

棉秆腐解液对棉花种子萌发及幼苗生长的影响

李艳宾^{1,2}, 万传星^{1,2}, 张 琴^{1,2}, 龚明福^{1,2}, 张利莉^{1,2}

(1.塔里木大学生命科学学院, 新疆 阿拉尔 843300; 2.塔里木大学新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室, 新疆 阿拉尔 843300)

摘要:针对新疆棉区长期连作与棉花秸秆还田的普遍现象,采用生物测定的方法,研究了棉秆腐解液对棉花自身的化感作用。结果表明,棉秆腐解液对棉花种子萌发及幼苗生长的影响表现出“低促高抑”,抑制作用随腐解液浓度增大而增强。 $2.5, 5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的腐解液能提高棉花种子萌发率,促进胚根生长,而 $10, 20, 30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的浓度则产生抑制作用。 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理棉花幼苗的根长、株高等指标显著高于对照。过高的腐解液浓度($>10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)使棉苗根系活力减弱,抑制棉花幼苗根的生长发育,使植株叶片叶绿素含量降低,从而导致根重、根长、株高等下降, $20, 30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 两处理根鲜重与根长均显著低于对照。在 $5, 10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的浓度范围内,棉花幼苗体内 SOD、POD 活性分别增高,超过以上浓度则酶活性开始下降, $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上浓度使 MDA 含量急剧增高。

关键词:棉花秸秆;腐解液;化感作用;种子萌发;幼苗生长

中图分类号:Q945.78 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2009)06-1258-05

Effect of Decomposed Liquids of Cotton Stalk on Cotton Seeds Germination and Seedling Growth

LI Yan-bin^{1,2}, WAN Chuan-xing^{1,2}, ZHANG Qin^{1,2}, GONG Ming-fu^{1,2}, ZHANG Li-li^{1,2}

(1.College of Life Science, Tarim University, Alaer 843300, China; 2.Key Laboratory of Protection and Utilization of Biological Resources, Xinjiang Production & Construction Corps, Tarim University, Alaer 843300, China)

Abstract: Cotton long-term continuously cropping and cotton stalk returning to field are ubiquitous phenomena in Xinjiang, China. Allelopathy of decomposed liquids from cotton stalk on the cotton growth was studied in this paper. The bio-assay results indicated that the decomposed liquids had allelopathy on cotton seed germination and seedling growth, which performed by ‘promoting at low concentration and inhibiting at high’. The restraining effects heightened along with the increase of the decomposed liquid concentration. Decomposed liquids at the concentrations of $2.5, 5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ stimulated the cotton seed germination, and promoted radicle growth, while at $10, 20$ and $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ exhibited restraining effects. For instance, in the treatment of $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ decomposed liquid, both the root length and seedling height were significantly higher than the control treatment, while, on the other hand, higher concentrations($>10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, including 20 and $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) of decomposed liquids weakened root vigor, restrained seedling growth, and also reduced chlorophyll contents, which accordingly had the root weight, root length and seedling height decreased. Furthermore, comparing with the seedlings of the control, the SOD and POD activity in cotton seedlings were lifted both in $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ and $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ of decomposed liquids treatments, and dropped down when the concentration increased to $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ or even higher, while, at the meantime, the MDA levels in seedlings increased rapidly in the latter treatments.

Keywords: cotton stalk; decomposed liquids; allelopathy; seed germination; seedling growth

在农业生产中,常将作物秸秆还田以改善土壤物理性状,补充土壤养分^[1]。然而人们也发现,秸秆还田有时候反而会造成作物较弱的生长势,甚至减产^[2]。植物残茬及秸秆腐解过程中所产生的化感物质大量积累,往往可引起土壤物理性状变化、微生物种群结构

失衡及土壤酶活性的降低^[3-4]等严重问题。此外,许多化感物质对作物种子萌发和幼苗生长的抑制作用也是普遍存在的现象^[5-7],成为作物生长的重要障碍因子。目前,化感作用的研究已成为揭示连作与秸秆还田障碍的热点。

新疆是我国最大的产棉基地,植棉面积占全国的 $1/4$,棉花产量占全国总产的 $1/3$ 。由于地域优势和植棉效益不断看好,新疆棉花种植面积不断扩大,长期连作现象非常普遍。自 20 世纪 90 年代以来,新疆棉区长期实行棉花秸秆还田^[8]。同时,随着棉花连作面积

收稿日期:2008-09-25

基金项目:国家“973”计划前期研究专项(2007CB116303);新疆生产建设兵团基础科研项目(2007JC06)

作者简介:李艳宾(1983—),男,硕士,讲师,主要从事农田生态环境研究。E-mail: ydhan@163.com

通讯作者:张利莉 E-mail: zhang63lyly@yahoo.com.cn

逐年增加,连作棉田土传病害加重、土壤肥力减退、棉株营养失衡等问题日益凸显,严重影响了棉花的生长发育和产量^[9]。目前对于棉花连作障碍的研究,多集中在对土壤肥力、土壤酶活性、微生物种群结构等的影响方面^[9-11],但关于棉秆还田后腐解物质对棉花生长的生物学效应研究尚未见报道。本试验通过制取棉秆腐解液,研究了其对棉花生长发育的影响,以期揭示长期连作和秸秆还田后棉田生态健康机制和实现棉田生态系统的良性循环提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试棉花品种为陆地棉中-35。供试棉秆为陆地棉,2007 年 11 月采自新疆阿拉尔棉田,自然风干后经粉碎机粉碎(≤ 2 cm)。

1.2 棉秆腐解液的制备

在粉碎的棉秆中按 1:1(W:V)加入蒸馏水拌匀,并加入少量根际土以接种微生物^[12],35℃恒温保湿腐解 120 d。用蒸馏水浸提腐解物(V:W=5:1),浸提时间为 5 d。提取液经抽虑除去杂质,适当浓缩以定量。

1.3 棉秆腐解液的生物测定

棉花种子萌发测定:根据测定腐解物质含水量,将腐解液浓度用每升干物质重表示,并将腐解液用蒸馏水配制成 2.5、5、10、20、30 g·L⁻¹ 的浓度。在 90 mm 培养皿中铺入 2 层定性滤纸,每皿放 30 粒经消毒、催芽的棉花种子,加入腐解液 3 mL,然后盖上 2 层滤纸,滴 2 mL 腐解液以保湿。以加入等量蒸馏水作对照,每个浓度梯度 5 次重复。25℃下按棉花种子发芽规程进行发芽试验^[13]。

棉花幼苗生长测定:将经消毒、催芽的棉花种子置于砂中发芽,种子萌发后进行光照培养(1 500 lx, 14 h·d⁻¹),待子叶展平后移栽至口径约 30 cm 的塑料小桶进行水培试验。每桶 12 株苗,采用 1/2 Hoagland-Aron 营养液(pH=6.5),配制并加入适量的腐解液,使得腐解液的终浓度分别为 2.5、5、10、20、30 g·L⁻¹,以不加腐解液的营养液为对照,各处理 5 次重复。于 25℃下进行光照培养(1 500 lx, 14 h·d⁻¹)。每隔 3~4 h 用充气泵通气 2 h,20 d 后测定生长指标与生理指标。

根系活力、超氧化物歧化酶(Super Oxide Dismutase, SOD)活性、过氧化物酶(Peroxidase, POD)活性、丙二醛(Malondialdehyde, MDA)及叶绿素含量测定按参考文献[14]进行。

1.4 数据统计分析

试验数据用 Excel 和 DPS 统计软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 棉秆腐解液对棉花种子萌发的影响

由表 1 可以看出,棉秆腐解液对棉花种子发芽势、发芽率与发芽指数的化感效应,在腐解液浓度为 2.5、5 g·L⁻¹ 时表现为促进作用,在 10、20、30 g·L⁻¹ 的浓度下,则均表现为抑制作用,且抑制作用随腐解液浓度增大而增强,其中 20、30 g·L⁻¹ 的抑制效果达到显著水平($P<0.05$)。胚根受腐解液化感作用的影响较大,5 g·L⁻¹ 的腐解液浓度能显著($P<0.05$)促进胚根的生长,但自 10 g·L⁻¹ 的浓度起,胚根长开始显著($P<0.05$)低于对照。

表 1 棉秆腐解液对棉花种子萌发的影响

Table 1 Effect of decomposed liquids from cotton stalk on the seeds germination of cotton

处理	发芽势/%	发芽率/%	发芽指数/GI	胚根长/cm
CK	79.17±5.99 ^{aAB}	83.33±7.07 ^{aA}	2.08±0.18 ^{aA}	4.26±0.41 ^{aB}
2.5 g·L ⁻¹	83.33±1.36 ^{aA}	85.83±0.83 ^{aA}	2.14±0.02 ^{aA}	4.72±0.24 ^{aA}
5 g·L ⁻¹	80.00±7.07 ^{aAB}	85.83±5.99 ^{aA}	2.14±0.15 ^{aA}	5.12±0.12 ^{aA}
10 g·L ⁻¹	78.33±3.97 ^{aAB}	79.16±3.70 ^{abA}	1.97±0.09 ^{aA}	3.64±0.07 ^{BC}
20 g·L ⁻¹	60.00±9.53 ^{bcAB}	65.00±7.88 ^{ba}	1.63±0.20 ^{ba}	3.62±0.09 ^{BC}
30 g·L ⁻¹	57.50±6.99 ^{BC}	63.33±7.81 ^{ba}	1.58±0.20 ^{ba}	3.13±0.26 ^{CC}

注:同一列数据后小写字母表示在 5%水平上的差异显著性,大写字母表示在 1%水平上的差异显著性,以下各表同。The lower case letter and capital letter after the data in same column mean significant difference on the level of 5% and 1%, the following table is the same.

2.2 棉秆腐解液对棉花幼苗生长的影响

2.2.1 棉花幼苗形态特征

在幼苗培养过程中发现,5 g·L⁻¹ 的处理棉苗生长最好,叶片大而平展,几乎全部已出现 1~2 片真叶,CK 与 2.5 g·L⁻¹ 两处理的叶片次之,多数也已有真叶出现。但自 10 g·L⁻¹ 的浓度起,腐解液开始对棉花幼苗产生抑制作用,表现在棉花植株叶片较小并且皱缩,真叶少而小,幼苗根系呈深褐色或黑色,主根短且根毛极少,此抑制作用呈现随浓度增加而增强的趋势。与之相反,5 g·L⁻¹ 处理中的幼苗根毛稠密而且较长,颜色呈白色。可见腐解液浓度过高,对受体幼苗根的发育将产生严重影响,进而影响到整个植株的生长发育。

2.2.2 棉花幼苗生长发育

表 2 为移栽 20 d 后对棉花幼苗生长发育的测定结果。从表中可以看出,棉秆腐解液对棉花幼苗生长

的化感效应,在低浓度下表现出一定的促进作用,2.5、5 g·L⁻¹ 两处理的棉花幼苗鲜重等指标均高于对照,其中 5 g·L⁻¹ 下幼苗根长和苗高增长显著($P<0.05$)。高浓度腐解液对棉苗生长则产生抑制,且抑制强度随腐解液浓度增加而增加,20、30 g·L⁻¹ 两处理根鲜重与根长均显著($P<0.05$)低于对照,30 g·L⁻¹ 下棉花幼苗苗高受到显著抑制($P<0.05$)。

2.2.3 棉花幼苗生理特性

从表 3 可以看出,腐解液浓度自 10 g·L⁻¹ 起,棉花幼苗根系活力急剧下降($P<0.01$)。植物根系活力一旦受到抑制,将导致植物根系生长缓慢,对养分的吸收能力减弱,生长发育受阻,从而使植株重量、株高等下降。从幼苗叶绿素含量来看,腐解液浓度越高其含量相对越低,30 g·L⁻¹ 的浓度会使叶片中叶绿素含量显著($P<0.05$)降低。

SOD 和 POD 是植物体内重要的保护酶,能清除体内过多积累的自由基和过氧化物,以缓解逆境的伤害。在适当浓度下,棉秆腐解液对棉花幼苗体内 SOD 和 POD 活性均表现出促进作用,而在较高浓度时则表现出抑制,说明一定浓度的腐解液能激发保护酶的活性,但如果其浓度过大,植物体内自由基积累过多,又将对保护酶构成伤害,破坏其保护作用。MDA 是膜脂过氧化物的产物,是反映细胞膜伤害程度的重要指标之一。MDA 含量变化与保护酶活性密切相关,在

SOD、POD 活性较高时,能有效减轻自由基对细胞膜的伤害,MDA 含量被控制在一定范围内;一旦 SOD、POD 活性降低,氧自由基和过氧化物的累积将使膜脂过氧化加剧,进而导致 MDA 含量迅速增加。

3 讨论

新疆棉区属荒漠绿洲灌溉农业区,机械化程度高,棉花长期连作与棉秆还田现象十分普遍。棉秆在腐解过程中产生并释放大量化学物质,随着这些物质在土壤环境中的积累,将对棉花种子的萌发与生长产生化感作用。化感物质对种子萌发的影响与浓度密切相关,大多表现出“低促高抑”^[12,15-16],棉秆腐解液浓度为 2.5、5 g·L⁻¹ 时,对棉花种子的萌发表现为促进作用,浓度为 10、20、30 g·L⁻¹ 时则分别表现出抑制作用,胚根受腐解液化感作用的影响较大,5 g·L⁻¹ 的浓度能显著($P<0.05$)促进胚根的生长,而浓度超过 10 g·L⁻¹,胚根长受到显著($P<0.05$)抑制。化感物质通过影响植物体内的一些生理过程,如细胞分裂、光合作用、呼吸作用、酶活性、细胞膜透性等,从而造成对植物种子萌发及生长发育的不利影响^[17-19]。孙磊等^[20]研究了小麦根区化感物质对棉苗生长的影响,发现小麦根系分泌物导致棉苗根系活力减弱,叶片生长受到抑制,鲜重显著降低。棉秆腐解液对棉花幼苗生长的影响与之相似,在一定浓度下,腐解液的化感作用也使

表 2 棉秆腐解液对棉花幼苗生长的影响

Table 2 Effect of decomposed liquids from cotton stalk on the seedling growth of cotton

处理	幼苗鲜重/g·百株 ⁻¹	地上部分鲜重/g·百株 ⁻¹	根鲜重/g·百株 ⁻¹	根长/cm	幼苗苗高/cm
CK	69.99±5.33 ^{abA}	60.86±4.80 ^{aA}	9.12±0.54 ^{abAB}	6.13±0.10 ^{abAB}	16.44±0.81 ^{bcAB}
2.5 g·L ⁻¹	83.05±1.43 ^{aA}	72.90±1.45 ^{aA}	10.15±0.03 ^{aA}	6.67±0.18 ^{abA}	17.24±0.24 ^{abAB}
5 g·L ⁻¹	84.43±9.37 ^{aA}	73.15±8.13 ^{aA}	11.28±1.46 ^{aA}	8.16±1.08 ^{aA}	19.61±1.36 ^{aA}
10 g·L ⁻¹	76.99±6.82 ^{abA}	69.71±5.88 ^{aA}	7.28±0.97 ^{bcBC}	5.05±0.12 ^{bcBC}	15.21±0.55 ^{cdBC}
20 g·L ⁻¹	67.31±6.11 ^{abA}	61.29±5.61 ^{aA}	6.02±0.55 ^{cC}	4.96±0.22 ^{cdBC}	14.91±0.43 ^{cdBC}
30 g·L ⁻¹	63.44±2.00 ^{ba}	57.95±1.85 ^{aA}	5.49±0.30 ^{cC}	4.54±0.24 ^{cC}	13.56±0.25 ^{cdC}

表 3 棉秆腐解液对棉花幼苗根系活力、叶绿素含量、SOD、POD 活性及 MDA 含量的影响

Table 3 Effect of decomposed liquids from cotton stalk on root vigor, chlorophyll content, SOD activity, POD activity, and MDA content of cotton seedling

处理	根系活力/mg·g ⁻¹ (FW)·h ⁻¹	叶绿素/mg·100g ⁻¹ (FW)	SOD 活性/U·g ⁻¹ (FW)·h ⁻¹	POD 活性/△OD·g ⁻¹ (FW)·min ⁻¹	MDA 含量/μmol·g ⁻¹ (FW)
CK	2.63±0.14 ^{aA}	3.23±0.13 ^{aA}	141.11±9.94 ^{bB}	0.33±0.04 ^{bb}	12.39±0.57 ^{bc}
2.5 g·L ⁻¹	2.40±0.10 ^{aA}	3.01±0.08 ^{abA}	153.87±13.25 ^{abAB}	0.46±0.08 ^{abAB}	13.25±0.25 ^{bc}
5 g·L ⁻¹	2.33±0.11 ^{aA}	2.89±0.27 ^{abA}	186.39±11.19 ^{aA}	0.50±0.07 ^{abAB}	12.30±0.56 ^{bc}
10 g·L ⁻¹	1.69±0.07 ^{bB}	2.90±0.18 ^{abA}	168.59±3.72 ^{aA}	0.55±0.05 ^{aA}	12.00±0.58 ^{bc}
20 g·L ⁻¹	1.57±0.06 ^{bcB}	2.71±0.10 ^{abA}	157.85±6.69 ^{abAB}	0.44±0.04 ^{abAB}	15.73±0.01 ^{aAB}
30 g·L ⁻¹	1.39±0.07 ^{cB}	2.51±0.23 ^{ba}	102.21±7.93 ^{bb}	0.43±0.02 ^{abAB}	17.62±0.61 ^{aA}

得棉苗根系活力减弱,幼苗鲜重(植株鲜重、根鲜重及地上部分鲜重)、苗高及叶绿素含量降低,且作用强度随浓度升高而增强。根系吸收功能减弱,叶绿素含量降低,影响到植物对养分的吸收及光合效率,从而导致棉苗弱苗晚发^[20]。

逆境下植物产生更多的氧自由基,从而加剧了膜脂过氧化而导致膜系统受损,最终组织受到破坏。SOD 和 POD 则对这些自由基和过氧化物起着清除作用,从而使植物能在一定程度上忍耐、减缓或抵抗逆境胁迫,因此这些酶成为植物在逆境中的保护体系^[21]。遭受逆境胁迫时,植物体内 SOD、POD 活性相继增强以避免植株遭受伤害;但若逆境条件超过一定限度,SOD、POD 的活性反而会降低,保护作用受到破坏,植株体内未能清除的活性氧引起膜脂过氧化,最终导致膜系统损伤、MDA 含量增加^[22]。受棉秆腐解液胁迫,在 5 、 $10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的浓度范围内,棉花幼苗体内 SOD、POD 活性分别增高,超过以上浓度则酶活性开始下降, $20\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上的浓度下 MDA 含量急剧增高($P<0.05$),说明此浓度已超过棉苗耐受范围,植株体内保护酶活性开始受到破坏。

秸秆还田对当前土壤肥力普遍不高、厩肥等有机肥源不足的新疆棉区来说,是提高土壤肥力、改善土壤特性的有效途径^[8]。然而,棉花秸秆腐解所产生的化感物质对棉苗的自毒作用也不容忽视。深入研究棉秆腐解物质的化感作用,对长期连作模式下选择合理的秸秆还田量、实现新疆棉区棉花产业可持续发展具有重要的意义。

4 结论

(1)棉秆腐解液对棉花种子的萌发及幼苗的生长,具有“低促高抑”的化感作用。

(2)在一定浓度腐解液的胁迫下,棉花幼苗的根系活力减弱,叶绿素含量降低,致使植株对养分的吸收能力减弱,生长发育受阻。同时,植株体内保护酶系(SOD、POD)开始遭到破坏,MDA 含量逐渐增加。

参考文献:

- [1] Debosz K, Rasmussen P H, Pedersen A R. Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzyme activity in arable soils: effects of organic matter input[J]. *Applied Soil Ecology*, 1999, 13(3): 209–218.
- [2] 王 璞,赵秀琴. 几种化感物质对棉花种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国农业大学学报, 2001, 6(3): 26–31.
WANG Pu, ZHAO Xiu-qin. Effect of allelochemicals on cotton seed germination and seedling growth[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2001, 6(3): 26–31.
- [3] 范小峰, 俞诗源, 范亚娜, 等. 黄土高原大棚黄瓜不同年限连作对土壤主要理化性状的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2006(6): 20–22.
FAN Xiao-feng, YU Shi-yuan, FAN Ya-na, et al. Effect of cucumber continuous cropping in plastic greenhouse on the soil physicochemical properties on loess plateau[J]. *Soils and Fertilizers Science China*, 2006(6): 20–22.
- [4] 陈 慧, 郝慧荣, 熊 君, 等. 地黄连作对根际微生物区系及土壤酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2755–2759.
CHEN Hui, HAO Hui-rong, XIONG Jun, et al. Effects of successive cropping *Rehmannia glutinosa* on rhizosphere soil microbial flora and enzyme activities[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(12): 2755–2759.
- [5] Jose S, Gillespie A R. Allelopathy in black walnut (*Juglans nigra* L.) alley cropping. II. effects of juglone on hydroponically grown corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L. Merr.) growth and physiology [J]. *Plant and Soil*, 1998, 203(2): 199–206.
- [6] 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[J]. 植物生态学报, 2004, 28(6): 828–832.
ZHEN Wen-chao, CAO Ke-qiang, DAI Li, et al. Simulation of autotoxicity of strawberry root exudates under continuous cropping[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(6): 828–832.
- [7] 由海霞, 梁银丽, 吕 文, 等. 不同作物根系分泌物对黄瓜的化感作用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(6): 101–105.
YOU Hai-xia, LIANG Yin-li, LV Wen, et al. Research on the allelopathy of root secretion of different crops on cucumber (*Cucumis sativus* L.) [J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry (Natural Science Edition)*, 2006, 34(6): 101–105.
- [8] 郑 重, 赖先齐, 邓湘娣, 等. 新疆棉区秸秆还田技术和养分需要量的初步估算[J]. 棉花学报, 2000, 12(5): 264–266.
ZHENG Zhong, LAI Xian-qi, DENG Xiang-di, et al. Technique of cotton stalks returned to field and preliminary calculation of stalk nutrient quantity in Xinjiang[J]. *Acta Gossypii Sinica*, 2000, 12(5): 264–266.
- [9] 梁 智, 周 勃, 邹耀湘, 等. 土壤湿热灭菌对连作棉花生长发育的影响[J]. 西北农业学报, 2007, 16(2): 87–89.
LIANG Zhi, ZHOU Bo, ZOU Yao-xiang, et al. Effect of soil sterilization on growth of continuous cropping cotton[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2007, 16(2): 87–89.
- [10] 王汝贤, 杨之为, 李有志, 等. 棉花抗枯萎病品种连作田微生物数量变化 II. 棉花枯萎病抑病土成因[J]. 西北农业学报, 1998, 7(3): 54–58.
WANG Ru-xian, YANG Zhi-wei, LI You-zhi, et al. Changes of microflora and number of microorganisms on the monoculture of resistance cotton varieties[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 1998, 7(3): 54–58.
- [11] 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[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5): 1027–1032.
LIU Jian-guo, BIAN Xin-min, LI Yan-bin, et al. Effects of long-term continuous cropping of cotton and returning cotton stalk into field on soil biological activities[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(5): 1027–1032.
- [12] 王树起, 韩丽梅, 杨振明, 等. 大豆根茬腐解液和营养液残液对大豆

- 生长发育的自感效应[J]. 中国油料作物学报, 2000, 22(3):43-47.
- WANG Shu-qi, HAN Li-mei, YANG Zhen-ming, et al. Effect of decomposed liquids from soybean stubs and remnants of nutrient solution on soybean growth[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2000, 22(3):43-47.
- [13] 支巨振. GB/T3543. 1—3543. 7—1995,《农作物种子检验规程》实施指南[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- ZHI Ju-zhen. GB/T3543. 1—3543. 7—1995, Implement manual of rules for agricultural seed testing[S]. Beijing: Standards Press of China, 2000.
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- LI He-sheng. Principle and technique of plant physiological biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Educational Press, 2000.
- [15] Perez F J. Allelopathic effect of hydroxamic acids from cereals on *Avena sativa* and *A. fatua*[J]. *Phytochemistry*, 1990, 29(3):773-776.
- [16] 李秋玲, 张 峰, 肖辉林, 等. 日本菟丝子对薇甘菊的化感作用[J]. 生态环境, 2008, 17(1):317-322.
- LI Qiu-ling, ZHANG Feng, XIAO Hui-lin, et al. The allelopathic effects of *Cuscuta japonica* on *Mikania micrantha*[J]. *Ecology and Environment*, 2008, 17(1):317-322.
- [17] Hejl A A M, Einhellig F A, Rasmussen J A. Effects of juglone on growth, photosynthesis, and respiration[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1993, 19(3):559-568.
- [18] Romagni J G, Allen S N, Dayan F E. Allelopathic effects of volatile cineoles on two weedy plant species[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2000, 26(1):303-313.
- [19] 林文雄, 何华勤, 郭玉春, 等. 水稻化感作用及其生理生化特性的研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(6):871-875.
- LIN Wen-xiong, HE Hua-qin, GUO Yu-chun, et al. Rice allelopathy and its physiobiochemical characteristics[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(6):871-875.
- [20] 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[J]. 棉花学报, 2006, 18(4):213-217.
- SUN Lei, CHEN Bing-lin, ZHOU Zhi-guo. Effect of allelopathic substance from wheat root zones on the growth of cotton seedling in wheat-cotton interplanting system[J]. *Cotton Science*, 2006, 18(4):213-217.
- [21] 曹锡清. 脂质过氧化对细胞与机体的作用[J]. 生物化学与生物物理学进展, 1986(2):17-23.
- CAO Xi-qing. The effect of membrane-lipid peroxidation on cell and body[J]. *Progress in Biochemistry and Biophysics*, 1986(2):17-23.
- [22] 吴凤芝, 黄彩红, 赵凤艳. 酚酸类物质对黄瓜幼苗生长及保护酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(7):821-825.
- WU Feng-zhi, HUANG Cai-hong, ZHAO Feng-yan. Effects of phenolic acids on growth and activities of membrane protective enzymes of cucumber seedlings[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(7):821-825.