

五倍子废渣在土壤中分解对玉米生长和结实的影响*

廖玉华¹ 胡红玲^{1**} 陈玉凤¹ 谭淼² 谭飞¹ 杨珊珊¹ 冯虹毓¹ 胡庭兴¹

¹四川农业大学林学院 成都 611130

²四川农业大学风景园林学院 成都 611130

摘要 采用盆栽试验,探讨不同添加量五倍子 (*Galla chinensis*) 加工没食子酸废渣 (简称五倍子废渣) 在土壤中分解对玉米 (*Zea mays*) 生长和结实的影响. 实验设置T1 (125 g/盆)、T2 (250 g/盆)、T3 (375 g/盆)、T4 (500 g/盆) 和T5 (625 g/盆) 5个添加水平,以不添加废渣为对照 (CK),每盆土壤8 kg. 出苗后统计发芽率和存活率,每15 d测定株高、地径,出苗30 d后,每15 d测定抗性生理指标. 结果表明: (1) 低剂量五倍子废渣在分解过程中未显著抑制玉米种子的发芽率和存活率,仅T4-T5处理下发芽率和存活率显著降低; (2) 在添加废渣初期 (45 d内),各处理对玉米株高和地径的抑制作用随处理剂量增加而增强,到中期 (50-75 d) 时,高剂量处理 (T3-T5) 对玉米株高和地径的影响由抑制转为促进; (3) 五倍子废渣在土壤中分解显著延长了玉米的抽穗期,且延长程度与处理剂量呈正相关,各处理抽穗分别较CK推迟了3 d、5 d、9 d、10 d和12 d,抽丝分别推迟了4 d、7 d、8 d、13 d和16 d; (4) 低剂量处理 (T1-T3) 玉米穗重、穗籽粒重、出籽率、穗长及其穗籽粒数较CK均不显著,穗长较CK降低0.27-0.7 cm; 高剂量 (T4-T5) 处理对这5项指标的抑制作用明显,相较于CK,穗重减少18.12%和58.01%,穗籽粒重减少21.29%和74.47%,出籽率减少3.74%和53.40%,T5处理穗籽粒数减少66.41%. 综上表明,在低剂量 (T1、T2和T3) 处理下五倍子废渣对玉米的生长影响不显著,而高剂量处理 (T4-T5) 则产生了显著的抑制作用; 建议在生产实践中,五倍子废渣还田量宜控制在3 000 kg/亩 (45 000 kg/hm²) 以下,不会影响玉米的产量. (图6 参38)

关键词 五倍子; 废渣; 玉米; 抗性生理; 生殖生长

CLC S513.06 : X787

Effect of decomposing gallnut dregs in soil on the growth and fruit of maize plants*

LIAO Yuhua¹, HU Hongling^{1**}, CHEN Yufeng¹, TAN Miao², TAN Fei¹, YANG Shanshan¹, FENG Hongyu¹ & HU Tingxing¹

¹Faculty of Forestry, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China

²College of Landscape Architecture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China

Abstract The effects of decomposing gallnut (*Galla chinensis*) dregs in soil, and on the stress physiology and reproductive growth of maize (*Zea mays* L.) were studied. A pot experiment was carried out and gallnut dregs were added at six different levels. Each pot contained 8 kg of soil mixed with 0, 125, 250, 375, 500 and 625 g gallnut dregs, respectively, and were denoted as CK, T1, T2, T3, T4 and T5, respectively. (1) Under low dose treatment of the dregs, the germination rate and survival rate of maize were not significantly inhibited, while these two indices, under T4 and T5 treatments decreased significantly, especially the stress index on maize under T4 and T5 treatments significantly increased with incremental dreg treatments. The germination rate for T1 to T5 treatments decreased by 11.54% to 38.47%, and the survival rate decreased by 0% to 19.22% compared with CK. (2) In the early stages (within 45 d) of dregs decomposition, each treatment showed increasing inhibitory effect on the plant height and ground diameter of maize, in proportion with increase in gallnut dregs. Between 50-75 d, the high dose (T4-T5) treatments promoted plant height and ground diameter of maize, instead of inhibitory effects. (3) The decomposition of gallnut dregs in soil significantly extended the heading period of maize, and the extended time was positively correlated to the dreg dosage. In each treatment, tasseling was delayed for 3 d, 5 d, 9 d, 10 d and 12 d, respectively, and silking was delayed for 4 d, 7 d, 8 d, 13 d and 16 d, respectively. (4) In low dosage (T1-T3) treatments, the inhibitory effects on the panicle weight, grain weight, seed-producing percentage, panicle length and grain number were not significant than those of CK, while the inhibitory effects of high dose (T4-T5) treatments on these five attributes were significant compared with CK

收稿日期 Received: 2016-09-21 接受日期 Accepted: 2016-11-15

四川省“十三五”农作物育种攻关项目 (2016NZ0098-10) 和四川省教育厅重点项目 (13ZA0246) 资助 Supported by the Crop Breeding Project of “13th Five-year Plan” of Sichuan Province of China (2016NZ0098-10), and the Key Project of the Education Department of Sichuan Province (13ZA0246)

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: 15039081@qq.com)

(panicle weight decreased by 18.12% and 58.01%, grain weight by 21.29% and 74.47%, rate of seed set by 3.74% and 53.40%, and grain number per spike by 66.41% in T5 treatment. In summary, under the low dosage treatments (T1, T2 and T3), the effects of decomposing gallnut dregs on the growth of maize were not significant, while the high dosage treatments (T4-T5) showed significant inhibitory effects. It is proposed that the amount of Chinese gallnut dregs applied to the field should be reduced below 3 000 kg/mu (667 m², e.g. 45 000 kg/hm²).

Keywords *Galla chinensis*; dregs; maize; stress physiology; reproductive growth

近年来,随着中医药行业的发展,制药企业排放大量药渣废渣。据统计,全国中药渣年排放量3 000万t,其中植物类药渣66.5万t^[1]。中药渣的处理多采用直接排放、焚烧填埋和固定区域堆放等方法,浪费大量资金和资源,更造成严重的环境污染^[2]。探讨中药生产废渣的再利用,不仅能产生一定的经济价值,而且具有重要的生态意义^[3]。

五倍子(*Galla chinensis*)别名百虫仓、木附子等^[4-5],是瘿绵蚜科(Pemphigidae)五节根蚜亚科的某些蚜虫寄生在漆树科(Anacardiaceae)盐肤木属(*Rhus*)几种树复叶上形成的虫瘿统称^[6]。五倍子是我国传统中药材,国际上称之为“中国五倍子”^[7]。五倍子中主要成分为五倍子单宁,含量可达60%-80%,属水解类单宁^[8],我国目前普遍采用酸水解法水解五倍子单宁制取没食子酸^[9-10],产生大量的五倍子废渣,其主要成分为纤维素22%(质量分数,下同)、木素17%、活性炭25%、没食子酸8%^[11]。近20年来,我国在中成药生产废渣处理上进行过较多的研究:黄中杰发明了一种利用五倍子渣生产饲料、复肥的方法,节约粮食,增加收益^[12];刘慧来发现药渣和化肥配合使用促进马铃薯(*Solanum tuberosum*)的生长发育和缩短生育期^[13];单金津等选取药渣废弃物青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)子壳等为不同基质,探讨其对平菇子实体中粗多糖得率、含量及其体外抗氧化活性的影响^[14];何佳芳等将夏枯草(*Prunella vulgaris*)药渣配制成育苗基质,栽培的白菜(*Brassica pekinensis*)幼苗整齐度高、壮苗指数高^[15];祖国掌等发现一定浓度的五倍子药液对池水藻类具有短时间的抑制作用^[16];裴毅等探讨了没食子酸对铜绿微囊藻(*Microcystis saeruginosa*)的抑制效应及超微结构的影响^[17];聂江力等发现五倍子水提液能显著抑制铜绿微囊藻的生长,五倍子的主要成分没食子酸可能是其主要化感物质^[18]。

郑照强等发明的再生活性炭法处理五倍子加工废渣虽然效果较好,但工艺较复杂,对企业的生产和经济能力要求高^[19]。在企业能力有限的情况下,如果将废渣返回田地,是否会影响作物的生长和产量,有必要进行生物测试等相关研究。本研究采用盆栽试验,在一定程度上模拟药渣废渣的还田处理,分析不同剂量五倍子废渣在土壤中分解对玉米(*Zea mays*)生长的影响,探讨废渣还田的可行性,旨在为五倍子废渣的生态利用提供理论依据和技术参考,这对于资源的循环利用和环境保护具有一定的意义。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地位于雅安市四川农业大学的教学科研园区内(102°59'0"E, 29°59'6"N),海拔580 m。地处亚热带湿润气

候,降雨充沛,光照不足,年均温16.2℃,≥10℃年积温5 231℃,7月平均最高气温29.9℃,1月平均最低气温3.7℃,年均日照时数1 039.6 h,无霜期298 d,年均降水量1 774.3 mm,空气平均湿度79%。

1.2 试验材料

采用四川某公司生产没食子酸(酸水解法)的五倍子废渣作为本研究供体材料。其主要成分为纤维素22%(质量分数,下同)、木素17%、活性炭25%、没食子酸8%,pH 3.2(湿物料)^[11],自然风干至含水量46.74%,捣碎为米粒状。受体材料为购于当地种苗服务部的四川德盛源种业有限公司培育的中正三号玉米(发芽实验中发芽率86.67%、存活率86.67%),并筛选出外形饱满、大小均一的种粒,播种前晒种1 d,然后于自来水中浸泡24 h。栽植土选用农田沙壤土,其化学性质为pH 7.85,有机质24.38 g/kg,全氮0.66 g/kg,全钾5.81 g/kg,速效磷128.63 mg/kg,速效钾15.27 mg/kg^[20],将其充分混匀后平铺晾置数天待用;栽植容器为口径25 cm、底径16 cm、高度25 cm的黑色塑料营养钵。

1.3 试验设计

采用单因素随机试验设计,废渣添加量设置125 g/盆(T1)、250 g/盆(T2)、375 g/盆(T3)、500 g/盆(T4)、625 g/盆(T5)5个处理水平,以及对照(CK),每个处理设置3个重复。将称量好的废渣与土壤(废渣与土壤总量为8 kg)混匀,装盆,后浇水至饱和状态,待土壤含水量降至田间持水量的80%时播种玉米。每盆点播10粒,后覆土1 cm。出苗后统计发芽率和存活率,每15 d测定株高地径,出苗30 d后,每15 d测定抗性生理指标,经间苗与多次取样后每盆保留1株,自出苗起观测其物候。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 玉米发芽指标测定 发芽率= $n/N \times 100\%$ (n 为发芽数, $N=10$,为每盆玉米种子总数);存活率= $n/N \times 100\%$ (n 为存活数, $N=10$,为每盆玉米种子总数);迫害指数=(CK发芽率-T_i发芽率)/CK发芽率 $\times 100\%$ (CK为对照,T_i为处理, i 为处理梯度)^[21]。

1.4.2 形态指标及抗性指标测定 株高采用卷尺(精度1 mm)测量,地径采用游标卡尺(精度0.01 mm)在土表处对茎粗(从两个相互垂直的方向测量,取平均值)进行测量;过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法^[22]测定,过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外分光光度法^[23]测定,超氧化物歧化酶(SOD)活性采用NBT光化还原法^[24]测定,丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸加热比色法^[23]测定;可溶性糖(SS)含量采用蒽酮比色法^[23]测定,可溶性蛋白(SP)含量采用考马斯亮蓝G250法^[23]测定。

1.4.3 玉米物候观察记录 在玉米种子萌发至第1片真叶展

开的日期记录为出苗期(每株单独记录,下同);进入生殖生长后,在雄穗主轴从顶叶露出3-5 cm的日期记录为抽雄期;雄穗主轴小穗开始开花的日期记录为开花期;在雌穗花丝伸出苞叶1-2 cm长的日期记录为吐丝期。

1.4.4 测产 采用卷尺测定所有玉米穗长,实数每穗籽粒数;千粒重测定采用GB/T5519-2008方法,用电子天平(精度0.0001 g)称量千粒质量及穗重。收获时单独装入纸袋晾晒,穗重为每株玉米单打单收的实测结果,双穗株2果穗籽粒合并为单株产量。出籽率=籽粒总重/果穗总重的比值 $\times 100\%$ 。

1.5 数据处理分析

采用Microsoft Excel 2010 (Microsoft corp. USA) 对数据进行初步整理,处理采用IBM SPSS Statistics 20 (SPSS Inc., USA) 统计分析软件对数据进行单因素方差分析 (One-way ANOVA),并用最小显著差数 (LSD法) 进行多重比较 ($\alpha = 0.05$),绘图采用SigmaPlot 10.0 (Systat Software Inc., USA)。

2 结果与分析

2.1 五倍子废渣分解对玉米发芽率、存活率的影响及胁迫指数

相对于CK,低剂量(T1-T3)五倍子废渣处理对玉米发芽率及存活率无显著影响,而高剂量(T4-T5)处理则具有显著的抑制作用(图1),且T2-T5随处理剂量的增加,发芽率和存活率降低。由T1到T5处理,发芽率较对照分别降低了11.54%、-3.84%、15.39%、26.93%和38.47%,存活率也随处理剂量增加呈下降趋势,分别较对照降低了11.54%、3.85%、15.39%、42.31%和57.69%。T1-T5处理下五倍子废渣对玉米的胁迫指数分别是11.60%、-3.81%、15.42%、26.95%和46.17%。

2.2 五倍子废渣分解对玉米株高、地径生长的影响

由图2可知,在玉米出苗后到45 d时,废渣的分解显著抑制了玉米的高生长,且处理量越大,抑制效应越明显。在分解45 d后,T1-T3处理较CK已经不再显著。玉米出苗后到75 d时,T4-T5处理株高均显著低于CK,但到90 d时,T5处理株高超过其他各处理与CK,T4株高也超过T1、T2和T3,总体上存在高剂量处理超过低剂量处理的趋势。

废渣分解到45 d时,总体上各处理地径均低于CK。到60 d及之后,不同剂量处理地径生长变化较大,较CK不再显著,70 d后T5超过其他所有处理和CK,T4也升至较高水平,同样存在高剂量处理超过低剂量处理的趋势。

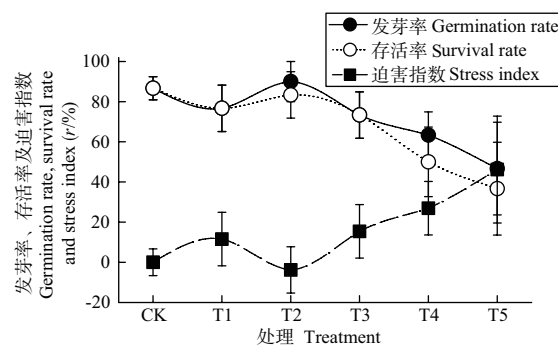


图1 五倍子废渣分解对玉米发芽率、存活率的影响及胁迫指数。

Fig. 1 Effects of decomposing *Galla chinensis* dregs on germination rate, survival rate and stress index of maize.

2.3 五倍子废渣分解对玉米抗氧化酶及丙二醛的影响

由图3可知,在废渣分解的前75 d,各处理的废渣分解对玉米叶片POD活性产生了明显的影响,均与CK存在显著 ($P < 0.05$) 差异,T2-T5始终极显著 ($P < 0.01$) 低于CK,各时期均表现为抑制效应,但是低剂量处理的抑制作用在减弱。

各处理下CAT活性在废渣分解45 d前显著 ($P < 0.05$) 低于CK,且T2-T5极显著 ($P < 0.01$) 低于CK,抑制程度与添加量无明显相关性。分解到60 d后,T1,T2较CK差异不再显著 ($P > 0.05$)。分解到75 d时,各处理CAT活性总体上恢复到CK水平。

在废渣分解不同时期,各处理SOD活性表现出不同的效应。短期内(30 d),高剂量处理显著抑制了SOD活性,而低剂量SOD活性显著高于CK。随时间推移,抑制作用增强,各处理SOD活性总体低于CK。到末期时,SOD活性与CK差异不再显著。

在废渣分解的前60 d,各处理MDA含量较CK差异不显著,75 d时,各处理MDA含量均显著高于CK。

2.4 五倍子废渣分解对玉米渗透调节物质的影响

由图4可知,在废渣分解初期,各处理间可溶性糖含量差异不显著,而到45 d时,则随着处理剂量的增加而降低,呈现出明显的剂量梯度效应,到60 d之后,这种差异逐渐变小。

可溶性蛋白含量的变化趋势与可溶性糖的变化相似,也是在45 d时呈现出明显的剂量梯度效应,到60 d之后,其差异逐渐不明显。

2.5 五倍子废渣分解对玉米生殖生长的影响

由图5可知,在土壤中添加五倍子废渣显著延长了玉米抽穗期,且处理剂量越大,抽穗推迟的时间越长。T1-T5处理下

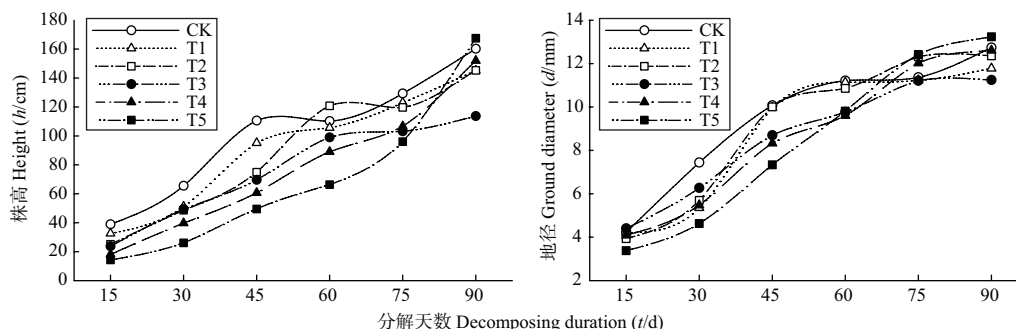


图2 五倍子废渣分解对玉米株高、地径生长的影响。

Fig. 2 Effects of decomposing *Galla chinensis* dregs on height and ground diameter growth of maize.

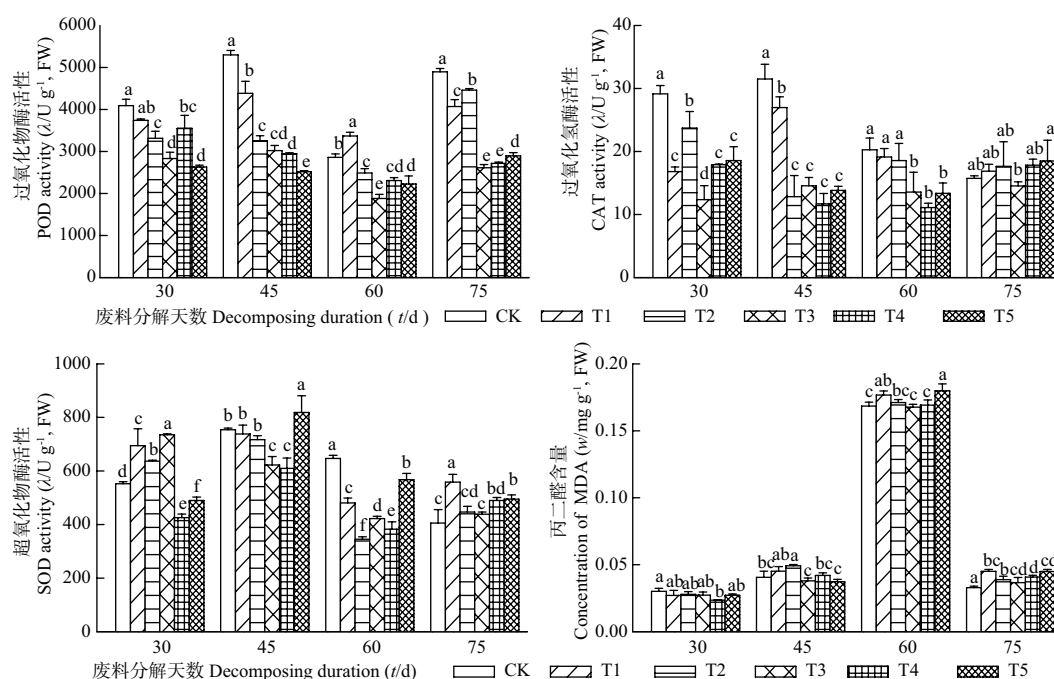


图3 五倍子废渣分解对玉米抗氧化酶及丙二醛的影响。不同字母表示处理间在 $\alpha=0.05$ 水平上存在显著差异(单因素方差分析, LSD多重比较)。

Fig. 3 Effects of decomposing *Galla chinensis* dregs on activity of antioxidant enzymes and malondialdehyde (MDA) of maize. Lowercase letters indicate significant differences at 0.05 probability level (one-way ANOVA followed by Fisher's least significant difference test).

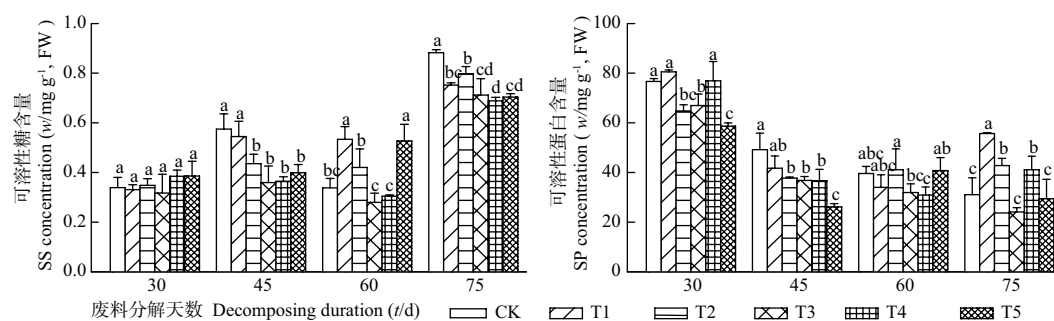


图4 五倍子废渣分解对玉米渗透调节物质的影响。不同字母表示处理间在 $\alpha=0.05$ 水平上存在显著差异(单因素方差分析, LSD多重比较)。

Fig. 4 Effect of decomposing *Galla chinensis* dregs on osmotic adjustment substance of maize. Lowercase letters indicate significant differences at 0.05 probability level (one-way ANOVA followed by Fisher's least significant difference test).

抽雄分别较CK推迟了3 d、5 d、9 d、10 d和12 d, 抽丝分别推迟了4 d、7 d、8 d、13 d和16 d。

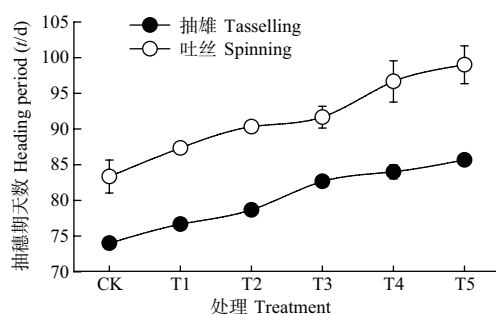


图5 五倍子废渣分解对玉米抽穗的影响。

Fig. 5 Effect of decomposing *Galla chinensis* dregs on heading period of maize.

由图6可知, T1-T3处理玉米穗重、穗籽粒重、出籽率及穗籽粒数虽然呈下降趋势但较平缓且不显著, 穗重分别较

CK分别减少9.81%、11.39%、10.77%, 极差1.286 2 g; 穗籽粒重较CK分别减少10.20%、12.76%、11.11%, 极差1.758 3 g, 出籽率与CK持平。T4-T5处理下的玉米穗重、穗籽粒重、出籽率、穗长及其穗籽粒数均低于CK, 穗重较CK减少18.12%和58.01%, 穗籽粒重较CK减少21.29%和74.47%, 出籽率较CK减少3.74%和53.40%, T5处理穗粒数较CK减少66.41%。可见T4-T5废渣处理对玉米穗重、穗籽粒重及出籽率抑制作用显著。穗千粒重呈现先增后减的趋势, 但变化较平缓。

3 讨论

3.1 五倍子废渣分解对玉米发芽率、存活率、形态指标和生殖生长的影响

低剂量五倍子废渣处理(T1-T3)玉米的发芽率和存活率较CK不显著。而高剂量处理(T4-T5)对玉米的发芽率和存活

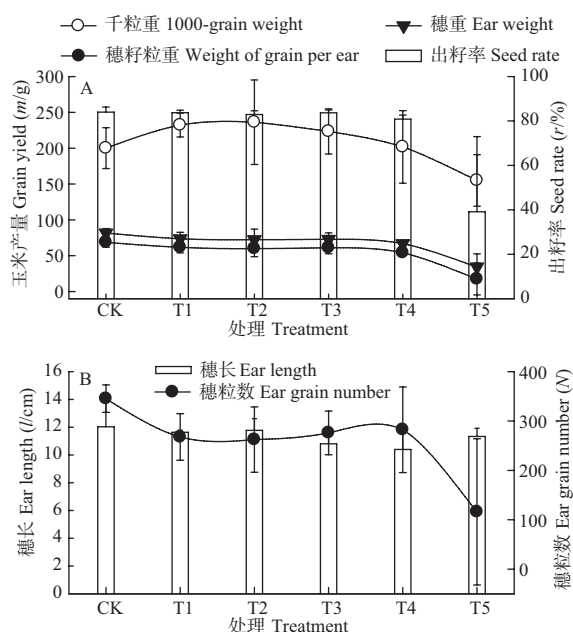


图6 五倍子废渣分解对玉米穗部性状及产量指标的影响。

Fig. 6 Effects of decomposing *Galla chinensis* dregs on ear character and yield of maize.

率具有强烈的抑制作用, 随处理剂量增加抑制作用加强, 且玉米幼苗存活率越发低于发芽率。五倍子废渣延迟了玉米物候抽雄期、吐丝期, 处理剂量越高, 延迟效应越强。

高剂量处理 (T4-T5) 的五倍子废渣在土壤中分解显著地抑制了玉米的产量和质量, 单株玉米穗籽粒重和穗重明显下降, 而低剂量处理 (T1-T3) 下降较缓, 且较CK不显著。原因可能是废渣中的废活性炭^[11], 生物炭施入量过大, 造成土壤盐基离子偏多, 从而影响了玉米对土壤养分的吸收^[24]。这和高丹美等^[25]、方圆^[26]及张春等^[27]研究结果类似, 较高量的活性炭施入抑制了玉米的生长, 低剂量则影响不大。千粒重呈现先增后减的趋势, 可能是穗粒较少, 营养相对充足, 且胁迫程度比高剂量处理 (T4-T5) 低, 所以T1-T3千粒重会较高剂量处理和CK高。

短期处理 (15-60 d) 株高和地径在整体上与处理剂量呈现负相关关系, 长期处理 (75-90 d) 有高剂量处理超过CK的趋势, 可能是玉米生长转入大喇叭口期有关, 在这一时期, 低剂量处理植株由以营养生长为主转变到以生殖生长为主。而高剂量处理可能由于土壤中废渣分解积累了更多的养分, 致使植株还处于营养生长阶段, 尽管植株个体的株高、地径甚至生物量超过了CK和低剂量处理, 但推迟了生殖生长的物候, 并抑制了生殖生长。

3.2 五倍子废渣分解对玉米抗氧化酶及丙二醛的影响

抗氧化酶系统反映了植物在逆境影响下的抗御能力^[28], 其活性氧ROS (Reactive oxygen species) 含量被抗氧化系统控制在最低水平^[29-30], 但是当植物受到环境胁迫时, 植物体内的超氧阴离子自由基 (O_2^-)、 H_2O_2 等ROS含量不断积累, 而这种具有强氧化性的ROS首先攻击细胞膜系统, 膜脂脂肪酸中的不饱和键发生过氧化, 损伤细胞而产生MDA^[31-32], 同时, 植物的抗氧化酶系统激活以清除ROS^[33]。在本研究中, 除

T1外, 各剂量五倍子废渣处理始终极显著 ($P < 0.01$) 地抑制POD活性, 而且这种抑制作用并不随废渣分解时间增加而减弱, 而是始终随废渣处理剂量的升高而加强。POD参与IAA氧化和乙烯的合成且与植物衰老有关^[34], 玉米较低的POD活性可能导致体内较高的IAA水平和较低的乙烯水平, 所以废渣处理后玉米开花和结实延迟, 这与陈洪等研究的香樟凋落叶分解对辣椒化感作用POD的变化情况^[35]相似。

在本研究中, 废渣分解对CAT和SOD活性的抑制作用随处理时间的延长逐渐减弱, 最终各处理CAT活性较CK不再显著。而前期 (60 d及以前) MDA含量总体上与CK无差异, 末期时各处理均高于CK。可能是玉米POD、CAT活性虽然在前期受到抑制, 但还是足以清除体内的ROS, 使得玉米受到的过氧化伤害不明显, 这与王茜等的研究结果^[36]相似。也可能是玉米体内存在着如抗坏血酸、维生素E等非酶促防御系统^[37-38], 其具体机制有待深入研究。

3.3 五倍子废渣分解对玉米渗透调节物质的影响

渗透调节物质具有维持细胞正常膨压的功能, 当植物受到胁迫时, 可溶性蛋白主要是参与代谢的各种酶, 其合成往往受阻^[31]。在本研究中, 仅45 d时各处理可溶性蛋白与可溶性糖较CK出现差异, 且呈明显梯度效应。表明初期和末期时对玉米渗透调节物质影响不大, 中期表现出抑制效应, 并且随着废渣处理量的增大影响越强。可能是废渣分解到中期时, 胁迫抑制致了玉米细胞内大分子的糖类、蛋白质的降解, 转化成蔗糖、葡萄糖等小分子的可溶性糖过程受阻, 或者使其转化为其它物质。可溶性蛋白含量的降低也可能因为废渣中活性炭质妨碍了玉米根系对矿质离子的吸收, 蛋白质合成缺少所需的P、S、Fe等元素; 也可能是某些物质进入细胞后, 直接与之作用, 使其变性沉淀, 如生物碱、有机酸等可破坏蛋白质结构^[39], 这有待开展进一步研究。

3.4 综合评价

(1) 在低剂量 (T1、T2和T3) 处理下, 五倍子废渣对玉米种子的发芽率和存活率抑制作用均不明显, 而高剂量处理 (T4、T5) 抑制作用强烈; (2) 早期 (45 d), 五倍子废渣处理对玉米株高和地径的影响随处理剂量增加而增强, 但随着时间的推移, 其抑制作用减弱; (3) 五倍子废渣处理推迟了玉米的抽穗期, 且推迟程度与处理剂量呈正相关; (4) 在低剂量 (T1-T3) 处理间玉米的各项产量指标无显著差异, 而高剂量处理 (T4-T5) 则抑制作用强烈。因此, 按本研究结果测算, 建议在生产实践中, 五倍子废渣还田量宜控制在3 000 kg/亩 (45 000 kg/hm²) 以下, 不会影响玉米的生长和产量, 同时, 像五倍子这类以生物质为工业原料的生产废渣及时还田, 不仅有利于改良土壤, 增加土壤肥力, 还有利于减少自由排放对环境的污染。

参考文献 [References]

- 潘华峰, 邓乔丹, 冯毅狮, 赵自明. 中药渣综合利用的可行性分析[J]. 时珍国医国药, 2011, 22 (8): 2026-2027 [Pan HF, Deng QD, Feng YS, Zhao ZM. Easibility analysis on comprehensive utilization of Chinese herbal medicine residue [J]. *Lishizhen Med Mater Med Res*, 2011, 22 (8): 2026-2027]

- 2 谭显东, 王向东, 黄健盛, 刘建英, 羊依金, 叶芝祥. 中药渣资源化技术研究进展[J]. 中成药, 2010, **32** (5): 847-849 [Tan XD, Wang XD, Huang JS, Liu JY, Yang YJ, Ye ZX. Research progress on recycling technology of Chinese herbal medicine residue [J]. *Chin Trad Pat Med*, 2010, **32** (5): 847-849]
- 3 王引权, 吴小琴, 朱田田, 马琴国, 陈红刚. 中药固渣堆肥利用研究[J]. 中药材, 2008, **31** (11): 1622-1624 [Wang YQ, Wu XQ, Ma QG, Chen HG. Study on the solid residue compost utilization of traditional Chinese medicine [J]. *J Chin Med Mat*, 2008, **31** (11): 1622-1624]
- 4 杨子祥. 五倍子高产培育技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011: 116 [Yang ZX. Chinese Nutgall High-yield Cultivation Techniques [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2011: 116]
- 5 张雅丽, 李建科, 刘柳, 于振, 马倩倩, 李梦颖. 五倍子没食子酸研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, **34** (10): 386-390 [Zhang YL, Li JK, Liu L, Yu Z, Ma QQ, Li MY. Research progress in gallic acid from *Galla chinensis* [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, **34** (10): 386-390]
- 6 李志国, 汤先赤, 夏定久. 中国五倍子[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2008: 238 [Li ZG, Tang XC, Xia DJ. Chinese *Gallnuts* [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Publishing House, 2008: 238]
- 7 张亮亮, 汪咏梅, 徐曼, 吴冬梅, 陈箭鸿. 五倍子加工剩余物虫尸作为饲料其营养物质的初步研究[J]. 生物质化学工程, 2013, **47** (2): 6-8 [Zhang LL, Wang YM, Xu M, Wu DM, Chen JH. Preliminary study on nutritive components of Chinese Gallnut processing residue dead aphids as animal protein feed [J]. *Biomass Chem Eng*, 2013, **47** (2): 6-8]
- 8 Santappa M, Sundra Rao VS. Vegetable tannins-a review [J]. *J Sci Ind Res*, 1982, **27** (4): 705-718
- 9 陈箭鸿. 我国没食子单宁化学利用现状与展望[J]. 林产化学与工业, 2000, **20** (2): 71-82 [Chen JH. Situation and prospect of chemical utilization of gallotannins in China [J]. *Chem Ind For Prod*, 2000, **20** (2): 71-82]
- 10 林冠峰, 牟大庆, 程捷, 黄彪. 活性炭再生技术研究进展[J]. 林业科学, 2008, **44** (2): 153-155 [Lin GF, Mu DQ, Cheng J, Huang B. Research progress on regeneration of active carbon [J]. *Sci Sil Sin*, 2008, **44** (2): 153-155]
- 11 秦清. 没食子酸生产废水、废渣、废炭处理回收技术[J]. 林产化工通讯, 2000, **34** (3): 15-20 [Qin Q. Research institute of chemical processing and utilization of forest products [J]. *Biomass Chem Eng*, 2000, **34** (3): 15-20]
- 12 黄中杰. 制单宁酸没食子酸的五倍子渣生产饲料复肥的方法: 中国专利, CN1210681 [P]. 1999-03-17 [Huang ZJ. Process for producing feed and compound fertilizer from Chinese gall residue of preparing tannic acid and gallic acid: Chinese Patent, CN1210681 [P]. 1999-03-17]
- 13 刘慧来. 药渣与化肥配施对马铃薯产量与品质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2015 (9): 48-50 [Liu HL. Effect of herb residue and chemical fertilizer on yield and quality of potato [J]. *Heilongjiang Agric Sci*, 2015 (9): 48-50]
- 14 单金津, 李伟, 李齐激, 杨小生. 不同药渣对平菇多糖含量及抗氧化活性的影响[J]. 贵州农业科学, 2015, **43** (7): 151-154 [Shan JJ, Li W, Li QJ, Yang XS. Effects of different dregs on polysaccharides content and antioxidant activity of *pleurotus ostreatus* [J]. *Guizhou Agric Sci*, 2015, **43** (7): 151-154]
- 15 何佳芳, 陈龙, 苟久兰, 赵欢. 不同药渣基质配比对小白菜种苗质量的影响研究[J]. 种子, 2015, **34** (2): 94-96 [He JF, Chen L, Gou JL, Zhao H. Effect of different drug residue ratio to Chinese cabbage seedling quality [J]. *Seed*, 2015, **34** (2): 94-96]
- 16 祖国掌, 李槿年, 许建新, 金宗凤, 唐东林. 五倍子对池水细菌和藻类的影响[J]. 应用生态学报, 2007, **18** (8): 1837-1842 [Zu GZ, Li JN, Xu JX, Jin ZF, Tang DL. Effects of *Galla chinensis* on bacteria and algae in pool water [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2007, **18** (8): 1837-1842]
- 17 裴毅, 杜宪, 聂江力, 翟欢欢, 张宝坤. 没食子酸对铜绿微囊藻的化感作用[J]. 植物研究, 2014, **34** (6): 840-844 [Pei Y, Du X, Nie JL, Zhai HH, Zhang BK. Allelopathy of gallic acid on *Microcystis aeruginosa* [J]. *Bull Bot Res*, 2014, **34** (6): 840-844]
- 18 聂江力, 王亭, 石聪, 裴毅, 吴亚鑫. 五倍子水提液对铜绿微囊藻生长抑制效应的研究[J]. 植物研究, 2011, **31** (2): 231-234 [Nie JL, Wang T, Shi C, Pei Y, Wu YX. Inhibitory effect of extract from *Galla chinensis* on the growth of *Microcystis aeruginosa* [J]. *Bull Bot Res*, 2011, **31** (2): 231-234]
- 19 郑照强, 夏洪应, 彭金辉, 曲雯雯, 张利波, 刘秉国, 李玮. 响应曲面法优化废弃五倍子药渣制取活性炭的研究[J]. 环境污染与防治, 2013, **35** (3): 5-9 [Zheng ZQ, Xia HY, Peng JH, Qu WW, Zhang LB, Liu BG, Li W. Process optimization for the preparation of activate carbon from abandoned dregs of gallumt using response surface methodology [J]. *Environ Pollut Contr*, 2013, **35** (3): 5-9]
- 20 陈洪, 周光良, 胡庭兴, 黎万军, 罗杰, 陈刚, 景建飞. 蓝桉凋落叶分解对菠菜生长及光合特性的影响[J]. 生态学报, 2015, **35** (7): 2146-2154 [Chen H, Zhou GL, Hu TX, Li WJ, Luo J, Chen G, Jing JF. The effect of decomposing leaf litter of blue gum (*Eucalyptus globulus*) on the growth and photosynthetic characteristics of spinach (*Spinacia oleracea*) [J]. *Acta Ecol Sin*, 2015, **35** (7): 2146-2154]
- 21 李志萍, 张文辉, 崔豫川. NaCl和Na₂CO₃胁迫对栓皮栎种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 生态学报, 2015, **35** (3): 742-751 [Li ZP, Zhang WH, Cui YC. Effects of NaCl and Na₂CO₃ stresses on seed germination and seedling growth of *Quercus variabilis* [J]. *Acta Ecol Sin*, 2015, **35** (3): 742-751]
- 22 熊庆娥. 植物生理学实验教程[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2003: 146 [Xiong QE. Plant Physiology Experiments Tutorial [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2003: 146]
- 23 Giannopolitis CN, Roes SK. Superoxide dismutases I. Occurrence in higher plants [J]. *Plant Physiol*, 1977, **59** (2): 309-314
- 24 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 191 [Zou Q. Guide of Plant Physiological Experiments [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 191]
- 25 高丹美, 吴凤芝, 周新刚. 活性炭对土壤酶活性及黄瓜幼苗生长的影响[J]. 新疆农业科学, 2014, **51** (6): 1154-1161 [Gao DM, Wu FZ, Zhou XG. Effects of activated carbon on soil enzyme activities and cucumber seedling growth [J]. *Xinjiang Agric Sci*, 2014, **51** (6): 1154-1161]
- 26 方圆. 增施活性炭对土壤特性及春玉米生长的影响[D]. 陕西: 西北农林科技大学, 2012 [Fang Y. Effects of active carbon application on soil characteristics and growth of spring maize [D]. Shanxi: Northwest Agriculture and Forestry University, 2012]
- 27 张春, 赵浩淳, 郭涛, 刘先良. 生物炭用量对烟苗生长的影响[J]. 烟草科技, 2015, **48** (6): 9-12 [Zhang C, Zhao HC, Guo T, Liu XL. Influences of biochar application rate on tobacco seedling growth [J]. *Tob Sci Technol*, 2015, **48** (6): 9-12]
- 28 余叔文, 汤章城. 植物生理与分子生物学 [M]. 2版. 北京: 科学出版社,

- 1998: 853 [Yu SW, Tang ZC. Plant Physiology and Molecular Biology [M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 1998: 853]
- 29 Gechev TS, Van Breusegem F, Stone J M, Denev I, Laloi C. Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death [J]. *Bioessays*, 2006, **28** (11): 1091-1101
- 30 Bogatek R, Gniazdowska A. ROS and phytohormones in plant-plant allelopathic interaction [J]. *Plant Signal Behav*, 2007, **2** (4): 317-318
- 31 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 419 [Li HS. The Modern Plant Physiology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 419]
- 32 马兰涛, 陈双林. 瓜多竹(*Guadua amplexifolia*)对NaCl胁迫的生理响应[J]. 生态学报, 2008, **27** (9): 1487-1491 [Ma LT, Chen SL. Physiological responses of *Guadua amplexifolia* to NaCl stress [J]. *Chin J Ecol*, 2008, **27** (9): 1487-1491]
- 33 马丹炜, 王亚男, 王煜, 张红, 廖颖, 何兵. 化感胁迫诱导植物细胞损伤研究进展[J]. 生态学报, 2015, **35** (5): 1640-1645 [Ma DW, Wang YN, Wang Y, Zhang H, Liao Y, He B. Advance in allelochemical stress induced damage to plant cells [J]. *Acta Ecol Sin*, 2015, **35** (5): 1640-1645]
- 34 Beffa R, Martin HV, Pilet PE. *In vitro* oxidation of indoleacetic acid by soluble auxin-oxidases and peroxidases from maize roots [J]. *Plant Physiol*, 1990, **94** (2): 485-491
- 35 陈洪, 胡庭兴, 王茜, 胡红玲, 蒋雪, 周光良, 陈刚. 香樟凋落叶分解对辣椒生长的抑制作用及施氮的缓解效应[J]. 应用生态学报, 2015, **26** (2): 457-465 [Chen H, Hu TX, Wang Q, Hu HL, Jiang X, Zhou GL, Chen G. Inhibition of decomposing leaf litter of *Cinnamomum camphora* on growth of *Capsicum annuum* and the alleviation effect of nitrogen application [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2015, **26** (2): 457-465]
- 36 王茜, 徐郑, 胡庭兴, 胡红玲, 陈洪, 史洪洲. 核桃凋落叶分解对萝卜生长和生理的影响[J]. 西北植物学报, 2014, **34** (12): 2457-2482 [Effect of decomposing walnut leaf litter on the growth and physiology of radish [J]. *Acta Bot Bor-Occid Sin*, 2014, **34** (12): 2457-2482]
- 37 李明, 王根轩. 干旱胁迫对甘草幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响[J]. 生态学报, 2002, **22** (4): 503-507 [Li M, Wang GX. Effect of drought stress on activities of cell defense enzymes and lipid peroxidation in *glycyrrhiza uralensis* seedlings [J]. *Acta Ecol Sin*, 2002, **22** (4): 503-507]
- 38 杜秀敏, 殷文璇, 赵彦修, 张慧. 植物中活性氧的产生及清除机制[J]. 生物工程学报, 2001, **17** (2): 121-124 [Du XM, Yin WX, Zhao YX, Zhang H. The production and scavenging of reactive oxygen species in plants [J]. *Chin J Biotechnol*, 2001, **17** (2): 121-124]