植物营养与肥料学报 2012,18(6):1475 -1482
Plant Nutrition and Fertilizer Science

棉花与不同作物同穴互作育苗对土壤微生物、酶活性和根系分泌物的影响

李伶俐[1], 黄耿华[2], 李彦鹏[3,4], 杨铁钢[3,4]*
(1 河南农业大学农学院,河南郑州 450002; 2 濮阳市经济作物工作站,河南濮阳 457000; 3 河南省农业科学院经济作物研究所,河南郑州 450002; 4 河南省农业科学院农业部中原地区作物栽培科学观测试验站,河南郑州 450002)

摘要: 为了探明两苗互作育苗提高棉苗素质的机理,本试验在塑料温棚 20 ~ 30℃、自然光照条件下,采用 532 × 280 mm^2 具有 200 方形孔的塑料育苗盘,用土壤作基质,以棉花单作育苗为对照,研究了棉花分别与小麦、玉米、谷子和高粱同穴互作育苗对土壤微生物、酶活性及根系分泌物的影响。结果表明,随互作苗的加入,育苗土壤中细菌和放线菌数量显著增加,真菌数显著降低;脱氢酶、中性磷酸酶、转化酶和脲酶活性显著提高;2,4-二叔丁基苯酚、2,6-二叔丁基苯酚、邻苯二甲酸二丁酯和9-16 碳烯酸甲酯根系分泌物的积累量显著减少,棉苗则表现为根系活力、叶片可溶性糖含量和 ATP 含量显著提高,增加了棉苗根重、苗重和侧根数,棉苗离床存活期延长,栽后缓苗期缩短。在四种互作处理中,以棉花 + 小麦、棉花 + 谷子处理中棉苗素质表现较好。综上,两苗同穴互作育苗改善了育苗土壤微生物数量和结构,这可能是提高土壤酶活性和降低土壤有害根系分泌物积累的主要原因,进而提高了棉苗素质。

关键词: 互作育苗; 土壤微生物; 土壤酶活性; 根系分泌物; 棉苗素质
中图分类号: S562.01; S154　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1008-505X(2012)06-1475-08

Effects of mutual aid grow seedlings of cotton with other crops in the same aperture on soil microorganisms quantity, enzyme activity and root secretion

LI Ling-li[1], HUANG Geng-hua[2], LI Yan-peng[3,4], YANG Tie-gang[3,4]*
(*1 College of Agronomy, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2 Puyang Station of Economy Crops, Puyang, Henan 457000, China; 3 Economy Crop Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences; Zhengzhou 450002, China; 4 Ministry of Agriculture's Scientific Observing and Experimental Station of Crop Cultivation in Central Plains, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China*)

Abstract: To reveal the mechanism of promoting the growth of cotton seedlings using other seedlings, effects of mutual aid grow seedlings of cotton with wheat, maize, millet and sorghum separately in the same aperture on soil microorganisms quantity and enzyme activity and root secretion were studied using 532 mm × 280 mm lastic tray with 200 square holes full of soil under greenhouse and natural light condition. The results indicated that the amounts of soil bacteria and actinomyces under the mutual aid grow seedlings of cotton with other crops in the same apertures are significantly increased, while the amounts of soil fungi are significantly decreased. The activities of soil dehydrogenase, neutral phosphatase, zymose and urease are increased significantly, and the accumulations of 2,4 - di-tert-butylphenol, 2,6 - di-tert-butylphenol, dibutyl phthalate and methyl palmitoleate are decreased significantly, which results in the increases of root vitality, the contents of soluble sugar and ATP in the leaves, the weights of cotton seedlings and roots and the number of lateral roots. Moreover, survive days depart from seedbed are increased, while the convalescent period of seedlings after transplanting are shortened compared with that in

收稿日期: 2012-03-20　　**接受日期**: 2012-08-11
基金项目: 国家农业科技成果转化基金项目(2009GB2D000214)资助。
作者简介: 李伶俐(1961—),女,河北磁县人,教授,主要从事作物栽培生理生态教学与研究工作。E-mail: ndlll@126.com
* 通讯作者 E-mail: ytg126@126.com

single cotton seedling treatment. Among the treatments, wheat and millet are the best choices to promote the growth of cotton seedlings. In conclusion, the mutual aid grow seedlings of two different crops in the same aperture can improve the soil microbial structure and amount, and the cotton seedling quality these are possibly primary causation of the increases of the soil enzyme activities and the decreases of the accumulation of harmful root exudates.

Key words: mutual aid grow seedlings; soil microorganism; soil enzyme activity; root secretion; cotton seedling quality

实现棉花工厂化育苗、机械化移栽,可有效地减少植棉用工、减轻劳动强度、缓解植棉用工紧张,对稳定棉花生产,提高植棉效益,推动植棉规模化、专业化生产有重要的意义。但是,如果在棉花工厂化无土育苗中出现育苗基质重复使用,则会导致棉苗素质降低,死苗严重,由此,本研究分析了重复所用的育苗基质中的根系分泌物,结果发现,其中2,4-二叔丁基苯酚、2,6-二叔丁基苯酚、邻苯二甲酸二丁酯和9-16碳烯酸甲酯等几种物质的含量比育苗初次使用基质中的明显增加,有研究表明,2,4-二叔丁基苯酚、2,6-二叔丁基苯酚、邻苯二甲酸二丁酯等物质在土壤中的积累会明显降低作物根系活力和叶片光合能力,抑制作物生长,降低抗病性[1-5];另外,在棉花机械化移栽中,发现成捆无土棉苗根系易缠绕,移栽时不利于分苗且易造成断根和脱根,而影响移栽质量。为了解决上述两个问题,研究人员进行了多方面的探索研究,其中考虑到禾本科作物根系发达且柔韧性好,和棉花同穴互作育苗可能会提高棉苗根系聚合力,使棉苗根系聚合抱团不散,而防止棉苗间根系缠绕和脱根,有利于机械化分苗移栽,提高移栽质量;另外基于作物根系分泌物自毒作用是连作障碍的主要因素[6-9],而不同作物间作可以提高作物的根系活力,增加对磷、铁等营养元素的吸收利用,改善土壤微生物结构,提高土壤酶活性,提高叶片光合能力,减轻自毒作用[10-21]等研究结果,在没有前人进行两苗同穴互作育苗研究的情况下,我们尝试性的进行了棉花分别与小麦、玉米、谷子和高粱两苗互作育苗的首创试验,结果发现,两苗同穴互作育苗既提高了棉苗根系聚合力,同时提高了棉苗的素质。因此,本文在上述试验研究结果的基础上,进一步研究了两苗同穴互作育苗对育苗土壤微生物、酶活性和根系分泌物的影响,以探明其提高棉苗素质的机理,为棉花工厂化育苗技术提升和机械化移栽提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

采用532 mm×280 mm具有200方形孔,孔径24 mm,下孔径10 mm,透水口孔径0.8 mm,孔高45 mm的育苗盘,用孔径5 mm左右的筛子筛过的壤土做基质,播种前每盘用等量的水浇湿润,每孔播棉花和互作作物种子各一粒,试验设5个处理:1)棉花单作(出苗率达98.5%);2)棉花+小麦(双苗率达99.2%);3)棉花+玉米(双苗率达98.8%);4)棉花+谷子(双苗率达98.5%);5)棉花+高粱(双苗率达98.7%)。每处理10盘,育苗期30 d,育苗期间每3 d浇灌一次自制的营养液(磷酸二氢钾200 mg/L、尿素500 mg/L、硫酸亚铁10 mg/L、硫酸锌1 mg/L)。塑料温棚温度控制在20～30℃,自然光照。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 土壤微生物 达到育苗苗龄后,每处理取育苗钵土混合样,细菌采用牛肉膏蛋白胨琼脂平板涂布法;真菌采用马丁氏培养基平板涂布法;放线菌采用改良高氏一号合成培养基平板表面涂布法[22]测定,用每克鲜土所含菌的数量表示(cfu/g)。

1.2.2 土壤酶活性 达到育苗苗龄后,每处理取育苗钵土混合样测定土壤酶活性。土壤脱氢酶活性采用TTC还原法;土壤转化酶活性采用硫代硫酸钠滴定法;土壤脲酶活性采用苯酚-次氯酸钠比色法;土壤中性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定[23-24]。

1.2.3 根系分泌物的测定 根系分泌物的提取参照刘秀芬等[25]的方法加以改良。两苗互作育苗达育苗苗龄后轻轻拔出幼苗,收集根际土混合样,风干研细,过40目(0.42 mm)筛子,称取500 g于三角瓶中,加入1000 mL 80%的乙醇,置于摇床上震荡24 h(180 r/min、25℃),真空过滤(漏斗上放置两层滤纸),然后在旋转蒸发仪上浓缩至10 mL左右(42℃),收集蒸发后的溶液,同时做10个重复,最后把10个重复的浓缩提取液混合后再浓缩至干,待

蒸发皿冷却后加入甲醇 5 mL,将蒸发皿中的甲醇溶液转移到 10 mL 容量瓶中,再于蒸发皿中加入 3 mL 甲醇,倾入 10 mL 容量瓶中,并用甲醇定容至刻度,再用 0.22μm 有机滤膜过滤后,用于高效液相色谱法(HPLC)分析。

仪器与试剂　用美国 DIONEX 公司 ultimate 3000 高效液相色谱仪。2,4-二叔丁基苯酚、2,6-二叔丁基苯酚、邻苯二甲酸二丁酯和 9-16 碳烯酸甲酯标品分析纯均由北京飞美斯分析科技有限公司提供; 甲醇、色谱纯,由美国迪马公司(Dimark)提供; 水为超纯水,用台湾艾科超纯水机制。

色谱条件　参考陈会明等[26]的方法加以改良。色谱柱为 Acclaim 120 C_{18} 反相柱(5 μm,250 × 4.6 mm),温度为室温(约 25℃),检测器为紫外检测器; 检测波长选择保存波长 190 ~ 400 nm 的紫外光谱图。流动相梯度: 0 ~ 5 min 内甲醇梯度变化范围为 95% ~ 100%; 5 ~ 20 min 内甲醇保持在 100%; 20 ~ 25 min 内甲醇梯度变化范围为 100% ~ 95%; 25 ~ 30 min 内甲醇浓度保持在 95%。流速为 1.0 mL/min。

标准溶液的配制　准确称取 2,4-二叔丁基苯酚、2,6-二叔丁基苯酚、邻苯二甲酸二丁酯和 9-16 碳烯酸甲酯各 0.5000 g 置于 500 mL 容量瓶中,用甲醇定容后振荡均匀,即得 4 种物质质量浓度各为 1 g/L 的混合标准储备液,再逐级用甲醇稀释至所需要的浓度。

1.2.4　叶片 ATP 含量的测定　参照生物发光法(荧光素—荧光素酶法)[27],叶片组织 ATP 提取采用 pH 7.8 的甘氨酰-甘氨酸缓冲系统热提取法[28](内含 1 mmol/L EDTA、1 mmol/L $MgSO_4$ 和 1 mg/mL 牛血清蛋白),标品 ATP 购自 Sigma 公司,取纯化的 ATP 溶于 20 mmol/L Tris pH 7.8 的缓冲液,作为 ATP 标准液,用 FG-3000 型发光光度计测定,整个测定在 25℃恒温水浴下进行。

1.2.5　根系活力的测定　每盘取 5 株棉苗根系,用 TTC 方法测定[29]。

1.2.6　叶片可溶性糖含量的测定　每盘取 5 株棉苗叶片活样,用蒽酮比色法测定[29]。

1.2.7　幼苗生长指标　幼苗质量: 每盘取棉苗 10 株,分别测量根鲜重、侧根数、叶鲜重,求平均值。离床存活期和缓苗期: 离床存活期为起苗后用保鲜袋封存保质存活天数; 缓苗期为幼苗移栽大田后至出现新叶的天数。

2　结果分析

2.1　两种作物同穴互作育苗对棉苗素质的影响

表 1 可见,两种作物同穴互作育的棉苗和单育棉苗比,幼苗素质有不同程度改善,其中和小麦、谷子互作育苗,棉苗素质表现最好,根鲜重分别提高了 28.57% 和 27.73%,侧根数分别增加了 17.62% 和 16.47%,苗干重分别增加了 26.46% 和 30.16%,离床存活期延长了 1 ~ 2 d,缓苗期缩短了 1.1 ~ 1.2 d; 和玉米、高粱互作育苗,棉苗素质略有改善,但与玉米互作,棉苗干重和根鲜重均没有显著提高,主要原因可能是玉米长势强所致。

2.2　两种作物同穴互作育苗对棉苗生理特性的影响

从表 2 可以看出,棉花分别与小麦、玉米、谷子和高粱同穴互育苗均比棉花单育棉苗的根系活力、叶片可溶性糖和 ATP 含量均有提高或显著提高,其

表 1　两作物同穴互作育苗对棉花幼苗素质的影响

Table 1　Effects of two crop species mutual aid grow seedlings in the same aperture on quality of cotton seedlings

处理 Treatments	根鲜重 Root fresh weight (g/plant)	侧根数 Lateral root No. (No./plant)	苗干重 Seedling dry weight (g/plant)	离床存活期 Survive days depart from seedbed(d)	缓苗期 Convalescent period(d)
棉花单作 Single cotton	2.38 ±0.03 b	24.35 ±0.13 c	1.89 ±0.01 c	7	4.7
棉花 + 小麦 Cotton + wheat	3.06 ±0.04 a	28.64 ±0.15 a	2.39 ±0.02 a	8	3.5
棉花 + 玉米 Cotton + maize	2.68 ±0.03 ab	26.92 ±0.12 b	1.98 ±0.03 bc	8	4.0
棉花 + 谷子 Cotton + millet	3.04 ±0.03 a	28.36 ±0.12 a	2.46 ±0.02 a	9	3.6
棉花 + 高粱 Cotton + sorghum	2.76 ±0.02 ab	28.67 ±0.13 a	2.05 ±0.03 b	8	3.6

注(Note): 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

中根活力分别提高了53.80%、40.23%、45.75%和39.84%；叶片可溶性糖含量分别提高了19.06%、2.56%、18.42%和7.49%；叶片ATP含量分别提高了21.54%、8.23%、19.86%和15.15%。棉苗根系活力强，叶片可溶性糖和ATP含量高，说明育苗期间棉苗长势好、光合能力高、储备能量多，为棉苗移栽成活快缓苗奠定了物质和能量基础。

表2 两作物同穴互作育苗对棉苗生理特性的影响

Table 2 Effects of two crops mutual aid grow seedlings in the same aperture on the physiological characteristics of cotton seedlings

处理 Treatments	根活力 [μg/(g·h)] Root activity	可溶性糖(%) Soluble sugar	ATP含量(nmol/kg, FW) ATP content
棉花单作 Single cotton	465.29±19.48 c	4.67±0.45 c	1559.34±12.36 d
棉花+小麦 Cotton+wheat	715.62±25.14 a	5.56±0.41 a	1895.16±12.64 a
棉花+玉米 Cotton+maize	652.47±21.64 b	4.79±0.35 bc	1687.68±14.15 c
棉花+谷子 Cotton+millet	678.15±18.64 b	5.53±0.48 a	1869.15±10.21 a
棉花+高粱 Cotton+sorghum	650.65±23.51 b	5.02±0.53 b	1795.58±15.64 b

注(Note)：同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

2.3 两种作物同穴互作育苗对土壤微生物数量的影响

土壤微生物是土壤生物化学特性的重要组成部分，在土壤营养物质转化、有机质分解、有害物降解、肥力修复等方面起着重要的作用，并且可以产生生长刺激素和抗生素，从而抑制病原微生物生长，刺激作物生长[30]。细菌、放线菌和真菌是土壤微生物的三大主要类群，由表3可见，棉花分别与小麦、玉米、谷子和高粱同穴互作育苗均比棉花单育显著影响了育苗土壤微生物数量和结构，其中细菌数量均显著增加，比单育分别提高了83.26%、94.50%，80.57%和74.08%；真菌数量均显著减少，分别减少了51.67%、50.37%、51.99%、56.14%；放线菌数量均显著增加，分别增加了74.03%、66.97%、71.18%、34.11%。有研究指出，当土壤中真菌数量及其组成比例提高时土传病害发生的危险性增加，细菌和放线菌数量及其组成比例增加，土传病害发生概率下降[31]。李云鹏等[32]研究发现根际放线菌数量增加、放线菌数量与真菌数量的比值提高，作物抗病性增强。可见，两苗互作育苗降低了基质土壤真菌数量，增加了细菌和放线菌数量及其组成比例，有利于降低棉苗发病率。

表3 两作物同穴互作育苗对土壤微生物的影响(×10³ cfu/g)

Table 3 Effects of two crops mutual aid grow seedlings in the same aperture on soil microorganisms

处理 Treatments	细菌 Bacterium	真菌 Fungi	放线菌 Actinomyces
棉花单作 Single cotton	1547.64±8.68 c	96.56±0.36 a	164.47±1.68 c
棉花+小麦 Cotton+wheat	2836.15±10.83 b	46.67±0.24 b	286.23±1.87 a
棉花+玉米 Cotton+maize	3056.58±9.12 a	47.92±0.35 b	274.61±2.02 a
棉花+谷子 Cotton+millet	2794.62±9.35 b	46.36±0.26 b	281.54±1.64 a
棉花+高粱 Cotton+sorghum	2694.12±10.84 b	42.35±0.23 b	220.57±1.87 b

注(Note)：同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

2.4　两种作物同穴互作育苗对土壤酶活性的影响

土壤微生物活性与土壤酶活性密切相关,土壤酶活性的大小可敏感地反映土壤中生化反应的方向和强度,脱氢酶、转化酶活性增强有利于土壤中有机质的转化; 土壤脲酶直接参与土壤中含氮有机化合物的转化,其活性增强可提高土壤氮素供应水平; 土壤中性磷酸酶能促进土壤中有机磷化合物水解,生成作物所能利用的无机态磷[33]。表 4 可见,棉花分别与小麦、玉米、谷子和高粱同穴互作育苗均比棉花单育显著提高了土壤酶活性,其中脱氢酶活性分别提高了 49.81%、35.85%、36.60% 和 30.57%; 中性磷酸酶活性分别提高了 45.21%、41.63%、38.18% 和 41.99%; 转化酶活性分别提高了 31.42%、27.76%、26.74% 和 29.90%; 脲酶活性分别提高了 88.42%、68.33%、82.18% 和 66.82%。

表 4　两作物同穴互作育苗对土壤酶活性的影响(μg/g, dry soil)

Table 4　Effects of two crops mutual aid grow seedlings in the same aperture on soil enzyme activities

处理 Treatments	脱氢酶 Dehydrogenase	中性磷酸酶 Neutral phosphatase	转化酶 Ivertase	脲酶 Urease
棉花单作 Single cotton	2.65 ±0.08 c	25.46 ±0.25 b	606.42 ±8.68 b	1316.03 ±15.64 c
棉花 + 小麦 Cotton + wheat	3.97 ±0.05 a	36.97 ±0.23 a	796.98 ±7.87 a	2479.77 ±14.67 a
棉花 + 玉米 Cotton + maize	3.60 ±0.07 b	36.06 ±0.26 a	774.75 ±9.02 a	2215.25 ±18.02 b
棉花 + 谷子 Cotton + millet	3.62 ±0.05 b	35.18 ±0.23 a	768.61 ±9.64 a	2397.57 ±16.34 a
棉花 + 高粱 Cotton + sorghum	3.46 ±0.07 b	36.15 ±0.24 a	787.74 ±8.87 a	2195.46 ±14.65 b

注(Note): 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

2.5　两种作物同穴互作育苗对土壤根系分泌物含量的影响

根系分泌物是植物与土壤进行物质、能量与信息交流的重要载体物质。2,4-二叔丁基苯酚、2,6-二叔丁基苯酚、邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二(2-乙基已基)酯(DEHP)等化感物质浓度不同对作物生长、土壤酶活性和土壤微生物有不同程度的影响[1-5,34-36]。表 5 可见,棉花分别与小麦、玉米、谷子和高粱同穴互作育苗均比棉花单育显著降低了土壤中所测根系分泌物的含量,其中 2,4-二叔丁基苯酚含量分别降低了 49.07%、42.74%、47.58% 和 46.08%; 2,6-二叔丁基苯酚含量分别降低了 54.18%、38.60%、47.84% 和 53.03%; 邻苯二甲酸二丁酯含量分别降低了 41.89%、46.43%、29.02% 和 40.59%; 9-16 碳烯酸甲酯的含量分别降低了 53.40%、48.79%、39.91% 和 55.59%。互作育苗使育苗土壤中这些化感物质含量降低,可能是互作育苗提高了育苗土壤酶活性(表 4),改善了育苗土壤微生物数量和结构(表 3),从而促进了根系分泌物的分解代谢,使其含量降低。

表 5　两作物同穴互作育苗对土壤根系分泌物含量的影响(nmol/kg)

Table 5　Effects of two crops mutual aid grow seedlings in the same aperture on soil root exudate

处理 Treatment	2,4-二叔丁基苯酚 2,4-di-tert-butylphenol	2,6-二叔丁基苯酚 2,6-di-tert-butylphenol	邻苯二甲酸二丁酯 Dibutyl phthalat	9-16 碳烯酸甲酯 Methyl palmitoleate
棉花单作 Single cotton	14.04 ±0.09 a	13.86 ±0.06 a	17.64 ±0.06 a	9.12 ±0.05 a
棉花 + 小麦 Cotton + wheat	7.15 ±0.09 c	6.35 ±0.05 d	10.25 ±0.07 c	4.25 ±0.03 c
棉花 + 玉米 Cotton + maize	8.04 ±0.11 b	8.51 ±0.07 b	9.45 ±0.04 d	4.67 ±0.02 c
棉花 + 谷子 Cotton + millet	7.36 ±0.07 c	7.23 ±0.05 c	12.52 ±0.05 b	5.48 ±0.03 b
棉花 + 高粱 Cotton + sorghum	7.57 ±0.07 c	6.51 ±0.07 d	10.48 ±0.05 c	4.05 ±0.04 c

注(Note): 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

3 讨论

综合本试验结果,棉花分别与小麦、玉米、谷子和高粱两苗同穴互作育苗可提高棉苗素质,使棉苗离床存活期延长,栽后缓苗期缩短,表现为互作友好,其中棉花+小麦、棉花+谷子表现较好,这可能是互作育苗明显改善了育苗土壤微生物数量和结构,使土壤细菌和放线菌数量显著增加,真菌数显著降低(表3),并显著提高了育苗土壤酶活性(表4),促进了土壤养分转化和有害物质的分解,显著减少了育苗土壤中2,4-二叔丁基苯酚、2,6-二叔丁基苯酚、邻苯二甲酸二丁酯和9-16碳烯酸甲酯等根系分泌物的积累量(表5),增加了土壤养分,改善了单作自毒的土壤生态环境。不同作物间作可以提高作物的根系活力,改善土壤微生物结构和土壤酶活性,提高叶片光合能力,减轻自毒作用[10-21],刘广才等[37]研究表明,小麦/玉米间作系统具有明显的氮、磷、钾养分吸收优势,促进小麦和玉米增产优势,郝艳茹等[38]研究小麦/玉米间作以后,根系分泌有机酸的种类明显增加,根系体积和根活性吸收面积增加,这些研究结果直接或间接地支持了本试验结果。而棉花分别与玉米和高粱同穴互作育苗,棉苗叶片中可溶性糖含量和ATP含量增加不明显,棉苗干重和根重没有明显提高,可能与玉米、高粱长势强,争夺养分能力强,从而影响了棉花生长有关。

大多数作物都存在根系分泌物等化感物质自毒作用,且研究还发现自毒作用经常是作物产生连作障碍的一个主要原因[7]。有研究表明,根系分泌物积累产生化感抑制作用,导致土壤微生物数量下降、多样性结构破坏,土壤微生物群落功能多样性下降,土壤酶活性降低,土壤生态系统恶化,进而显著抑制植株的生长,表现作物根系活力降低、叶片SOD活性及叶绿素含量下降,叶片中的MDA含量和细胞质膜相对透性增加,使植物抗病性下降[1-5,34-36]。孙秀山等[6]研究报道,花生随连作年限增加,土壤和根际真菌数量显著增加,细菌和放线苗数量显著减少,土壤中碱性磷酸酶、蔗糖酶和脲酶活性逐年降低,花针期土壤及根际真菌显著抑制土壤磷酸酶活性;土壤细菌、土壤放线菌显著促进土壤磷酸酶活性,而根际真菌显著抑制蔗糖酶和脲酶活性,土壤细菌和放线菌显著促进脲酶活性。本研究互作育苗比单作育苗土壤细菌和放线菌数量显著增加,真菌数量显著下降,土壤酶活性显著提高,与孙秀山[6]等的研究结果一致。李彦斌等[39]研究证明,棉秆腐解物抑制棉花种子萌发,延长种子出苗时间,影响棉花植株生长,并随着秸秆腐解时间延长和秸秆还田数量增加,棉花叶片净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和胞间CO_2浓度降低,李艳宾等[40]研究棉秆腐解物中含有邻苯二甲酸二丁酯等24种化感物质,也证明棉秆腐解提取物对棉花种子萌发及幼苗生长产生抑制作用,这说明棉花也存在化感自毒。王玉洁等[41]用2,6-二叔丁基苯酚和邻苯二甲酸二甲酯2种化感物质在50~500 μmol/L浓度范围内处理茄子幼苗,结果茄子株高、茎粗、地上和地下部干、鲜重和根系活力均受到明显的抑制,丙二醛含量及超氧自由基产生速率增大,且随处理浓度的增加和处理时间的延长抑制作用加强。周宝利等[31]研究表明,以0.5 mmoL/L浓度邻苯二甲酸二甲酯处理茄子,增加了茄子根际微生物总量,降低了真菌数量、增加了细菌和放线菌数量。李轶修[3]研究,表明邻苯二甲酸二丁酯对茄子种子萌发及幼苗的生长具有低浓度促进,高浓度抑制作用。本试验两苗同穴互作育苗显著降低了2,4-二叔丁基苯酚、2,6-二叔丁基苯酚、邻苯二甲酸二丁酯和9-16碳烯酸甲酯物质在土壤中的积累,可能减轻了自毒危害,有利于幼苗生长。试验所测根系分泌物含量降低,土壤酶活性提高,可能与两苗互作育苗优化了土壤微生物结构,提高了土壤微生物活性,促进了有害物质的分解有关。至于不同作物两苗同穴互作育苗为什么可以优化土壤微生物结构,提高土壤微生物活性,可能与不同作物根系物质友好互补有关,因为作物种类以及营养状况等都可影响根系分泌物的数量和种类,进而影响到土壤微生物数量和酶活性,有关方面还有待进一步深入研究。

4 小结

棉花分别与小麦、玉米、高粱和谷子同穴互作育苗,育苗土壤中细菌和放线菌数量显著增加,真菌数显著降低;脱氢酶、中性磷酸酶、转化酶和脲酶酶活性显著提高;2,4-叔丁基苯酚、2,6-叔丁基苯酚、邻苯二甲酸二丁酯和9-16碳烯酸甲酯根系分泌物的积累量显著减少,显著提高了棉苗根系活力、叶片可溶性糖含量和ATP含量,使棉苗根重、苗重和侧根数增加,棉苗离床存活期延长,栽后缓苗期缩短。在四种互作处理中,以棉花+小麦、棉花+谷子处理棉苗素质表现较好。两苗同穴互作育苗改善了育苗土壤微生物数量和结构,可能是提高土壤酶活性和降低土壤有害根系分泌物积累的主要原因,进而提高了棉苗素质。

参 考 文 献:

[1] 耿广东, 张素勤, 程智慧. 邻苯二甲酸二丁酯的化感作用及其作用机理研究[J]. 江西农业大学学报, 2008, 30(6): 1045-1048.
Geng G D, Zhang S Q, Cheng Z H. A study on the allelopathy of dibutyl phthalate and its mechanism [J]. Acta Agric. Univ. Jiangxiensis, 2008, 30(6): 1045-1048.

[2] 秦华, 林先贵, 陈瑞蕊, 等. DEHP 对土壤脱氢酶活性及微生物功能多样性的影响[J]. 土壤学报, 2005, 42(5): 829-834.
Qin H, Lin X G, Chen R R *et al*. Effects of DEHP on dehydrogenaze activity and microbial functional diversity in soil [J]. Acta Pedol. Sin. 2005, 42(5): 829-834.

[3] 李铁修, 周宝利, 刘娜, 等. 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[J]. 西北农业学报, 2009, 18(2): 217-220, 224.
Li Y X, Zhou B L, Liu N *et al*. Effect of different concentration dibutyl phthalate(DBP) on the germination and seedlings growth of three vegetable seeds[J]. Acta Agric. Boreali-Occid. Sin., 2009, 18(2): 217-220, 224.

[4] 张新慧, 张恩和, 柴强, 等. 2, 4-二叔丁基苯酚对啤酒花幼苗光合特性的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2006, 41(5): 50-54.
Zhang X H, Zhang E H, Chai Q *et al*. Effects of phenol, 2, 4-bis(1, 1-dimethylethyl) on photosynthetic characters of hops seedling[J]. J. Gansu Agric. Univ., 2006, 41(5): 50-54.

[5] 张新慧, 王霞霞, 张恩和. 2, 4-二叔丁基苯酚对啤酒花根际土壤微生物数量的化感效应研究[J]. 中国生态农业报, 2008, 16(6): 1606-1608.
Zhang X H, Wang X X, Zhang E H. Allelopathic effect of phenol 2,4-bis (1, 1-dimethylethyl) on microorganism of Hamulus lupulus L. (hops) rhizospheric soil[J]. Chin. J. Eco-Agric., 2008, 16(6): 1606-1608.

[6] 孙秀山, 封海胜, 万书波, 等. 连作花生田主要微生物类群与土壤酶活性变化及其交互作用[J]. 作物学报, 2001, 27(5): 617-621.
Sun X S, Feng H S, Wan S B *et al*. Changes of main microbial strains and enzymes activities in peanut continuous cropping soil and their interactions[J]. Acta Agron. Sin., 2001, 27(5): 617-621.

[7] 吴凤芝, 赵凤艳. 根系分泌物与连作障碍[J]. 东北农业大学学报, 2003, 34(1): 114-118.
Wu F Z, Zhao F Y. Study on root exudates and continues cropping obstacle[J]. J. Northeast Agric. Univ., 2003, 34(1): 114-118.

[8] 郑亚萍, 王才斌, 黄顺之, 等. 花生连作障碍及其缓解措施研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2008, 30(3): 384-388.
Zheng Y P, Wang C B, Huang S Z *et al*. Research on relieving peanut continuous cropping stress[J]. Chin. J. Oil Crop Sci., 2008, 30(3): 384-388.

[9] 李彦斌, 刘建国, 李凤, 等. 棉花植株水浸提液化感效应的研究[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(6): 1489-1494.
Li Y B, Liu J G, Li F *et al*. Allelopathic effect of aqueous extract of cotton[J]. Chin. J. Eco-Agric., 2008, 16(6): 1489-1494.

[10] 徐强, 程智慧, 卢涛, 等. 间作对植株生长及养分吸收和根际环境的影响[J]. 西北植物学报, 2010, 30(2): 350-356.
Xu Q, Cheng Z H, Lu T *et al*. Effects of Intercropping on growth, nutrient uptake and rhizosphere environment in plants [J]. Acta Bot. Bor-Occid. Sin., 2010, 30(2): 350-356.

[11] 焦念元, 宁堂原, 赵春, 等. 施氮量和玉米-花生间作模式对氮磷吸收与利用的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(4): 706-712.
Jiao N Y, Ning T Y, Zhao C *et al*. Effect of nitrogen application and planting pattern on N and P absorption and use in maize-heanut intercropping system[J]. Acta Agron. Sin., 2008, 34(4): 706-712.

[12] 宋亚娜, Petra M, 张福锁, 等. 小麦/蚕豆, 玉米/蚕豆和小麦/玉米间作对根际细菌群落结构的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(7): 2268-2274.
Song Y N, Petra M, Zhang F S *et al*. Effect of intercropping on bacterial community composition in rhizoshpere of wheat [J]. Acta Ecol. Sin., 2006, 26(7): 2268-2274.

[13] 宋亚娜, 王贺, 李春俭, 等. 小麦大豆间作对大豆根系质外体铁库累积与利用的影响[J]. 作物学报, 2000, 26(7): 462-466.
Song Y N, Wang H, Li C J *et al*. Effect of wheat/soybean intercropping on Fe accumulation and mobilization in root apoplast[J]. Acta Agron. Sin., 2000, 26(7): 462-466.

[14] 左元梅, 张福锁. 不同禾本科作物与花生混作对花生根系质外体铁的累积和还原力的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(2): 221-225.
Zuo Y M, Zhang F S. Effects of peanut mixed cropping with different gramineous plants on apoplast iron accumulation and reducing capacity of peanut[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(2): 221-225.

[15] 左元梅, 刘永秀, 张福锁. 玉米/花生混作改善花生铁营养对花生根瘤碳氮代谢及固氮的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(11): 2584-2589.
Zuo Y M, Liu Y X, Zhang F S. Effects of improved iron nutrition of peanut intercropped with maize on carbon and nitrogen metabolism and nitrogen-fixing of peanut nodule[J]. Acta Ecol. Sin., 2004, 24(11): 2584-2589.

[16] 左元梅, 李晓林, 曹一平, 等. 河南省沙区玉米花生间作对花生铁营养效率及间作优势的影响[J]. 作物学报, 2003, 29(5): 658-663.
Zuo Y M, Li X L, Cao Y P *et al*. The effects of peanut intercropped with maize on iron nutrition efficiency of peanut and intercropping advantage in sandy soil in Henan province [J]. Acta Agron. Sin., 2003, 29(5): 658-663.

[17] 焦念元, 赵春, 宁堂原, 等. 玉米-花生间作对作物产量和光合作用光响应的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5): 981-985.
Jiao N Y, Zhao C, Ning T Y *et al*. Effects of maize-peanut intercropping on economic yield and light response of photosynthesis [J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2008, 19(5): 981-985.

[18] Macario B J, Sara A F, Elsa V Z. Chemical characterization of root exudates from rice (*Oryza sativa*) and their effects on the chemotactic response of entophytic bacteria[J]. Plant Soil, 2003, 249: 271-277.

[19] 柴强, 黄鹏, 黄高宝. 间作对根际土壤微生物和酶活性的影响研究[J]. 草业学报, 2005, 14(5): 105-110.
Chai J, Huang P, Huang G B. Effect of intercropping on soil microbial and enzyme activity in the photosphere [J]. Acta

Pratac. Sin., 2005, 14(5): 105-110.

[20] Ghosh P K, Manna M C, Bandyopadhyay K K *et al.* Interspecifie interaction and nutrient use in soybean/sorghum inter-cropping system[J]. Agron. J., 2006, 98: 1097-1108.

[21] Yadav R S, Tamfdar J C. Influence of organic and inorganic phosphorus supply on the maximum secretion of acid phosphatase by plants[J]. Biol. Fert. Soils, 2001, 34: 140-143.

[22] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
Xu G H, Zeng H Y. Analyse method guide of soil edaphon[M]. Beijing: Agriculture Press, 1986.

[23] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1987.
Guan S Y. Soil enzyme and its research methods [M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 1987.

[24] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
Zhou L K. Soil enzymology[M]. Beijing: Science Press, 1988.

[25] 刘秀芬, 马瑞霞, 袁光林, 等. 根际区他感化学物质的分离, 鉴定与生物活性的研究[J]. 生态学报, 1996, 16(1): 1-10.
Liu X F, Ma R X, Yuan G L *et al.* Study on isolation, identification and bioactivity of allelochemicals in rhizolsphere [J]. Acta Ecol. Sin., 1996, 16(1): 1-10

[26] 陈会明, 王超, 王星, 等. 高效液相色谱二极管阵列检测器测定化妆品中的6种酞酸酯[J]. 分析测试学报, 2004, 23(4): 61-64.
Chen H M, Wang C, Wang X *et al.* Analysis of phthalates in cosmetics by HPLC-DAD[J]. J. Instrum., 2004, 23(4): 61-64.

[27] 王维光. 植物生理学实验手册[M]. 上海: 科学技术出版社, 1985. 115-117.
Wang W G. Experiment guide of plant physiology[M]. Shanghai: Science and Technology Press, 1985. 115-118.

[28] 王维光, 顾俭本. 从叶片中提取ATP方法的比较[J]. 植物生理学通讯, 1986, (5): 54-55.
Wang W G, Gu J B. Comparison of the methods for extracting ATP from plant leaves [J]. Plant Physiol. Commun., 1986, (5): 54-55.

[29] 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, 2004.
Li H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004.

[30] 王齐, 谭一凡, 孙吉雄, 等. 中水灌溉绿地对土壤微生物数量的影响[J]. 草原与草坪, 2010, 30(5): 25-29.
Wang Q, Tan Y F, Sun J X *et al.* Effect of reclaimed water on soil microorganism community in greenbelt[J]. Grassland Turf., 2010, 30(5): 25-29.

[31] 周宝利, 孙传齐, 韩琳, 等. 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[J]. 华北农学报, 2010, 25(6): 150-153.
Zhou B L, Sun C Q, Han L *et al.* Effects of dibutyl phthalate on amount of Verticllium dahliae and soil microbial composition in rhizosphere of eggplant [J]. Acta Agric. Bor-Sin., 2010, 25(6): 150-153.

[32] 李云鹏, 周宝利, 李之璞, 等. 嫁接茄的黄萎病抗性与根际土壤生物学活性的关系[J]. 生态学杂志, 2007, 26(6): 831-834.
Li Y P, Zhou B L, Li Z P *et al.* Relationships between grafted eggplant's verticillium-resistance and rhizosphere soil biological activity [J]. Chin. J. Ecol., 2007, 26(6): 831-834.

[33] 杨青华, 韩锦峰, 贺德先. 液体地膜覆盖对棉田土壤微生物和酶活性的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(6): 1312-1317.
Yang Q H, Han J F, He D X. Effects of liquid filmon the quantity of microorganisms and activity of enzymes in cotton field [J]. Acta Ecol. Sin., 2005, 25(6): 1312-1317.

[34] 高志华, 张学英, 葛会波, 等. 草莓根系分泌物障碍效应的模拟研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(1): 189-193.
Gao Z H, Zhang X Y, Ge H B *et al.* Modeling the obstacle effects of strawberry root exudates [J]. P1ant Nutr. Fert. Sci., 2008, 14(1): 189-193.

[35] 尹睿, 林先贵, 王曙光, 等. 农田土壤中酞酸酯污染对辣椒品质的影响[J]. 农业环境保护, 2002, 21(10): 1-4.
Yin R, Lin X G, Wang S G *et al.* Influence of phthalic acid esters in vegetable garden soil on quality of capsicum fruit [J]. Agro-Environ. Prot., 2002, 21 (10): 1-4.

[36] 郭亚利, 李明海, 吴洪田, 等. 烤烟根系分泌物对烤烟幼苗生长和养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 458-463.
Guo Y L, Li M H, Wu H T *et al.* Effects of root exudates on growth and nutrients uptake of tobacco seedlings[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(3): 458-463.

[37] 刘广才, 杨祁峰, 李隆, 等. 小麦/玉米间作优势及地上部与地下部因素的相对贡献[J]. 植物生态学报, 2008, 32(20): 477-484.
Liu G C, Yang Q F, Li L *et al.* Intercropping advantage and contribution of above-and-below ground interactions in wheat-maize intercropping [J]. Acta Phytoecol. Sin., 2008, 32(2): 477-484.

[38] 郝艳茹, 劳秀荣, 孙伟红, 等. 小麦/玉米间作作物根系与根际微环境的交互作用[J]. 农村生态环境, 2003, 19(2): 18-22.
Hao Y R, Lao X R, Sun W H *et al.* Interaction of roots and rhizosphere in the wheat- maize intercropping system [J]. Rural Eco-Environ., 2003, 19(2): 18-22.

[39] 李彦斌, 刘建国, 程相儒, 等. 秸秆还田对棉花生长的化感效应[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 4942-4948.
Li Y B, Liu J G, Cheng X R *et al.* The allelopathic effects of returning cotton stalk to soil on the growth of succeeding cotton [J]. Acta Ecol. Sin., 2009, 29(9): 4942-4948.

[40] 李艳宾, 张琴, 万传星, 等. 棉秆腐解物的化感作用及其主要化学成分分析[J]. 棉花学报, 2009, 21(6): 497-502.
Li Y B, Zhang Q, Wan C X *et al.* Alleiopathy and chemical constituents of decomposing products from cotton stalk [J]. Cott. Sci., 2009, 21(6): 497-502.

[41] 王玉洁, 郁继华, 张韵, 等. 两种化感物质对茄子生长及幼苗生理特性的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2007, 42(3): 47-50.
Wang Y J, Yu J H, Zang Y *et al.* Effects of two allelochemicals on growth and physiological characteristics of eggplant seedlings [J]. J. Agric. Univ., 2007, 42(3): 47-50.