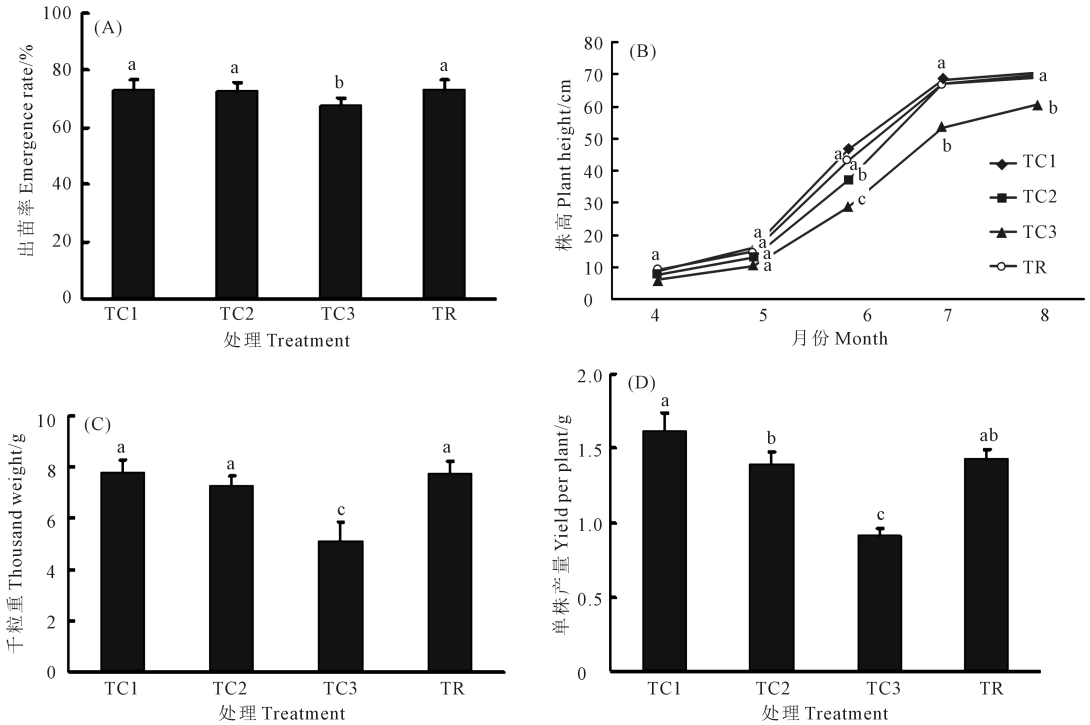
2 结果与分析

2.1 轮作小麦对胡麻生长及产量的影响

图 1 表明,随着胡麻连作年限的增加,表现出连作障碍,而轮作小麦具有显著的消减作用。TC3 处理出苗率降低至 67.8%,而 TR 处理出苗率较 TC3 显著增加,为 73.2%,与 TC1 (73.5%) 和 TC2 (72.9%) 处理无显著差异(图 1A)。整个生长过程发现,萌发 2 个月内 TC3 处理株高虽略矮,但与同时期其他处理组间胡麻株高没有明显差异,生长 1 个月平均株高都在 7 cm 左右,生长 2 个月平均株高达到 12 cm 左右,从第 3 个月开始的后期生长过程中,TC3 平均株高显著低于其他处理组,而 TR 处理胡麻株高与 TC1 无显著差异,收获时 TC3 胡麻株高仅为 60.7 cm,而 TR、TC1 和 TC2 处理的平均株高分别为 69.7、70.6 cm 和 69.1 cm(图 1B)。收获后统计籽粒千粒重及单株胡麻籽粒产量发现,随着连作年限增加,胡麻籽粒千粒重降低,而 TR 处理可以明显提升籽粒千粒重(图 1C);TR 处理单株产量与千粒重的表现一致(图 1D)。

2.2 轮作小麦对土壤酶活性的影响

胡麻连作导致土壤酶活性发生变化,轮作小麦可以消减连作对土壤酶活性的影响(图 2)。土壤蔗糖酶测定表明,TC2 处理其活性与 TC1 无显著差异,而 TC3 处理其活性降低至 $20.52 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,TR 处理与 TC1 土壤蔗糖酶活性分别为 $24.48 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $24.61 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (图 2A)。过氧化氢酶活性随着连作年限增加逐渐降低,从 TC1 的 $2.35 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 降低到 TC2 的 $2.16 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,TC3 处理其活性只有 $1.90 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,轮作小麦后活性明显高于连作胡麻,其活性达到 $2.41 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,与 TC1 土壤中过氧化氢酶活性无显著差异(图 2B)。土壤脲酶活性随着连作年限增加表现出先降低后升高的趋势,而轮作小麦可以消减其活性降低的趋势,使酶活性保持在 TC1 处理土壤脲酶活性的水平(图 2C)。轮作小麦后土壤碱性磷酸酶活性与 TC1 处理无显著差异,且明显高于 TC2 和 TC3 处理(图 2D)。



注:不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

Note: Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$), the same below.

图 1 各处理胡麻出苗率、株高及产量

Fig.1 The emergence rate, plant height and yield of different treatments

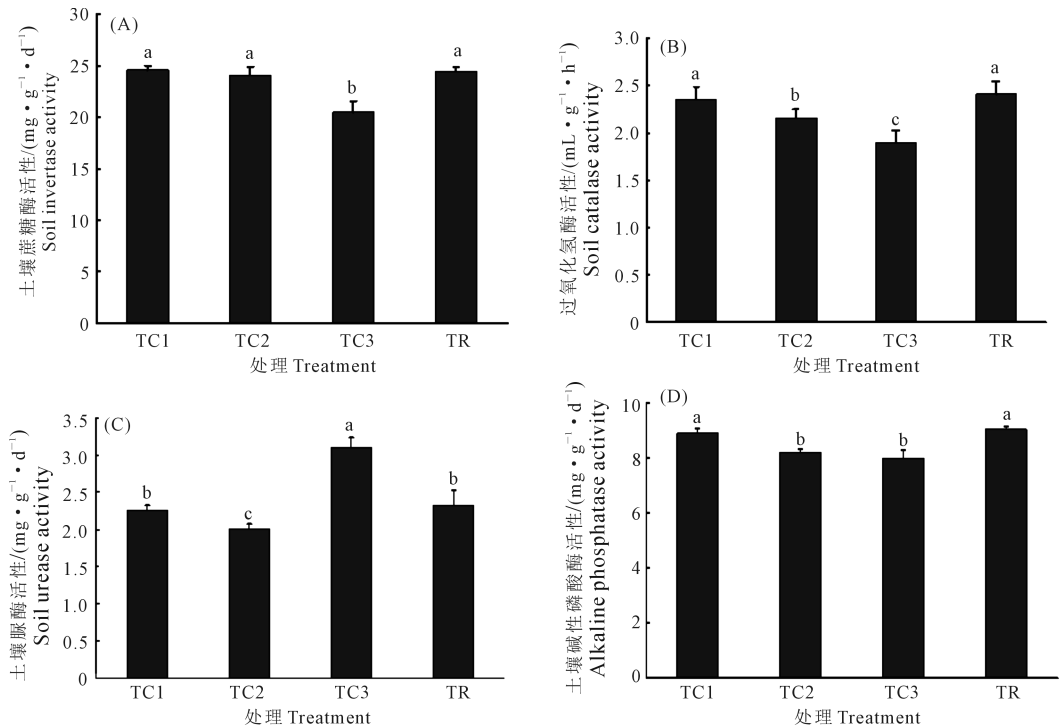


图 2 各处理的土壤酶活性

Fig.2 Soil enzyme activity of different treatments

2.3 土壤水提液对胡麻的化感效应

TR 和 TC2、TC3 处理土壤水提液对胡麻种子发芽指数 (GI)、发芽势 (GP)、发芽率 (GR) 和活力指数

(VI) 表现出不同的化感作用, 轮作可以消减由于连作导致的土壤水提液对种子萌发抑制作用增强的趋势 (表 1)。与 CK 和 TC1 相比, TR 处理土壤水提

液对种子萌发各项指标几乎没有改变,3 组处理间无显著性差异。随着连作年限的增加,土壤水提液对种子萌发表现出明显的抑制作用,导致发芽指数、发芽率、发芽势和活力指数降低,且抑制作用随着连作年限增加而增强。由表 2 可见,在相同水提液浓度下,TR 处理土壤水提液对种子发芽势和发芽率表现出的化感作用抑制率为-4.17%,明显低于 TC2 (-5.21%) 和 TC3 (-9.38%) 水提液的抑制率,但高于 TC1 (-2.08%) 的水提液抑制率;对于发芽指数抑制率和活力指数抑制率,TR 的化感作用抑制率最低,分别为-1.50% 和 1.51%,且明显低于 TC1 水提液对发芽指数(-7.50%) 和活力指数(-1.51%) 的抑制率。

表 2 土壤水提液对种子萌发和幼苗生长的化感自毒效应抑制率/%

Table 2 The inhibition rate of allelopathy autotoxicity of aqueous extracts from soil on seed germination and seedling growth

处理 Treatment	GI	GP	GR	VI	GL	GW	SL	SW
TC1	-7.49±2.08b	-2.08±0.8a	-2.08±0.85a	-1.51±1.46a	0.72±0.46a	-9.47±1.37b	6.80±0.83a	6.99±1.23a
TC2	-15.42±0.76c	-5.21±0.4c	-5.21±0.42c	-22.66±2.31b	-18.04±1.36b	-14.90±0.92c	4.73±0.32b	7.79±1.57a
TC3	-22.48±1.03d	-9.37±1.1d	-9.38±1.13d	-34.44±1.73c	-24.13±1.17c	-25.21±1.76d	-6.21±1.67c	-4.85±1.06b
TR	-1.50±0.95a	-4.17±0.6b	-4.17±0.61b	1.51±1.66a	-0.24±0.57a	-1.66±1.85a	5.33±1.01a	6.55±1.27a

由表 3 可见,TR 土壤水提液对胡麻苗高和苗重的影响与 CK、TC1 和 TC2 土壤水提液的影响相比无显著性差异,苗高和苗重都分别维持在 3.50 cm 和 50.0 mg 左右,但与 TC3 土壤水提液处理具有显著性差异。TR 土壤水提液对胡麻根长和根重的影响与 TC2 和 TC3 具有显著性差异,与 CK 和 TC1 土壤水提液处理无显著性差异。以 CK 为对照,TR 土壤水提液对胡麻幼苗苗高和苗重表现出促进作用,与 TC1 无显著性差异;TC3 土壤水提液对胡麻幼苗苗高和苗重表现出抑制作用,TC2 土壤水提液对苗高的促进作用明显弱于 TR 和 TC1,对苗重的影响与 TR 和 TC1 无显著差异。TR 土壤水提液对胡麻幼苗根长和根重表现出微弱的抑制作用,但其绝对值与 CK 和 TC1 差异不显著,与 TC2 和 TC3 差异显著。

各处理土壤水提液对胡麻影响的综合效应为:TR≥TC1>TC2>TC3(图 3)。TR 处理土壤水提液综合效应表现为 0.21% 的微弱促进作用,TC1 处理土壤水提液综合效应为-1.02% 的弱抑制作用,而 TC2 和 TC3 土壤水提液综合效应表现为强的抑制作用,分别为-8.61% 和-17.01%,且连作年限越久,抑制作用越强,说明轮作小麦改善了土壤的自毒效应,而连作种植加剧土壤的自毒作用。

3 讨论与结论

连作种植往往造成土壤环境恶化,导致生长发育状况变差,继而下茬产量下降,品质劣化。实施合

表 1 土壤水提液对种子萌发的影响

Table 1 Effects of aqueous extracts from soil on seed germination indices

处理 Treatment	发芽指数 GI	发芽势 GP/%	发芽率 GR/%	活力指数 VI
CK	46.7±1.26a	96.0±1.32a	96.0±1.32a	3.31±0.43a
TC1	43.2±2.01a	94.0±0.68a	94.0±0.68a	3.26±0.17a
TC2	39.5±0.76b	91.0±0.47b	91.0±0.47b	2.56±0.25b
TC3	36.2±1.07c	87.0±1.13c	87.0±1.13c	2.17±0.31c
TR	46.0±0.92a	92.0±0.68a	92.0±0.68a	3.36±0.26a

注:每列不同字母表示各处理间差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Different letters in each column indicate significant differences ($P<0.05$). The same below.

表 3 土壤水提液对幼苗生长的影响

Table 3 Effects of aqueous extracts from soil on seedling growth

处理 Treatment	苗高/cm Shoot length	苗重/mg Shoot weight	根长/cm Root length	根重/mg Root weight
CK	3.38±0.15a	47.63±1.62ab	8.37±0.41a	23.56±1.32a
TC1	3.61±0.28a	50.96±1.53a	8.43±0.54a	21.33±1.03ab
TC2	3.54±0.12a	51.34±1.85a	6.86±0.37b	20.05±0.92b
TC3	3.17±0.17b	45.32±1.23b	6.35±0.28b	17.62±1.73c
TR	3.56±0.11a	50.75±1.61a	8.35±0.60a	23.17±1.13a

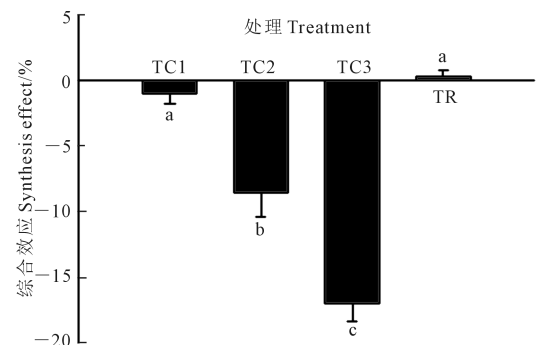


图 3 各处理胡麻生长的综合效应

Fig.3 Synthesis effect of different treatments on oil flax growth

理的轮作制度,既可以调节农田生态环境,改善土壤肥力、调节土壤酶活性,减少自毒物质积累,有利于作物生长和有益微生物的繁衍,又可以减少病原物存活,减少病害,提高作物产量^[7,19-23]。本研究大田试验结果表明:胡麻连作导致连作障碍,对胡麻

生长和产量造成不利影响,致使植株变矮,产量下降,而轮作小麦可以消减连作障碍的影响(图1)。

土壤酶在驱动土壤代谢、生物循环及土壤肥力等方面起着重要作用^[24-25],土壤酶活性通常被作为衡量土地肥力的指标。蔗糖酶参与土壤中碳水化合物的转化,使蔗糖水解为葡萄糖和果糖,转化为植物和微生物能利用的营养物质,其活力强弱反映土壤熟化程度和肥力水平^[26]。本研究表明,TC3处理土壤蔗糖酶活性下降,TR与TC1或TC2的蔗糖酶活性没有显著性差异。过氧化氢酶可以将过氧化氢分解为水和氧气,解除过氧化氢的毒害作用,其活性在一定程度上反映了土壤微生物代谢的强度^[27]。本研究结果显示,随着连作年限的增加,过氧化氢酶活性呈下降趋势,而TR处理过氧化氢酶活性未降低,保持在TC1酶活性水平。脲酶是土壤酶中唯一对尿素的转化作用具有重大影响的酶,尿素肥料只有经过脲酶水解才能被作物吸收利用,但脲酶活性过强,也会导致局部氨浓度增高不利于作物生长。本研究表明,随着连作年限增加,脲酶活性先降低后升高,而TR处理脲酶活性未发生变化,保持在连作1a酶活性水平。土壤磷酸酶可以酶促分解各种有机磷化合物,为植物提供有效磷^[28]。本研究表明,连作导致土壤碱性磷酸酶活性降低,但轮作无显著影响。本试验中胡麻连作年限与酶活性的关系与黄玉茜等^[29]对花生连作研究和高杨等^[30]关于荞麦连作对酶活性研究结果一致。通过4种土壤酶活性测定发现,轮作小麦处理酶活性保持在TC1处理土壤酶活性水平,这表明TR处理对胡麻连作障碍的消减作用,部分是通过保持土壤酶活性实现的。

化感自毒作用被认为是连作障碍的重要因素之一。自毒物质通过挥发、根系分泌、地上部分淋洗和植物残体分解等途径向环境中释放,对植物种子萌发及生长产生影响。郭俊霞等^[31]研究表明,丹参连作土壤水提液对其幼苗生长具有抑制作用。马铃薯、花生、棉花、半夏和人参根系分泌物都具有明显的自毒作用,影响种子萌发及植株生长^[32-36]。种子萌发及幼苗生长试验表明,随着胡麻种植年限的增加,土壤水提液对自身种子萌发和幼苗生长的化感自毒作用增强,抑制种子萌发及幼苗生长,而轮作小麦可以减弱自毒作用。本试验综合化感效应显示,连作后土壤水提液出现抑制作用,且化感自毒作用随着连作年限增加而逐渐增强,但是轮作小麦后,可以在一定程度上缓解自毒作用,表现出促进作用。该研究成果证实,轮作小麦可以通过改

善土壤的化感自毒作用,消减胡麻连作障碍,从而利于植株生长和增加产量。轮作小麦可能通过减少土壤自毒物质的进入消减土壤内已有的自毒物质,从而达到对胡麻连作障碍的消减作用,当然也可能还存在其他方面的作用机制。因此,在胡麻种植中,利用小麦构建合理的轮作倒茬种植模式,有利于消减胡麻连作障碍的发生,对胡麻生产具有重要意义。

参考文献:

- [1] 孟甜. 胡麻油营养分析及应用研究进展[J]. 粮食与油脂, 2015, (5): 5-8.
- [2] Bennett A J, Bending G D, Chandler D, et al. Meeting the demand for crop production: the challenge of yield decline in crops grown in short rotations [J]. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 2012, 87(1): 52-71.
- [3] Xiao L, Huang Y, Zeng Q, et al. Soil enzyme activities and microbial biomass response to crop types on the terraces of the Loess Plateau, China [J]. *Journal of Soils & Sediments*, 2018, 18(5): 1971-1980.
- [4] 郭宏波, 张跃进, 梁宗锁, 等. 水旱轮作减轻三七连作障碍的潜势分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2017, (1): 161-169.
- [5] 张子龙, 李凯明, 杨建忠, 等. 轮作对三七连作障碍的消减效应研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, 37(8): 39-46.
- [6] 王丽红, 郭晓冬, 谭雪莲, 等. 不同轮作方式对马铃薯土壤酶活性及微生物数量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(5): 109-113.
- [7] 曹莉, 秦舒浩, 张俊莲, 等. 轮作豆科牧草对连作马铃薯田土壤微生物菌群及酶活性的影响[J]. 草业学报, 2013, 22(3): 139-145.
- [8] 齐虹凌, 贺国强, 李恒全, 等. 轮作与连作对烤烟不同生育期根际土壤细菌群落结构的影响[J]. 中国烟草学报, 2015, 21(5): 42-48.
- [9] 吴凤芝, 王学征. 黄瓜与小麦和大豆轮作对土壤微生物群落物种多样性的影响[J]. 园艺学报, 2007, 34(6): 1543-1546.
- [10] 万年鑫, 郑顺林, 周少猛, 等. 薯玉轮作对马铃薯根区土壤养分及酶活效应分析[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2016, 42(1): 74-80.
- [11] 伊六喜, 斯钦巴特尔, 贾霄云, 等. 胡麻种质资源、育种及遗传研究进展[J]. 中国麻业科学, 2017, 39(2): 81-87.
- [12] 罗俊杰, 欧巧明, 叶春雷, 等. 重要胡麻栽培品种的抗旱性综合评价及指标筛选[J]. 作物学报, 2014, 40(7): 1259-1273.
- [13] Zhang J, Long Y, Wang L, et al. Consensus genetic linkage map construction and QTL mapping for plant height-related traits in linseed flax (*Linum usitatissimum* L.) [J]. *BMC. Plant Biology*, 2018, 18(1): 160.
- [14] 谢亚萍, 吴兵, 牛俊义, 等. 施氮量对旱地胡麻养分积累、转运及氮素利用率的影响[J]. 中国油料作物学报, 2014, 36(3): 357-362.
- [15] 万楚筠, 黄凤洪, 张明, 等. 亚临界流体萃取胡麻籽低温压榨饼中油脂[J]. 农业工程学报, 2014, 30(21): 324-331.
- [16] 王霞, 苏玉彤, 崔岩. 胡麻营养价值及套种向日葵和小麦高产高效栽培技术[J]. 特种经济动植物, 2014, 17(12): 32-33.
- [17] 赵兰坡, 姜岩. 土壤磷酸酶活性测定方法探讨[J]. 土壤通报, 1986, 17(3): 138-141.
- [18] 关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 310-313.