

几种化感物质对棉花种子萌发及幼苗生长的影响

王 璞 赵秀琴

(中国农业大学作物学院)

摘 要 麦棉套作中,棉花弱苗晚发的部分原因是小麦向土壤中产生的化感物质的影响。本研究在冬小麦中检测到的对羟基苯甲酸(p-HA)、阿魏酸(FA)、香草酸(VA)3种化感物质对棉花种子萌发和幼苗生长的影响。结果表明这3种物质对棉花发芽(及幼苗根生长)影响的作用阈值分别为:200(500),200(500),50(250) $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;各物质在低于对应质量浓度时表现为促进作用,而较高时表现为抑制作用;3种化感物质随机等量组合处理(p-HA+VA,FA+VA,p-HA+FA,p-HA+FA+VA),总质量浓度分别在100(250),50(100),25(100),25(50) $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时对棉花发芽(及幼苗根的生长)表现出抑制性。表明3种物质彼此之间存在明显的协同作用;化感物质对棉花幼苗根系的影响大于对地上部的影响。

关键词 棉花;冬小麦;化感物质;化感效应

中图分类号 S344.3

Effect of Allelochemicals on Cotton Seed Germination and Seedling Growth

Wang Pu Zhao Xiuqin

(College of Crop Science, CAU)

Abstract In the wheat-cotton intercropping system, one reason for the cotton's postponed seed germination and weak seedling was attributed the influence of allelochemicals released from the wheat. The investigation studied the effect of three phenolic acids — ferulic, vanillic and p-hydroxybenzoic acids — on cotton seed germination and seedling growth. The results showed that p-hydroxybenzoic, ferulic and vanillic acids began to restrain seed germination (seedling growth) at 200(500), 200(500), 50(250) $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ respectively. However, the substances promoted the plant growth at lower concentration. The four mixtures (p-HA+VA, FA+VA, p-HA+FA, p-HA+FA+VA) appeared to inhibit the germination (seedling root growth) at 100(250), 50(100), 25(100), 25(50) $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ respectively. Experiments result indicated there was obvious synergetic effect among these substances. The root of receiver plant was more sensitive to the substance than above-ground.

Key words cotton; winter wheat; allelochemicals; allelopathy

在农业生产实践中人们发现秸秆还田和作物套种这些广泛采用的农艺措施有些时候反而造成作物较弱的生长势,甚至减产^[1,2]。我国麦棉两熟制地区就常出现套作棉花弱苗晚发、晚熟低产

收稿日期: 2000-11-16

国家自然科学基金资助项目(39670430)

王璞,北京圆明园西路2号中国农业大学(西校区),100094

的问题。原因除麦棉共生期内 2 者对光水肥热等生活因素竞争之外,小麦根系分泌物、秸秆等死亡残体分解产生的次生代谢物质对套种棉花的发芽、出苗及幼苗生长的生化互作也起着重要的作用。目前国内研究多集中于麦棉间对生活因素的竞争,对生化作用的研究还未见报道。

针对此问题,参考国内外对小麦化感物质的研究方法及成果,本研究对小麦秸秆腐熟体及根系分泌物中的化感物质进行了检测。由于在以上各种材料中,对羟基苯甲酸、阿魏酸、香草酸 3 种化感物质的含量最高且同时存在^[2~4],因此,本试验着重分析这 3 种物质对棉花发芽率及幼苗生长的影响,从化感效应的角度研究麦棉套作中棉花生长受影响的原因,为解决生产问题,促进棉花的优质高产,提供理论基础。

1 材料与方法

试剂:对羟基苯甲酸、香草酸(化学试剂,北京西中化工厂),阿魏酸(化学纯,上海试剂一厂)、甲醇(化学纯,北京化工厂)。

棉花品种:33B 抗虫棉。

1.2 方法

1.2.1 试验处理

发芽率:对羟基苯甲酸(p-HA)、香草酸(VA)、阿魏酸(FA)均设对照(蒸馏水)和 25, 50, 100, 200, 500, 750 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 6 个浓度等级。在此基础上,研究几种物质不同组合施用对棉花发芽的影响,3 种物质的组合为 p-HA + VA, VA + FA, FA + p-HA, p-HA + VA + FA, 各设对照(蒸馏水)和 25, 50, 100 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 3 个浓度等级,作用浓度是几种物质相同浓度等量混合后的总浓度。

幼苗生长发育:对羟基苯甲酸、香草酸、阿魏酸均设对照(蒸馏水), 100, 250, 500, 1 000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 4 个浓度等级;混合物处理为 p-HA + VA, VA + FA, FA + p-HA, p-HA + VA + FA 4 个组合,设对照(蒸馏水)及 50, 100, 250, 500 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 4 个浓度等级,同样混合物的浓度是不同物质相同浓度等量混合后的总浓度。

1.2.2 测定方法

发芽率:在每个培养皿(直径 9 cm)底铺 2 层滤纸,准确加入 3 mL 处理液,放置 15 粒棉花种子,在 25℃ 培养箱中黑暗培养,培养期间保持湿润,第 7 天测定发芽率,6 次重复。

幼苗生长:健壮种子催芽后,选取发芽一致的小心移入口径 5 cm 的塑料杯中培养,以玻璃珠(直径 3 mm)作栽培基质,每杯 5 粒,处理液体积为 30 mL,同样每个处理设 6 次重复。光照时间每天 12 h。12 d 后测定棉花幼苗生长的情况。

1.2.3 测定指标 棉花发芽率;幼苗的根系活力(α -萘胺法)^[5]、过氧化氢酶活性(碘化钾氧化法)^[6]和细胞通透性(电导率仪法)^[6]。

2 结果与分析

2.1 供试化感物质对棉花发芽的影响

从表 1 中可以看出在相同浓度下,不同的化感物质对棉花发芽率的影响不同。对照种子的发芽率为 71.2%,而当培养液中化感物质的浓度为 25 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,VA, FA 和 p-HA 3 种物质

处理的棉花发芽率分别是对照的 109.3%, 122.6%, 133.5%, 都表现出明显的促进作用。但在溶液浓度为 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 香草酸开始表现出对发芽的抑制作用, 当浓度为 $750 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 所有处理均使棉花发芽率降低 50% 左右。经 F 测验分析, 各化感物质不同浓度处理间差异均达到显著水平 ($P = 0.05$)。

表 1 供试化感物质对棉花种子发芽率的影响

97%

化感物质	质量浓度 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)						
	CK	25	50	100	200	500	750
VA (香草酸)	71.2	78.3 c	63.3 c	59.1 b	54.4 b	32.2 b	12.7 b
FA (阿魏酸)	71.2	87.2 b	79.4 b	73.6 a	68.2 a	45.3 a	20.2 a
p-HA (对羟基苯甲酸)	71.2	95.1 a	87.1 a	76.2 a	67.1 a	47.4 a	20.6 a
FA + p-HA	71.2	48.9 d	40.0 d	13.5 e			
VA + FA	71.2	84.8 bc	72.5 b	51.9 c			
p-HA + VA	71.2	91.7 ab	57.5 c	35.6 d			
p-HA + VA + FA	71.2	38.3 e	34.2 e	9.4 e			

注: 1) 表中各列中的不同小写字母表示差异达到 5% 显著水平, 以下各表同。

试验结果(表 1)表明几种物质相互组合作用于种子时, 抑制棉花种子萌发的浓度降低。虽然混合物浓度为 $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 香草酸和阿魏酸(VA + FA)、对羟基苯甲酸和香草酸(p-HA + VA) 2 个组合的发芽率比对照高近 20%, 但阿魏酸和对羟基苯甲酸(FA + p-HA)、3 种物质的混合物(p-HA + VA + FA) 2 个组合在这个浓度时已表现出抑制作用, 与对照相比发芽率下降了 10% ~ 20%。在总浓度为 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, VA + FA, p-HA + VA 2 个处理的发芽率比对照降低了 10% ~ 30%, 而 FA + p-HA, p-HA + VA + FA 两个组合的发芽率比对照低 50%。

2.2 供试化感物质对棉花幼苗的影响

2.2.1 形态特征 在幼苗的培养过程中观察到, 随着化感物质浓度的增加, 棉花子叶展开的时间逐渐推迟。0, 100, 250, 500, 1 000 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 香草酸处理的棉花幼苗, 分别在移植后第 2, 2, 3, 4, 6 天脱掉种壳, 子叶展开。在考苗时发现, 受抑制幼苗的根系扭曲, 呈黄褐色或黑色, 根毛少主根很短, 植株叶片较小而且皱缩, 而对照及有促进作用的溶液中生长的幼苗根毛稠密而且较长, 颜色白亮。可见化感浓度过高不仅推迟子叶的展开, 而且对受体幼苗根的发育有影响。

2.2.2 幼苗生长发育 表 2 是移植后 12 d 对幼苗生长的调查结果, 在 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时各种物质作用的幼苗都表现出不同程度的促进作用, 以 p-HA 的促进程度最高。浓度在 $250 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, VA 首先开始对幼苗表现出抑制作用, 尤其是对根部的抑制作用显著。在 $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时各种化感物质都表现出抑制作用。同样, 经 F 测验分析各化感物质不同浓度处理间差异均达到显著水平 ($P = 0.05$)。

不同的化感物质混合物对幼苗的影响不同(表 3), 共同特点是在低浓度下有促进作用而在高浓度时有抑制作用。在混合物总浓度低于 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 除 VA + FA + p-HA 组合外, 其余处理基本都表现为促进作用。不同物质的组合影响程度不同, 香草酸和阿魏酸(VA + p-HA) 组合的促进作用最强, 促生长强度在 10% ~ 20% 之间, 3 种物质混合物在 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时已表现

轻微的抑制作用。当浓度大于 $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 各种处理都对幼苗的生长产生抑制作用, 随着浓度的增加抑制性增强。各种组合的影响强度基本表现为组合 VA + FA 处理对幼苗的影响较小, VA + FA + p-HA 处理对幼苗的影响最大。

表 2 供试化感物质对棉花幼苗的影响

项 目	化感物质	质量浓度 /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)				
		CK	100	250	500	1 000
地上重/($\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$)	VA	1.84	1.85 b	1.83 b	1.32 b	0.83 b
	p-HA	1.84	2.21 a	2.13 a	1.64 a	1.45 a
	FA	1.84	2.01 b	1.98 b	1.64 a	1.34 a
根重/($\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$)	VA	0.15	0.16 b	0.12 b	0.09 c	0.05 b
	p-HA	0.15	0.20 a	0.17 a	0.14 a	0.12 a
	FA	0.15	0.17 b	0.16 a	0.12 b	0.05 b
株高/cm	VA	8.72	8.93 b	8.86 b	6.94 b	4.86 c
	p-HA	8.72	10.81 a	9.82 a	7.66 a	7.40 a
	FA	8.72	9.53 b	9.64 a	6.89 b	5.92 b
根长/cm	VA	4.53	4.96 a	4.25 b	2.51 b	2.47 b
	p-HA	4.53	5.23 a	4.52 a	4.12 a	3.56 a
	FA	4.53	5.13 a	4.27 b	3.95 b	3.51 a

表 3 供试化感物质混合物对棉花幼苗的影响

项 目	化感物质	质量浓度 /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)				
		0	50	100	250	500
地上重/($\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$)	VA + p-HA	0.47	0.59 a	0.56 a	0.42 a	0.27 a
	VA + FA	0.47	0.52 b	0.52 ab	0.41 a	0.21 b
	FA + p-HA	0.47	0.53 b	0.47 b	0.33 b	0.13 c
	FA + VA + p-HA	0.47	0.43 c	0.38 c	0.24 c	0.10 c
根重/($\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$)	VA + p-HA	0.13	0.15 a	0.15 a	0.10 a	0.08 a
	VA + FA	0.13	0.13 b	0.13 b	0.10 ab	0.07 b
	FA + p-HA	0.13	0.12 bc	0.11 b	0.09 b	0.05 c
	FA + VA + p-HA	0.13	0.11 c	0.07 c	0.06 c	0.04 c
株高/cm	VA + p-HA	6.35	8.31 a	7.81 a	6.05 a	4.54 a
	VA + FA	6.35	7.93 ab	7.03 b	5.38 b	3.45 b
	FA + p-HA	6.35	7.31 b	6.48 b	4.29 c	3.28 b
	FA + VA + p-HA	6.35	6.13 c	5.12 c	4.20 c	2.27 c
根长/cm	VA + p-HA	7.06	7.56 a	7.21 a	6.36 a	3.49 a
	VA + FA	7.06	7.32 ab	6.78 ab	5.24 b	4.12 a
	FA + p-HA	7.06	7.01 b	6.32 b	3.82 c	2.75 b
	FA + VA + p-HA	7.06	6.45 c	3.52 c	3.51 c	1.95 c

本研究进一步证实了化感物质间的协同性对幼苗的影响。例如浓度为 $250 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, VA, p-HA 和 FA 作用幼苗的根重分别为对照的 99.5%, 115.8% 和 108.7%, 而 VA + HA, VA + FA, FA + p-HA 和 FA + p-HA + VA 几种混合物处理的幼苗根重为对照的 89.7%, 87.4%, 64% 和 42.7%。

2.2.3 幼苗生理特性 从表 4 中可以看出, 随着化感物质浓度的增加, 幼苗的根系活力, 过氧化氢酶的活性降低, 细胞膜透性增加, 这个结果解释了化感物质作用下幼苗生长势较弱的部分原因: 由于植物根系活力受到抑制, 导致植物根系生长缓慢, 对养分的吸收能力降低, 生长发育受阻; 过氧化氢酶活性的降低, 使幼苗体内活性氧浓度增加, 抗逆性降低, 加速了幼苗的死亡; 而细胞原生质结构的破坏, 直接导致体内生理生化过程的改变, 影响了植物的正常生长。

表 4 供试化感物质对棉花幼苗生理特性的影响

项 目	化感物质	质量浓度 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)				
		CK	100	250	500	1 000
根系活力 (α -萘胺) /[$\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (鲜重)]	VA	941.67			592.27 b	122.48 b
	FA	941.67			623.37 b	153.72 b
	P-HA	941.67			731.27 a	316.16 a
过氧化氢酶活性 / ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{in}^{-1}$)	VA	12.22			7.27 b	4.01 b
	FA	12.22			8.35 a	5.57 a
	P-HA	12.22			8.95 a	5.93 a
电导率 / ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	VA + p-HA	40.35	39.25 c	66.24 a	68.21 a	
	VA + FA	40.35	41.31 b	50.16 c	60.42 b	
	FA + p-HA	40.35	42.25 b	57.32 b	61.30 b	
	FA + p-HA + VA	40.35	46.14 a	68.24 a	72.21 a	

3 结论与讨论

从小麦中检测出的 p-HA, VA 和 FA 3 种化感物质对棉花发芽和幼苗生长有显著影响, 作用强度和化感物质的种类与浓度有关。3 种物质之间的协同作用, 使抑制棉花生长的界限浓度降低, 这种特性使得麦棉套作制度中的棉花容易受到小麦产生化感物质的影响。由此可以看出, 冬小麦产生的化感物质对棉花的影响是麦棉套种体系中棉花弱苗晚发的一个重要原因, 应加强 2 种作物之间化感效应的研究, 为提高棉花的产量和品质提供一个科学的理论指导。

应当提到的是, 试验中对棉花产生抑制作用的酚酸浓度远高于在根系土壤中检测到的浓度。如在 0~20 cm 小麦根系土壤中 3 种化感物质的浓度为 $0.11 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 虽然浓度较低, 但在大田中仍然观察到了麦棉套作体系中棉花的弱生长势。分析认为可能是化感物质在根系土壤中尽管总量较小, 但由于其分布不均匀^[7,8], 局部微域中含量仍然较高; 另外土壤中各种化感物质的协同效应在一定程度上降低了抑制作用的浓度阈值, 加之土壤中物质成分复杂, 各种各样毒素 (如甲硫氨酸) 或非毒素物质 (葡萄糖、短链脂肪酸等) 的存在也会降低抑制作用的阈值^[9]。

尽管利用化学试剂简单地分析对棉花的影响不足以解释麦棉互作潜力, 但通过研究这些物质对植物的影响, 不仅可以了解不同酚酸物质对作物的影响, 而且可进一步了解彼此之间的协同作用。目前国内外对化感物质协同效应有待于深入研究。

参 考 文 献

- 1 马越强, 廖利平, 杨跃军, 等. 香草醛对杉木幼苗生长的影响. 应用生态学报, 1998, 9(2): 128~ 132
- 2 McCalla J M, Leyva A, Caparicon L. Phytotoxic substance from soil microorganism and crop residues. Bacteriol Rev, 1964, 28: 181~ 207
- 3 Chapman H P. Chemical factors of the soil as they affect microorganisms. In: Ecology of Soil-Borne Plant Pathogens, 1965, 120~ 141
- 4 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. 应用生态学报, 1996, 16(1): 1~ 10
- 5 张志良主编. 植物生理学实验指导. (第2版). 北京: 高等教育出版社, 1997, 59~ 62
- 6 韩锦峰主编. 植物生理生化. 北京: 高等教育出版社, 1990, 297~ 299, 321~ 323
- 7 Boeracer H. Liberation of organic substances from higher plants and their role in the soil sickness problem. Bot Rev, 1960, 26: 393~ 424
- 8 Rice E L. Allelopathy. New York: Academic Press Inc, 1984, 1~ 5, 309~ 315
- 9 Blum U. Allelopathic interactions involving phenolic acids. J Nematology, 1996, 28(3): 259~ 267