

外来植物化感作用研究综述

林 嵩, 翁伯琦

(福建省农业科学院, 福建 福州 350003)

摘 要: 许多外来植物可通过释放化感物质的方式来抑制新生境的植物、动物和微生物。越来越多的研究证明了植物化感作用在外来植物成功定居中扮演重要的角色。该文综述了外来植物化感作用现象、化感物质、化感物质释放途径及作用方式, 论述植物化感作用机理及影响因素, 指出外来植物化感作用研究中存在的问题和今后的研究方向。

关键词: 外来植物; 化感作用; 化感物质; 机制

中图分类号: Q 945.79

文献标识码: A

Review on allelopathy of exotic plants

LIN Song, WENG Bo-qi

(Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350003, China)

Abstract: Many exotic plants were able to restrain native plants, animals and microbes in a new habitat by releasing allelochemicals. More and more studies showed that the allelopathy of exotic plants played an important role in their successful ecocesis. The allelopathy of exotic plants and releasing approach and acting mode of the allelochemicals were reviewed, and the acting mechanism and influencing factor of exotic plants allelopathy were discussed. The existing problems and direction in the study on exotic plants allelopathy were advanced in the end.

Key words: Exotic plant; Allelopathy; Allelochemical; Mechanism

外来物种进入新的生态系统, 是否能居留成功, 并形成可自我维持的种群 (或种群数量急剧增加且蔓延扩张), 通常认为与其生物学、生态学特征及群落的脆弱性有关^[1]。成功的外来种在新栖息地环境条件下往往通过排挤土著种获得成功, 这种排挤的手段是多方面的, 可以占据本地物种生态位, 使本地种失去生存空间; 也可以与当地物种竞争食物或直接杀死当地物种, 影响本地物种生存; 还可以通过形成大面积单优群落, 降低物种多样性, 使依赖于当地物种多样性生存的其它物种没有适宜的栖息环境^[2]。除此之外, 外来植物为了争取更多的阳光、营养、水分和空间, 不断地向环境释放化感物质, 抑制邻近的植物生长^[3], 通过不断扩张自己的领地, 使得土著种的种群数量不断减少萎缩^[2]。当然, 外来植物排挤土著种的手段并不是单一的, 一般是几种手段协同作用^[2,4]。本文旨在对外来植物化感作用研究

的现状与进展进行综述。

1 外来植物的化感作用

1.1 植物化感作用的概念及外来植物的化感作用

植物化感作用 (Allelopathy) 原称他感作用、相生相克作用及异株克生作用, 是植物通过合成并向环境释放化学物质而对同种或异种植物 (包括微生物) 的萌发和生长发育所产生的直接或间接的有益或有害的作用。化感作用的概念首次由 Molish^[5] 于 1937 年提出, 定义为“所有植物, 包括微生物间抑制和促进的生化互作”。长期以来人们总是将其定义为“异株克生现象”或“植物间毒素抑制现象”^[6], 或是指一种植物对另一种植物的萌发、生长和发展的毒害作用^[7], 把化感作用与植物向环境释放对邻近植物有害物质相联系^[5]。但是, 大量的研究表明, 化感作用对某些物种表现抑制作用, 对另一些物种则

收稿日期: 2005-07-07

作者简介: 林嵩 (1962-), 男, 助理研究员, 主要从事有害生物综合治理及外来生物的生态安全研究。

基金项目: 福建省科技厅重点项目 (2003N044)。

表现为促进作用,因此,Rice在《Allelopathy》(第2版)中将化感作用定义为:植物或微生物的代谢分泌对环境其它植物或微生物的有害或有益的作用^[8]。后来Rice在植物化感作用的定义中补充进“植物的自毒作用”^[9]。植物化感作用的研究是以探明化感作用的本质为中心,阐明植物种间和种内化学作用关系,相对于植物与微生物、植食性昆虫及动物间化学作用关系,植物与植物间的化学作用关系是当今科学研究的前沿之一^[10]。植物化感作用的研究在农业生态系统中前景广阔,学者们正在致力于研究开发植物化感作用的应用潜力,如对水稻等农作物化感作用的机理、化感作用遗传及生物学的研究^[11~14];利用水稻化感作用原理筛选和培育出能控制田间杂草的品种,减少化学除草剂的使用^[15,16]等。

植物化感作用是植物对环境适应的一种化学表现形式^[10],而非外来植物所特有的,外来植物的化感作用是为了适应不良环境而达到与本地生物争夺生存空间的目的。化感作用在外来植物成功进入新生境中起两方面作用,一方面外来植物通过释放化感物质对新生境的土著生物进行抑制、排挤和毒杀,为自身营造更广阔的生存和发展空间,同时保护了自身种群不受其它生物的伤害,Ridenour等^[17]报道,北美入侵杂草*Catawvea maculosa*具有强烈的化感作用,其根部分泌化感物质排挤竞争能力很强的本地植物*Festuca idahoensis*。另一方面,外来植物向环境中释放化感物质,这些化感物质进入土壤中,使得土著生物赖以生存的土壤环境改变,影响其对土壤养分的吸收,抑制了土著生物的种群发展,Callaway等^[3]研究报道,入侵北美的杂草铺散矢车菊(*Centaurea diffusa*)在北美生长迅速,蔓延成灾,栽培试验结果显示,*C. diffusa*在原产地亚欧大陆不能蔓延成灾是因为原产地与*C. diffusa*生活在同一生境植物的根系分泌的化感物质抑制了*C. diffusa*根系对磷的吸收,导致其生长受到抑制,而在北美这些类似的伴生植物的生长却被*C. diffusa*根系分泌的化感物质所抑制,表明了*C. diffusa*通过释放化感物质,影响入侵地伴生植物的营养吸收,从而实现成功入侵。

外来植物的化感作用研究是伴随着生物入侵和植物化感作用等领域的研究而发展起来的。近年来,随着植物化感作用及生物入侵机制研究的不断深入,实验仪器设备的完善及提取、分离和鉴定手段的进步,外来植物的化感作用越来越引起有关专家

学者的重视。国外学者已经从种群和群落的层面上对外来植物化感作用开展研究^[3,18,19]。Bais等^[20]报道了入侵北美的斑点矢车菊(*Centaurea diffusa*)分泌儿茶酚对拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)根尖细胞的影响,研究发现,导致*Arabidopsis thaliana*根尖分生组织细胞质浓缩和细胞凋亡是由于儿茶酚引发活性氧(ROS)浓度升高,引起 Ca^{2+} 浓度升高,造成基因表达的改变,这一研究结果表明了外来植物化感作用在细胞生物学水平上迈出了一大步。

1.2 我国外来植物的化感现象

研究表明,传入我国的外来植物中有一部分已被证实存在化感作用^[21~48],这些外来植物有些已经演化成恶性入侵植物。

菊科植物豚草属(*Ambrosia*)中的豚草(*A. artemisiifolia*)和三裂叶豚草(*A. trifida*),起源于北美洲,20世纪30年代末传入我国,在我国东部地区迅速传播,它混杂并侵入农作物田如大麻、玉米、大豆等地和蔬菜地,以及果园、苗圃、牧场及风景旅游区,造成严重危害。研究发现豚草和三裂叶豚草释放化感物质对其周围植物的种子萌发和幼苗生长产生抑制作用^[21]。

菊科泽兰属的紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)原产南美洲墨西哥、哥斯达黎加等国,约于20世纪50年代初从中缅、中越边境传入云南南部,现已广泛分布于我国西南地区。它以单优势成片生长方式,排挤了其它植物的生存,它还能分泌毒素和激素,造成牲畜忌畏,危害牲畜健康。研究表明,紫茎泽兰对周围植物有化感作用^[22~26]。其同属的飞机草(*Eupatorium odoratum*),系原产于美洲的有害杂草,分布于我国海南、云南南部和西南部地区,也被证实有化感作用^[27]。

薇甘菊(*Mikania micrantha*)为多年生草质藤本植物,原产于中美洲和南美洲,现在广泛分布于东南亚以及太平洋地区,在大洋洲和澳大利亚也有分布,它于20世纪80年代末90年代初传入我国广东沿海地区,其蔓延速度极其惊人,在广东省内伶仃岛国家级自然保护区已造成相当严重的灾害,被其覆盖,致使树木枯死,大面积的乔灌丛林逆行演替成草丛,被称为“植物杀手”,是危害经济作物和森林植被的主要害草。邵华等^[28]研究表明,薇甘菊生长迅速与其向周围环境中释放化感物质有着密切联系。

水葫芦(*Eichhonia crassipes*)原产南美,大约

于20世纪30年代作为畜禽饲料和观赏植物引入我国大陆^[29]。曾利用其分泌化感物质抑制水生植物和藻类的生长^[30]，而作为净化水质植物推广种植。

原产于美洲的马缨丹(*Lantana camara*)现分布于我国南方的广东、广西和福建等省份^[17]，已成为侵犯牧场、林场、茶园和果园的恶性杂草，严重破坏森林资源和生态系统，它同时也是“毒草”，牲畜和人不慎误食可引起食物中毒。研究表明马缨丹具有强烈的化感作用，能抑制周围植物的生长^[19,26,31,32]。

蟛蜞菊(*Wedelia chinensis*)原产于非洲，我国南方用其作为绿肥，蟛蜞菊在南方趋向高密度、单一种群生长。曾任森等^[33,34]通过实验证实了蟛蜞菊对邻近植物有化感作用，以此推断蟛蜞菊的化感作用是其抑制邻近其它植物生长和自身成片生长的重要原因。与蟛蜞菊同属的原产于热带美洲的三裂蟛蜞菊(*Wedelia trilobata*)，于20世纪70年代引入我国，研究表明，三裂蟛蜞菊具有很强的化感作用，造成水稻、花生等农作物产量下降^[35~38]。

桃金娘科(Myrtaceae)的桉树属(*Eucalyptus*)植物，原产澳洲大陆及附近岛屿，由于桉树具有生长速度快、适应性强、经济效益潜力大等特点，世界各国均大量引种^[39]。我国于1890年引进，现已成为我国南方重要的造林树种。但随着桉树人工林的发展，其生态问题也日渐突出^[40]。研究表明，人工桉树林的生态问题与其具有较强的化感作用有关，桉树的化感作用使得林下灌木和草本植物稀少，导致林内生物多样性下降及群落结构简单，直接后果是引起严重的水土流失^[39~42]。

胜红蓟(*Ageratum conyzoides*)是南方重要的杂草，研究表明胜红蓟具有明显的化感作用^[42,43]。

加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)属多年生杂草^[44]，原产于北美，自20世纪70年代作为花卉植物引入我国，现在是我国东南地区一种常见的外来杂草^[45,46]。方芳等^[47]通过加拿大一枝黄花水浸提液对辣椒、番茄、萝卜、长梗白菜和小麦等5种经济作物种子萌发和生长的影响测定，表明加拿大一枝黄花存在着强烈的化感作用，对供试作物种子的萌发表现为抑制作用。周凯等^[48]通过试验表明，加拿大一枝黄花根系水浸提液和根际土壤水浸提液对白菜和萝卜种子的萌发具有抑制作用。

2 化感物质

2.1 化感物质

植物的化感物质主要是次生代谢的产物(Secondary metabolites)，在植物体内有自己独特的代谢途径^[49]，在植物提高自身保护和生存竞争能力、协调与环境关系上充当重要的角色。植物组织累积的化感物质的浓度，主要由其生物合成、贮存、降解的速率决定的，但也受植物内部的生长发育调节机制的影响^[50]。

Putnam把具有化感作用的次生代谢物分为11类，即有毒气体；有机酸和醛类；芳香酸；简单不饱和内酯；香豆素；喹啉；类黄酮；单宁；生物碱；萜类和甾类化合物及其它化合物(如长链脂肪酸、酒精、多酐、核苷等)^[7,51]。Rice^[8]按照化学结构把化感物质分为14类：水溶性有机酸、直链醇、脂肪族醛和酮；简单不饱和内酯；长链脂肪酸和多烯；萘醌、蒽醌和复合醌；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；彩绘嘌呤和核苷酸。其中，酚酸类和类萜化合物较常见^[8,52~54]。

不同的外来植物释放的化感物质不同，豚草中的化感物质主要是酚酸类、聚乙炔、倍半萜烯、甾醇等化合物^[21,55]。宋启示等^[25]分离出紫茎泽兰主要化感物质经鉴定为9-酮-泽兰酮。孙文浩等^[56]通过对水葫芦根分泌物的实验分离，鉴定出两种强烈抑制藻类生长的化合物N-苯基-1-萘胺和N-苯基-2-萘胺。曾任森等^[57]从蟛蜞菊分离出2个有很强化感作用的化合物，经鉴定为2个倍半萜内酯(Oxidotriloide-6-O-isobutyrate和Triloide-6-O-isobutyrate)。桉树体内的水溶性化感物质主要有阿魏酸、香豆酸、咖啡酸、巨桉酚、没食子酸、季豆酸、绿原酸等酚酸类化合物，挥发性化感物质有蒎烯、均烯、非兰烯和桉树脑等^[39]。胜红蓟的化感物质有早熟素I、早熟素II、子丁香烯、3,3-二甲基-5-特丁基茚酮、红没药烯、乙酸萜醇等6种^[57]。张玉虎等^[37]从外来植物三裂蟛蜞菊的全株中分离得到6个倍半萜酯化合物。马缨丹叶片挥发油中含有19种化感物质，其中以 α -子丁香烯和 β -子丁香烯为主^[31]。

孔垂华等^[58]研究表明，化感物质之间存在着协同、拮抗或叠加作用，胜红蓟释放化感物质，一部分对受试植物生长有抑制作用，另一部分则没有，但两者结合则抑制作用显著增强，说明了一些无活性

的物质, 往往在植物化感物质中起重要的作用。

2.2 释放化感物质的器官

与其它具有化感作用的植物一样, 外来植物的化感物质存在于植物的各个器官中, 如叶、茎、根、花、果实和种子, 桉树的枝叶、枯落物、叶片挥发物、根系分泌物都含有抑制其它植物、动物和微生物生长的物质^[39]。毛果破布草 (*A. psilostachya*) 根分泌物、枯落物、叶片挥发物中含有化感物质^[18]。不同植物释放化感物质的器官和浓度不同, 水葫芦主要靠根分泌化感物质^[59]。

同一植物不同器官释放化感物质, 对受体植物影响不同, 王大力等^[60]对豚草 (*A. artemissifolia*) 化感活性研究表明, 豚草的茎叶水浸提液对供试作物种子和幼苗生长的影响十分明显, 而豚草根水浸提液对供试作物种子和幼苗生长的影响与茎叶不一致, 作用不明显。邵华等^[28]研究薇甘菊对萝卜、黑麦草、白三叶以及薇甘菊常见伴生树种马占相思、马尾松、大叶桉的化感作用, 结果表明, 薇甘菊地上部分水浸提液能够显著影响受体植物生长, 根水浸提液的抑制作用程度稍低, 其枯枝叶水浸提液基本无作用。刘少群等^[31]研究表明, 马缨丹主要靠叶片释放化感物质。和爱军等^[24]研究表明, 5%浓度的不同部位的泽兰水浸提液对玉米发芽率的抑制作用大小为叶水浸提液>茎水浸提液>根水浸提液, 而对发芽势则按叶水浸提液>根水浸提液>茎水浸提液的规律出现, 对发芽整齐度的抑制则遵循叶水浸提液>根水浸提液、茎水浸提液的规律, 但无论哪种情况都有一个共同特点, 就是叶的水浸提液抑制作用远大于根和茎的水浸提液。聂呈荣等^[37]通过三裂叶蟛蜞菊 (*Wedelia trilobata*) 各器官水浸提液对菜心 (*Brassica parachinensis* Bailey) 生长的化感作用实验, 结果以三裂叶蟛蜞菊叶片水浸提液对菜心生长抑制效果最大。方芳等^[47]研究表明, 相同浓度的水浸提液, 加拿大一枝黄花茎叶部分的抑制作用要大于地下部分。

2.3 化感物质进入环境的主要途径

植物向环境释放化感物质的主要途径有: 根分泌化感物质、地上部分淋溶、释放挥发性物质、植物残体或凋落物分解释放化感物质等。

入侵北美的斑点矢车菊 (*Centaurea maculosa*) 根系可分泌高浓度的儿茶酚, 使得当地伴生植物根部细胞中毒死亡^[17,20]。水葫芦主要靠根分泌化感物质^[30]。野燕麦 (*Avena fatua*) 根系分泌物中的香

草酸、香豆素、对羟基苯甲酸等对春小麦胚根与胚芽生长有明显的抑制作用^[61]。

因雨水、露水及雾滴的作用, 植株表面水溶性的化感物质随水滴进入土壤, 抑制相邻植物种子的萌发和根系的生长。赤叶桉叶片的化感物质通过雨雾淋溶的作用, 抑制其下方的硬雀麦 (*Bromus rigidu*) 生长^[62]。曾任森等^[63]研究表明, 窿缘桉和尾叶桉叶片中水溶性的化感物质通过淋溶途径产生较强的化感作用。

据Muller^[64]报道, 释放萜类化合物的植物向环境中释放挥发性的萜, 形成“萜类云”, 直接对周围植物生长产生影响, 或者随雨水(露水)进入土壤, 被周围植物根系吸收。柠檬桉 (*Eucalptus citrodor* Hook) 叶片的蒽烯等挥发性物质能强烈抑制萝卜种子的发芽^[65]。孔垂华等^[58]报道, 胜红蓟化感物质进入环境的主要途径是向环境中释放挥发性物质。刘少群等^[31]研究表明, 挥发是马缨丹化感物质释放的主要途径。

植物及其某些器官死亡后, 其中的复合物或聚合物被微生物分解而释放某些化合物, 这些化合物会对周围植物产生影响^[51]。赵绍文等^[66]报道, 巨尾桉 (*E. grandis* × *E. urophylla*) 枯落物的水浸提液对水稻种子的发芽势具有显著的抑制作用。Neil等^[18]报道, 毛果破布草 (*A. psilostachya*) 枯落物对生长在其周围的三芒草 (*Andropogon ternarius*) 有明显的抑制作用。汪开治报道, 马缨丹的残体会产生强烈的化感作用^[32]。

外来植物释放化感物质的途径不一定是单一的, 许多植物可通过几种途径释放化感物质。豚草能通过挥发、雨水淋溶和根系分泌等途径向环境释放萜类、烯醇类和聚乙炔类等化合物^[60]。桉树枝和叶直接释放挥发性化感物质, 可溶于水的挥发物遇降水淋洗进入土壤, 此外桉树也可通过根系分泌和残体分解等途径向环境释放化感物质^[39]。

3 化感作用的主要机理

3.1 化感物质对受体植物的主要作用机理

3.1.1 影响细胞膜的透性及植物对养分的吸收
化感物质对植物吸收矿物质元素的干扰可能与根系细胞膜透性改变有关^[67]。Baziramakenga^[68]、Booker等^[69]报道, 酚酸类物质能改变膜的透性, 抑制养分的吸收, 造成叶面水势和膨压的下降, 影响水分吸收。Gerabenzon^[70]报道, 萜类物质也可影响细胞膜

的功能,干扰植物对矿物质的吸收。

3.1.2 影响细胞分裂增殖 化感物质对细胞的分裂增殖具有明显的干扰作用^[71~74]。

3.1.3 影响植物光合作用和呼吸代谢 研究表明,化感物质对植物体光合作用的影响表现为叶绿素含量降低,导致植物体光合速率降低^[75~77]。

3.1.4 影响呼吸代谢 降低呼吸速率,主要与植物细胞内线粒体的功能和新陈代谢抑制作用有关^[67,77,78]。

3.1.5 影响酶的活力 化感物质对酶的活力的影响表现为对种子萌发和植株生长发育所需的关键酶类的抑制和激活^[51,67,79,80]。聂呈荣等^[36]用三裂叶蟛蜞菊各器官水浸提液处理菜心,结果表明,菜心叶片保护酶和硝酸还原酶的活性受到显著的抑制,使得植株自我保护机制降低,氮素代谢受阻。

3.1.6 影响蛋白质的合成 酚酸类影响植物生长的机制之一是抑制核酸运输及蛋白质的合成^[51,82]。此外,化感物质也对植物激素产生影响^[51,82]。

3.2 外来植物化感作用的选择性和浓度效应

外来植物化感作用具有一定的选择性,化感物质因受体植物的种类不同化感效应不同,黄卓烈等^[83]研究发现,尾叶桉茎提取液对绿豆和江南头菜种子萌发有轻微促进作用,而对芥蓝头种子萌发却表现出强烈的抑制作用。方芳等^[47]通过加拿大一枝黄花水浸提液对辣椒、番茄、萝卜、长梗白菜和小麦等5种经济作物种子萌发和生长影响的试验,表明了加拿大一枝黄花的化感作用具有选择性,其中以长梗白菜的种子敏感性最强,辣椒种子受浸出液浓度的影响最小。

外来植物化感作用具有浓度效应,同一种化感物质由于浓度不同,对受体植物的作用也不同。有的化感物质在低浓度下对受体植物影响甚微,甚至促进受体植物的生长,当化感物质达到一定的浓度时,则会对受体植物产生抑制作用。植物放出的萜类化合物,低浓度下具有促进生长作用^[53]。曾任森等^[57]报道,蟛蜞菊中的化感物质在低浓度下不仅对自身有促进作用,对某些植物也有促进作用。何衍彪等^[27]研究表明,低浓度飞机草干物质的乙醇提取物溶液对小白菜、大白菜和稗草的幼苗生长均有一定的促进作用,但随着浓度的增大抑制作用则增强。方芳等^[47]研究表明,高浓度的加拿大一枝黄花水浸提液对辣椒、番茄、萝卜、长梗白菜和小麦等5种作物种子的萌发和生长有明显的抑制作用,而低浓度

下则对萝卜、长梗白菜和番茄的种子生长有一定的促进作用。

此外,受体植物不同生长期化感作用效果也不同,曾任森等^[63]研究发现,窿缘桉和尾叶桉的挥发物对萝卜、莴苣、新银合欢和马占相思的幼苗生长有显著抑制作用,而对这些植物种子萌发无显著影响。

研究表明,外来植物的化感作用不仅影响受体植物,也会影响动物和微生物,豚草花粉可引发过敏性鼻炎和支气管哮喘等变态反应症^[21];牲畜和人不慎误食马缨丹,可引起中毒^[32];紫茎泽兰对马有明显的毒害性,牛拒食该草,用其喂鱼可引起鱼的死亡,用其垫羊圈,可引致羊蹄腐烂;牲畜误食或吸入紫茎泽兰的花粉后,可引起腹泻、气喘、鼻腔糜烂流脓等病症^[23]。

3.3 影响化感物质释放及其作用的主要因素

化感物质的释放及化感效应取决于植物自身遗传因素和环境因素的共同作用。植物所处的环境对植物化感作用影响较大,环境因素是多方面的,有非生物因子,有生物因子。

3.3.1 影响化感物质释放及作用的非生物因子 影响植物释放化感物质的非生物因子主要包括水分、营养、温度、光照等。Rice^[8]指出,光质、可见光的强度以及日照长度都可影响化感物质的释放。Kato-noguchi^[84]报道了可见光可提高化感物质的浓度。孙文浩等^[52]报道,水葫芦的根系如果处在强光照下,其克藻物质的产生或分泌受到抑制。

曹潘荣等^[65]通过柠檬桉叶片水浸提物对萝卜化感作用研究表明,在年周期中柠檬桉的化感作用与降雨量呈明显的负相关。谷文祥等^[53]报道,含有萜类物质植物在干旱气候条件下,由于体内精油含量较多,且植物凋落物携带、土壤水分蒸发或种子积累等,土壤颗粒吸附更多的萜类化合物,不易分解,在雨季到来时被溶解出来,抑制邻近植物种子萌发和幼苗生长,尤其对干旱环境中生长的一年生植物,受萜类化感作用更为显著。Tang等^[85]报道,万寿菊(*Tagetes erecta*)在干旱环境中,酚类物质的含量比在水分充足的条件下明显提高。

植物的营养水平影响其化感物质的含量,孔垂华等^[43]报道,在贫瘠的条件下胜红蓟主要化感物质早熟素Ⅱ的含量显著增加。

温度过高或过低,都可能影响植物释放化感物质的浓度及化感效应。Martin^[86]研究发现,在30℃

下生长 72 h 的橡树苗的莨菪亭含量比 19℃ 下生长 135 h 的高 7.5 倍。

此外，大气中的 CO₂ 浓度的增加也会对植物的化感作用产生影响，王大力^[87]指出，CO₂ 浓度升高会影响植物次生代谢物质的形成和分泌。

3.3.2 影响化感物质释放及作用的生物因子 影响植物释放化感物质的生物因子有植物、动物、微生物。Weidenhamer 等^[88]报道，受体植物密度偏低的情况下，化感物质的有效性增大，选择性相应降低。于兴军等^[4]通过紫茎泽兰对公路边、落叶阔叶林下和常绿阔叶林下 3 种不同生境化感作用差异进行比较，结果显示：公路边>落叶阔叶林下>常绿阔叶林下，关联分析显示出不同生境条件下的化感作用力与本地植物的相对多度存在显著的相关性。

水葫芦与生活的水域内的藻类存在相互抑制的现象，当藻类生长占优势时，少量的水葫芦受到抑制，而当水葫芦凭借其快速生长的特点形成较大群体时，藻类生长则受到抑制。

柴强等^[71]报道，害虫的取食可引起植物新陈代谢发生变化，其中包括产生防御性的化学物质，这些化学物质往往也是化感物质。植物在受到害虫伤害后，其体内的酚类化合物的代谢增加^[89]。

薛应龙等提出萜类化合物能抵御微生物的侵袭，认为萜类化合物的产生与植物受到微生物的侵害有关^[90]。微生物还可影响化感物质在土壤中所起作用的持久性，微生物的降解作用使进入土壤的化感物质失去作用^[60]。孙文浩等^[52]报道，土壤中一些真菌将一些化感物质转变为中间产物，这些中间产物对许多有机体具有毒性，这样便使得化感作用得以持续。

有学者认为，在环境的胁迫下，一些植物以化感作用的方式增强自身生存和竞争能力^[2]。Koeppe 等^[91]认为，酚类化合物在非生物因子的环境条件胁迫下积累有着重要意义。孔垂华等^[92]就环境胁迫下植物的化感作用及其诱导机制作了专门的论述。

4 开发利用外来植物的化感作用

化感物质主要是活性次生物质，在研究外来植物的化感作用的同时，有学者提出利用外来植物的化感物质开发研制医药和植物源农药。何衍彪等^[27]报道，飞机草含有丰富的黄酮类化合物，这些黄酮类化合物对小菜蛾具有一定的产卵忌避、拒食作用。邵华等^[93]也报道了利用薇甘菊根、茎的水煎液可治

疗多种疾病如哮喘、癌症、风湿、疟疾、霍乱和感冒发热等。张茂新等^[94]认为，从薇甘菊提取挥发油对蔬菜害虫小菜蛾、黄曲条跳甲和猿叶虫有显著的产卵驱避作用，同时也具有一定的触杀毒力。岑伊静等^[95,96]实验表明，薇甘菊乙醇提取物对桔全爪螨具有显著的产卵驱避作用，使全爪螨各虫存活率下降。李云寿等^[97]研究表明，紫茎泽兰提取物对米象、玉米象、绿豆象和蚕豆象等 4 种储粮害虫成虫具有强烈的熏杀活性，用 44.44 mg·L⁻¹ 的浓度熏蒸处理 48 h 后，每种成虫死亡率均达到 100.00%。王大力^[21]提出了豚草可作为药用植物资源和除草剂。胡飞等^[98]研究发现，胜红蓟产生并释放到土壤中的黄酮类物质对疮痂病菌、炭疽病菌、白粉病菌和煤烟病菌等柑橘园主要病原真菌具有抑制活性。黄寿山等^[99]研究表明，胜红蓟次生物质不仅对小菜蛾具有产卵忌避作用，而且能使小菜蛾成虫的生殖能力明显降低。胡绍海^[100]报道，胜红蓟素对蚜虫具有很强的毒杀作用。水葫芦分泌抑制藻类生长物质，可开发更有效、专一、能生物降解的杀藻剂净化水源。此外，国外学者报道入侵植物间存在化感抑制作用，利用一种外来入侵植物的化感作用来控制其它外来入侵种，Saxena^[101]报道，利用 3% (w/v) 马缨丹水浸提液培养水葫芦，21 d 后供试的水葫芦基本死亡。上述研究成果为进一步合理开发和利用外来植物资源奠定了一定的基础。

我国是外来物种的引进大国，外来植物可通过多种渠道入境，研究外来植物的化感作用有助于回答“什么样的植物更容易成为入侵种？”的问题，有助于认识什么样的物种在什么样的环境下最具危险性，从而提高对外来生物入侵的预警能力。外来植物化感作用的研究对于生态学、农业、林业等领域的理论和实践具有现实的指导意义。如纯桉树人工林因桉树的化感作用带来的不良的生态影响，人们开始重视桉树混交林的研究，选择与桉树相互有益的混交林树种组合，制定合理的栽培方式，避免人工纯桉树林因桉树化感作用造成林下植被群落单一、水土流失、生态破坏^[39]。

我国外来植物化感作用的研究起步较晚，由于外来生物入侵已引起政府和学术界的重视，因此，外来植物化感作用的研究发展较快，尤其在外来植物化感物质的分离、鉴定等方面的研究取得了一些进展，有的研究已在群落水平上探索不同生境条件外来植物化感作用的变化与入侵力的关系^[4]。但是，目

前国内的研究报道多数还只是偏重于外来植物化感作用现象的描述,通过研究说明外来植物存在化感作用现象,偏重于对化感作用的定性研究,至于对外来植物化感作用机理研究和定量研究方面,无论是深度还是广度都不够;化感作用仅是生态因子之一,许多情况下并不是决定性因子^[10],因此,外来植物进入新的生境并能成功地定居且扩散蔓延,化感作用在其中的地位如何、作用多大等许多问题有待于深入研究。许多现象的研究还只是在实验室进行,忽略了环境条件对化感作用的影响;由于化感物质主要是次生代谢产物,其含量甚微,且有的易挥发或在空气中易与其它物质发生化学反应^[102],这对化感作用研究方法提出了更高的要求;供试植物化感物质的分离、纯化和鉴定在方法和标准上,学者们存在不同的看法,如有学者提出植物材料不能磨碎破坏植物组织来进行抽提,不能用有机溶剂来提取证实淋溶的化感作用等^[103]。因此,采用什么方法对化感物质进行提取、分离、纯化、鉴定和检测才能得出更令人信服的科学结论是当前化感作用研究中亟待解决的问题。化感物质在植物体内含量甚微,直接从植物中提取作为原料难度大、成本高。因此,人工模拟合成这些物质,是开发利用这些外来植物的方向。

今后在外来植物化感作用研究方面要注重化感作用涉及到的生理、生化和生态机制以及细胞生物学、分子生物学基础的研究;进一步探索化感物质形成的机理和生物合成途径;从个体、种群、群落和生态系统等4个层面开展研究,尤其是加强外来植物化感作用对生态系统影响的研究;在研究某一外来物种的化感作用时应综合考虑环境因素,应注重自然环境下的研究;建立外来植物化感作用检测体系,并制定出统一检测标准;趋利避害,探索出防范外来植物入侵的机制,以实现生态资源的保护和农林业的可持续发展。

参考文献:

- [1] 高增祥,季荣,徐汝梅,等.外来种入侵的过程、机理和预测[J].生态学报,2003,23(3):559-570.
- [2] 沈浩,黄红娟,叶万辉.外来入侵种的化感作用[A].徐汝梅,叶万辉.生物入侵——理论与实践[M].北京:科学出版社,2004.26-46.
- [3] Callaway R M, Aschehong E T. Invasive plants versus their new and old neighbors: a mechanism for exotic invasion[J]. Science, 2000, 290: 521-523.
- [4] 于兴军,于丹,马克平.不同生境条件下紫茎泽兰化感作用的变化与入侵力关系的研究[J].植物生态学报,2004,28(6):773-780.
- [5] Molish H. Der Einfluss einer pflanz auf die andere allelopathie [M]. Fisher Jena, 1973: 13-20.
- [6] Rice E L. Allelopathy [M]. New York: Academic Press, 1974: 166-179.
- [7] Putnam R. Weed Allelopathy, Reproduction and Ecophysiology [M]. 1 CRC Press, Inc. U. S. 1984, 131-150.
- [8] Rice E L. Allelopathy (2nd edition) [M]. New York: Academic press, 1984. 1-3.
- [9] Rice E L. Pest Control with Nature's Chemicals [M]. New York: Academic press, 1988. 75.
- [10] 孔垂华.新千年的挑战:第三届世界植物化感作用大会综述[J].应用生态学报,2003,14(5):837-838.
- [11] 林文雄,何华勤,郭玉春,等.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.
- [12] 何华勤,董章杭,梁义元,等.水稻化感作用研究的新进展[J].农业现代化研究,2002,23(12):140-143.
- [13] 何海斌,何华勤,林文雄,等.不同化感水稻品种根系分泌物中萜类化合物的差异分析[J].应用生态学报,2005,16(4):732-736.
- [14] 林文雄,何华勤,董章杭,等.不同环境下水稻对受体植物化感作用的动态遗传研究[J].作物学报,2004,30(4):348-353.
- [15] 徐正浩,何勇,诸常青,等.化感作用水稻对无芒稗及相关田间杂草的抑制作用评价[J].应用生态学报,2005,16(4):726-731.
- [16] 周少川,孔垂华,李宏,等.水稻品种化感特性与农艺性状的关系[J].应用生态学报,2005,16(4):737-739.
- [17] Ridenour W M, Callaway R M. The relative importance of allelopathy interference: the effects of an invasive weed on a native bunchgrass [J]. Oecologia, 2001, 126: 444-450.
- [18] Nell R L, Rice E L. Possible role of *Ambrosia psilostachya* on pattern and succession in old-fields. The Amer [J]. Midland Naturalist, 1971, 86(2): 344-358.
- [19] Gentle C B, Duggin J A. Allelopathy as a competitive strategy in persistent thickets of *Lantana camara* L. in three Australian forest communities [J]. Plant Ecology, 1997, 132: 85-95.
- [20] Bais H P, Vepachedu R, Gilroy S, et al. Allelopathy and exotic plant invasion, from molecules and genes to species interactions [J]. Science, 2003, 301: 1377-1381.
- [21] 王大力.豚草属植物的化感作用研究综述[J].生态学杂志,1995,14(4):48-53.
- [22] Tripathi R S, Singh R S, Rai J P N. Allelopathic potential of *Eupatorium adenophorum*, a dominant ruderal weed of Meghalaya [J]. Proceedings of Indian Academy of Sciences, 1981, 47: 458-465.
- [23] 强胜.世界性恶性杂草紫茎泽兰研究的历史及现状[J].武汉植物学研究,1998,16(4):366-372.
- [24] 和爱军,刘伦辉.紫茎泽兰浸提液对几种植物发芽的影响[J].

- 杂草学报, 1990, 4 (4): 35—38.
- [25] 宋启示. 紫茎泽兰的化学互感潜力 [J]. 植物生态学报, 2000, 24 (3): 362—365.
- [26] Sharma G P, Singh J S, Raghubanshi A S. Plant invasions: Emerging trends and future implications [J]. Current science, 2005, 88: 726—733.
- [27] 何衍彪, 张茂新, 何庭玉, 等. 飞机草化感作用的初步研究 [J]. 华南农业大学学报 (自然科学版), 2002, 23 (3): 60—62.
- [28] 邵华, 彭少麟, 张弛, 等. 蕹甘菊的化感作用研究 [J]. 生态学杂志, 2003, 22 (5): 62—65.
- [29] 解焱, 李振宇, 汪松. 中国入侵物种综述 [A]. 保护中国的生物多样性 (二) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996. 91—106.
- [30] 孙文浩, 俞子文, 余叔文. 城市富营养水域的生物治理和凤眼莲抑制藻类生长的机理 [J]. 环境科学学报, 1989, 9 (2): 188—195.
- [31] 刘少群, 贾正晖. 马缨丹叶片水提物与挥发油的生物活性及化学成分研究 [J]. 广西植物, 2002, 22 (2): 185—188.
- [32] 汪开治. 马缨丹利弊说 [J]. 植物杂志, 1999, (3): 10—11.
- [33] 曾任森, 林象联, 骆世明, 等. 蟛蜞菊水抽提物的生化他感作用研究 [J]. 华南农业大学学报, 1994, 15 (4): 26—30.
- [34] 曾任森, 林象联, 骆世明, 等. 蟛蜞菊的生化他感作用及生化他感作用物的分离鉴定 [J]. 生态学报, 1996, 16 (1): 20—27.
- [35] 聂呈荣, 曾任森, 黎华寿, 等. 三裂叶蟛蜞菊对花生化感作用生理生化机理 [J]. 花生学报, 2002, 31 (3): 1—5.
- [36] 聂呈荣, 曾任森, 黎华寿, 等. 三裂叶蟛蜞菊对菜心化感作用的生理机理 [J]. 华南农业大学学报 (自然科学版), 2003, 24 (4): 106—107.
- [37] 聂呈荣, 曾任森, 骆世明, 等. 三裂叶蟛蜞菊对水稻化感作用的初步研究 [J]. 作物学报, 2004, 30 (9): 942—946.
- [38] 张玉虎, 刘梅芳, 凌铁军, 等. 三裂蟛蜞菊中的倍半萜内酯成分及其化感作用 [J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12 (6): 533—537.
- [39] 刘小香, 谢龙莲, 陈秋波. 桉树化感作用研究进展 [J]. 热带农业科学, 2004, 24 (2): 54—61.
- [40] 王震洪, 段昌群, 赵联春, 等. 我国桉树林发展中的生态问题探讨 [J]. 生态学杂志, 1998, 17 (6): 64—68.
- [41] 骆世明, 林象联, 曾任森. 华南农区典型植物的他感作用研究 [J]. 生态科学, 1995 (2): 114—127.
- [42] 彭少麟, 向言词. 外来物种对生态系统的影响 [J]. 生态学报, 1999, 19 (4): 560—569.
- [43] 孔垂华, 胡飞, 骆世明. 胜红蓟对作物的化感作用 [J]. 中国农业科学, 1997, 30 (5): 95.
- [44] 李扬汉. 中国杂草志 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998. 327.
- [45] 方芳, 郭水良. 入侵植物加拿大一枝黄花对环境的生理适应性研究 [J]. 植物生态学报, 2003, 27 (1): 47—52.
- [46] 郭良, 毛郁蓓. 广西温度对六种外来杂草过氧化酶同工酶的影响 [J]. 广西植物, 2002, 22 (6): 557—562.
- [47] 方芳, 郭水良, 黄林兵. 入侵杂草加拿大一枝黄花的化感作用 [J]. 生态学报, 2004, 23 (4): 331—334.
- [48] 周凯, 郭维明. 加拿大一枝黄花根系和根际土壤水浸液对萝卜和白菜种子萌发及苗生长的影响 [J]. 西北植物学报, 2005, 25 (1): 0174—0178.
- [49] 阎秀峰. 植物次生代谢生态学 [J]. 植物生态学报, 2001, 25 (5): 639—649.
- [50] Harbone J B. Secondary plant products [M]. Germany, Berlin: Springer verlag, Heidelberg, 1980. 200—243.
- [51] 宋君. 植物间的他感作用 [J]. 生态学杂志, 1990, 9 (6): 43—47.
- [52] 孙文浩, 余叔文. 相生相克作用及其应用 [J]. 植物生理学通讯, 1992, 28 (2): 81—87.
- [53] 谷文祥, 段舜山, 骆世明. 萜类化合物的生态特性及其对植物的化感作用 [J]. 华南农业大学学报, 1998, 19 (4): 108—112.
- [54] 吴凤芝, 赵凤艳, 马凤鸣. 酚酸物质及其化感作用 [J]. 东北农业大学学报, 2001, 32 (4): 313—319.
- [55] Fischer N H, Quijano L. Allelopathic Agents From Common Weeds: Amaranthus, palmer, Ambrosia artemisifolia and Related Weeds [M]. The Chemistry of Allelopathy, Ed by M. Joan Comstock, ACS 268, 1984. 133—147.
- [56] 孙文浩, 余叔文, 杨善元, 等. 凤眼莲根系分泌物中的克藻化合物 [J]. 植物生理学报, 1993, 19 (1): 92—96.
- [57] 曾任森, 林象联, 骆世明, 等. 蟛蜞菊的生化他感作用及生化他感作用物的分离鉴定 [J]. 生态学报, 1996, 16 (1): 20—27.
- [58] 孔垂华, 徐涛, 胡飞. 胜红蓟化感物质之间相互作用的研究 [J]. 植物生态学报, 1998, 22 (5): 403—408.
- [59] 孙文浩, 俞子文, 邵根福, 等. 凤眼莲无茵苗培养及其克藻效应 [J]. 植物生理学报, 1990, 16: 301.
- [60] 王大力, 祝心如. 豚草的化感作用研究 [J]. 生态学报, 1996, 16 (1): 11—19.
- [61] Perez P J. Root exudates of wild oats: Allelopathic effect on spring wheat [J]. Phytochemistry, 1991, 30 (7): 2199—2202.
- [62] Del Moral R, Muller C H. Fog drop, a mechanism of toxin transport from Eucalyptus globules [J]. Bull. Torrey Bot. Club, 1969, 96: 467—475.
- [63] 曾任森, 李蓬为. 藤缘桉和尾叶桉的化感作用研究 [J]. 华南农业大学学报, 1997, 18 (1): 6—11.
- [64] Muller C H. Inhibitory terpenes volatilized from salvia shrubs, Bull. Torrey Bot. Club, 1965. 92.
- [65] 曹潘荣, 骆世明. 柠檬桉的他感作用研究 [J]. 华南农业大学学报, 1996, 17 (2): 7—11.
- [66] 赵绍文, 王凌晖, 蒋欢军, 等. 巨尾桉枝叶水浸提液对3种作物种子萌发的影响 [J]. 广西科学院学报, 2000, 160: 14—17.
- [67] 李杨瑞. 植物的生化互作现象 [J]. 土壤, 1993, 25 (5): 248—251, 259.
- [68] Baziramakenga R. Effects of benzoic and cinnamic acids on membrability of soybean roots [J]. J Chem Ecol, 1995, (10): 1272—1281.
- [69] Booker F L, Blum U, Fiscus E L. Short-term effects of ferulic acid on ion uptake and water relations in cucumber seedlings [J]. Journal of Experimental Botany, 1992, 43 (250): 649—655.
- [70] Gerabenzon J. Metabolic costs of terpenoid accumulation in higher plants [J]. J Chem Ecol, 1994, 20: 281—328.

- [71] 柴强, 黄高宝. 植物化感作用的机理、影响因素及应用潜力[J]. 西北植物学报, 2003, 23 (3): 509—519.
- [72] Cruz O R, Anaya A L, Ramos L. Effects of allelopathic compounds of corn pollen on respiration and cell division of watermelon [J]. Journal of Chemical Ecology, 1988, 14 (1): 71—86.
- [73] 李寿田, 周健民, 王火焰, 等. 植物化感作用机理的研究进展[J]. 农村生态环境, 2001, 17 (4): 52—55.
- [74] Vaughan D, Ord B. Influence of phenolic acids on morphological changes in roots of *pisum sativum* [J]. Journal of science of Food and Agriculture, 1990, 52 (3): 289—299.
- [75] Patterson D T. Effects of allelopathic chemicals on growth and physiological response of Soybean (*Glycine max*) [J]. Weed Science, 1981, 29 (1): 53—58.
- [76] Baziramakwaga R, Leroux G D, Simand R R. Effects of benzoic and cinnamic acids on growth, mineral composition and chlorophyll content of soybean [J]. J Chem Ecol, 1995, 20: 2821—2833.
- [77] Shibu J, Andrew R G. Allelopathy in black walnut (*Juglans nigra* L.) alley cropping I Effects of juglone on hydroponically grown corn (*Zea mays* L.) and Soybean (*Glycine max* L. Merr.) growth and physiology [J]. Plant and soil, 1998, 203—205.
- [78] Heji A M, Einhellig F A, Rasnruseon J A. Effects of juglone on growth, photosynthesis, and respiration [J]. J Chem Ecol, 1993, 19 (3): 559—568.
- [79] Einhellig F A. Mechanism of action of allelochemicals in allelopathy [J]. Allelopathy, 1995 (1): 97—115.
- [80] Padhy B, Patnaik P K, Tripathy A K. Allelopathic potential of Eucalyptus leaf litter leachates on germination and seedling growth of finger millet [J]. Allelopathy Journal, 2000, 7 (1): 69—78.
- [81] Chen P K, Leather G R. Plant growth regulatory activities of artemisinin and its related compounds [J]. J chem Ecol, 1990. 16 (6): 1867—1876.
- [82] 刘秀芬, 胡军. 化感物质阿魏酸对小麦幼苗内源激素水平的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2001, 9 (1): 86—88.
- [83] 黄卓烈, 林韶湘, 谭绍满, 等. 尾叶桉等植物茎提取液对绿豆等植物插条发根和种子萌发的影响 [J]. 华南农业大学学报, 1997, 18 (1): 97—102.
- [84] Kato-noguchi H. Effect of light irradiation on allelopathic potential of germinating maize [J]. Phytochemistry, 1999, 52 (6): 1023—1027.
- [85] Tang C S, Cai W F, Kohl K, et al. Plant stress allelopathy [J]. ACS Symp Ser, 1995, 582: 142—147.
- [86] Martin P. Die Abgabe von organischen Verbindungen insbesondere von Scopoletin aus den Keimwurzel des Hafers [J]. Z Bot, 1975, 45: 475—506.
- [87] 王大力. 全球CO₂浓度变化与植物的化感作用 [J]. 生态学报, 1999, 19 (1): 122—127.
- [88] Weidenhamer J D, Hartnett D C, Romeo T. Density-dependent phytotoxicity: distinguishing resource competition and allelopathic interference in plants [J]. Journal Application Ecology, 1989, 26: 613—624.
- [89] Brant J P, Reichardt P B, Claisen T P, et al. Effect of mineral nutrition on delayed inducible resistance in Alaska paper birch [J]. Ecology, 1993, 74: 2077—2084.
- [90] 薛应龙, 欧阳光察. 植物抗病的物质代谢基础 [A]. 余叔文. 植物生理与分子生物学 [M]. 北京: 科学出版社, 1998. 770—782.
- [91] Koeppel E D E, Southwick L M, Bittell J E. The relationship of tissue chlorogenic acid concentrations and leaching of phenolics from sunflowers grown under varying phosphates nutrient conditions [J]. Canad J Bot, 1976, 54: 593—599.
- [92] 孔垂华, 徐涛, 胡飞, 等. 环境胁迫下植物的化感作用及其诱导机制 [J]. 生态学报, 2000, 20 (5): 849—851.
- [93] 邵华, 彭少麟, 王继栋, 等. 薇甘菊的综合开发与利用前景 [J]. 生态科学, 2001, 20 (1, 2): 132—135.
- [94] 张茂新, 凌冰, 孔垂华, 等. 薇甘菊挥发油的化学成分及其对昆虫的生物活性 [J]. 应用生态学报, 2003, 14 (1): 93—96.
- [95] 岑伊静, 庞雄飞, 凌冰, 等. 薇甘菊提取物对桔全爪螨的产卵驱避作用及有效组分分析 [J]. 生态学报, 2004, 24 (11): 2542—2547.
- [96] 岑伊静, 庞雄飞, 徐长宝, 等. 薇甘菊乙醇提取物对桔全爪螨种群的控制作用 [J]. 应用生态学报, 2005, 16 (4): 754—757.
- [97] 李云寿, 邹华英, 汪禄祥. 紫茎泽兰提取物对四种储粮害虫的杀虫活性 [J]. 昆虫知识, 2001, 38 (3): 214—216.
- [98] 胡飞, 孔垂华, 徐效华, 等. 胜红蓟黄酮类物质对柑桔园主要病原菌的抑制作用 [J]. 应用生态学报, 2002, 13 (9): 1166—1168.
- [99] 黄寿山, 潘丽群, 曾玲孔, 等. 胜红蓟次生物质对小菜蛾田间种群的控制作用 [J]. 植物保护学报, 2001, 28 (4): 357—361.
- [100] 胡绍海. 菊科植物胜红蓟素防治蚜虫的效果研究 [J]. 湖南师范大学自然科学学报, 1989, 12 (3): 255—261.
- [101] Saxena M K. Aqueous Leachate of *lantana camara* kills water hyacinth [J]. Journal of Chemical Ecology, 2000, 26 (10): 2435—2447.
- [102] 阎飞, 杨振明, 韩丽梅. 植物化感作用 (Allelopathy) 及其应用的研究方法 [J]. 生态学报, 2000, 20 (4): 692—695.
- [103] 曾任森. 化感作用研究中的生物测定方法综述 [J]. 应用生态学报, 1999, 10 (1): 123—126.

(责任编辑: 杨小萍)