

# 农业生态系统中化感作用研究综述<sup>X</sup>

戚建华<sup>1</sup>, 梁银丽<sup>2,1</sup>, 梁宗锁<sup>2,1</sup>

(1. 西北农林科技大学, 陕西杨凌 712100; 2. 中科院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

**摘要:** 对化感物质, 化感作用的影响因子, 化感作用机理的研究现状和进展作了概述, 列举了许多化感物质分离方法和化感作用中常用的生物测定方法, 指出目前化感作用机理是研究的薄弱环节。并对其在农业生态系统中的应用前景进行了展望。

**关键词:** 农业生态系统; 化感作用; 化感物质

中图分类号: S181

文献标识码: A

文章编号: 1004-1389(2004)02-0115-04

## The Review of Researching Allelopathy in Agro-ecosystem

QI Jian-hua<sup>1</sup>, LIANG Yin-li<sup>2,1</sup>, LIANG Zong-suo<sup>2,1</sup>

(1. North west Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Ministry of Water Resources, Yangling Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** In this paper, the researching progress of allelopathy in agro-ecosystem was briefly overviewed on base of many studies. It reviewed researching actuality and evolvement of allelopathy, including allelochemicals, the factors of allelopathy, mechanism of allelopathy. Enumerated many separating means of allelochemicals and the widely used bioassay methods, and pointed out that mechanism of allelopathy is a weak segment. And the further research in this field are discussed.

**Key words:** Agro-ecosystem; Allelopathy; Allelochemicals

化感作用(Allelopathy)最早是由澳大利亚植物学家Hans Molisch于1937年提出的,意指高等植物和微生物所排出的毒害,从字面上可以解释为“相互损害”。化感作用的定义经过不同科学家的发展和完善,形成了目前比较公认的概念:即各种腐败的植物(包括高等植物和微生物)所释放的化学物质引起的生化相生及相克作用,也有人称之为异株克生或相克相生,其产生的化学物质称为化感物质(Allelochemicals)。但是一直以来对于化感作用的研究工作进展很慢,只是近年来由于科学技术的发展,尤其是现代分析仪器和电子计算机的广泛应用,化感作用才得到国内外研究者的重视。先后不断有关于林木、杂草、作物(尤其是大豆、小麦、水稻)、中草药以及蔬菜化感作用的研究报道出现。这些研究对于农业作物间作,套作

和轮作等耕作制度的合理安排布局,农田杂草防除,作物病虫害的防治,减少连作障碍危害以及植物群落演替具有重要的指导作用。据美国农业部(USDA)估计,化感作用新技术的应用将给美国农业带来近20亿美元的经济效益<sup>[15]</sup>。

## 1 化感作用的研究进展

### 1.1 化感物质的研究

化感物质存在于植物的各部分组织中,包括叶、花、果、种子、茎、根、须根。它主要是通过植物地上部的淋洗和挥发,根的分泌,以及植物残体的腐解这4种途径向农业系统中释放这些化学物质,从而影响周围或后茬植物的生长发育。

化感物质主要来源于植物的次生代谢产物,分子量小,结构简单。1983年Alan R. Putnam<sup>[6]</sup>曾

X 收稿日期: 2003-08-25 修回日期: 2004-02-22

基金项目: 中国科学院知识创新项目(KZCX1-06-02); 国家科技攻关项目(2001BA508B17)资助。

作者简介: 戚建华(1977-),女,山东济宁人,硕士研究生。

简单阐述化感物质的组成成分包括简单的气体和脂族化合物,多环芳香化合物。后来经过研究发现鉴定出许多种,如:酯类,含氰基的糖苷,酚及其衍生物,不饱和酮,生物碱,葡萄糖苷,芳香酸,醛和醌类等。Rice(1974)将化感物质大体上分为14类:水溶性有机酸,直链醇,脂肪族醛和酮;简单不饱和和内酯;长链脂肪族和多炔;萜醌,葱醌和复合醌;简单酚,苯甲酸及其衍生物;肉桂酸及其衍生物;香豆素类;类黄酮;单宁;类萜和甾类化合物;氨基酸和多肽;生物碱和氰醇,硫化物和芥子油苷;嘌呤和核苷。其中酚类和类萜化合物较为常见。随着科技的发展,科学家们已经不再局限于哪一类化学物质,而是获得纯净组分或单体。现已有不少实验和文献报道了从植物中提取到具体的化感物质,如:胡桃树中的胡桃醌;沿海灌木丛中获得的红没药烯,丁香烯,金合欢烯等倍半萜<sup>[8]</sup>;对胜红蓟中的早熟素I,早熟素II和5,22-二烯-3B豆甾醇3个化感化合物<sup>[4]</sup>。另外,Yu J Q和Matsui Y<sup>[17]</sup>鉴定出黄瓜根系分泌物中的毒性物质,主要是酚酸类化合物,苯丙烯酸,苯甲酸,对羟基苯甲酸,2,5-二羟基苯甲酸等。到目前为止化感物质的提取主要采用夹层法,常温吸附法,浸提法或腐解法,疏水性根渗出液连续收集法(CRETS)等。一般化感物质主要采用浸提法获得。浸提剂分为有机和无机两类化合物,主要为H<sub>2</sub>O、NaOH、Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>和氯仿、甲醇、丙酮、乙醚、乙醇等,其中最能表现自然状态的为常温下的水提取。而化感物质的纯化主要采用萃取法,树脂法和层析法,鉴定广泛应用紫外,红外,核磁共振,气相层析仪和串联质谱仪等方法。

## 1.2 化感作用生物测定方法研究

生物测定是化感作用研究的重要环节,因此,选择适当的生物测定方法是化感作用研究的关键之一。目前比较常用的生物测定方法有发芽实验,幼苗生长发育测定,盆栽实验和大田实验等。

Leather将发芽试验分为9大类,即培养皿滤纸法、培养皿砂培法、培养皿琼脂法、培养皿毛毡布法、培养皿无菌浮石法、培养皿海绵法、层析滤纸法(发芽试验直接在经纸层析分离的各组分所在的滤纸上进行)、挥发性物质测定法(用海绵和滤纸作基质)。种子发芽实验简单,快速,只需较少的化感物质即可以进行。通常选用对化感物质敏感、生长快而整齐的受体植物。现采用作物的比较多,是由于作物种子发芽比较整齐,发芽时间较

短,发芽率高(可达100%),实验结果重现性比较好。常选用莴苣、生菜、萝卜、油菜、黄瓜、小麦和高粱作受体植物。幼苗生长发育实验则是胚根,胚轴,胚芽鞘伸长的测量,以及一些生理指标的测定。对幼苗生长的影响也常用干物质重量来表示,Leather指出,将幼苗培养7~10 d,测定幼苗干物重是表示化感作用全面影响的一个敏感指标,干物重分地上苗和地下根两部分,也可计算苗/根的比例<sup>[12]</sup>。也有不少研究用幼苗的鲜重作为衡量指标,非常容易测量,但敏感性稍差。采用循环培养液法测定根分泌物对受体植物生长发育的影响也是很有效的一种方法。用水培或砂培法将供体植物种植在高处,将受体植物种植在低处,然后将供体植物的根分泌物连同营养液不断渗滴到受体植物根部。最后将最下面的受体培养槽中水培液用气泵打到最高的供体植物培养槽中。不断循环,培养一段时间,测定供体根分泌物对受体生长发育的影响。对于大批量的检测一般还是采用室内生物测定法,盆栽和大田实验只能是定性的测定。

## 1.3 化感作用影响因素的研究

化感作用存在与否以及化感作用的强弱会受到植物遗传因子,植物密度,植物生长周期和不同生长阶段,植物生境和气候因子,动物和微生物侵袭,土壤结构及其理化性质,光温等环境因子,以及农药和人工化学药品等因素的影响。

一般来说胁迫对化感物质的释放具有促进作用,比如水分胁迫(干旱),温度胁迫,营养胁迫以及辐射等。有些研究表明,酚酸的化感作用在贫瘠的土壤中可能是很重要的。胡飞、孔垂华<sup>[4]</sup>研究结果表明:胜红蓟水溶物溶液浓度在0.25 g·FW/mL时对供体植物萌发和幼苗生长均有显著抑制作用,而降至0.10 g·FW/mL时抑制作用消失。胜红蓟不同器官,不同生育水溶物化感作用差异显著,恶劣生境下化感作用更为强烈。植物的遗传因子也起到重要作用,Fujii<sup>[9]</sup>在研究水稻时观察到改良的粳稻品种的化感作用较弱,而一些地方的印尼起源品系有着较强的抑制作用。由此他认为水稻品种间化感作用的差异性与其遗传背景不同有关。同时他还认为现在的高产,丰产性品种,由于人工的定向选择,产生化感化合物的能力比其起源种降低了很多。因此他提出从野生种,地方品种,边缘品种中容易筛选到的品种与现代高产品种杂交,可望得到高产而又抗杂草的水稻品种。国内林文雄<sup>[18]</sup>也有实验结果表明,不同品种水稻

在化感作用潜力上有差异。总的说来,化感物质的形成受作物遗传特性和环境条件双重因素的决定。

植物密度,植物生长周期和不同生长阶段也是非常重要的影响因素,林文雄<sup>[3]</sup>在研究水稻与稗草化感作用中观察到,随着受体杂草种植密度的增加,稗草单株干重也随之增加,即存在化感物质对靶标杂草的抑制效果与靶标杂草种植密度呈负相关的现象。Nilson<sup>[11]</sup>也有类似结论,即杂草密度越大,化感物质对杂草单株抑制效果越小。李善林等<sup>[3]</sup>对小麦化感效应研究的结果表明,在接受抽穗期小麦提取物进行化感效应测定的10种作物和杂草中反枝苋和繁缕的生长受到的影响最显著,说明在作物的不同生育期作物化感物质形成数量不同。光质,光量,光强与光照时间也是控制化感物质形成的重要因素,在紫外光和长日照条件下其形成数量多,而在遮阴情况下形成数量少。

#### 1.4 化感作用机制的研究

目前化感作用机理及其分子基础并不是很清楚,但从现有的资料来看化感作用几乎能影响植物生理生化的每一个方面,大多数化感物质是影响植物的细胞膜,能量产生和能量使用过程,少部分化感物质只影响某一特定酶步骤,从而干扰植物的一些高级代谢过程和生长调节系统。Roshchina等<sup>[13]</sup>研究报道,一些多酚类化合物会破坏膜的功能。他认为这与化感物质抑制受体植物SOD和CAT酶活性,导致体内活性氧增多,启动膜质过氧化,从而破坏膜的结构有关。林文雄等<sup>[2]</sup>研究表明,一些稗草胚根,幼芽在化感物质作用下,形态发生变异,生长畸形,地上部和地下部生长失调。同时,刘秀芬等<sup>[1]</sup>研究阿魏酸对小麦幼苗内源激素水平影响表明,阿魏酸能引起小麦体内生长素(IAA),赤霉素(GA)和细胞分裂素(ZR)大量积累,同时诱导脱落酸(ABA)含量升高。Thomaszewishi与Thimann<sup>[14]</sup>研究证实,许多化感物质会降低受体植物中的赤霉素和生长素水平,从而抑制受体植物的生长。Cruz<sup>[7]</sup>等还研究了葫芦所产生的化感物质对菜豆和南瓜属*Cucurbita ficifolia*苗期根的微观结构的影响,结果发现菜豆的根尖细胞挤压在一起,组织出现紊乱并很少出现明显的细胞分化。通过电镜观察,菜豆和*C. ficifolia*的一些组织和细胞的微观结构发生了改变,在根冠细胞中产生了不定形和无活性的细胞核,线粒体和内质网,且液泡发生内陷。另外,国

内外大量的研究报道了化感作用对植物的离子吸收有影响,比如1990年Lyu-SW和Blum-U<sup>[10]</sup>研究了阿魏酸和其他化感化合物对黄瓜苗净P、K和水分吸收的影响,结果表明随着阿魏酸的增加,净P、K和水的吸收都降低。Yu-JQ和Matsui-Y<sup>[18]</sup>研究黄瓜根系分泌物中芳香族的羧酸对整个黄瓜幼苗吸收 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 、 $\text{SO}_4^-$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 和 $\text{Fe}^{2+}$ 的影响时也发现,其根系分泌物抑制黄瓜幼苗对所有离子的吸收,除 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 外。吕卫光、张春兰等<sup>[5]</sup>研究发现黄瓜根系分泌物主要的化感物质组分苯丙烯酸和对羟基苯甲酸强烈抑制黄瓜根系脱氢酶、根系结合ATP酶、硝酸还原酶、超氧化物歧化酶的活性,从而抑制根系对 $\text{K}^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 的吸收。这些研究说明,植物化感作用有可能是首先对膜的伤害,通过细胞膜上的靶位点,将化感物质胁迫的信息传送到细胞内,从而对激素、离子吸收等产生影响。而激素、离子吸收以及水分状况等变化必然引起植物细胞分裂,光合作用等的变化,从而对植物的生长产生抑制作用。

## 2 化感作用在农业生态系统中的应用

到目前为止,化感作用的研究已经应用到许多领域,比如农业生态系统,林业生态系统,草原生态系统,水生生物生态系统等。在农业上主要应用在以下4个方面:<sup>1</sup> 在农业耕作制度中的指导作用,根据化感作用进行合理的轮作,间作和套作,发展可持续农业,并可合理地选择伴生植物;<sup>2</sup> 合理进行地面覆盖,通过植物残体化感物质的淋失,即可有效地抑制杂草和病虫害,又能增加产量;<sup>3</sup> 根据作物对杂草和有害微生物以及害虫的抑制作用,进行生物提取,人工合成生物除草剂、杀虫剂和抑菌剂;<sup>4</sup> 选择开发抗化感或高化感的品种,减少农业生产中化学药物的应用,并减少开支。如今已经有许多的研究成果出现,并且在这些方面还有更大的研究空间有待开发。

## 3 化感研究中存在的问题 困难和发展前景

目前,化感作用研究中存在两个最大问题。<sup>1</sup> 自然条件下化感物质的量化研究。化感物质在根,茎,叶等多种器官产生后,通过不同途径进入周围环境中发挥作用,进入土壤后又以多种方式移动。

一部分经物理和化学过程而发生降解,一部分被土壤组分中的无机物所吸附或并入有机质中而不能起作用,还有一部分经土壤微生物的呼吸作用或代谢过程而失去毒性。另外,许多化感物质在外界因素(物理,化学和生物)的作用下,能发生化学结构和构象的变化,对植物产生类似化感的作用,或失去其作用。而且化感物质不象外施的化学药剂一样,随着时间的延长,浓度呈一定规律降低。而是处于植物(供体)—土壤—植物(受体)的变化系统中,作用对象和浓度在不断的调整变化。所以 Williamson 和 Weidenhamer<sup>[16]</sup>提出,研究化感物质的毒性除浓度外,还要研究其流动速率(Flux rate),即在某一时间内移入和移出农作物系统的化学物质的总量。植物对其生活环境中邻近植物和自身的负面效应(Negative effect),除了化感作用外,还可通过资源竞争,潜在的有机物(如病原菌)来实现,很多时候各种各样的干扰机制是累加起来作用的。因此,区分干扰对象和化感物质流动速率成为化感作用研究的瓶颈。

目前,国内对化感作用的研究还大多处于起始阶段,多数只涉及化感现象的观察,化感物质的分离提取和鉴定等方面,对化感作用的生理,生化基础,作用机制,生态环境的研究等做的较少。今后的研究,必须向利用化感作用指导农作物的轮作、间作、套作及杂草的生物防治,用已鉴定的化感物质为今后人工合成除草剂和生产调节剂提供线索等方面努力。应将化感作用机制的研究、化感品种的筛选、化感作用基因库的建立和化感作用基因定位等作为今后的研究方向。

#### 参考文献:

- [1] 刘秀芬,胡晓军.化感物质阿魏酸对小麦幼苗内源激素水平的影响[J].中国农业生态学报,2001,9(1):86~88.
- [2] 何华勤,林文雄.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.
- [3] 李善林,由振国.小麦提取物对反枝苋,繁缕生长的化感效应研究[J].中国生物防治,1996,12(4):168~170.
- [4] 胡飞,孔垂华.胜红蓟化感作用研究 I 水溶物的化感作用及其化感物质分离鉴定[J].应用生态学报,1997,8(3):304~308.
- [5] 吕卫光,张春兰.化感物质抑制连作黄瓜生长的作用机制[J].中国农业科学,2002,35(1):106~109.
- [6] Alan R Putnam.植物毒素抑制剂——天然的除草剂[J].陆地生态译报,1985,3:45~48.
- [7] Cruz R, Anaya A L, Hernandez B E, et al. Effects of allelochemical stress produced by *Sicyos deppei* on seedling root ultrastructure of *Phaseolus vulgaris* and *Cucurbita ficifolia* [J]. *J Chem Ecol*, 1998, 24(12): 2039~2057.
- [8] Fischer N H, Williamson G B, Weidenhamer J D, et al. In search of allelopathy in the Florida scrub: The role of terpenoids [J]. *J Chem Ecol*, 1994, 20: 1355~1380.
- [9] Fujii Y. The potential biological control of paddy weeds with allelopathy. Allelopathic effect of some rice varieties [A]. *Proc Inter Symposium on Biological Control and Integrated Management of Paddy and Aquatic Weeds in Asia* [C]. 1992: 305~320.
- [10] Lyu S W, Blum U. Effects of ferulic acid and allelopathic compound, on net P, K and water uptake by cucumber seedlings in a split-root system [J]. *J Chem Ecol*, 1990, 16(8): 2429~2439.
- [11] Nilsson M C. Separation of allelopathy and resource competition by the boreal dwarf shrub: *Empetrum hermaphroditum* [J]. *Hagerup Oecologia*. 1998: 1~7.
- [12] Leather G R, Einhellig F A. Bioassays in the study of allelopathy [A]. Putnam A R, Tang C S (EDS). *The Science of allelopathy* [C]. New York: John Wiley & Sons, 1986. 133~145.
- [13] Roshchina V V, Roshchina V D. The excretory function of higher plant [A]. New York: Springer-verlag. 1993: 213~215.
- [14] Thomaszewski M, Thimann K V. Interaction of phenolic acids, metabolites and chelating agents on auxin-induced growth [J]. *Plant Physiol*, 1996, 41: 1443~1454.
- [15] U. S. Department of Agriculture. 1977. Report of the Research Planning Conference on the Role of Secondary Compounds in Plant Interactions (Allelopathy), Mississippi State Univ [R]. 1997. 124.
- [16] Williams G B, Weidenhamer D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls [J]. *J Chem Ecol*, 1990, 14(1): 181~187.
- [17] Yu J Q, Matsui Y. Phytotoxic substances in root exudates of cucumber [J]. *J Chem Ecol*, 1994, 20(1): 21~30.
- [18] Yu J Q, Matsui Y. Effect of root exudates of cucumber and allelopathicals on the ion uptake by cucumber seedling [J]. *J Chem Ecol*, 1996, 6: 817~834.