

植物化感作用研究进展

林娟¹, 殷全玉¹, 杨丙钊², 杨铁钊¹, 杨志晓¹

(1)河南农业大学农学院烟草系, 河南郑州 450002; (2)河南中烟工业公司, 河南郑州 450008)

摘要: 化感现象广泛存在于植物界, 植物之间的化感作用对生态系统有着不可忽视的影响。但是有关化感作用的研究才刚刚起步, 还停留在主要化感物质的生物和化学鉴定方面, 在化感作用的机理以及应用仍需要更进一步的探究。笔者综述了植物化感作用的定义, 化感物质的种类及其相互之间的关系, 化感物质的作用机制, 并介绍了化感作用在农业生产中的应用及其前景, 展望了化感作用研究的范围和方向。

关键词: 化感作用; 化感物质; 化感机制

中图分类号: Q948.12 **文献标识码:** A

Review on Allelopathy of Plants

Lin Juan¹, Yin Quanyu¹, Yang Bingzhao², Yang Tiezha¹, Yang Zhixiao¹

(1)Department of Tobacco, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002;

²China Tobacco Henan Industrial Corporation, Zhenzhou 450008)

Abstract: There are so many allelopathies in the vegetable kingdom, and the plant allelopathy has an important influence on agricultural ecosystem. Researchs on plant allelopathy are just beginning, which rest on the authentication of main allelochemical by chemic or biologic means. It is necessary for us to study farther on acting mode and application of allelopathy. This article reviewed on the definiens of allelopathy, allelochemical categories and interactants of them. Acting modes of the allelochemicals were discussed. The use of allelopathy and allelochemicals of plants to agriculture production was introduced. The existing problems and direction in the study on plants allelopathy were advanced in the end.

Key words: Plant allelopathy, Allelochemical, Acting mode

公元前 285 年, 提奥夫利斯塔(Theophrastus)在其所著的《植物调查》一书中指出:“鹰嘴豆不像其他豆科植物那样, 能够使地力恢复, 而是消耗地力。此外, 它能消灭各种杂草, 尤其能迅速消灭蒺藜。”^[1]公元 1 世纪, 普林尼在《自然历史》中叙述了胡桃树的“树荫”是令人忧郁的, 甚至会引起人的头痛和损伤种植在其附近的各种植物。”他还进一步论述到“树荫”一词又非常广泛的涵义, 不仅意味着光线的部分排除, 还有植物对邻近有机物营养上的影响和从植物中分泌到周围环境中

的化合物的影响。1928 年 R·F Davis 从胡桃果和根中提取了胡桃醌, 从而证实了普林尼所观察到的现象。1937 年 H·Molishch 创造了“他感作用”(Allelopathy)一词来表示所有类型植物之间, 并包括微生物之间生物化学物质的相互作用。化感作用的定义经过科学家的不断发展和完善, 形成了目前比较公认的概念: 各种植物(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(Allelochem-

基金项目: 河南省烟草专卖局 河南省烟草专卖局重点科技攻关项目“(hykj200201)

第一作者简介: 林娟, 女, 1980 年出生, 在读硕士, 主要从事烟草品质遗传改良研究。通信地址: 450002 河南省郑州市文化路 95 号河南农业大学农学院。E-mail: lizrong1980@163.com

通讯作者: 杨铁钊, 男, 1956 年出生, 教授, 博士生导师, 主要从事烟草品质改良遗传育种的教学和科研工作。Tel: 0371-63558030, E-mail: yangtiezhao@sina.com

收稿日期: 2006-11-07, 修回日期: 2006-11-13。

icals)。

1 生态系统中的化感作用

1.1 植物——植物间的化感作用

很多植物之间都存在着相互作用,主体植物对客体植物的生长发育产生有益或无益的作用。毛竹和苦槠^[2]在与杉木混交时都能在不同程度上促进杉木的生长,这两种伴生树种各器官的水浸液中含有的化感物质对杉木种子的发芽和芽的生长有促进作用^[3]。鹰咀豆与水稻间作时其产量会下降,与花生间作时不存在产量优势,与大豆的部分品种间作也不存在产量优势^[4]。水稻能够抑制稗草的发芽及2叶期的生长,一些具化感作用的水稻残株对稗草种子有短期的明显抑制^[5]。苦丁茶^[6]叶片和根系分泌的化感物质可在土壤中积累,对萝卜、白菜、黄瓜、绿豆、水稻种子萌发有明显的抑制作用。柠檬果皮、叶和根系分泌物中含有水溶性或挥发性化感物质抑制它周围的灌草的生长^[7]。青蒿分泌的青蒿素及其生物合成前体可调节植物的生长^[8]。植物之间的化感作用不仅存在于种间,农业生产中一些作物存在严重的连作障碍,即是自毒作用也是化感作用的表现。草莓^[9]、黄瓜^[10]、大豆^[11]、豌豆^[12]等作物的连作都造成减产、病害加重。在人工林的经营过程中,也普遍存在着连栽障碍问题,杉木、桉树人工速生丰产林引起地力衰退、生产力下降现象等^[13]。化感作用不仅在陆生植物之间,植物与微生物、水生植物之间都存在化感作用,尤其是水生生态系统是一个巨大的领域。水生植物、微生物和藻类^[14]分泌的化感物质具有很高的化感特性,能够在极其低的浓度下起作用,认识水生生态系统中的化感作用对于化感作用的研究也具有重要的意义。

1.2 植物——微生物间的化感作用

传统上认为:化感作用相互作用的主客体均是植物,不包括植物和动物及其他有机体的相互作用。随着化感作用研究的深入,人们对化感作用的认识逐步改变,化感作用的对象不仅仅限于高等植物之间。高等植物能够产生抗菌的次生物质很久以前就被证实,柳树叶中发现的杀菌剂水杨酸已被应用一个世纪。荞麦根分泌物可刺激小麦全蚀病菌有益拮抗微生物数量的增加^[15],多数拮类都具有抗菌和杀菌的作用。在茜草科植物 *Alibertia macrophylla* 中发现4个环烯醚萜化合物,其中2个单萜化合物对 *cladosporium* 菌和 *aspergillus* 菌有杀菌效果。豆科作物分泌的黄酮类物质诱导根瘤菌的结菌,但不同种类之间存在差异^[16]。Kent^[17]认为苜蓿种子与根系分泌物中同时含有对根瘤表达起抑制或促进作用的物质。Muarryt^[18]认为酚酸物质能抑制微生物

产生气体与挥发性脂肪酸的作用,并且减少微生物对其生长介质的消耗。马瑞霞、冯怡等^[19]指出,阿魏酸在5.149、2.577、0.257 mol/L 浓度时均表现出对枯草菌生物量增加有抑制作用。芦苇中分离的抗藻化感物质对 *Chlorella pyrenoisosa* 和 *Microcystis aeruginosa* 有强烈的抑制作用,但是对 *Chlorella vulgaris* 没有抑制,即化感活性存在种间差异^[20]。

2 化感物质

生态系统中的化感作用是通过植物向环境中释放化感物质来实现的。因此,化感物质在认识和评价植物化感作用中占据中心位置。植物的化感物质都是次生物质,植物产生和释放化感物质的理论基础是植物的次生代谢。植物化感物质是由酚类、萜类、含氮化合物以及聚乙炔和香豆素类次生物质。*Rice*^[21]将化感物质分为15类,目前普遍的化感物质分类主要是4类:酚类 萜类 糖和糖苷类 生物碱和非蛋白氨基酸。

2.1 酚类

酚类化感物质是指分子结构中至少含有一个羟基直接连接到苯环上的芳基化合物,其数量比所有其他类型化感物质总量还多,且酚类化感物质的水溶性和成盐性使得他们在自然条件下易被雨雾淋溶和土壤吸收;另一方面,酚类化合物分子量跨度大,从简单的苯酚到复杂的多酚都有,其中的大中型酚类化感物质进入环境往往需要在土壤媒介的作用下,逐步通过水解,和Mn、Fe等离子结合等方式降解而缓慢表现化感效应。阿魏酸、肉桂酸对杉木种子的萌发和幼苗生长的抑制作用随着浓度的增加而加强^[22]。水杨酸、对羟基苯甲酸、肉桂酸、香草酸、阿魏酸对田间伴生杂草稗草都有抑制效应^[23]。香豆素、绿原酸、水杨酸是苜蓿自毒作用的主要酚酸类物质^[24]。

2.2 萜类

萜类是第二大类化感物质。萜类化合物水溶性差,雨水很难将其淋溶到土壤中。萜类是自然界存在的一类具有 $(C_5H_8)_n$ 通式的碳氢化合物及其含氧饱和程度不等的衍生物总称。何海斌^[25]等从不同化感水稻品种根分泌物中检测到相同或相似的含氧萜类化合物。二萜内酯是水稻分泌的重要化感物质,能够抑制稻田稗草和异性莎草的活性^[26]。许多菊科植物含有大量的挥发性萜类化合物,如柠檬烯、蒎烯、樟脑、长叶薄荷酮、桉树脑、香茅醇等,它们不仅保护植物自身不受侵害,还对其它植物生长产生抑制作用^[27]。

2.3 糖苷

高等植物体内糖苷分子是各类有机质的普遍存在形式,尤其在果实、树皮、根中糖苷含量很高。玄参科植

物毛花洋地黄叶中含有大量的强心苷,可抵御植食性动物食取、微生物侵染和邻近植物的生长发育。皂苷是苜蓿的主要化感物质^[28],高粱植株中的蜀黍葡萄糖苷在酶或酸的作用下水解,生成对植物和微生物有显著化感作用的对羟基苯甲醛和氢氰酸。

2.4 生物碱

生物碱具有显著的生理活性,但其化感效应并不明显。李新宇^[29]等观察大籽蒿花提取生物碱物质对羊草根茎节部的影响,结果表明在有生物碱类物质存在时,羊草不定根的形成个数以及从髓射线部位形成的突起个数随浓度的升高呈现先增加后下降的趋势,羊草根茎节部不定芽的形成受到的影响很小。也有许多其他生物碱如莨菪胺、莨菪碱、咖啡因、茶碱、可可碱、鬼臼毒素、长春花碱和秋水仙碱都被报道过具有化感潜力。

3 化感物质的作用机制

3.1 化感物质的释放途径

植物主要通过 4 种途径释放化感物质: 淋溶、挥发、根部分泌和残根的分解、植株的分(降)解。柠檬桉皮、叶和根系分泌物中含有的水溶性物质可通过雨水、雾滴进入土壤,而抑制其下植物种子萌发和根系生长。挥发性物质在茂密的树干下形成一定浓度的气体直接对植物种子萌发、茎叶生长有抑制作用^[5]。孔垂华^[30]等研究南方主要杂草胜红蓟鲜叶的挥发物质和挥发油对所有受体植物的幼苗生长有显著的抑制作用。王大力^[31]等研究表明豚草主要通过挥发、雨水淋溶、根系分泌等方式向周围环境释放化感物质,影响其他植物的生长发育,而使自身蔓延生长。淋溶和挥发作用不是绝对的,随着外界气候环境的改变可相互转化,根系分泌的化感活性早已证实,但分泌物多种多样,在土壤的大环境中,根分泌物与土壤细菌、微生物等的作用,仍需进一步研究。植物残株在分解过程中普遍存在着释放化感物质的动态模式, Bonanomi.G 等对 25 种植物进行实验结果表明,90%的供试植物释放植物毒素,不同的植物其作用的官能团差异很大;在有氧条件下植物释放化感物质的量迅速下降,厌氧条件下植物产生的化感物质含量积累且结构趋于稳定^[32]。

3.2 化感物质的迁移转化

植物的化感物质释放到环境中后,在自然条件下要以足够的浓度生物活性浓度到达邻近植物。植物向环境中释放的化感物质,少部分能够通过挥发、淋溶与枝叶和根部直接接触而传递,大部分化感物质是以土壤为媒介而传递和转化的。十字花科作物如油菜、白菜、萝卜等能够向土壤中释放糖苷硫酸氰酸酯,其在土

壤媒介中水解产生硫代氰酸酯和挥发性的青氰酸,二者均对 vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) 的萌发产生显著的抑制或杀灭作用,所以在十字花科作物生长的土壤中很少有 VAM。小麦根中分泌的化感物质羟基脲酸,从根提取得到的是单葡萄糖苷形式存在的羟基脲酸,而释放到土壤中的羟基脲酸则以多糖苷配基形式出现^[33]。土壤中的腐殖质有吸附作用,减弱化感物质对植物的毒性。腐殖酸可以吸附咖啡酸、阿魏酸以及水杨酸,降低它们对莴苣和番茄的抑制作用^[34]。

3.3 化感物质的作用机制

在研究化感物质时,对于植物的化感作用有两点基本的认识:(1)任何一种化感物质都可能影响植物的许多基本代谢过程和生长调节系统。(2)任何一种化感物质对植物的作用机制都与化感物质的浓度有关,表现为低促高抑^[35]。化感物质的作用影响了植物生长的各个过程及不同的生理过程。

3.3.1 影响细胞膜的透性 化感物质增加细胞膜的透性,黄瓜^[10]根分泌的主要化感物质苯丙烯酸能够增加过氧化物酶的活性,超氧化物歧化酶的活性降低,质膜透性增加,养分外渗速度加快。芦苇中提取的化感物质抑制 2 种绿藻的活性,造成金属离子从藻类细胞中渗漏,降低抗氧化酶 SOD、POD 的活性,增加膜内不饱和脂肪酸浓度,导致脂膜完整性破坏及原生质内离子渗漏^[20]。

3.3.2 影响细胞分裂、伸长和根尖的细微结构 化感物质通过影响受体植物细胞分裂来抑制其生长发育。薄荷根分泌物显著促进小麦幼苗和幼根的生长,显著抑制青菜幼苗和幼根生长,显著促进萝卜幼苗而抑制其幼根生长^[36]。Liu 等通过电镜观察指出,大麦根所释放的生物碱能引起白芥根尖细胞壁损伤,液泡数量和体积的增大以及细胞器结构的损坏^[37]。安息香酸处理后的芥末幼苗根细胞形状改变,细胞器分裂,但细胞中层加厚堆积^[38]。

3.3.3 影响矿质离子的吸收 香草醛^[30]明显抑制杉木幼苗的生长和对 $^{15}\text{NO}_3^-$ 离子的吸收,苯甲酸、对羟基苯甲酸和阿魏酸在不同浓度、不同 pH、不同土壤含水量等环境因子的作用下,对土壤硝化作用效果不同。阿魏酸和苯甲酸对硝化作用的抑制率略高于对羟基苯甲酸,且阿魏酸随浓度升高而抑制作用加强^[39]。

3.3.4 影响呼吸作用 化感物质可以通过干扰植物呼吸作用显示化感作用。梯牧草、玉米、黑麦和烟草腐烂残株分解期间所形成的化学物质都抑制了烟草幼苗的呼吸,分解腐烂发生在湿度饱和的土壤中,则抑制作用更强^[40]。玉米花粉能够释放高浓度的苯乙酸化感活性物

质,抑制其它植物幼苗的呼吸作用,导致植物的生长发育受到抑制。

3.3.5 影响光合作用 植物的生长不能脱离光合作用的过程,任何光合作用效率的改变都会对植物的生长产生有利或有害的效应。Sorgoleone是从高粱根部分泌并经氧化的苯醌类化感物质,被证明有极高的化感抑制活性。Sorgoleone是一个三嗪键合位的竞争抑制剂,主要抑制光合系统中电子转移反应,它能有效地抑制光合系统中 Q_A 和 Q_B 位之间电子的转移^[41],因此正被作为新型的植物除草剂进行开发^[42]。

另外,化感物质还可以影响植物激素的活性研究表明,施用不同浓度的阿魏酸均增加了小麦内源激素中生长素、赤霉素和细胞分裂素的含量,高浓度时幼苗长势差。抑制或刺激某些酶的活性,Sorgoleone通过抑制谷类微神经元细胞膜H-ATP酶的活性抑制幼苗的生长^[43]。某些浮游植物还能在体内产生暂时的包囊结构抵御化感作用^[44]。

4 应用

在农业生态系统中,化感现象很早就被人们所认识和利用,间作、轮作就是最好的证据。任何植物都不止合成一种化感物质,植物生成的化感物质不论多寡,都存在活性上的差异。但目前人们对化感物质的研究多在于主要单一化感物质方面,而事实上,植物化感物质往往在自然生态系统中是共同起作用的。化感物质之间存在协同、加和以及拮抗作用。利用化感物质之间的相互作用,设计不同的间作套种方式,减少作物之间的化感抑制作用,从而达到增产增质的目的。麦田中伴生一定量的麦仙翁释放的化感物质可以提高小麦的产量和品质。水稻、玉米、大豆都具有自毒作用,但是大豆和玉米、大豆和水稻的轮作都能消除自毒作用,增加水稻和玉米的产量,也可以控制部分杂草和病害。化感物质与微生物之间存在化感作用,秸秆覆盖后植物分泌的化感物质可有效地抑制杂草的生长,抑制有害菌的繁殖减少病害的发生。因此,开发无公害的人工合成的或天然的有害微生物抑制剂,可以增加农业生产的可控制性,也能减少病虫害造成的不必要的损失。由于人工合成的农药和除草剂降解残毒,并在环境中积累通过物质循环进入生物链,利用化感物质开发新一代生态安全型除草剂引起了人们浓厚的兴趣并进行着不断的研究,美国和德国在除草剂剂量和毒性关系方面的研究已经取得较大进展。不同种类的植物分泌的化感物质不同,同一种类不同基因型植物之间的化感特性也存在差别。因此,化感品种的筛选、改

良和开发也是减少杂草提高作物产量的最有效最根本的办法,化感育种研究的方向有:筛选鉴定化感物质资源,通过转基因技术调节植物的化感作用,培育非自毒性的化感品种,培育能够抑制杂草生长的化感品种,培育能够抑制病原菌繁殖的化感品种。

化感作用研究正在逐步深入,中国学者对化感作用的研究才刚刚起步,停留在化感现象的研究方面。随着研究的深入,化感作用的概念得到不断扩充,化感作用的范围不仅仅局限于植物之间,水生植物化感作用,植物与微生物,昆虫和动物的化学关系都有较多的研究,显示植物化感作用研究愈来愈涉及到植物化学生态学的其它领域。

参考文献

- [1] E·L Rice. 天然化学物质与有害生物的防治.胡教孝,等译.北京:科学技术出版社,1956.1-10.
- [2] 王宏志主编.中国南方混交林研究.中国林业出版社,1993.163-170.
- [3] 黄志群,林思祖,曹光球.毛竹苦槠水浸液对杉木种子发芽的效应.福建林学院学报,1999,19(3):249-252.
- [4] Jagtap J.G, Holkar S. Evaluation of soybean (*Glycine max*) and pigeonpea (*Cajanus cajan*) lines for advantages in intercropping systems [J]. Indian Journal of agricultural sciences, 1998, 68(5): 241-243.
- [5] Hasson SM, Rao AN. Weed management in rice using allelopathic rice varieties in Egypt. Nature, 1995, 377: 201-203.
- [6] 曹潘荣, 邹元辉. 苦丁茶化感作用现象研究. 华南农业大学学报, 1997, 18(1): 11-14.
- [7] 曹潘荣, 骆世明. 柠檬桉的化感作用研究. 华南农业大学学报, 1996, 17(2): 7-11.
- [8] Chen P.K., Leather G R. Plant growth regulatory activities of artemisinin and its related compounds. Chemical Ecology, 1990, 16(6): 1867-1876.
- [9] 甄文超, 曹克强, 代丽, 等. 连作草莓根系分泌物自毒作用的模拟研究. 植物生态学报, 2004, 28(6): 828-832.
- [10] 吕卫光, 张春兰, 等. 化感物质抑制连作黄瓜生长的作用机理. 中国农业科学, 2002, 35(1): 106-109.
- [11] 阎飞, 韩丽梅, 孙衍, 等. 大豆连作土壤中化感物质浸提剂的生物筛选. 吉林农业科学, 2000, 25(1): 7-11.
- [12] 喻景权, 松井佳久. 豌豆根系分泌物自毒作用的研究. 园艺学报, 1999, 26(3): 175-179.
- [13] 林思祖, 杜玲, 曹光球. 化感作用在林业中的研究进展及应用前景. 福建林学院学报, 2001, 21: 184-188.
- [14] Inderjit, and Daksgini, K.M.M. Algal allelopathy. Bot. Rev. 1994, 60: 182-196.
- [15] 张庆平, 刘中兴. 荞麦根系分泌物对小麦全蚀病菌的抑制及根际微生物种群数量观察. 内蒙古农业科技, 1994(1): 8-9.
- [16] 唐敏, 国槐. 刺槐幼苗根系固氮酶活性的研究. 北京林业大学学报, 1991, 13(3): 15-20.
- [17] KNETNP. Alfalfa root exudates and compounds which promote or inhibition induce of rhizobium medilex nodulation genes. Plant Physiol. 1988, 90: 396-400.

- [18] M UARRAY A H.Effect of simple phenolic compounds of heather (*Calluna vulgaris*) on rumen microbial activity in Vitro [J]. *J Chem Ecol*.1996,22:1 493-1 505.
- [19] MA R·X(马瑞霞),FEN Y (冯怡).Effect of allelopathic chemical on growth and denitrification of *Bacillus subtilis* under anaerobic condition. *Chem Ecol*,1998,24:187-193.
- [20] Li.F.M.,Hu M Y, Isolation and characterization of a novel anti-fungal allelochemical from phragmites communis. *Appl Environ Microbiol*. 2005.Nov,71(11):6 545-6 553.
- [21] Rice E.L., Allelopathy. Academic Press, Orlando,FL,1984:309-315
- [22] 曹光球,林思祖,等.阿魏酸和肉桂酸对杉木种子发芽的效应. *植物资源与环境学报*,2001,10(2):63-64.
- [23] 何华勤,梁义元,贾小丽,等.酚酸类物质的抑草效应分析. *应用生态学报*,2004,15(12):2342-2346.
- [24] Chon S.U.,Choi S.K.,Jung S,et al..Effect of alfalfa leaf extracts and phenolic allelochemicals on early seedling growth and Root morphology of alfalfa and barnyard grass. *Crop Prot*.2002,21:1077-1082.
- [25] 何海斌,何华勤,林文雄,等.不同化感水稻品种根分泌物中萜类化合物的差异分析. *应用生态学报*.2005,16(4):732-736.
- [26] 孔垂华,徐效华,梁文举,等.水稻化感品种根分泌物中非酚酸类化感物质的鉴定与抑草活性. *生态学报*,2004,24(7):1317-1322.
- [27] 谷文祥,段舜山.骆世明萜类化合物的生态特征及其对植物的化感作用. *华南农业大学学报*,1998,19:108-112.
- [28] Nowacka J,oleszek W..Determination of alfalfa (*Medicago sativa*) saponins by high-performance liquid chromatography. *J.Agr .Food Chem*.1994,42:727-730.
- [29] 李新宇,朴顺姬,唐海萍,等.大籽蒿花中生物碱类化感物质对羊草根茎节器官分化的影响. *生态学杂志*,2004,23(2):50-54.
- [30] 孔垂华,徐涛,胡飞.胜红蓟化感作用研究 :主要化感物质的释放途径和活性. *应用生态学报*,1998,9(3):257-260.
- [31] 王大力,祝心如.豚草的化感作用. *生态学报*,1996,16(1):11-19.
- [32] Bonanomi.G, Sicurezza.MG, et al, Phytotoxicity dynamics of decaying plant materials. *New Phytol* 2006,169(3):571-573
- [33] Kmse M.Strandberg M,Strandberg B.Ecological Effects of Allelopathic Plants A Review [R] NERI Technical Report No.315.Ministry of Environment and Energy,National Environmental Research Institute, Silkeborg Bogtryk,Denmark,2000,27-29.
- [34] Loffredo,E., Monaci,L., Senesi n.,Humic substances can modulate the allelopathic potential of caffeic ,ferulic, and salicylic acids for seedlings of lettuce and tomato, *Agric Food, Chem.J* 2005,nov 30;53 (24):9424-30
- [35] 孔垂华,胡飞著.植物化感(相生相克)作用及其应用.北京:中国农业出版社,2001.12.
- [36] 张远莉,陈建群,卫春,等.薄荷化感物质及其初步分离. *应用与环境生态学报*,2003,9(6):611-615.
- [37] Liu D.L., Lovett J.V. Biologically active secondary metabolites of barley. .Phytotoxicity of barley allelochemicals. *J.Chem Ecol*,1993,19 (10):2231-44.
- [38] Kaur H,Inderjit,Kaushik S.Cellular evidence of allelopathic interference of benzoic acid to mustard seedling growth. *Plant Physiol Biochem*.2005 Jan;43(1)77-81.
- [39] 刘秀芬.化感物质对土壤硝化作用的影响. *中国生态农业学报*, 2002,10(6):60-62.
- [40] Patrick,Z.A.,and L.W.Koch. Inhibition of respiration, germination and growth by substances arising during the decomposition of certain plant residues in the soil.,Canada. *J.Bot*.36(1958):621-47
- [41] Gonzalez,de.Parra M.,Anaya, A.L. Espinosa,F,et al.Allelopathic potential of *poqueria trinervia* (Acomposite)and *piquerola A* and *B*. *J. Chem.Ecol*.1981,7:209-215
- [42] Einhakkig,F.A. Allelopathy :Current status and future goals. *ACS Symp.Ser*.1995,5821-5 824
- [43] Heili AM, Koster KL. The allelochemical sorgoleone inhibits root H⁺-ATPase and water uptake. *J Chem Ecol*.2004 Nov,30(11):2 181-2 191
- [44] Fistsrol GO, Legraand C, Rengefors K, Temporary cydt formation in phytoplanktom: a response to allelopathic competitors? *Environ Microbiol*, 2004 Aug ,6(8):791-798

(责任编辑 张铁锋)