ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学学会 2013 年学术年会专辑

第 33 卷 第 19 期 Vol.33 No.19 2013

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 19 期　　2013 年 10 月　(半月刊)

目　　次

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 464 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 55 * 2013-10

封面图说: 毛乌素沙地南缘沙丘的生物结皮——生物土壤结皮广泛分布于干旱和半干旱区,它的形成和发育对荒漠生态系统生态修复过程产生重要的影响。组成生物结皮的藻类、苔藓和地衣是常见的先锋植物,它们不仅能在严重干旱缺水、营养贫瘠恶劣的环境中生长、繁殖,并且能通过其代谢方式影响并改变环境。其中一个重要的特点是,生物结皮表面的凝结水显著大于裸沙。研究表明,凝结水是除降雨之外最重要的水分来源之一,在水分极度匮乏的荒漠生态系统,它对荒漠生态系统结构、功能和过程的维持产生着重要的影响。

彩图及图说提供: 陈建伟教授　北京林业大学　E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201304260826
杨延杰,王晓伟,赵康,陈宁,林多.邻苯二甲酸对萝卜种子萌发、幼苗叶片膜脂过氧化及渗透调节物质的影响.生态学报,2013,33(19):6074-6080.
Yang Y J, Wang X W, Zhao K, Chen N, Lin D.Effects of phthalic acid on seed germination, membrane lipid peroxidation and osmoregulation substance of radish seedlings.Acta Ecologica Sinica,2013,33(19):6074-6080.

邻苯二甲酸对萝卜种子萌发、幼苗叶片膜脂过氧化及渗透调节物质的影响

杨延杰,王晓伟,赵 康,陈 宁,林 多*
(青岛农业大学园艺学院, 青岛 266109)

摘要:华北地区是我国玉米的主产区,玉米秸秆还田不仅可有效改善土壤理化性状、提高土壤生物有效性,还会在腐解过程中释放出目前公认的化感物质——酚酸类物质,邻苯二甲酸是玉米秸秆腐解液中的主要酚酸类物质。从玉米秸秆还田过程中主要腐解产物(邻苯二甲酸)对蔬菜作物的化感效应角度进行了研究,为量化秸秆还田量及构建粮-菜轮作制度探寻化感效应依据。试验以萝卜为蔬菜材料,通过配置 4 个浓度(0.05、0.5、1.0、2.0 mmol/L)的邻苯二甲酸溶液,模拟玉米秸秆还田条件,以清水为对照,研究主要腐解产物邻苯二甲酸对萝卜种子萌发、幼苗生长、膜脂过氧化作用及渗透调节物质的影响。结果表明:(1)萝卜不同生育期对邻苯二甲酸化感效应的响应程度不同。在 0.05—1 mmol/L 浓度范围内,邻苯二甲酸处理促进了萝卜种子萌发,但随着处理浓度的增大,促进作用减弱;浓度达到 2 mmol/L 时对萝卜种子萌发具有抑制效果。(2)邻苯二甲酸 0.05mmol/L 处理,促进了萝卜幼苗干鲜物质积累,幼苗根系生长,其中根系长度和根系表面积分别比对照提高 42.03%、38.36%,显著高于清水对照;植株体内超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)活性增大,过氧化物酶(Peroxidase, POD)、过氧化氢酶(Catalase, CAT)活性降低,膜脂过氧化产物丙二醛(Malonaldehyde, MDA)含量与对照无显著差异。(3)当邻苯二甲酸浓度超过 0.5 mmol/L 时,萝卜幼苗脂质过氧化伤害加剧,体内 MDA 含量急剧增加,代谢与生理功能出现紊乱,正常生长及干鲜物质积累受到显著抑制。邻苯二甲酸浓度达到 2 mmol/L 时,叶片数较对照降低了 36.51%;根系长度、根系表面积及根尖数降幅分别为 64.46%、40.20%、41.28%。(4)对于渗透调节物质的影响,邻苯二甲酸处理促进了萝卜幼苗叶片可溶性糖含量的增加,但随着处理浓度的升高其促进作用逐渐减弱;可溶性蛋白含量随着邻苯二甲酸处理浓度的升高表现出逐渐减少的趋势,分别较对照降低了 12.82%、14.88%、21.58%、24.73%。因此,华北地区实施玉米-萝卜轮作模式,从化感效应角度研究玉米秸秆量化还田,应将土壤中邻苯二甲酸浓度控制在 0.5 mmol/L 范围以内,以防止邻苯二甲酸浓度过高对萝卜幼苗生长的抑制作用。

关键词:玉米秸秆还田;化感物质;萝卜;种子萌发;膜脂过氧化;渗透调节

Effects of phthalic acid on seed germination, membrane lipid peroxidation and osmoregulation substance of radish seedlings

YANG Yanjie, WANG Xiaowei, ZHAO Kang, CHEN Ning, LIN Duo*
Horticultural College, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, *China*

Abstract: The return of maize straw back to the soil is one way to achieve sustainable development in agriculture in North China, one of the major maize producing areas. This method can not only improve the soil's physical, chemical and effective bioavailability properties but also release phenolic acids recognized as allelochemicals during the decomposition process of maize straw. Phthalic acid is one of the phenolic acid decomposition products. In order to provide the basis of allelopathic effects to quantify the amount of maize straw to the field and to aid the construction of Vegetable-Maize rotation systems, the allelopathic effects of the main maize straw decomposition product (phthalic acid) on the vegetable crop used for follow-up

基金项目:国家"十二五"科技支撑计划项目(2011BAD12B03);国家公益性行业(农业)科研专项经费项目(201103001);山东省现代农业产业技术体系集约化育苗岗位专家资助项目(66210Y8);山东省农业重大应用技术创新项目(66211W2)
收稿日期:2013-04-26; **修订日期**:2013-07-15

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: linduo73@163.com

cultivation were studied. In order to simulate the condition of maize straw returned to the field, the effects of different concentrations(0.05、0.5、1.0、2.0 mmol/L) of phthalic acid on the seed germination, seedling growth, membrane lipid peroxidation and osmoregulation substance of radish (*Raphanus sativus* L.) were studied in this paper, using distilled water as a control. The results showed that: (1) The degree of the allelopathy response of radish to phthalic acid was different at different growth stages. In the concentration range of 0.05—1 mmol/L, phthalic acid promoted the seed germination of radish, but the effect gradually decreased with an increased concentration of phthalic acid. When the concentration reached 2.0 mmol/L, phthalic acid had an inhibitory effect on the radish seeds′germination. (2) Phthalic acid, with 0.05 mmol/L treatment, promoted fresh biomass, dry matter accumulation and root growth of radish seedlings. The root length and root surface area of radish were significantly increased by 42.03% and 38.36%, respectively, when compared to those of the control. Compared with the control, the activity of superoxide dismutase (SOD) increased, but activities of peroxidase (POD) and catalase (CAT) decreased in the radish seedlings. There were no significant differences in the malondialdehyde (MDA) content between the treated and control radish seedlings. (3) When the concentration of phthalic acid was higher than 0.5mmol/L, the degree of damage to the membrane lipid peroxidation of the radish seedlings increased and MDA contents sharply increased. Metabolic and physiological function disorder was found, and the plant growth and matter accumulation of radish seedlings were significantly inhibited. When the concentration of phthalic acid was 2 mmol/L, leaf and root tip numbers, root length and root surface area of the radish reduced by 36.51%, 41.28%, 64.46% and 40.20%, respectively, when compared with the control. (4) The influence on osmotic adjustment substance showed that phthalic acid with different concentrations in the four treatments all promoted the accumulation of soluble sugar content in radish seedling leaves, but the promotion effect gradually decreased with an increased concentration of phthalic acid. With an increasing concentration of phthalic acid, the soluble protein content gradually decreased by 12.82%, 14.88%, 21.58% and 24.73%, over the four treatments, respectively, when compared to the control. If only considering the allelopathic effects to ensure the best implementation of Maize-Vegetable rotation and quantization of returning maize straw to the field in North China, the phthalic acid concentration should be less than 0.5mmol/L to prevent the negative influences of high concentrations of phthalic acid on the growth of radish seedlings.

Key Words: maize straw returning to soil; allelochemicals; radish; seed germination; membrane lipid peroxidation; osmoregulation substance

近年来,随着循环农业的发展,以秸秆还田为主的农田生物培肥措施逐渐受到重视[1]。进行秸秆还田,可以有效改善土壤理化性状、提高土壤生物有效性、减轻土传病害并促进作物增产[2-5]。然而,还田秸秆在土壤中还会分解释放出化感物质,当其不断积累并达到一定浓度后,会对下茬作物种子萌发、幼苗生长及根系吸收等产生抑制[6-8]。李彦斌等[9]研究表明,随着棉花秸秆还田量的增多和秸秆腐解时间的延长,棉花植株单叶净光合速率、气孔导度、蒸腾速率及胞间 CO_2 浓度等显著降低,植株体内抗氧化物酶活性显著下降。作物化感效应的强弱主要取决于土壤中秸秆还田量的多少、不同秸秆的自身成分、腐解过程和特点[10]。

酚酸类物质是目前公认的化感物质[11-12],邻苯二甲酸是玉米秸秆腐解液中含量较高的酚酸类物质之一[13-14]。已有研究指出,邻苯二甲酸能够抑制茄子根际黄萎菌的增殖,对茄子、黄瓜、辣椒种子萌发及幼苗生长的影响表现为“低促高抑”[15-17];另外,高浓度邻苯二甲酸还能够引起番茄幼苗根系膜脂过氧化,导致幼苗光合速率、气孔导度及蒸腾速率下降,同时抑制幼苗生物量的增加[18-19]。

华北地区作为我国玉米主产区,每年都会产生大量玉米秸秆[20]。目前,关于玉米秸秆还田的研究主要集中在还田耕作方式、秸秆腐解特点、秸秆还田后土壤质量和微生物生物量变化及对下茬粮食作物生长、产量与品质影响等方面[21-23],而关于从化感角度研究玉米秸秆还田量及其对下茬蔬菜生长影响方面的研究鲜有报道。为此,本试验以萝卜为蔬菜试材,通过配置不同浓度邻苯二甲酸,模拟玉米秸秆还田条件下主要腐解产物邻苯二甲酸对萝卜种子萌发及幼苗生长的化感效应,旨在为华北地区秸秆还田量化标准的制定及粮-菜轮作制度的构建,实现农业可持续健康发展,提供化感理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

试验于 2012 年 4 月至 5 月在青岛农业大学连栋育苗温室内进行,供试萝卜(*Raphanus sativus* L.)品种为‘潍县青’(山东丽

林公司生产);邻苯二甲酸为分析纯(国药集团化学试剂有限公司),共设 4 个浓度处理,分别为 T1 0.05 mmol/L、T2 0.5 mmol/L、T3 1.0 mmol/L、T4 2.0 mmol/L,以清水为对照(CK)。

1.2 种子发芽试验

在铺有两层定性滤纸的洁净培养皿中(直径 10 cm)放入均匀饱满的受体萝卜种子 50 粒,然后将 5 mL 不同处理溶液注入相应培养皿床,重复 3 次。将培养皿放入 25℃的恒温培养箱中培养,期间分别用相应溶液对滤纸进行湿润以保持其湿度。每天定时统计种子发芽数,直到没有种子发芽为止。种子发芽率采用公式:已发芽的种子数÷总数×100%计算。

1.3 幼苗生长试验

用不同处理溶液对萝卜种子进行催芽处理(方法同种子发芽试验),4 月 15 日选取发芽势一致的种子将其播种于 72 孔穴盘中,育苗基质配比为草炭:珍珠岩:蛭石 = 2:1:1,每处理 1 盘,3 次重复,完全随机排列。各处理日常浇水以相应邻苯二甲酸溶液代替,其它同常规育苗管理。

播种后 20d 每处理随机取 15 株幼苗洗净,采用常规方法测定幼苗叶片数、地上部干鲜质量及根系干鲜质量,用 Epson Perfection V700 Photo 根系扫描仪对根系进行扫描,Win RHIZO 根系分析仪进行根系分析,分析指标包括根长、根系表面积及根尖数。SOD 活性采用氮蓝四唑法测定[24];POD 活性采用愈创木酚法测定[24];CAT 活性采用紫外吸收法测定[24];MDA 含量采用硫代巴比妥酸法测定[24];可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定[24];可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定[24]。

1.4 数据分析

试验数据采用 Microsoft Excel、Origin(Version 7.0)和 DPS(7.05)软件进行数据统计分析及作图,差异显著性比较采用最小显著极差法(LSD 法)。

2 结果与分析

2.1 邻苯二甲酸对萝卜种子萌发率的影响

如图 1 所示,在 0.05—1 mmol/L 浓度范围内,邻苯二甲酸处理促进了萝卜种子的萌发,但随着处理浓度的增大,促进作用减弱。萝卜种子发芽率在邻苯二甲酸处理浓度为 0.05 mmol/L 时达到峰值,为 89%,比对照高出 5.95%;与对照相比,2 mmol/L 的邻苯二甲酸处理抑制了萝卜种子萌发,发芽率仅为 83%。

2.2 邻苯二甲酸对萝卜幼苗生长的影响

从表 1 可以看出,与对照相比,0.05 mmol/L 的邻苯二甲酸处理虽未对萝卜幼苗地上部生长产生显著影响,却显著促进了幼苗根系生长。其中,根系长度、根系表面积及根尖数分别较对照高出了 42.03%、38.36%、28.02%;幼苗地上部干鲜质量及根系干质量也在不同程度上有所增加。邻苯二甲酸处理浓度超过 0.5 mmol/L,萝卜幼苗生长及物质积累受到显著抑制,且邻苯二甲酸浓度越大,抑制幅度越大。当浓度达到 2 mmol/L 时,叶片数较对照降低了 36.51%;根系长度、根系表面积及根尖数降幅分别为 64.46%、40.20%、41.28%。

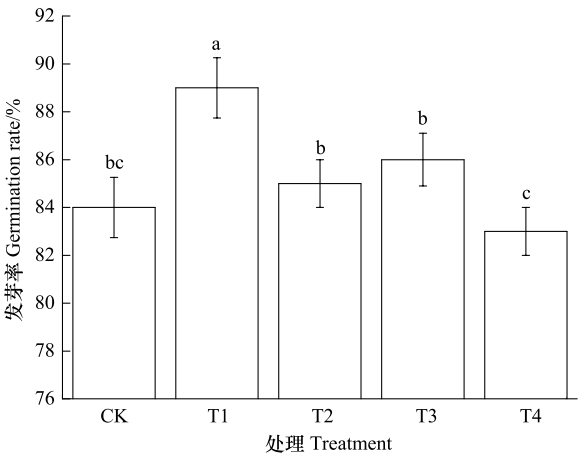

图 1 邻苯二甲酸对萝卜种子萌发率的影响

Fig.1 Effect of phthalic acid on seed germination rate of radish

CK: 0 mmol/L; T1: 0.05 mmol/L; T2: 0.5 mmol/L; T3: 1 mmol/L; T4: 2 mmol/L

表 1 邻苯二甲酸对萝卜幼苗生长状况的影响

Table 1 Effect of phthalic acid on growth of radish seedlings

浓度 Concentration /(mmol/L)	叶片数 Leaf number	根长 Root length /cm	根系表面积 Root surface area /cm²	根尖数 Root tips /(个/株)	地上部鲜质量 Shoot fresh mass /g	地上部干质量 Shoot dry mass /g	根系鲜质量 Root fresh mass /g	根系干质量 Root dry mass /g
CK	3.67±1.1a	219.79±14.91b	17.39±2.16b	596±70ab	0.477±0.055b	0.0867±0.0135b	0.287±0.029a	0.0110±0.0019ab
0.05	3.66±0.4a	312.17±23.92a	24.06±1.71a	763±115a	0.618±0.027a	0.1160±0.0141a	0.261±0.033a	0.0130±0.0014a
0.5	2.67±0.5ab	177.10±17.86c	12.46±1.77c	501±67bc	0.502±0.043b	0.1140±0.0153a	0.267±0.027a	0.0119±0.0022ab
1	2.33±0.7b	162.03±21.65c	12.31±1.53c	452±47cd	0.335±0.048c	0.0543±0.0221bc	0.126±0.057b	0.0075±0.0013c
2	2.33±0.5b	141.67±22.25c	10.40±1.88c	350±59d	0.240±0.067c	0.0469±0.0197c	0.111±0.042b	0.0088±00020bc

同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)

2.3 邻苯二甲酸对萝卜幼苗叶片膜脂过氧化的影响

由图 2 可见,不同浓度邻苯二甲酸对萝卜幼苗膜脂过氧化的影响存在较大差异性。各处理幼苗 SOD 活性不同程度的有所

增强,增强幅度随着浓度的增加而增大。不同浓度邻苯二甲酸处理均抑制了幼苗 POD 及 CAT 活性,随着处理浓度的增加,均表现出先增强后减弱的趋势,其中 POD 活性峰值为 0.5 mmol/L,而 CAT 活性峰值为 1 mmol/L。与对照相比,0.05—0.5 mmol/L 浓度范围内的幼苗 MDA 合成量有所减少,当浓度超过 0.5 mmol/L 时,MDA 合成量又逐渐增加(图 2)。

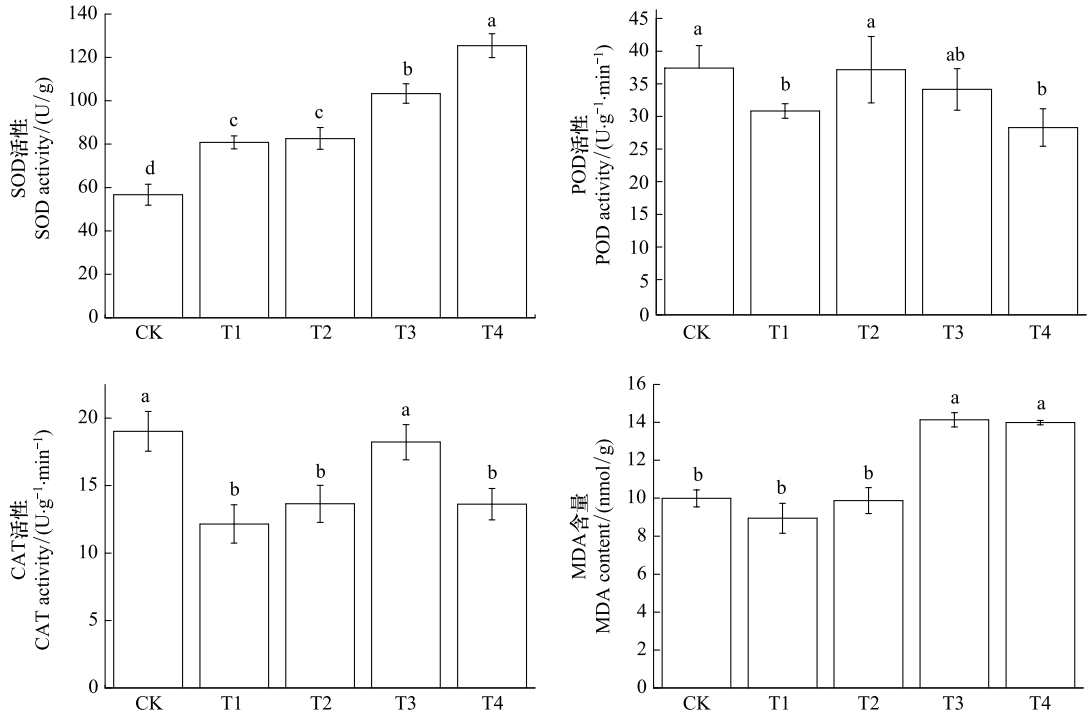

图 2　邻苯二甲酸对萝卜幼苗 SOD、POD、CAT 活性及 MDA 含量的影响

Fig.2　Effect of phthalic acid on SOD, POD, CAT activity and MDA content of radish seedlings

2.4　邻苯二甲酸对萝卜幼苗叶片渗透调节物质的影响

不同浓度邻苯二甲酸处理均促进了萝卜幼苗叶片可溶性糖含量的增加,但随着浓度的升高,其促进作用逐渐减弱,其中,0.5 mmol/L 邻苯二甲酸处理的幼苗叶片可溶性糖含量最高,比对照高出 80.10%。萝卜幼苗可溶性蛋白含量随着邻苯二甲酸浓度的增大呈现出逐渐降低的趋势(图 3),萝卜幼苗可溶性蛋白含量分别较对照低了 12.82%、14.88%、21.58%、24.73%。

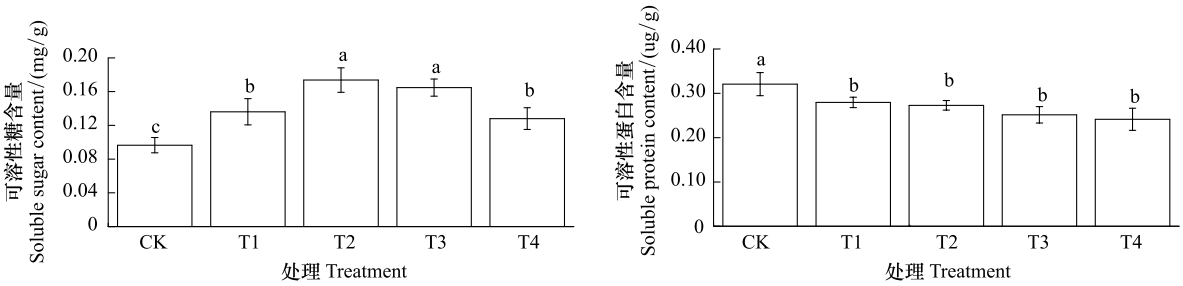

图 3　邻苯二甲酸对萝卜幼苗渗透调节物质的影响

Fig.3　Effect of phthalic acid on osmoregulation substance of radish seedlings

3　讨论

根系是植物水分和养分吸收、多种激素及氨基酸合成的重要器官,其发育好坏决定着植株利用土壤养分及水分能力的高低[25],植株幼苗干鲜重不仅能够反映根系吸收水分及幼苗通过光合作用积累光合产物的多少,而且对外界环境胁迫较为敏感,因而常用于生物测定的指标[26]。植株在正常情况下,体内活性氧产生与清除处于动态平衡状态,SOD、POD、CAT 是植物细胞中清除活性氧,保护细胞的重要酶系统[27-38],MDA 作为膜脂过氧化的最终分解产物,其含量可以反映植物遭受逆境伤害的程度[29]。本研究结果表明,0.05—1 mmol/L 的邻苯二甲酸处理促进了萝卜种子的萌发,但随着处理浓度的增大,促进作用减弱(图 1);浓度达到 2 mmol/L 时,种子萌发受到抑制。萝卜幼苗经 0.05 mmol/L 邻苯二甲酸处理,SOD 活性增强,POD、CAT 活性有所减弱,MDA 合成量与对照基本持平,说明 0.05 mmol/L 的邻苯二甲酸胁迫,幼苗体内自由基能及时得到清除,不但未对萝卜

幼苗产生明显伤害,反而促进了幼苗生长及干鲜物质积累,根系表面积也显著增加(表 1)。当邻苯二甲酸浓度超过 0.5 mmol/L 时,SOD、POD、CAT 不足以清除幼苗体内产生的氧自由基,造成脂质过氧化伤害加剧,膜的透性加强,MDA 合成量急剧增加,进而导致幼苗生长代谢及生理功能出现紊乱,幼苗生长及干鲜物质积累受到显著抑制。另外,SOD、POD、CAT 作为细胞保护酶,在相同处理方式下表现出的变化趋势却不相同,说明邻苯二甲酸对萝卜幼苗不同酶活性的影响不同。这与前人在番茄[19]、莴苣[30]等作物上的研究结果一致。

酚酸胁迫条件下,植物细胞会通过积累渗透调节物质(如可溶性糖、可溶性蛋白等),以调节细胞内渗透势、维持水分平衡及细胞膜正常结构[31]。本试验中,邻苯二甲酸处理均促进了萝卜幼苗叶片可溶性糖含量的增加,并且随着浓度的升高其促进作用逐渐减弱。而叶片可溶性蛋白含量变化则相反,表现为随着邻苯二甲酸浓度的增大,可溶性蛋白含量逐渐降低,造成这一结果的原因可能是由于蛋白质相对合成速率减小,现有可溶性蛋白质大量分解为游离氨基酸,用于调节渗透压并提供代谢能源,从而造成可溶性蛋白含量降低[32-33]。本试验中,邻苯二甲酸对萝卜种子萌发及幼苗生长的影响存在较大差异性,可能是由于萝卜不同生育时期对邻苯二甲酸感应程度不同造成,这与前人研究酚酸类物质对苜蓿种子萌发及幼苗生长影响结论一致[26]。

邻苯二甲酸作为玉米根系分泌的主要次生代谢产物和还田玉米秸秆产生的主要酚酸类物质[34],随着其在土壤中的不断积累,达到一定量时就可产生化感效应,对下茬作物生长产生影响[9,35]。张承胤等[14]通过室内模拟玉米秸秆腐解试验发现,腐解 7—28 d 时玉米秸秆腐解液中酚酸物质含量相继达到最大值,其中腐解 7 d 时邻苯二甲酸含量在各类酚酸物质中所占比例最大,为 0.46 mmol/L。郑皓皓等[36]研究发现,每公顷进行 7500 kg 小麦秸秆还田,在翻埋后 40 d 左右酚酸产生总量达到高峰期,且达到对下茬玉米生长产生抑制的含量。武际等[3]研究指出,小麦秸秆还田 0 d 至 30 d 为快速腐解期,之后腐解速率逐渐放缓,并且节水灌溉模式下的小麦秸秆腐解速率要高于常规栽培模式。南雄雄等[10]研究指出,相同条件下,玉米秸秆比小麦秸秆更容易腐解。可以看出,不同时期不同条件下还田秸秆腐解量及酚酸物质含量存在较大差异性。本试验模拟玉米秸秆还田条件下,主要酚酸类物质(邻苯二甲酸)对萝卜种子萌发、幼苗生长、叶片膜脂过氧化及渗透调节物质的影响,而关于还田玉米秸秆引起土壤肥力提升所带来的正效应与邻苯二甲酸浓度升高对萝卜品质及产量所带来的负效应(酚酸毒害)之间的强弱关系如何还有待于进一步研究。

华北地区实施玉米-萝卜这种粮菜轮作模式,从化感效应角度,在秸秆还田时应控制还田量,将土壤中邻苯二甲酸浓度控制在 0.5 mmol/L 范围以内,以防止邻苯二甲酸浓度过高对萝卜幼苗生长产生抑制作用。

References:

[1] Mu P, Zhang E H, Wang H N, Fang Y F. Effects of continuous straw return to soil on maize growth and soil chemical and physical characteristics. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(3): 291-296.

[2] Wu R M, Wang Y P, Li F M, Li X G. Effects of coupling film-mulched furrow-ridge cropping with maize straw soil- incorporation on maize yields and soil organic carbon pool at a semiarid loess site of China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(9): 2855-2862.

[3] Wu J, Guo X S, Lu J W, Wan S X, Wang Y Q, Xu Z Y, Zhang X L. Decomposition characteristics of wheat straw and effects on soil biological properties and nutrient status under different rice cultivation. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(2): 565-575.

[4] Pan J L, Dai W A, Shang Z H, Guo R Y. Review of research progress on the influence and mechanism of field straw residue incorporation on soil organic matter and nitrogen availability. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(5): 526-535.

[5] Yuan F, Zhang C L, Shen Q R. Effect and Mechanism of Phenol Compounds in Alleviating Cucumber FusariumWilt. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(4): 545-551.

[6] Birkett M A, Chamberlain K, Hooper A M, Pickett J A. Does allelopathy offer real promise for practical weed management and for explaining rhizosphere interactions involving higher plants? Plant and Soil, 2001, 232(1/2): 31-39.

[7] Yu J O, Ye S F, Zhang M F, Hu W H. Effects of root exudates and aqueous root extracts of cucumber (*Cucumis sativus*) and alleloehemicals on photosynthesis and autioxidant enzymes in cucumber. Biochemical Systematics and Ecology, 2003, 31(2): 129-139.

[8] Sannigrahi A K, Chakrabortty S. Allelopathic effects of weeds on germination and seedling growth of tomato. Allelopathy Journal, 2005, 16(2): 289-294.

[9] Li Y B, Liu J G, Cheng X R, Zhang W, Sun Y Y. The allelopathic effects of returning cotton stalk to soil on the growth of succeeding cotton. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 4942-4948.

[10] Nan X X, Tian X H, Zhang L, You D H, Wu Y H, Cao Y X. Decomposition characteristics of maize and wheat straw and their effects on soil carbon and nitrogen contents. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(3): 626-633.

[11] Wang Y P, Wang H T. Allelochemicals from roots exudation and its environment behavior in soil. Chinese Journal of Soil Science, 2010, 41(2): 501-507.

[12] Chon S U, Choib S K, Jung S, Jang H G, Pyo B S, Kim S M. Effects of alfalfa leaf extracts and phenolic allelochemicals on early seedling growth and root morphology of alfalfa and barnyard grass. Crop Protection, 2002, 21(10): 1077-1082.

[13] Liang C Q, Zhen W C, Zhang C Y, Yin B Z. Determination of phenolic acids in decomposing products of maize straw and their allelopathy on pathogens of wheat soil-borne disease. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(2): 210-213.
[14] Zhang C Y. Study on Allelopathy of Maize Straw Retention on Root Disease of Wheat [D]. Hebei: Hebei Agricultural University, 2007.
[15] Zhou B L, Sun C Q, Han L, Wu J X, Lei B. Effects of dibutyl phthalate on amount of *Verticllium dahliae* and soil microbial composition in Rhizosphere of eggplant. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2010, 25(6): 150-153.
[16] Zhou B L, Chen F, Liu N, Wu Q, Lu B. Allelopathy of diisobutyl phthalate to *Verticillium* wilt and seedling growth of eggplant. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2010, 19(4): 179-183.
[17] Li Y X, Zhou B L, Liu N, Fu Y W. Effect of different concentration Dibutyl Phthalate (DBP) on the germination and seedlings growth of three vegetable seeds. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2009, 18(2): 217-220, 224-224.
[18] Zhang W B, Zhang S H, Zhang E P, Li L L, Li T L. Effects of applied phthalic acid and phloroglucionol dihydrate on the root oxidative damage in tomato seedlings. Allelopathy Journal, 2009, 23(2): 437-437.
[19] Li L L, Li T L, Zhang E P, Chen B, Liu W E, Wu Z C. Studies on alleviation effect of carbonized maize cob to Phthalic acid on restraining growth and enzyme activity of tomato seedlings. China Vegetables, 2011, 16: 50-55.
[20] Wang B W, Chi S Y, Tian S Z, Ning Y T, Chen G Q, Zhao H X, Li Z J. CH4 uptake and its affecting factors in winter wheat field under different stubble height of straw returning. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(5): 170-178.
[21] Pang X, He W Q, Yan C R, Liu E K, Liu S, Yin T. Effect of tillage and residue management on dynamic of soil microbial biomass carbon. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(4): 1308-1316.
[22] Shen X S, Qu H J, Li J C, Huang G, Chen S H, Liu D H. Effects of the Maize Straw Returned to the Field and Tillage Patterns on Nutrition Accumulation and Translocation of Winter Wheat. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2012, 32(1): 143-149.
[23] Ge L L, Ma Y H, Bian J L, Wang Z Q, Yang J C, Liu L J. Effects of returning maize straw to field and site-specific nitrogen management on grain yield and quality in rice. Chinese Journal of Rice Science, 2013, 27(2): 153-160.
[24] Wang X K. Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment. Beijing: Higher Education Press, 2006.
[25] Yang J C. Relationships of rice root morphology and physiology with the formation of grain yield and quality and the nutrient absorption and utilization. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(1): 36-46.
[26] Song L, Pan K W, Wang J C, Ma Y H. Effects of phenolic acids on seed germination and seedling antioxidant enzyme activity of alfalfa. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(10): 3393-3403.
[27] Zhang E P, Zhang W B, Zhang S H, Li L L, Li T L. Effects of exogenic benzoic acid and cinnamic acid on the root oxidative damage of tomato seedlings. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2010, 19(1): 186-190.
[28] Wu F Z, Huang C H, Zhao F Y. Effects of phenolic acids on growth and activities of membrance protective enzymes of cucumber seedlings. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 35(7): 821-825.
[29] Tan Z J, Li Q, Chen D L, Zhou Q M, Xiao Q M, Li J G. 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.
[30] Geng G D, Zhang S Q, Cheng Z H. Allelopathy of 1, 2-benzenedicarboxylic acid and its mechanism. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2008, 34(6): 656-659.
[31] Chen S L, Zhou B L, Lin S S, Li X, Ye X Y. Effects of cinnamic acid and vanillin on grafted eggplant root growth and physiological characteristics. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(6): 1446-1452.
[32] Yang M, Lin S Z, Huang Y H, Cao G Q. Allelopathic effects of salicylic acid stress on membrane lipid peroxidation and osmosis- regulating substances in different Chinese Fir Clones. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2006, 26(10): 2088-2093.
[33] Yue J J, Zhang J L, Mu X Q, Yuan L G, Zhang R, Xu M. Preliminary study of allelopathy mechanism of *Euphorbia helioscopial* L. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2007, 16(5): 246-249.
[34] Liu X Y, He P, Jin J Y. Effect of potassium chloride on the exudation of sugars and phenolic acids by maize root and its relation to growth of stalk rot pathogen. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(5): 929-934.
[35] Hou Y X, Zhou B L, Wu X L. Allelopathic effects of different crop stalks on pepper growth. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(6): 1107-1111.
[36] Zheng H H, Hu X J, Jia J Y, Wu E, Xing J J. Changes of the phenolic acid in plough layer and its effects on the growth and yield of summer corn with returning wheat straw. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2001, 9(4): 79-81.

参考文献:

[1] 慕平, 张恩和, 王汉宁, 方永丰. 不同年限全量玉米秸秆还田对玉米生长发育及土壤理化性状的影响. 中国生态农业学报, 2012, 20(3): 291-296.
[2] 吴荣美, 王永鹏, 李凤民, 李小刚. 秸秆还田与全膜双垄集雨沟播耦合对半干旱黄土高原玉米产量和土壤有机碳库的影响. 生态学报, 2012, 32(9): 2855-2862.

[3] 武际, 郭熙盛, 鲁剑巍, 万水霞, 王允青, 许征宇, 张晓玲. 不同水稻栽培模式下小麦秸秆腐解特征及对土壤生物学特性和养分状况的影响. 生态学报, 2013, 33(2): 565-575.
[4] 潘剑玲, 代万安, 尚占环, 郭瑞英. 秸秆还田对土壤有机质和氮素有效性影响及机制研究进展. 中国生态农业学报, 2013, 21(5): 526-535.
[5] 袁飞, 张春兰, 沈其荣. 酚酸物质减轻黄瓜枯萎病的效果及其原因分析. 中国农业科学, 2004, 37(4): 545-551.
[9] 李彦斌, 刘建国, 程相儒, 张伟, 孙艳艳. 秸秆还田对棉花生长的化感效应. 生态学报, 2009, 29(9): 4942-4948.
[10] 南雄雄, 田霄鸿, 张琳, 游东海, 吴玉红, 曹玉贤. 小麦和玉米秸秆腐解特点及对土壤中碳、氮含量的影响. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 626-633.
[11] 王延平, 王华田. 植物根分泌的化感物质及其在土壤中的环境行为. 土壤通报, 2010, 41(2): 501-507.
[13] 梁春启, 甄文超, 张承胤, 尹宝重. 玉米秸秆腐解液中酚酸的检测及对小麦土传病原菌的化感作用. 中国农学通报, 2009, 25(2): 210-213.
[14] 张承胤. 玉米秸秆还田对小麦根部病害的化感作用研究 [D]. 河北: 河北农业大学, 2007.
[15] 周宝利, 孙传齐, 韩琳, 武建霞, 雷斌. 邻苯二甲酸二丁酯对茄子根际土壤黄萎菌数量及土壤微生物组成的影响. 华北农学报, 2010, 25(6): 150-153.
[16] 周宝利, 陈丰, 刘娜, 吴琼, 鲁博. 邻苯二甲酸二异丁酯对茄子黄萎病及其幼苗生长的化感作用. 西北农业学报, 2010, 19(4): 179-183.
[17] 李轶修, 周宝利, 刘娜, 付亚文. 邻苯二甲酸二丁酯对 3 种蔬菜作物种子萌发及幼苗生长的影响. 西北农业学报, 2009, 18(2): 217-220, 224-224.
[19] 李亮亮, 李天来, 张恩平, 陈彬, 刘文娥, 吴正超. 碳化玉米芯缓解邻苯二甲酸对番茄幼苗生长和酶活性的抑制作用. 中国蔬菜, 2011, 16: 50-55.
[20] 王丙文, 迟淑筠, 田慎重, 宁堂原, 陈国庆, 赵红香, 李增嘉. 不同留茬高度秸秆还田冬小麦田甲烷吸收及影响因素. 农业工程学报, 2013, 29(5): 170-178.
[21] 庞绪, 何文清, 严昌荣, 刘恩科, 刘爽, 殷涛. 耕作措施对土壤水热特性和微生物生物量碳的影响. 生态学报, 2013, 33(4): 1308-1316.
[22] 沈学善, 屈会娟, 李金才, 黄钢, 陈尚洪, 刘定辉. 玉米秸秆还田和耕作方式对小麦养分积累与转运的影响. 西北植物学报, 2012, 32(1): 143-149.
[23] 葛立立, 马义虎, 卞金龙, 王志琴, 杨建昌, 刘立军. 玉米秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量与米质的影响. 中国水稻科学, 2013, 27(2): 153-160.
[24] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术 (第二版). 北京: 高等教育出版社, 2006.
[25] 杨建昌. 水稻根系形态生理与产量、品质形成及养分吸收利用的关系. 中国农业科学, 2011, 44(1): 36-46.
[26] 宋亮, 潘开文, 王进闯, 马玉红. 酚酸类物质对苜蓿种子萌发及抗氧化物酶活性的影响. 生态学报, 2006, 26(10): 3393-3403.
[27] 张恩平, 张文博, 张淑红, 李亮亮, 李天来. 苯甲酸和肉桂酸对番茄幼苗根部保护酶及膜质过氧化的影响. 西北农业学报, 2010, 19(1): 186-190.
[28] 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. 中国农业科学, 2002, 35(7): 821-825.
[29] 谭周进, 李倩, 陈冬林, 周清明, 肖启明, 李建国. 稻草还田对晚稻土微生物及酶活性的影响. 生态学报, 2006, 26(10): 3385-3392.
[30] 耿广东, 张素勤, 程智慧. 邻苯二甲酸对莴苣的化感作用及其作用机理. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2008, 34(6): 656-659.
[31] 陈绍莉, 周宝利, 蔺姗姗, 李夏, 叶雪凌. 肉桂酸和香草醛对嫁接茄子根系生长及生理特性的影响. 应用生态学报, 2010, 21(6): 1446-1452.
[32] 杨梅, 林思祖, 黄燕华, 草光球. 邻羟基苯甲酸胁迫对不同杉木无性系叶片膜质过氧化及渗透调节物质的化感效应. 西北植物学报, 2006, 26(10): 2088-2093.
[33] 岳建建, 张军林, 慕小倩, 袁龙刚, 张蓉, 徐敏. 泽漆化感机理的初步研究. 西北农业学报, 2007, 16(5): 246-249.
[34] 刘晓燕, 何萍, 金继运. 氯化钾对玉米根系糖和酚酸分泌的影响及其与茎腐病菌生长的关系. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5): 929-934.
[35] 侯永侠, 周宝利, 吴晓玲. 不同作物秸秆对辣椒的化感效应. 生态学杂志, 2009, 28(6): 1107-1111.
[36] 郑皓皓, 胡晓军, 贾敬业, 吴萼, 邢建军. 麦秸还田耕层酚酸变化及其对夏玉米生长的影响. 中国生态农业学报, 2001, 9(4): 79-81.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.19 Oct., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科研工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科研人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933　　CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号　　**电　　话**:(010)62941099; 62843362

E-mail:shengtaixuebao@ rcees.ac.cn　　**网　　址**:www.ecologica.cn

生　态　学　报
(SHENGTAI　XUEBAO)
(半月刊　1981 年 3 月创刊)
第 33 卷　第 19 期　(2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 33　No. 19 (October, 2013)

编　　辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@ rcees.ac.cn
主　　编	王如松
主　　管	中国科学技术协会
主　　办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085
出　　版	科学出版社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717
印　　刷	北京北林印刷厂
发　　行	科学出版社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg.net
订　　购	全国各地邮局
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044
广告经营许可证	京海工商广字第 8013 号

Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@ rcees.ac.cn
Editor-in-chief	WANG Rusong
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg.net
Domestic **Foreign**	All Local Post Offices in China China International Book Trading Corporation Add:P.O.Box 399 Beijing 100044, China

ISSN 1000-0933　CN 11-2031/Q　　国内外公开发行　　国内邮发代号 82-7　　国外发行代号 M670　　定价 90.00 元