

秸秆还田对棉花生长的化感效应

李彦斌^{1,2}, 刘建国^{1,*}, 程相儒², 张伟¹, 孙艳艳¹

(1. 新疆兵团绿洲生态农业重点实验室, 石河子大学, 新疆石河子 832003; 2. 五家渠市气象局, 新疆五家渠 831300)

摘要:研究了秸秆不同还田量及不同腐解时间对后茬棉花抗氧化酶活性和光合生理特性的影响。结果表明, 棉花秸秆腐解产物, 在一定程度上抑制了棉花种子的萌发, 延长了种子出苗时间, 影响棉花植株生长。随着秸秆腐解时间延长和秸秆还田数量增加, 棉花单叶净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和胞间 CO_2 浓度降低。当加入秸秆量为 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 净光合速率略高于对照, 随着秸秆还田量的增加, 又呈现下降趋势, 表现出一定“浓度效应”, 其中加入秸秆量为 $90 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 净光合速率下降最明显, 腐解 30d 和 60d 净光合速率分别比对照减少了 26.8% 和 43.4%; 随着秸秆还田量的增多和秸秆腐解时间延长, POD 活性增加, SOD 活性和根系活力呈现下降趋势, 叶片 MDA 含量却升高。表明棉花秸秆还田后分解产生的化学物质具有一定的自毒效应, 对连作棉花种子萌发、抗氧化酶活性和光合生理造成影响。

关键词: 棉花; 秸秆还田; 化感作用; 酶活性

文章编号: 1000-0933(2009)09-4942-07 中图分类号: Q142, Q948, S314 文献标识码: A

The allelopathic effects of returning cotton stalk to soil on the growth of succeeding cotton

LI Yan-Bin^{1,2}, LIU Jian-Guo^{1,*}, CHENG Xiang-Ru², ZAHGN Wei¹, SUN Yan-Yan¹

1 Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xinjiang Bingtuan, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China

2 Wujiaqu Meteorological Bureau, Wujiaqu, Xinjiang 831300, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 4942 ~ 4948.

Abstract: A pot experiment was conducted to investigate effects of addition rates of cotton stalk and the decomposed days of cotton stalk on the antioxidant enzyme activity and physiological parameters relative to photosynthesis of cotton. Results showed that substances from decomposed cotton stalk inhibited the germination of seeds and the growth of seedling for cotton to some extent. With increasing decomposed days of cotton stalk, and rate of stalk added, the net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), Transpiration rate (Tr) and intracellular CO_2 (C_i) in succeeding cotton leaves decreased respectively. When stalk addition rate was $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, P_n value was slightly higher than control (without cotton stalk addition), while when stalk addition rates increased progressively, P_n value decreased correspondingly. At the addition rate of $90 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, P_n value of succeeding cotton leaves decreased 26.8% and 43.4% respectively at 30-day and 60-day decomposed time. With increasing stalk rate and decomposed time, POD activity increase, SOD and root vigor was declined too, but MDA content in leaf was enhanced. The results suggested that the decomposing substances after cotton stalks returned to soil have autotoxic effect. Cotton seed germination and photosynthesis physiological activities were affected by decomposed substances of cotton stalks.

Key Words: cotton; return stalk to soil; allelopathic effect; enzyme activity

作物秸秆富含多种养分和生理活性物质, 实行秸秆还田能改善土壤物理性状, 补充土壤养分, 提高土壤的

基金项目: 国家“973”计划前期研究专项资助项目(2006CB708401)

收稿日期: 2008-10-07; 修订日期: 2008-12-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: l-jianguo@126.com

生物有效性,增加作物产量等作用^[1~7]。同时,通过秸秆还田,可充分利用秸秆资源,减轻焚烧秸秆对生态环境的负面影响,是发展有机可持续农业不可替代的有效途径^[8]。但是,秸秆还田后作物秸秆经过雨水的淋浸和微生物的腐解而释放出来的化学物质,常常对下茬作物产生不良影响^[9~11],前人研究小麦秸秆还田后自毒作用增强,导致小麦自身发芽和生长受阻^[12],麦棉套作中小麦分泌的化感物质可抑制棉花苗期的生长,造成棉花弱苗晚发^[13],玉米秸秆对小麦幼苗生长有抑制作用,但可促进大豆和玉米幼苗生长,秸秆对作物的他感效应,随着时间的推移而减弱^[14]。棉花具有一定的化感自毒效应^[15],其化感物质随着连作年限和棉秆还田量增加而在土壤中积累,并对土壤生物活性造成影响^[16]。

在新疆绿洲棉田生态系统中,棉花长期连作的负面效应与棉花秸秆还田的正面效应同时存在^[16]。秸秆直接还田后在土壤中的转化是一个复杂的生物化学过程,秸秆还田后土壤生物化学性质的动态变化规律对于评价秸秆直接还田技术措施的效果具有重要意义,有学者就棉花秸秆还田对土壤养分、土壤物理性状及秸秆还田效益作了研究报导^[18,19],但对棉花秸秆还田量及不同促腐时间后对棉花生长的化感效应还未见报道。为此,本研究模拟棉花秸秆在不同腐解时间、不同秸秆还田量对棉花抗氧化酶活性和光合生理特性影响,初步探索棉花秸秆还田后化感作用的机理,旨在为揭示棉花连作障碍和科学合理的秸秆还田提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于新疆石河子,东经 85°59'50",北纬 44°18'58",海拔 443m,年平均日照时间达 2865 h,大于 10℃ 积温为 3480℃,无霜期达 160d,多年平均降水量 208mm,平均蒸发量 1660 mm,属温带大陆性气候,光照资源丰富而降雨稀少,温度日较差大,为典型的绿洲灌溉农业区。试验于 2006~2007 年在石河子大学农学院实验站温室内进行,供试棉花品种为新陆早 13 号,供试土壤为壤土,土壤有机质 13.4 g·kg⁻¹,全氮 0.92 g·kg⁻¹,全磷 0.71 g·kg⁻¹,碱解氮 78.0 mg·kg⁻¹,速效磷 66.5 mg·kg⁻¹,速效钾 170.2 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

取风干粉碎的棉花秸秆与过筛的土壤(前茬玉米)充分混合,配制成 10、30、90 g·kg⁻¹ 3 个浓度梯度,在室温下浇水,腐解 30d(T)和 60d(S),共计 8 个处理,分别为:T-ck(腐解 30d,对照)、T-10(腐解 30d + 10g 秸秆,后相同)、T-30、T-90、S-ck(腐解 60d,对照)、S-10(腐解 60d + 10g 秸秆)、S-30 和 S-90,腐解后的土壤装入瓦盆中,瓦盆内径 28cm,高 36cm,每盆装土 15kg,每盆播种 6 粒,留苗 3 株,重复 8 次。播种后测定出苗率、苗高、植株干重等生物学指标;分别在苗期、现蕾期、开花期测定叶片和根系超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性,叶片丙二醛(MDA)含量、根系活力和叶绿素含量,在现蕾期测定单叶光合速率等指标。

1.3 测试方法

超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、丙二醛(MDA)含量和根系活力的测定采用李合生等^[20,21]的方法,叶绿素含量采用丙酮提取法,单叶净光合速率等指标用 LI-6400 光合仪(LI-6400 portable photosynthesis system, 美国 LI-COR 公司产)测定。

1.4 数据处理统计分析方法

数据处理采用 Spss 6.12 统计分析软件分析。

2 结果与分析

2.1 棉花秸秆还田对种子萌发和植株生长的影响

不同数量秸秆还田和不同腐解时间对棉花种子的发芽率没有影响(表 1),但影响棉花的出苗时间,随秸秆还田量增加,棉花种子出苗时间延长,特别是加入秸秆量达 90 g·kg⁻¹时,腐解 30d 和 60d 分别比对照晚出苗 1d 和 2d,且幼苗长势较弱,部分黄化,带壳苗较多。从现蕾期取样来看,棉花的干物质积累量随棉花秸秆还田量增加,与对照相比呈现先升高再降低的趋势,加入 10 g·kg⁻¹秸秆处理棉花植株干重高于对照,而加入 30 g·kg⁻¹和 90 g·kg⁻¹秸秆时植株干重比对照低,表现为秸秆在土壤中的浓度对棉花生长呈现出低浓度促进、高浓度抑制的“浓度效应”,与棉花秸秆浸提液对棉花种子萌发的影响结果一致^[22]。腐解 30d 处理的棉花干

物质积累量高于腐解 60d,各处理间降幅分别为 7.9%、14.1% 和 15.2%。说明棉花秸秆腐解产物,在一定程度上抑制了棉花种子的萌发,延长了出苗时间,影响了植株个体生物量的积累。

2.2 秸秆还田对棉花叶片光合速率及气体交换参数的影响

棉花秸秆不同还田量和不同腐解时间对棉花光合速率和气体交换参数有不同程度的影响(表 2)。棉花秸秆腐解 60d 的处理,净光合速率低于腐解 30d;随着秸秆还田量的增加,棉花叶片光合速率呈先升高后下降趋势,当加入秸秆量为 $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,净光合速率略高于对照,随着秸秆量的增加,又呈现下降趋势,其中加入秸秆量为 $90\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,腐解 30d 和 60d 净光合速率分别比对照减少了 26.8% 和 43.4%,差异达到显著水平。气孔导度、胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率的变化趋势也与净光合速率变化基本一致。水分利用效率随秸秆还田量的增多,逐渐降低,其中棉秆量为 $90\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,腐解 30d 和 60d 水分利用效率分别较对照降低 32.5% 和 28.6%,达到了显著水平。由此可见,加入少量秸秆时,促进了叶片气孔开放,加强了蒸腾作用,改善了叶肉细胞 CO_2 的供应能力,有利于气体的交换,进而提高了叶片的光合速率。随着秸秆还田量的增加,秸秆腐解产生的有毒物质,干扰了正常的生理代谢,导致气孔关闭,阻碍了 CO_2 的供应与交换,从而抑制叶片的光合作用。

表 1 棉花秸秆还田对种子萌发和植株生物量的影响

Table 1 The effects of cotton's stalks returned soil on seed's bourgeon and seeding growth

处理* Treatment	出苗时间(d) Bourgeon time	发芽率(%) Germination rate	单株干重(g) Dry weight
T-0	4 c	93 a	12.47 c
T-10	4.5 c	93 a	15.24 a
T-30	5 bc	93 a	11.65 cd
T-90	5 bc	92 a	9.95 e
S-0	4.5 c	93 a	11.47 d
S-10	5 bc	93 a	14.13 b
S-30	6 ab	92 a	10.21 e
S-90	6.5 a	92 a	8.64 f

* 腐解天数 Decomposed days (d): T = 30, S = 60; 棉花秸秆量 Cotton stalk amount ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$): 10, 30, 90; 表中数据为同一处理 3 次重复的平均值 Data are mean value in same treatment; 不同字母表示差异显著 ($P = 0.05$) Different letters mean significant difference at 0.05 levels; 下同 the same below

表 2 棉花秸秆还田对叶片净光合速率及气体交换参数的影响

Table 2 The effects of cotton's stalks returned soil on Pn and the exchanged parameter of gas

处理 Treatment	净光合速率 Net photosynthetic rate ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	气孔导度 Stomatal conductance ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	胞间 CO_2 浓度 Intracellular ($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	蒸腾速率 Transpiration rate ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	水分利用效率 Water utilize effect ($\mu\text{molCO}_2\cdot\text{mmol H}_2\text{O}$)
T-0	10.17c	0.120bc	51.41g	3.07c	4.07
T-10	11.39a	0.177a	99.15a	4.02a	3.31
T-30	9.89d	0.095cd	48.42h	2.43f	2.84
T-90	7.45e	0.105bc	89.09b	2.71d	2.75
S-0	10.48b	0.131b	66.33d	3.17b	3.31
S-10	11.21a	0.130b	62.45e	3.22b	3.49
S-30	6.65f	0.069d	61.44f	2.25g	2.95
S-90	5.93g	0.072d	79.02c	2.59e	2.29

2.3 秸秆还田对棉花叶绿素含量的影响

棉花秸秆不同还田量和不同腐解时间对棉花叶片叶绿素含量影响见图 1,随秸秆还田量的增多,叶绿素含量降低,但不同腐解时间之间差异不明显。其中苗期,腐解 30d,不同处理间叶绿素含量差异不显著,而腐解 60d 呈现先升高后降低的趋势,加入 $10\text{ g}\cdot\text{kg}$ 秸秆时,叶绿素含量比对照增加了 6.2%,但加入 $30\text{ g}\cdot\text{kg}$ 和 $90\text{ g}\cdot\text{kg}$ 时,却比对照减少了 8.9% 和 16.9%;现蕾期腐解 60d,加入不同量棉秆的叶绿素含量分别比对照降低了 4.4%、11.7% 和 18.7%。说明腐解产物影响了棉花叶片的光合能力和生长,外观表现为叶片颜色发黄,部分有边缘卷曲或皱缩。

2.4 棉花秸秆还田对棉花生理活性的影响

2.4.1 对棉花 POD 活性的影响

POD 是植物细胞中清除活性氧的酶系统, 为细胞膜保护酶系统中的主要成员之一, 它参与清除活性氧及过氧化物自由基的活动, 以防止超氧化自由基对细胞膜系统的伤害, 对细胞膜具保护作用^[23]。

随着生育期的延长, 棉花叶片 POD 活性逐渐提高, 腐解 60d 后叶片的 POD 酶活性高于腐解 30d (图 2), 其中, 苗期和现蕾期, 加入 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 秸秆的棉花叶片 POD 酶活性小于对照, 随着加入秸秆量增加, 棉花叶片酶活性也随之增强, 以腐解 60d 后, 现蕾期 POD 酶活性增幅最大, 加入 $90 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 秸秆的棉花叶片 POD 活性是 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 3.5 倍, 但在开花期, 却基本呈现随秸秆量增加, POD 酶活性也逐渐提高, 其中腐解 60d 后, 分别是对照的 0.57、1.24 倍和 2.34 倍, 差异显著。棉花根系的 POD 酶活性随生育进程, 呈下降趋势 (图 3), 在苗期和现蕾期, 腐解 60d 后棉花根系的 POD 酶活性高于腐解 30d 的。除苗期和现蕾期加入 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 秸秆的酶活性小于对照外, 其余处理都呈现随着加入秸秆量增加, 根系 POD 酶活性也随之增强, 其中在腐解 60d 处理中, 现蕾期各处理的根系 POD 酶活性较对照增加了 35.1%、89.6% 和 184%。说明在此期间随着时间的延长, 棉花秸秆的腐解产物在土壤中积累量增多, 主要是通过影响根系的 POD 酶活性来改变棉花的抗逆性。

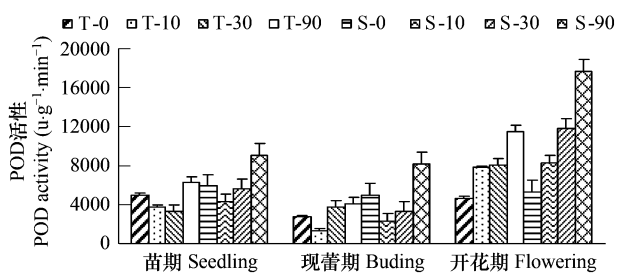


图 2 棉花秸秆还田对棉花叶片 POD 活性的影响

Fig. 2 The effects of cotton's stalks returned soil on POD activity of cotton leaf

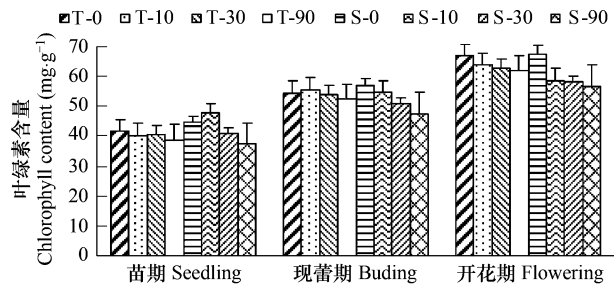


图 1 棉花秸秆还田对棉花叶绿素含量的影响

Fig. 1 The effects of cotton's stalks returned soil on chlorophyll

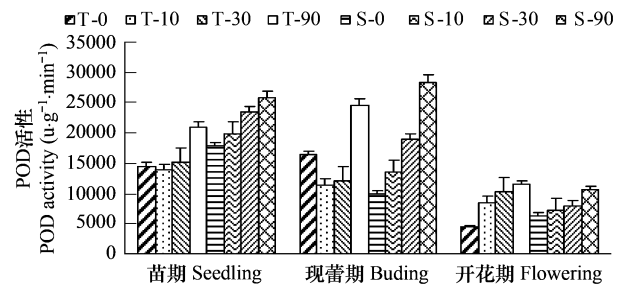


图 3 棉花秸秆还田对棉花根系 POD 活性的影响

Fig. 3 The effects of cotton's stalks returned soil on POD activity of cotton root

2.4.2 对棉花 SOD 活性的影响

植物在逆境下受到的伤害或植物对逆境的不同抵抗能力往往与体内 SOD 活性水平有关。SOD 能够在逆境胁迫和衰老过程中清除体内过量的活性氧, 维持活性氧的代谢平衡, 保护膜结构^[23]。

棉花叶片 SOD 酶活性变化 (图 4), 在苗期和现蕾期差异不大, 开花期显著增加, 腐解 60d 与腐解 30d 之间叶片 SOD 酶活性在苗期和现蕾期差异不大, 在开花期腐解 30d 大于腐解 60d, 随着秸秆还田量增加, 叶片 SOD 酶活性下降, 在现蕾期腐解 60d 加入秸秆 10 、 $30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $90 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时叶片 SOD 酶活性分别比对照降低 18.8%、21.3% 和 28.4%。棉花根系 SOD 活性从苗期到开花期逐渐增加 (图 5), 随着秸秆量增加, 根系 SOD 酶活性呈现下降趋势, 如苗期腐解 60d 不同秸秆量处理的根系 SOD 酶活性分别比对照下降了 23.9%、20.4% 和 46.9%; 秸秆不同腐解时间相比, 自现蕾期起棉花根系 SOD 酶活性秸秆腐解 60d 处理大于腐解 30d, 其中腐解 60d, 开花期根系的根系 SOD 酶活性在加入秸秆 10 、 $30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $90 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时分别是腐解 30d 处理的 2.1、1.8 倍和 2.7 倍。说明棉花秸秆腐解产生了有毒物质, 棉花通过增强体内 SOD 酶活性, 清除有毒物质, 保护细胞膜系统, 提高了自身抗逆性。

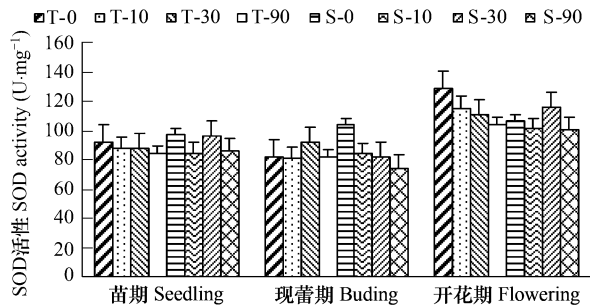


图4 棉花秸秆还田对棉花叶片 SOD 活性的影响

Fig.4 The effects of cotton's stalks returned soil on SOD activity of cotton leaf

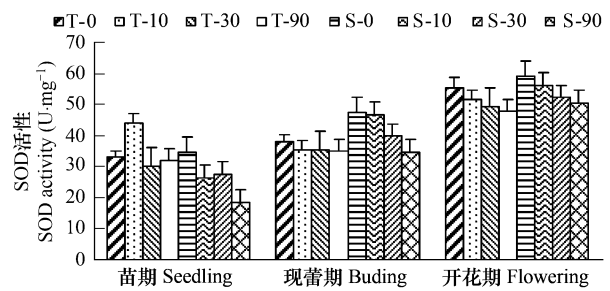


图5 棉花秸秆还田对棉花根系 SOD 活性的影响

Fig.5 The effects of cotton's stalks returned soil on SOD activity of cotton root

2.4.3 对棉花叶片 MDA 含量的影响

植物器官衰老或在逆境下遭受伤害,往往发生膜脂过氧化作用,丙二醛(MDA)是膜脂氧化的最终分解产物,MDA 的积累可能对膜和细胞造成一定的伤害,其含量可以反映植物遭受逆境伤害的程度^[24]。

不同量棉花秸秆还田腐解处理后,棉花叶片 MDA 含量随着生育进程的推进,呈现下降趋势(图6);苗期腐解 30d 和 60dMDA 含量较开花期要高,秸秆还田量为 $90 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,分别增加到 2.1 倍和 3.3 倍。不同处理间,随加入秸秆还田量的增加,MDA 含量也随之提高,苗期和现蕾期尤为明显,而开花期差异减小,其中苗期腐解 60d 加入秸秆 10 、 $30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $90 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时 MDA 含量分别比对照增加了 10.7%、35.3% 和 44.3%,现蕾期却呈现先下降再升高的趋势,秸秆还田量为 $60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $90 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,MDA 含量分别比对照增加了 17.9% 和 64.8%,而开花期不同处理间叶片 MDA 含量的变化幅度减小。可见,随着棉花秸秆腐解产物的积累,棉花在此逆境下遭受伤害,往往发生膜脂过氧化作用,对膜和细胞造成一定的伤害,直接影响了棉花生长发育,同时叶片 MDA 水平较正常有所提高。

2.4.4 对棉花根系活力的影响

植物组织还原 TTC 的能力是细胞呼吸电子传递链活性的一种表现,它指示着根的生长和代谢的旺盛程度。

在棉花不同生育时期,根系活力表现出苗期升高,现蕾期降低,开花期又略微提高的趋势(图7)。其中不同秸秆量处理间,根系活力随加入秸秆量的增加,逐渐降低。其中苗期腐解 30d 和 60d,根系活力分别比对照降低了 23.8%、45.5%、53.2% 和 23.3%、29.0%、34.8%;苗期腐解 30d 的棉花根系活力高于腐解 60d 的,而在现蕾期却相反,开花期二者的差异不明显。从长势长相观察,随着秸秆还田量增加,根系颜色加深,老根明显增多,侧根和根毛较少,吸收养分能力降低,植物根系生长发育受到抑制,直接影响棉花的正常生长。

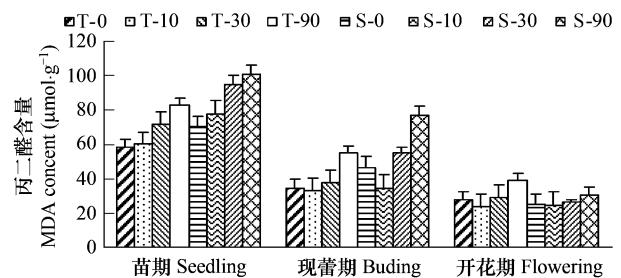


图6 棉花秸秆还田对棉花叶片 MDA 含量的影响

Fig.6 The effects of cotton's stalks returned soil on MDA content of cotton leaf

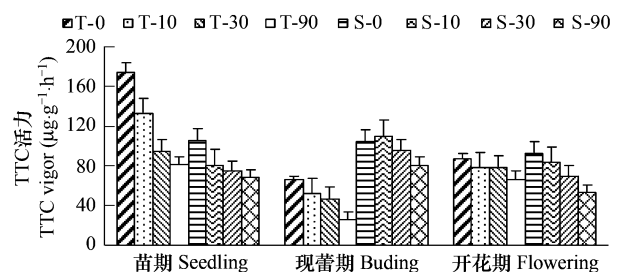


图7 棉花秸秆还田对棉花根系活力的影响

Fig.7 The effects of cotton's stalks returned soil on root vigor

3 结论与讨论

秸秆还田是提高土壤有机质含量、优化土壤物理性状的常用方法,关于棉花秸秆还田的正面效应研究的较多^[25~27],但棉田生态系统中棉花秸秆还田的负面效应也长期存在,秸秆腐解产生的化感物质对种子发芽和幼苗生长的抑制作用也是普遍存在,不容忽视。一般认为秸秆腐解产生的化感物质来源于两个途径,一是植物组织中本身存在的化感物质通过组织分解进入到土壤环境,另一个是微生物分解秸秆过程中产生的腐解产物或代谢产物^[28]。本研究表明土壤中棉花秸秆还田量超过 30 g·kg⁻¹时,腐解 30d 后,对棉花种子的萌发和棉花生长有一定的影响,对根系活力、抗氧化酶活性和丙二醛含量有抑制或促进作用,此结论与前人研究化感物质或根系分泌物对黄瓜^[29]、苜蓿^[30]和草莓^[31]幼苗生长影响完全一致,说明在土壤中秸秆腐解产生了有毒物质,当这些物质被土壤固定达到一定量时产生了化感自毒效应,而棉花也通过产生保护酶系统和增加丙二醛含量来提高其抗逆性。同时随着添加的棉花秸秆量增加,叶绿素的含量逐渐减少,从而影响了棉花叶片的光合性能。

自毒作用是引起作物连作障碍的主要原因之一,棉花连作障碍在目前生产中表现不是很明显(病害严重除外),是因为现代科学技术的大量应用,如大量投入化肥、品种更新、农药使用及栽培技术的改善等,以及经济投入的增加,弥补或者掩盖了连作障碍的发生。但连年秸秆还田,残茬分解产生的化感物质在土壤中积累,达到一定量时就可能产生化感效应。因此,在利用棉花秸秆还田培肥地力时,应充分考虑秸秆对下茬作物的化感作用,避免因还田量增加,产生化感自毒作用,影响棉花生长,同时秸秆释放出来的化感物质在控制杂草生长、减少因农药的不合理施用而带来的环境污染等问题上具有积极作用,应大力研究和开发作物秸秆的化感作用,与其在培肥土壤、保持水上和养分资源的循环利用等方面的积极作用有机结合起来,为其合理利用开辟新的途径。

References:

- [1] Debosz K, Rasmussen P H, Pedersen A R. Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzyme activity in arable soils: effect of organic matter input. *Applied Soil Ecology*, 1999, 13: 209—218.
- [2] Zhang D X, Han Z Q, Liu W, *et al.* Effect of different treatments on the space-time dynamic changes of soil nutrients by returning maize straw under different decay conditions. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(3): 360—364.
- [3] Chen S H, Zhu Z L, W J, *et al.* Decomposition characteristics of straw return to soil and its effect on soil fertility in Purple Hilly Region. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(6): 141—144.
- [4] Lao X R, Sun W H, Wang Z, *et al.* Effect of matching use of straw and chemical fertilizer on soil fertility. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(4): 618—623.
- [5] Zhao Y, Li W, Zou Z H, *et al.* Changes of microbial community structure in straw amended soil. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(6): 1114—1118.
- [6] Debosz K, Rasmussen P H, Pedersen A R. Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzyme activity in arable soils: effect of organic matter input. *Applied Soil Ecology*, 1999, 13: 209—218.
- [7] Chen Z L, Zhang P P, Cai X B, *et al.* Effect of returning straws to field on microbes of degenerated soil in central tibet. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(4): 696—699.
- [8] Wu Z J, Zhang H J, Xu G S, *et al.* Effect of returning corn straw into soil on soil fertility. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(5): 539—542.
- [9] Yu J O, Su F Y, Ming F Z. Effects of root exudates and aqueous root extracts of cucumber (*Cucumis sativus*) and allelochemicals on photosynthesis and antioxidant in cucumber. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2003, 31(2): 129—139.
- [10] Ma R X, Liu X F, Yuan G L, *et al.* Study on allelochemicals in the process of decomposition of wheat straw by microorganisms and their bioactivity. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 12(6): 633—637.
- [11] Martin A L, McCoy E I, Dick W A. Allelopathy of crop residues influences corn seed germination and early growth. *Agron. J.*, 1990, 82: 555—560.
- [12] Guenzi W D, Mc C. Phenolic acids in oats, wheat, sorghum, and corn residues and their phytotoxicity. *Agron J.*, 1966, 58: 303—304.
- [13] Sun L, Chen B L, Zou Z G. Effect of Allelopathic Substance from Wheat Root Zones on the Growth of Cotton Seedling in Wheat-Cotton Interplanting System. *Cotton Science*, 2006, 18(4): 213—217.
- [14] Yang S C, Huo L, Wang J C. Allelopathic Effect of Straw Returning. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2005, 14(1): 52—56.
- [15] Liu J G, Li Y B, Jiang G Y, *et al.* Allelopathic effects of cotton in continuous cropping. *Allelopathy Journal*, 2008, 21(2): 299—306.

- [16] Liu J G, Li Y B, Bian X M, *et al.* Effect of long-term continuous cropping and stalks returned field of cotton on the biochemical properties of soil. *Chinese Journal Applied Ecology*, 2008, 19 (5): 1027–1032.
- [17] Zhen D M, Jiang Y J, Lü S Q, *et al.* Effect of cotton continuous cropping on soil fertility. *Journal of Talimu University of Agricultural Reclamation*, 1997, 9(1): 41–44.
- [18] Jiang Y J, Zheng D M, Lü S Q. Fertilization effect of continuous application of cotton seed manure and cotton stalk returned to field together with combined application of chemical fertilizers. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1999, 17(4): 16–21.
- [19] Gossett D R, Millhollon E P. Lucas Antioxidant response to NaCl stress in salt-tolerant and salt-sensitive cultivars of cotton. *Crop Sci*, 1994, 34: 706–714.
- [20] Li H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [21] Li Y B, Liu J G, Li F, *et al.* Study on Allelopathic Effects of Cotton Aqueous Extract. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(5): 1186–1192.
- [22] Song L, Pan K W, Wang J C. Effects of phenolic acids on seed germination and seedling antioxidant enzyme activity of alfalfa. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (10): 3393–3403.
- [23] Jin M H, Feng Z W. Effects of ozone on membrane protective system of winter wheat leaves. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(3): 855–858.
- [24] Tan Z J, Li J, Chen D L, *et al.* On the effect of rice-straw returned to the field on microbes and enzyme activity in paddy soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(10): 3385–3392.
- [25] Zhang D X, Han Z Q, Liu W, *et al.* Biological effect of maize stalk return to field directly under different accretion decay conditions. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11 (6): 742–749.
- [26] Qiang X C, Yuan H L, Gao W S. Effect of crop residue incorporation on soil CO₂ emission and soil microbial biomass. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(3): 469–472.
- [27] Kong C H, Xu T, Hu F. Allelopathy of *Ageratum conyzoides* II. Releasing mode and activity of main allelochemicals. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(3): 257–260.
- [28] Lü W G, Zhang C L, Yuan F, *et al.* Mechanism of allelochemicals inhibiting continuous cropping cucumber growth. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(1): 106–109.
- [29] Zhang Z H, Shan Y X. Studies on allelopathic effects of the aqueous extracts of roots of different Varieties. *Grassland of China*, 2005, 27(4): 39–46.
- [30] Zhen W C, Cao K Q, Dai L, *et al.* Simulation of autotoxicity of strawberry root exudates under continuous Cropping. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(6): 828–832.

参考文献:

- [2] 张电学, 韩志卿, 刘微, 等. 不同促腐条件下秸秆直接还田对土壤养分时空动态变化的影响. *土壤通报*, 2005, 36(3): 360–364.
- [3] 陈尚洪, 朱钟麟, 吴健, 等. 紫色土丘陵区秸秆还田的腐解特征及对土壤肥力的影响. *水土保持学报*, 2006, 20(6): 141–144.
- [4] 劳秀荣, 孙伟红, 王真, 等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响. *土壤学报*, 2003, 40(4): 618–623.
- [5] 赵勇, 李武, 周志华, 等. 秸秆还田后土壤微生物群落结构变化的初步研究. *农业环境科学学报*, 2005, 24(6): 1114–1118.
- [7] 陈芝兰, 张培平, 蔡晓布, 等. 秸秆还田对西藏中部退化农田土壤微生物的影响. *土壤学报*, 2005, 42(4): 696–699.
- [8] 武志杰, 张海军, 许广山, 等. 玉米秸秆还田培肥土壤的效果. *应用生态学报*, 2002, 13(5): 539–542.
- [10] 马瑞霞, 刘秀芬, 袁光林, 等. 小麦根区微生物分解小麦残体产生的它感物质及其生物活性的研究. *生态学报*, 1996, 12(6): 633–637.
- [13] 孙磊, 陈兵林, 周治国. 麦棉套作系统中小麦根区化感物质对棉苗生长的影响. *棉花学报*, 2006, 18(4): 213–217.
- [14] 杨思存, 霍琳, 王建成. 秸秆还田的生化他感效应研究初报. *西北农业学报*, 2005, 14(1): 52–56.
- [16] 刘建国, 卞新民, 李彦斌, 等. 长期连作和秸秆还田对棉田土壤生物活性的影响. *应用生态学报*, 2008, 19(5): 1027–1032.
- [17] 郑德明, 姜益娟, 吕双庆, 等. 棉花连作对土壤肥力的影响. *塔里木农垦大学学报*, 1997, 9(1): 41–44.
- [18] 姜益娟, 郑德明, 吕双庆. 连续施用棉籽饼和棉秆还田及化肥配施的培肥效应. *干旱地区农业研究*, 1999, 17(4): 16–21.
- [20] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [21] 李彦斌, 刘建国, 李凤, 等. 棉花植株水浸提液化感效应的研究. *中国生态农业学报*, 2008, 16(5): 1186–1192.
- [22] 宋亮, 潘开文, 王进闯. 酚酸类物质对苜蓿种子萌发及抗氧化酶活性的影响. *生态学报*, 2006, 26(10): 3393–3403.
- [23] 金明红, 冯宗炜. 臭氧对冬小麦叶片膜保护系统的影响. *生态学报*, 2000, 20(3): 855–858.
- [24] 谭周进, 李倩, 陈冬林, 等. 稻草还田对晚稻土壤微生物及酶活性的影响. *生态学报*, 2006, 26(10): 3385–3392.
- [25] 张电学, 韩志卿, 刘微, 等. 不同促腐条件下玉米秸秆直接还田的生物效应研究. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(6): 742–749.
- [26] 强学彩, 袁红莉, 高旺盛. 秸秆还田量对土壤 CO₂ 释放和土壤微生物量的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(3): 469–472.
- [27] 孔垂华, 徐涛, 胡飞. 胜红薊化感作用研究 II. 主要化感物质的释放途径和活性. *应用生态学报*, 1998, 9(3): 257–260.
- [28] 吕卫光, 张春兰, 袁飞, 等. 化感物质抑制连作黄瓜生长的作用机理. *中国农业科学*, 2002, 35(1): 106–109.
- [29] 李志华, 沈益新. 不同品种紫花苜蓿根水浸提液化感作用效应的研究. *中国草地*, 2005, 27(4): 39–46.
- [30] 甄文超, 曹克强, 代丽, 等. 连作草莓根系分泌物自毒作用的模拟研究. *植物生态学报*, 2004, 28(6): 828–832.