

百里香化感作用研究与化感物质鉴定

园林植物与观赏园艺: 侯维 指导教师: 潘远智副教授

摘 要

作为即将广泛应用于园林地被植物的百里香,其自然生长特征反映出它可能具有化感潜势。本论文^①模拟雨水淋溶、根分泌途径制取茎、叶水浸液和收集根分泌物,通过室内生物测定的方法研究了百里香茎、叶水浸液,根分泌物和挥发物对萝卜、千叶蓍、甘野菊和婆婆纳四种植物的种子萌发及幼苗生长的化感作用;用 GC-MS 和 PTI 分别对水浸液、根分泌物有机相化感物质组分和自然挥发物成分进行了初步鉴定,为科学将其应用于植物配置提供理论依据。主要研究结果如下:

1 对种子萌发的影响

百里香茎、叶水浸液、根分泌物和挥发物均抑制四种受试植物种子萌发。

水浸液和根分泌物都在高浓度 1:1 时抑制植物种子萌发效果最强,四种植物总萌发率与对照的百分比分别为:萝卜 55.2%和 88.7%、千叶蓍 74.3%和 64.0%、甘野菊 84.5%和 42.7%、婆婆纳 76.1%和 56.0%。除萝卜外,其他三种植物均在水浸液浓度 1:10 时受抑制最弱,甘野菊表现最为明显。因此,除甘野菊外,其他三种植物受抑制效果均随水浸液浓度降低而减弱。植物受水浸液抑制程度高低为:萝卜、千叶蓍、婆婆纳、甘野菊。根分泌物对四种受试植物种子萌发的抑制效果则随浓度增高而加强,降低而减弱。反映在总萌发率上,植物种子受抑制程度由高到低为:甘野菊、婆婆纳、千叶蓍、萝卜;萌发速度受抑制程度由高到低为:婆婆纳、甘野菊、千叶蓍、萝卜。

挥发物抑制四种植物种子萌发,与对照差异显著。萝卜、千叶蓍、甘野菊、婆婆纳总萌发率与对照的百分比分别为 57%、60%、63%、63%。植物种子萌发受抑制程度由高到低的顺序为:萝卜、千叶蓍、甘野菊、婆婆纳;萌发速度受抑制程度由高到低的顺序为:萝卜、千叶蓍、婆婆纳、甘野菊。

2 对幼苗生长的影响

3 百里香茎、叶水浸液,根分泌物和挥发物对幼苗生长因不同植物和同一植物

^①基金项目: 国家林业局, 948 项目“多功能固沙地被植物刺山柑、百里香等种质资源及其繁育技术引进”(2004-4-13)

不同部位影响而不同。根长受到化感影响大于苗高。化感作用体现出浓度效应。

萝卜苗高在水浸液最高和最低浓度时受促进,中间浓度受抑制;水浸液四种浓度均促进千叶蓍幼苗生长,但抑制甘野菊和婆婆纳。根分泌物略微促进千叶蓍幼苗生长,抑制萝卜、甘野菊和婆婆纳幼苗生长,其中甘野菊受抑制与对照差别不明显。挥发物抑制萝卜、甘野菊、婆婆纳幼苗生长,促进千叶蓍幼苗生长,处理与对照差异显著。各植物受各处理抑制程度由高到低为:

水浸液:(1)苗高受影响:婆婆纳(RI-0.49)、千叶蓍(RI 0.38)、甘野菊(RI -0.33)、萝卜(RI 0.21);(2)根长受影响:千叶蓍(RI 0.63)、甘野菊(RI -0.61)、婆婆纳(RI -0.47)、萝卜(RI -0.15)。

根分泌物:(1)苗高受影响:婆婆纳(RI-0.33)、千叶蓍(RI 0.26)、甘野菊(RI-0.12)、萝卜(RI-0.11);(2)根长受影响:千叶蓍(RI0.45)、婆婆纳(RI-0.44)、甘野菊(RI-0.32)、萝卜(RI-0.28)。

挥发物:(1)苗高受影响:婆婆纳(RI -0.47)、甘野菊(RI-0.36)、千叶蓍(RI0.34)、萝卜(RI-0.22);(2)根长受影响:婆婆纳(RI -0.47)、甘野菊(RI-0.36)、萝卜(RI-0.42)、千叶蓍(RI0.09)。

4 化感物质成分

百里香水浸液、根分泌物和挥发物所得成分中发现了酚类、烯类等已研究的化感物质。水浸液组分成分结果显示,百里酚为主要成份。挥发物中萜品烯、己稀醛、茴香醚含量很高,酚类物质也含量较高。而根分泌物因信号太弱,明显测出的组分为月亏-,甲氧基-苯基,所得结果只能供参考。综合看来,百里酚、萜品烯、冰片、茴香醚、萜澄茄油烯、系散花烃、2-萜烯、月桂烯、茨烯、R-蒎烯等物质可能在百里香化感作用中起主要作用。

百里香水浸液,根分泌物和挥发物中均存在化感物质,虽抑制植物种子萌发,但对植物幼苗生长影响可促进可抑制对植物,具有选择性。雨水淋溶和挥发途径是百里香化感作用的主要途径。因此,百里香在应用中只要选取合适的植物与之搭配即可营造出理想的植物景观,如千叶蓍就能与它相配置,而婆婆纳和甘野菊则不适合。

关键词:百里香;化感作用;水浸液;根分泌;挥发物;GC-MS

Studies on the allelopathy and the identification of allelopathical substance of *Thymus vulgaris* Primula.L

By Hou Wei (Landscape Architecture)

Directed By Associate Prof. Pan Yuanzhi

Abstract

The thyme (*Thymus vulgaris*), which would soon widely used as Landscape plants, their natural growth might reflect their allelopathical potential. The aqueous leachates, root exudates and oil essence from thyme stem, leaf were conducted according to the releasing routes of plant allelochemicals in nature conditions, which had an obvious effect to the four receptor plants of *Raphanus sativus* L. radish, *Achillea millefolium*, *Chrysanthemum boreale* Makino and *Veronica didyma* Tenore using the bioassay method in lab. And the main compounds of them were studied with GC-MC and PIT, giving some theory basis on exploiting scientifically and dispose reasonably. The main results were showed as follows.

1. The effect to seed germination

The germination of the four receptor plants was all inhibited by the aqueous leachates, root exudates and volatile from thyme stem and leaf.

The best inhibition effect of the aqueous leachates and root exudates was all at the highest concentration (1:1). The percentage comparison of seedling germination among the receptor plants in respective were 55.2% and 88.7% in *Raphanus sativus* L. radish, 74.3% and 64.0% in *Achillea millefolium*, 84.5% and 42.7% in *Chrysanthemum boreale* Makino, and 76.1% and 56.0% in *Veronica didyma* Tenore. Except *Raphanus sativus* L. radish, the weakest effect of inhibition was at the concentration of 1:10 in other three ones, especially *Chrysanthemum boreale* Makino. Therefore, the effect to the other three ones became weaker when the concentration reduced. The sequence of inhibition effect from high to low was carrot, *Achillea millefolium*, *Veronica didyma* Tenore, *Chrysanthemum boreale* Makino. On the contrary, the inhibition effect of root exudates was stronger with the higher concentration, weaker with the lower one. The sequence of inhibition effect on the receptor germination from high to low was *Chrysanthemum*

boreale Makino, *Veronica didyma* Tenore, *Achillea millefolium* and *Raphanus sativus L.radish*, whereas, the sequence of inhibition effect on the receptor germination speed from high to low was *Veronica didyma* Tenore, *Chrysanthemum boreale* Makino, *Achillea millefolium* and *Raphanus sativus L.radish*.

However, the effect of volatile from the thyme on the germination of receptor seeds were different from the comparison. Compared with the ordinary plant, the germination percentage of seeds of *Raphanus sativus L.radish*, *Achillea millefolium*, *Chrysanthemum boreale* Makino, *Veronica didyma* Tenore were 57%、60%、63%、63% correspondingly. The sequence of inhibition effect on germination from high to low was *Raphanus sativus L.radish*, *Achillea millefolium*, *Chrysanthemum boreale* Makino and *Veronica didyma* Tenore; and the sequence of inhibition effect on germination speed from high to low was *Raphanus sativus L.radish*, *Achillea millefolium*, *Veronica didyma* Tenore and *Chrysanthemum boreale* Makino.

2. The effect to the growth of seedling

The effect of the aqueous leachates, root exudates and volatile on the germination of seedlings were different in different plants, and different spots in the same one. The effect on the root length was more obvious than on the seedling altitude. Meanwhile, the allelopathy also manifested the concentration.

The seedling altitude of *Raphanus sativus L.radish* was decreased at the middle concentration of aqueous leachates, in conversely, increased by the highest and lowest ones. All of the four concentrations increased the seedling altitude of *Achillea millefolium*, but decreased the *Chrysanthemum boreale* Makino and *Veronica didyma* Tenore. The high concentration of root exudates increased the seedling growth of *Achillea millefolium*, whereas, decreased all the seedling altitude of the four receptor plants above all. Besides, it was obscure in *Chrysanthemum boreale* Makino. The seedling altitude of the *Raphanus sativus L.radish*, *Chrysanthemum boreale* Makino and *Veronica didyma* Tenore were all decreased by the volatile from the thyme, but increased in *Achillea millefolium*. Therefore, the comparison between the treated and untreated was clear. The results were as follows:

The four receptor plants were all influenced by the aqueous leachates from the

thyme. The sequence of effect on seedling altitude of them was *Veronica didyma* Tenore (RI-0.49), *Achillea millefolium* (RI 0.38), *Chrysanthemum boreale* Makino (RI -0.33) and *Raphanus sativus L. radish* (RI 0.21); And the effect on root length was *Achillea millefolium* (RI 0.63), *Chrysanthemum boreale* Makino (RI -0.61), *Veronica didyma* Tenore (RI -0.47) and *Raphanus sativus L. radish* (RI -0.15).

The four receptor plants were all influenced by the root exudates from the thyme. The sequence of effect on seedling altitude of them was *Veronica didyma* Tenore (RI-0.33), *Achillea millefolium* (RI 0.26), *Chrysanthemum boreale* Makino (RI-0.12) and *Raphanus sativus L. radish* (RI-0.11); And the effect on root length was *Achillea millefolium* (RI 0.45), *Veronica didyma* Tenore, *Chrysanthemum boreale* Makino (RI-0.32) and *Raphanus sativus L. radish* (RI-0.28).

The four receptor plants were all influenced by the volatile from the thyme. The sequence of effect on seedling altitude of them was *Veronica didyma* Tenore (RI -0.47), *Chrysanthemum boreale* Makino (RI-0.36), *Achillea millefolium* (RI 0.34) and *Raphanus sativus L. radish* (RI-0.22); And the effect on root length was *Veronica didyma* Tenore (RI -0.47), *Chrysanthemum boreale* Makino (RI-0.36), *Raphanus sativus L. radish* (RI-0.42) and *Achillea millefolium* (RI 0.09).

3 The compounds of allelopathical substance

The three fractions were analysed by GC-MS. The result showed that there were allelopathical substance, such as phenol and Sesquiterpene, having founded in former studies. According to the analysis of the component of aqueous leachates, it indicated that the Thymol was the main one. The Terpinen, cis-3-Hexenal, Anisole, 2-isopropyl-5-methyl were contained in large number in volatile from thyme, the same as phenol. And the analysis report of the root exudates, was only taken to reference because of weak signal. In brief, the results showed that these compounds such as Thymol, Terpinen, Borneol, (1S,2R,4S)-(-)-, Anisole, 2-isopropyl-5-methyl, Cubebene, o-Cymene, 2-Carene, Myrcene, Camphene, 1R-Pinene and so on, play an important role in thyme allelopathy.

There are allelopathical substance distributing in the aqueous leachates, root exudates and volatile from thyme, which has a choice on different plants, and correspondingly the allelopathy either increase or decrease the seedling growth of the receptor plant. The roots

of rain -eclucidation and oil-essence are the main form of allelopathy. Therefore, if disposed with other plant suitably, they would help to make an ideal plant landscape in the future.

Key words: thyme (*Thymus vulgaris*); allelopathy; aqueous leachates; root exudates; volatile; GC-MS

论文独创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行研究工作所取得的成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，学位论文中不包含其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得四川农业大学或其它教育机构的学位或证书所使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

研究生签名：侯维

2007年6月23日

关于论文使用授权的声明

本人完全了解四川农业大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。同意四川农业大学可以用不同方式在不同媒体上发表、传播学位论文的全部或部分内容。

研究生签名：侯维

2007年6月23日

导师签名：廖正华

2007年6月23日

1 文献综述

1.1 植物化感作用研究概况

1.1.1 植物化感作用的定义及研究发展历史

化感作用是化学生态研究的主要部分。该领域研究范围涉及农作物种间和种群内、农作物与杂草、自然植物群落内种间和植物群落次生演替中种间的生化化感等方面。

1.1.1.1 定义

化感作用的英文为“Allelopathy”，源于希腊语“Allelon(相互)”和“Pathos(损害、妨碍)”^[79]。德国科学家 Molish 在 1937 年首次提出化感作用这个词，经历各个历史时期，化感作用的概念不断被完善^[39]。1984 年 Rice 在《Allelopathy》第二版中将其较完整地定义为：由生物个体产生释放到环境中去的化学物质，对其周围个体，同种——异种或自身产生的有害或有益的效应。这种现象也称为生化化感作用或相生相克现象。植物之间,植物与动物,动物之间都存在化感现象。

1.1.1.2 研究历史概况

两千多年前人们已经观察到植物间的化感现象。公元前 5 世纪和 3 世纪 Democritus 和 Theophrastus 就分别提出了植物间存在化学物质的相互作用和反应，便涉及到了这一领域。公元前 300 多年希腊哲学家曾记述过鹰嘴豆危害杂草的生长^[89]。在中国，北魏学者贾思勰的《齐民要术》中，明确阐述了几种栽培作物之间的相科现象，提出了合理的作物间种措施^[96]。

1925 年，Massey 用黑胡桃树下栽种番茄和苜蓿的实验证明了化感物质的存在。1958 年，Bode 分离并鉴定了黑胡桃有异株克生作用的化合物——胡桃酮(Juglone)，随后多年研究表明它可以影响所研究的大部分草本植物、灌木和乔木的种子萌发、根系发育、枝条长度和植株干重等^[90-92]。上个世纪末开始对化感作用有广泛而深入的研究。1974 年 Rice 的《植物的化感作用 (Allelopathy)》一书问世，成为该研究领域第一部系统阐述化感现象、化感作用生态意义及其研究方法的专著。80 年代在美国先后举行了三次国际学术会议，随后出版了三本论文集。从此，有关的研究论文便日益增多^[94]。国内关于化感作用的研究起步较晚，90 年代关于植物化感作用的研究逐渐增多，并取得一定成果^[75]。2001 年首部中文著作《植物化感作用及其应用》问

世。2005年首届中国植物化感作用学术研讨会召开。近5年的研究成果对世界该领域的影响愈来愈大。植物化感作用在生态学、生物进化、农业生产、人工群落建造研究上的意义将促使人们对其更为广泛深入的研究。

1.1.2 植物化感作用研究的主要方面

植物化感作用是一种极其重要的生态机制，影响着群落的形成，发展和演替。它的研究为农业生产上前后茬作物的选择，间作、混作、套作等复合群体的组合搭配，提供科学依据；也让选用耐草性、杀草性的作物新品种和筛选、生产新型的除草剂成为可能。

1.1.2.1 群落组成和分布方面的化感作用研究

在解释群落中植物组成和分布问题时，单从植物的生物学特性、生境条件来分析并不能解释很多现象。诸多研究表明化感作用是导致灌丛裸带，林下草本植物稀少，优势物种的较强竞争力，纯植丛生境的直接原因。

发育在地中海气候条件下的迷迭香—欧石南有刺灌木群落中几乎不见一年生植物；美国南加州海岸线菊科加州蒿和唇形科银叶鼠尾草等灌丛植物周围出现的一条1~2m宽的裸带；加利福尼亚南部地区蓝桉树下植物的种类、数量随离树干距离的缩短而减少；佛罗里达的灌木丛缺少下层草本植物；密苏里州一处森林在小无花果树、朴树、红橡树和白橡树下植被生长不良或者出现裸地，而在榆树下生长良好等现象促使人们对其进行化感作用的实地观测及实验室模拟试验研究（Deleuil 1951, Muller 1966, Del Moral 1969, 1978）

化感作用研究同时表明了优势树种产生的植物毒素不断积累，影响周围的土壤性质，从而影响林下的植被生长。台湾沼泽桉、山毛榉的分泌物使附近的月桂树、黄杨、杜鹃、紫杉属和冬青属植物都生长不佳，树下草也有被破坏^[10]。薊则通过抑制其他草类生长，使自己优先生长并迅速蔓延。

此外，由于化感物质的存在，抑制了其他植物的生长，许多植物易形成纯植丛（pure thicket），即使在临近的相似生境中有其它适应生活的种类也难以进入共同生长。在一个广泛的地理区域内，植物群落主要是由相近的种类组成^[10]。芒萁易形成中生性的草本植物群落及镶嵌分布的小群落，油蒿周围缺乏一年生植物，黑芥纯植物丛（Muller 1970）、生长于沙土海岸带的猪毛蒿往往形成群落，并与其他植物共生等现象都可通过化感作用研究对其进行解释^[6]。曾任森等研究了华南地区广泛分布的胜

红蓟、三叶鬼针草、加拿大飞蓬、蟛蜞菊的化感作用^[30, 31, 48, 36, 101]。比较典型的如蕨类植物、菊科植物的茂盛生长都是由于含有大量化感物质抑制其他植物生长^[108]。张开梅等^[108]系统介绍了蕨类植物之间、蕨类植物对种子植物、种子植物对蕨类植物的化感作用以及蕨类植物化感作用与动物侵食、微生物浸染的关系。周凯等^[21]总结菊科植物化感作用研究进展。慕小倩等^[17]对菊科植物黄花蒿化感作用机理的进行了初步研究。

1.1.2.2 群落演替中化感作用研究

群落演替中化感作用的研究主要侧重于对次生裸地演替中第一阶段的先锋种,以及其他演替中的优势种的化感物质释放机理探究。国内外对豚草属植物有较深入的研究。Jackson 等报道了豚草的化感作用,指出化感作用是豚草属植物在次生地演替中的一个重要因素^[106]。Nell 和 Rice 研究了毛果破布草在弃耕地(old-field)植物群落演替和格局中的作用,它是弃耕地演替的第一阶段的优势种,并维持到以后几个阶段的演替过程中。进一步研究发现毛果破布草通过抑制豆科植物根区的根瘤,使豆科植物的根瘤数目、大小、颜色发生变化,从而影响植株的生长。Bradow 研究了豚草的生长调节作用,对其不同浓度的稀释液的化感作用大小进行了观察^[45]。王大力^[44]归纳了豚草化感作用的研究对象,化感物质的研究,以及其他植物对豚草属植物的影响,并提出了其利用价值。对三裂叶豚草的挥发物、茎叶和根的淋溶物、根区土壤水浸液等的化感活性研究、不同的活性组分分析发现豚草的挥发物对大豆和玉米的种子萌发有一定抑制作用,根区土壤对农作物无明显的作用,茎叶部分的水浸液对几种农作物的种子萌发和幼苗的幼根伸长有明显的抑制作用,同时使根表形态发生较太的变化;根系的水浸液对作物的幼芽伸长有一定的促进作用^[34]。

1.1.2.3 生物入侵及濒危植物化感作用研究

1.1.2.3.1 生物入侵的化感作用研究

外来种(exotic species)对群落和生态系统的影响是巨大的,它们的入侵总伴随着强烈的化感作用,这一现象已引起国内外研究者的普遍关注。

国内,研究最多的是 40~50 年代传入我国并在东北地区广泛蔓延的菊科杂草——豚草的化感作用。杂草对其他牧草强烈的化感作用促使高寒人工草场自然退化^[86]。在对广东省珠江三角地区被称为“植物杀手”的微甘菊、加拿大一枝黄花、紫茎泽兰的研究中都发现入侵植物对本地植物有抑制作用^[46, 32, 7, 113]。入侵植物的生理生态特性

对碳积累的影响,与本地种相比入侵种可能通过提高光合能力、资源利用率、表型可塑性、化感作用,以及降低繁殖成本等增加植株碳积累,促进其入侵。但并不是所有的入侵种都同时具有这些特性。生境不同限制性资源不同,入侵机制就不同。成功的入侵种应该能够高效地利用生境中的限制性资源,并且能够较快地调节自身的生理特性以适应波动的资源环境^[33]。原产我国华中地区的臭椿,一旦存活之后,能形成其他植物难以进入的灌木丛并释放毒素。在外来木本植物中,广东省绿化造林的面积一半以上是桉树,相思树和湿地松纯林,而以上树种被证实有强烈的化感作用。因此对植物化感作用的研究将对外来植物的引入提供翔实的理论依据。

国外对于化感作用的研究现在越来越多的用于生物入侵的研究。在入侵美国本土的外来种中,研究者研究了原产巴西大西洋海岸的淘金娘科植物草莓番石榴,原产马来西亚等地的澳大利亚松,原产欧亚大陆的加拿大蓟,原产欧亚的 *Alliaria Petiolata* 等植物的化感作用,它们或是对本地植物和动物构成严重威胁,或是占据优势并取代本地种,破坏了原有的昆虫及野生动物生存环境^[86~88]。

1.1.2.3.2 化感作用对濒危植物的影响

濒危植物与其种群内的植物之间存在着复杂的相互关系,许多共生物种对濒危植物种群的生存、繁殖、扩散有着很大影响,化感作用是其中重要的作用方式之一。因而,研究化感作用对揭示濒危物种的濒危机制有着重要意义,也为保护物种提供理论依据。

张永明等研究珍稀濒危植物绵刺与其所在群落中主要物种沙冬青、旱蒿、霸王、长叶红砂之间以及自身化感作用^[19]。李金等研究了濒危植物长喙毛茛泽泻与其所在群落中主要物种莼菜、柳叶箬和疏忽蓼之间的化感作用,为中国内陆湿地植物多样性保护提供有益资料^[67]。

1.1.2.4 农业实践上的化感作用研究

1.1.2.4.1 除草剂的开发研究

化学农药对环境的危害日夜严重,人们开始努力寻求发展可持续农业的新途径,利用植物的化感物质进行生物除草剂的开发有着广阔的发展前景。

马永清,刘德立等^[58]综述了杂草间的化感作用及其在杂草生防中的应用,不仅总结了我国具有化感潜势的农田主要杂草分布,而且总结了作物与杂草之间的相互关系,并提出化感作用在杂草生防中的应用途径。在对危害性杂草豚草防除的研究中,陈贤兴等通过盆栽实验对6种可能对豚草有生化化感作用的植物进行试验,得出利用

夹竹桃、海桐、大叶桉树及杨梅等植物的生化化感作用结合环境绿化,对豚草进行长期的生物控制是可行的^[20]。颜桂军,朱朝华^[23]总结了近几年国内外植物源除草剂研究和发展现状以及发现的具有化感作用的物质,并介绍了十种具有开发价值的具有化感作用的植物:猪毛蒿,烟管头草,核桃,飞机草,豚草,芒其,蟛蜞菊,胜红蓟,桉树属植物,核桃楸及其各种化感植物的作用物质、产生途径以及生化特点。杨世超等^[50]研究小麦对白茅化感作用的影响,耕翻种麦能够彻底防除白茅。

1.1.2.4.2 人工复合农林生态系统建立

面对资源短缺和环境恶化的严峻现实,采用复合农林系统的模式将能产生较高的经济效益和良好的生态效益。复合农林系统中各种植物之间的相互关系严重影响着该系统的生态功能和经济效益。因此,深入研究林木、农作物及其它下层草本植物之间的各种相互关系,制订出适当的栽培措施、合理的耕作制度和科学的植物配置,以减轻植物间的相互抑制作用、加强植物间的相互促进作用。

曹潘荣等研究了茶园常见遮荫树(凤凰木、银合欢、台湾相思、柠檬桉、南洋楹、大叶相思、大叶桉)及茶树本身对茶子萌发及茶幼苗生长的影响,讨论了防止茶树衰老的措施及合理设计茶园群落的依据^[9]。曹潘荣,邹元辉研究了苦丁茶对茶树等6种受体植物的化感作用^[24]。水杉现已成为长江中下游平原农区的一种重要的造林树种,通过对水杉林下不同途径释放的化感物质对不同作物(小麦、青菜)生长发育的影响研究,为合理栽种水杉提供理论依据。741杨的化感作用研究结果认为可以适当将其引入人工林的建设^[4]。对薄荷根分泌物和地上部分水浸液的化感作用,地上部分化感物质初步分离和生物测定研究为江苏苏北海岸带种植大面积的薄荷提供安全参考^[6]。四川岷江上游主要经济林种花椒的不同品种的化感潜力研究则为选择与其共生的下层地被提供依据^[14]。为寻找桉树合适的伴生树种,得出柠檬桉和细叶桉的生化化感作用比尾叶桉强烈,在营造混交林或设计农林复合经营模式选择伴生树种或间种作物时必须慎重。尾叶桉和马占相思是一个较为安全的混交组合,建议在生产上推广应用^[18, 29]。我国东南沿海地区沙质海岸主要的防风固沙树种木麻黄更新困难的一个重要因素是木麻黄根系能分泌一些抑制自身生长的物质^[25]。为选择合适的经济作物与香茅搭配,研究了香茅的根分泌物、天然挥发物的化感作用^{[48] [49]}。对油松、白桦混交林中的生化化感作用进行了生物测定,表明在营造松桦混交林时,白桦比例适当减小将有利于油松的生长^[54]。王祥荣等研究浙江天童国家森林公园常绿阔叶林下草本层中的优势种类狗脊和里白的化感作用^[12]。

1.1.2.4.3 农作物间作混作轮作化感作用研究

马永清^[51]归纳前人的研究,总结了小麦秸秆的生化化感效应,包括对棉花、小麦、玉米和杂草的化感作用,以及小麦秸秆的化感化合物。兰兴平为寻找能与扁穗牛鞭草混播的草种提高牧草的产量和质量,研究牛鞭草根、茎、叶浸出液对豆科牧草种子发芽率和发芽势的影响^[5]。番茄的根分泌物对黄瓜生长有明显抑制作用,对生菜作用不明显。自毒作用是造成番茄连作障碍的原因之一。番茄种植应采用轮作方式,水培或大棚种植番茄时应避免与黄瓜间种^[9]。在研究番茄-中国细香葱间作系统中利用化感作用控制由一种假单胞菌引起的番茄枯萎病的效果中,发现中国细香葱的根系分泌物可抑制该菌的繁殖,显著降低番茄枯萎病的发病率^[111]。张风云以核桃青皮为材料,讨论其水提液和醇提液对几种作物幼苗生长的影响,以期为核桃的合理间作提供依据,而且还可据此开发植物源环保型除草剂和植物生长调节剂^[13]。闫龙凤等^[26]总结了苜蓿的自毒性研究进展。李明等为了揭示黄瓜等葫芦科蔬菜中的连作障碍机理和减轻连作障碍,研究了南瓜组培根根系分泌物的化感效应,结果表明,南瓜具有自毒作用^[27]。马永清^[42]总结了蔬菜之间的生化化感作用及其在生产中的应用。赵利琴从化感作用的角度,研究几种常见野生草本植物(泥胡菜,大蓟,小蓟,马齿苋)的水提液对水稻萌发及生长的影响表明,泥胡菜对水稻种子萌发、芽和根的生长都具有促进作用,为进一步研究促进型生化化感物质提供了基础^[52]。

1.1.2.4.5 其它方面化感作用研究

孔垂华等^[78]在对环境胁迫下植物化感作用的变化及环境胁迫因子对化感物质的诱导机制等方面进行了评述后,指出植物化感物质的产生和释放是植物在环境胁迫的选择压力下形成的,植物化感作用是植物在进化过程中产生的一种对环境的适应性机制。史刚荣^[84]总结了植物根系分泌物的生态效应。

王进闯等^[74]对分子水平和土壤系统化感作用研究进行综述。在分子水平化感作用研究中,主要从化感基因的定位、蛋白质和核酸合成、基因表达和调控以及生化机制等几个方面进行了论述。在化感作用对于土壤生态系统的影响方面,主要对其在土壤性质、土壤微生物和土壤动物方面的效应进行了评述。最后,并就化感作用研究中存在的问题和未来发展提出一些看法与展望。

鲜啟明等^[73]总结了水生植物间,水生植物对水生动物和藻类的化感作用研究发展历史和现状,讨论了水生植物化感作用研究过程中涉及的实验方法、生物测定方法、化感物质分离方法以及影响水生植物化感研究的环境因素。

1.1.3 植物化感作用特点及机理

植物的化感作用主要通过茎叶挥发、茎叶淋溶，根系分泌向环境释放化感物质。

李寿田等^[61]总结了化感物质对细胞器膜透性、细胞分裂、伸长和亚显微结构，植物激素活性，呼吸作用，K、Ca、P等离子和水分吸收，光合作用，酶功能和活性，蛋白质合成和基因等方面的影响，并提出机理研究方向。柴强等^[60]从化感作用与植物的叶水势、光合作用、呼吸作用、养分有效性、细胞分裂和代谢等方面的关系综述了化感作用机理，同时就影响化感作用的主要因素进行讨论。秦娟等^[64]对植物之间互作效应及其生理机制的进行论述，在分析不同植物互作效应的基础上，就互作效应在农林复合系统中对植物体内养分、土壤养分有效性及植物生物学产量等的影响进行了概述。

何华勤，林文雄通过对水稻化感作用生理生化特性研究认为水稻化感作用可能是通过抑制质膜的ATP酶的水解作用，从而降低受体杂草的呼吸和光合作用，阻抑幼苗的生长^[43]。连栽杉木人工林地力衰退已成为学术界和林业生产部门共同关注的生态学问题，陈龙池以香草醛为酚类物质的代表，通过杉木水培、盆栽实验，研究不同浓度的香草醛对杉木养分吸收及根系活力的影响，为进一步揭示酚类物质对杉木化感作用的作用机制提供科学依据^[47]。

1.1.4 植物化感作用研究方法及化感物质研究

1.1.4.1 研究方法

对于化感作用研究试验多放在生物测定上，通过研究供体植物的叶茎，根际土壤水浸液，根分泌物，植株挥发物对受体植物的发芽率、生长量的影响来检测供体植物的化感潜力，通过对水浸液，根分泌物，挥发物萃取、蒸馏等方法，提取化感物质进行GC-MS分析。化感作用的影响因素常常是复杂而且综合的，简单的室内测定并不能很好的模拟自然中的各种环境以及各个种类之间的相互影响和变化。随着试验仪器的更新，人们也在不断的探寻更为科学的实验方法。

施月红，谷文祥，曾任森(1999)，阎飞等分别总结了生化化感作用研究中的生物测定方法等实验方法^[67~70]。周志红在总结植物化感作用的研究方法基础上分析了影响因素^[71]。邵华，彭少麟具体阐述了生化化感作用研究中渗透势对生物测定结果的影响，

指出它不但影响生物测定结果中化感作用的抑制或促进作用程度,且可能改变结果的性质^[68]。

由于生化化感作用的生态、遗传多态性以及生化化感物的复杂性,在生化化感作用研究中,生化化感物的提取、生物测定等,既要排除竞争、微生物的干扰,又要模拟自然状态,克服人为的 pH 值、渗透势、浓度等的影响,选择灵敏的、有较好代表性的指示植物,建立带有普遍性的灵敏易测的生理指标,以优化组合各方面的生测条件,建立比较合适的生物测定方法,将是研究生生化化感作用的一个重要环节。此外,利用同位素示踪技术观测物种之间相互关系也将有待尝试。

1.1.4.2 化感物质研究

大量研究成果表明,引起植物化感作用的物质主要是植物体内的次生代谢产物,分子量较小,结构简单。根据它们的性质和生化合成途径将其分为 14 类:

1、萜醌、葱醌、复合苯醌类(如胡桃醌、金霉素等); 2、肉桂酸及其衍生物; 3、香豆素类(香豆素、茛菪碱等); 4、简单的水溶性有机酸、直链醇、脂肪醛和酮(乙酸、丙二醛、乙醇等); 5、长链脂肪酸(月桂酸、棕榈酸等); 6、简单的不饱和脂内酯(花楸酸等); 7、单酚、苯甲酸及衍生物(香草酸、香草素、对-羟基苯甲酸等), 8、生物碱(洋艾碱、小檗碱等); 9、类黄酮(根皮苷、槲皮苷等); 10、类萜、甾类化合物(茨烯、2-蒎烯等); 11、氨基酸及多肽(5-羟色胺、番茄菌肽等), 12、硫化物和芥子油糖苷(蒜素、芥子油等); 13、卟啉及核苷(嘌呤、3-脱氧核苷等) 14、单宁。

化感作用有时也表现有益的一面。除了植物之间合理的搭配可以提高产量之外。植物再植时的自毒作用,由于维持了个体的一定生存空间,有效避免了掠食者的聚集以及致病真菌和细菌的繁衍,促进了个体之间的远源杂交^[76]。迄今为止,已分离、鉴定的化感作用物质多为抑制类型,但也有促进型物质。

谷物麦仙翁产生的麦仙翁精以低浓度施用于麦田可增加小麦产量,抑制杂草生长。日本筑波大学的长谷川教授从水芹幼苗的胚根分泌液中提纯出的一种二糖 Lepidimoide 具有与 GA 和 BA 类似的生理作用,是国际上首次确认的促进型互感物质,被称为第 7 类植物激素^[53]。白茅草的根原液促进落叶松插条生根,其作用优于 IBA+NAA 处理。柳树枝条的浸出液对某些花木扦插成活有促进作用,其发根率高于经 NAA 处理的^[79]。广泛存在于动植物体内的尿囊素对豆科作物表现出显著的促进作用,尤其促进其根的生长,在豆科作物的根瘤分泌物中也发现了大量的尿囊素。尿囊

素在低浓度时对大豆和红豆的幼苗生长有促进作用，而高浓度时则抑制生长^[26]。

刘秀芬等作了根际区化感化学物质对小麦、玉米等作物种子萌发、幼苗生长抑制作用的研究，在从土壤及土壤溶液样品提取物中，用 GC 及 GC—MS 鉴定出各类化合物 50 多种，重点研究有代表性的 3 种化合物：十四烯—1、苯甲醛以及未见报道的，由作者鉴定出的化感化合物：对-叔丁基苯甲酸的化感作用^[11]。史刚荣从根分泌物、根际土壤环境、根际微生物种群的关系上分析根系分泌物通过化感作用影响根际微生物和周围其它植物的生长，并进一步改善植物的生态环境^[78]。

1.1.5 植物化感作用研究展望

随着化学生态学的发展，化感作用得到广大科研工作者的重视，研究也不断深入，虽然取得了一定成果，但在很多方面仍没突破性进展。在今后的研究中应重视以下几个方面的研究：

(1) 化感物质的产生、释放及作用机理的跟踪研究仍需进一步研究，对于化感物质的生物检测方法有待建立统一标准。

(2) 化感作用与环境因子的互作关系研究。

(3) 化感物质的鉴定，并用于植物保护素的开发研究。

(4) 对一些具有化感潜势的植物进行检测，为安全开发侵入植物，进行人工植物群落营造提供科学理论依据。

(5) 利用现代生物技术，用化感物质诱变植物或将控制化感作用的基因引入栽培品种中，培育抗杂草作物、筛选抗杂草的化感作用的品种。

综上，化感作用的研究应从宏观到微观，从现象到本质全方位的开展，同时研究方法应尽可能与环境相结合，取得更多突破性成果。

1.2 百里香资源及应用研究

百里香 (*Thymus mongolicus*) 又名千里香、地椒、地姜，唇形科百里香属植物。通常株高 18-25cm，有直立匍匐之分。叶片卵形，腺点明显。花序头状。花冠紫红、粉红或白色，芳香。花期 5-9 月。喜阳，较耐寒、耐旱，适应性强。喜凉爽气候，宜排水良好的砂质壤土。主要分布于甘肃、陕西、青海、山西及河北，多生于海拔 1100~3600 米的石山地、溪旁、杂草丛中、黄土丘陵和沙地上^[115, 116]。该种繁殖能力强，种

群数量大，常形成大面积的百里香草原及长芒草—蒿类山地草原中优势植被。

百里香植物全株具有香气，茎叶可提取芳香油，为重要的芳香和药用植物，在化工精油、医疗药品、食品饮料等方面应用较多。从百里香精油中分离出来 53 个化合物，鉴定了 40 种化合物，其中对-聚伞花素(p-cymene)和百里酚(Thymol)含量较高^[17]。而对百里香挥发物的研究中，张继^[18]利用水蒸汽蒸馏法，GC-MS 分离出 81 个组分，主要成分仍为百里酚(Thymol)。

百里香又因其耐践踏，良好的株形，免修剪，用于园林绿化前景广阔：可做观赏性草坪、芳香疗养功能性草坪、护坡草坪等。

2 研究目的与意义

国内外对化感作用研究主要应用于探寻生物入侵原理, 杂草的生物防治和控制, 农作物病虫害防治、合理的种植模式, 建立高效的生态系统等方面, 用于园林植物配置上较少。植物体作为园林景观的重要组成部分, 其生长状况的良好与否直接影响着景观的视觉感受和意境的表达。要创造出科学与艺术相结合的植物景观需要对植物之间的关系进行更为深入的研究, 为科学地配置园林植物提供理论依据。

随着我国园林事业的发展, 科学技术的进步, 各个学科的交叉渗透, 生态园林的提出让园林植物种植设计不断出现新的设计理念和科学理论依据。作为其功能形态之一的保健生态园林则要求人工营造的植物景观不仅要注重其美学价值, 体现其生态效益, 利用植物产生的杀菌素, 起到防病、强身、益寿的作用, 同时还有益于调节人们的情绪, 促进身心健康。它要求依据生态位和植物化感作用合理配置群落。芳香植物成为保健生态园林营建的优良植物材料, 从而使植物景观将视觉、嗅觉、听觉、触觉、味觉融为一体。园林植物配置的香化发展为植物景观带来新的审美层次——意境美。

香草作为芳香植物的草本类统称, 将因其独特的姿态与功效在园林植物造景中发挥巨大作用。

香草植物种类较多, 但到目前为止, 它多被利用在医疗、食品、香料等行业, 国内外对它的研究也多集中于对香精油的开发研究。欧美国家主要是从芳香植物的综合功能考虑, 设置生态芳香庭院。近年来, 台湾兴建了不少香草专类园, 并带动了观光型农业的发展。国内香草热也方兴未艾, 在居室内盆栽香草比较流行, 反映了人们对高品质生活的追求。但用于大规模室外绿化, 香草的开发还急需研究。

本研究选用国内具有广泛分布, 准备开发用于地被植物的百里香作为研究对象。百里香如综述中所提, 自然分布中常成丛生长, 具有较强的资源竞争力。研究其化感作用, 为科学的将其应用于园林植物配置提供理论依据。

3 试验材料与方法

3.1 试验材料

3.1.1 供试植物

百里香 (*Thymus mongolicus*), 2005 年播种, 在中国林科院温室中种植培养, 2006 年夏取其植株以供实验使用。

3.1.2 受试植物

受试植物为菊科千叶蓍 (*Achillea millefolium*), 玄参科婆婆纳 (*Veronica didyma* Tenore), 菊科甘野菊 (*Chrysanthemum boreale* Makino), 十字花科大白萝卜 (*Raphanus sativus L. radish*)。其中千叶蓍, 婆婆纳, 甘野菊种子购自北京东升种业公司, 大白萝卜购于中国农科院。

3.2 试验方法

3.2.1 样品制备

3.2.1.1 茎、叶水浸液制备

取新鲜的百里香茎叶, 流水冲洗 2 小时, 蒸馏水冲洗 3 遍, 放在滤纸上吸干水分后剪成 6cm 长的小段。按植株与蒸馏水质量比 1:7 的比例加入蒸馏水, 置于 THZ-052DR 摇床, 18℃, 60rpm, 浸泡 48h 后, 0.45 μ m 滤膜过滤灭菌。滤液为供试母液, 观察其一般物理性质如透明度、颜色、气味、pH 等。存于冰箱 4℃ 待用。实验时用蒸馏水将水浸液稀释至 1:5、1:10、1:15 三种浓度, (均为体积比 v: v, 下同) 待用。

3.2.1.2 根分泌物收集及制备

选取自然生长的健康植株 300g, 洗净, 放置 500ml 蒸馏水中水培, 48h 后移出植株, 得到根分泌物收集液。0.45 μ m 滤膜过滤灭菌, 放入冰箱 4℃ 保存。实验用时, 用蒸馏水将根分泌物稀释至 1:5、1:10 二种浓度待用。

3.2.1.3 化感物质萃取

3.2.1.3.1 水浸液有机提取物的制取

取水浸液 60ml, 用 30ml 乙酸乙酯萃取其中的酸性、中性、碱性有机物质。方法是: 用 37% 浓盐酸调水浸液的 pH 至 2.5 后, 乙酸乙酯萃取, 得酸性组分; 用 30% NaOH

酸乙酯萃取，得中性组分。各组分离心备用。

3.2.1.3.2 根分泌物有机提取物的制取

将收集到的根系分泌物取 50ml 用 10ml 二氯甲烷萃取，反复振荡，离心备用。

3.2.2 茎、叶水浸液、根分泌物化感作用的生物测定

3.2.2.1 种子萌发实验

在铺有 2 层定性滤纸的培养皿（直径 9cm）中，每皿放入均匀一致，经 0.1% 升汞消毒 5min 并用蒸馏水冲洗三遍的受体种子（萝卜、千叶薯、婆婆纳、甘野菊）50 粒。处理时加入 1:1、1:5、1:10、1:15 四种浓度水浸液 4ml；1:1、1:5、1:10 三种浓度根分泌物 4ml，对照（CK）加 4ml 蒸馏水，重复 3 次。将培养皿置于光照培养箱中，温度 25℃，湿度为 70%，黑暗培养。每 24h 处理分别加不同浓度水浸液和根分泌物 1ml，对照加蒸馏水 1ml。实验开始后每隔 24h 观察一次，以种子露芽为准，记录发芽势和萌发率。分别甘野菊 7 天、千叶薯和婆婆纳 6 天、萝卜 5 天结束观察。

3.2.2.2 幼苗生长实验

参照韦琦等^[40]的方法，采用“小烧杯”法测定。在 100ml 小烧杯底部铺 8mm 厚石英沙。每烧杯放入 15 粒受试植物种子，加入 1:1、1:5、1:10、1:15 四种浓度水浸液和 1:1、1:5、1:10 三种浓度根分泌物各 6ml，对照（CK）加蒸馏水 6ml，用保鲜膜封口，三次重复。置于光照培养箱中，温度 25℃，黑暗培养。

受体种子出芽后（以长到 2mm 为准），每天光照 14h，黑暗时间 10h，光照强度 4000Lux，视石英沙湿度状况每天加 1ml 不同浓度处理液和蒸馏水，使石英沙保持最佳湿度。分别在第 6 天、第 20 天、第 25 天，处理与对照都加入 2ml 的 1/8 强 hogland 营养液。其余时间加处理液和蒸馏水。第 30 天测定受试植物的根长、茎长，鲜重、干重。干重测定时将幼苗和根在 105℃ 杀青 40min 后，在 80℃ 烘至恒重。

3.2.3 挥发物化感作用的生物测定

3.2.3.1 种子萌发实验

取健康百里香植株栽种于 32cm×23cm×11cm 容器中。光照培养箱内分两层，分别用透明塑料膜将其围合成密闭的两个空间 A 和 B。

四种受体植物的种子分别取 50 粒，均匀摆放在直径 9mm 培养皿里，无盖，两层滤纸萌发床，蒸馏水饱和湿润，用黑布遮光，放于光照培养箱 A 中上层，栽种百里

香的容器放于 A 中下层,光照 $14\text{h}\cdot\text{d}^{-1}$, 25°C 条件下萌发;对照组 B 中上层放受试种子,下层放置无百里香的容器。共设 3 个重复。

每天加蒸馏水保持萌发床湿润,记录萌发种子数。分别甘野菊 7 天、千叶薯和婆婆纳 6 天、萝卜 5 天结束观察。

3.2.3.2 幼苗生长实验

装置同 3.2.2.1,四种受体植物的种子分别取 15 粒,均匀放在 100ml 小烧杯,烧杯底铺 6mm 厚石英沙。方法同上。待种子出芽后,取走黑布,光照培养。30 天结束。测定受试植物的根长、茎长,鲜重、干重。干重测定时将幼苗和根在 105°C 杀青 40min 后,在 80°C 烘至恒重。

3.2.4 化感潜势评价

种子萌发指数: $I=2(5X_1+4X_2+3X_3+2X_4+X_5)$ 。其中, X 表示每隔 24h 的发芽数, $X_1=24\text{h}$ 时记录的发芽数, $X_2=48\text{h}$ 时记录的发芽数,依次类推。

生物测定结果参照 Williamson 等^[106]的方法计算化感作用效应指数 RI: $RI=1-C/T$ 当 $T\geq C$, $RI=T/C-1$ 当 $T < C$, 其中 C 为对照值, T 为处理值, $RI > 0$ 为促进, $RI < 0$ 为抑制,绝对值的大小与作用强度一致。

Spss13 软件进行单因素方差分析与多重比较 (Duncun 氏新复极差法)。

3.2.5 化感物质成分分析

3.2.5.1 水浸液、根分泌物有机提取物成分分析

3.2.5.1.1 仪器

GC-MS 联用仪。GC 型号: TraceTM2000GC (CE Instrument 公司); MS 型号: Voyager MS (Finnigan, Thermo-Quest)。

3.2.5.1.2 仪器工作条件

GC: 色谱柱 DB-5/MS 柱 ($60\text{m}\times 0.25\text{mm}\times 0.25\mu\text{m}$); 程序升温: 50°C 保持 1min, 以 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升至 150°C ; 10°C , $6^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升至 210°C , $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升至 290°C , 保持 10min。

MS: EI 源, 70eV; 质量范围 29~540u; 接口温度 250°C , 源温 200°C ; 灯丝发射电流 $150\mu\text{A}$ 。

载气: He, $0.8\text{ml}/\text{min}$ 。进样量: $1\mu\text{L}$ 。

3.2.5.2 挥发物成分分析

3.2.5.2.1 仪器

PTI-GC-MS 联用仪。其中吹扫捕集仪器型号: CPG-4010PTI/TCT (Chrompack 公司); GC 型号: TraceTM2000GC (CE Instrument 公司); MS 型号: Voyager MS (Finnigan, Thermo-Quest)。

3.2.5.2.2 仪器工作条件

PTI: 系统压力 20kPa; 进样口温度 250℃; 冷阱温度-100℃ (3min); 吹扫样品瓶温度为室温, 吹扫管路 250℃; 预冷 2min, 反吹 2min, 吹扫 6min。

GC: 色谱柱 DB-5/MS 柱 (60m×0.25mm×0.25μm); 程序升温: 50℃保持 1min, 以 10℃/min 的速率升至 150℃, 6℃/min 的速率升至 210℃, 20℃/min 的速率升至 290℃, 保持 10min。

MS: EI 源, 70eV; 质量范围 29~450u; 接口温度 250℃, 源温 200℃; 灯丝发射电流 150μA。

4 结果与分析

4.1 对受试植物种子萌发的影响

4.1.1 茎、叶水浸液处理

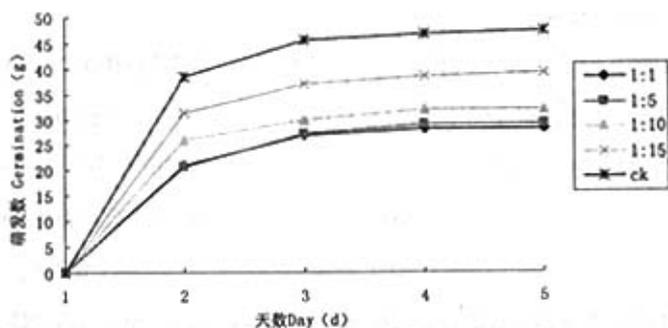


图1 百里香茎、叶水浸液不同浓度对萝卜种子萌发的影响
Fig.1 Effects of aqueous leachates from the *Thymus vulgaris* on the germination of seeds Of *R. sativus* L

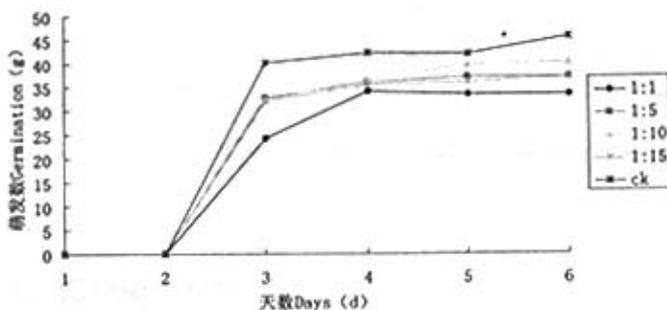


图2 百里香茎、叶水浸液不同浓度对千叶蓍种子萌发的影响
Fig.2 Effects of aqueous leachates from the *Thymus vulgaris* on the germination of seeds Of *Achillea millefolium*

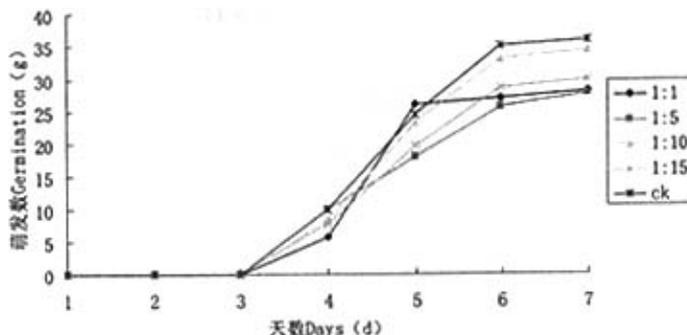


图3 百里香茎、叶水浸液不同浓度对甘野菊种子萌发的影响
Fig.3 Effects of aqueous leachates from the *Thymus vulgaris* on the germination of seeds Of *Chrysanthemum boreale* Makino

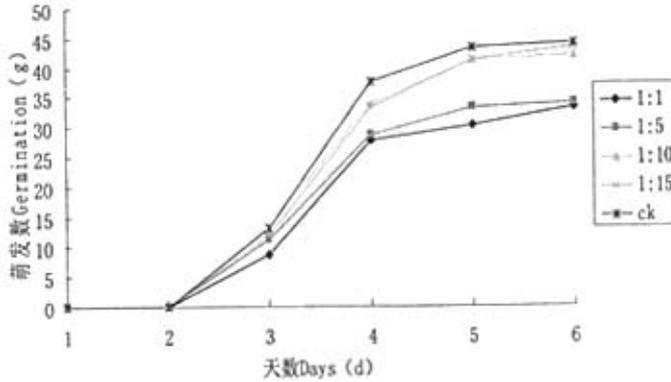


图4 百里香茎、叶水浸液不同浓度对婆婆纳种子萌发的影响
Fig.4 Effects of aqueous leachates from the *Thymus vulgaris* on the germination of seeds Of *Veronica didyma* Tenore

从表1, 图1、2、3、4看出, 百里香茎、叶水浸液四个浓度均抑制萝卜、千叶蓍、甘野菊和婆婆纳种子的萌发。各植物所受到的影响如下:

萝卜: 处理与对照差异极显著。水浸液浓度 1:1、1:5、1:10 的抑制效果显著强于 1:15, 而三浓度影响效果差异不显著。浓度 1:1 时, 水浸液抑制作用最强, 萝卜的最终萌发率仅为对照的 55%。浓度 1:15 时, 水浸液抑制作用最弱。水浸液对萝卜种子最终萌发率和萌发速度指数抑制强度随浓度增高而加强, 降低而减弱。

千叶蓍: 处理与对照差异极显著。浓度 1:1 时, 水浸液抑制效果最强, 最终萌发率与萌发速度均最低, 总萌发率为对照的 74%, 与其他三个处理差异达极显著。浓度 1:10 时, 抑制效果最弱, 与 1:1 处理差异达极显著, 但与浓度 1:5、1:10 处理差异不大。因此, 总体上, 水浸液浓度降低, 对千叶蓍种子萌发抑制作用减弱。

甘野菊: 浓度 1:1、1:5、1:15 处理与对照差异显著, 1:10 时与对照差异不显著; 其中浓度 1:1 和 1:5 时, 与对照差异达极显著。浓度 1:1 时, 抑制能力最强, 总萌发率和萌发速度指数均最低, 总萌发率为对照的 84%。浓度 1:10 时, 抑制能力最弱, 与其他三个处理差异显著。由此可见, 水浸液对甘野菊的抑制效果没有随浓度降低而减小。

婆婆纳: 浓度 1:1 和 1:5 时与对照差异显著。浓度 1:1 时, 水浸液抑制效果最强, 最终萌发率和萌发速度指数均最低, 总萌发率为对照的 76%。浓度 1:10 时, 水浸液抑制效果最弱, 但与浓度 1:15 处理差异不显著。因此, 总体上, 水浸液浓度降低, 对婆婆纳种子萌发抑制作用也减弱。

由此可见，浓度 1:1 时对四种受试植物抑制均最强。除萝卜外，其他三种植物均在浓度 1:10 时受抑制最弱，但甘野菊表现最为明显。因此，除甘野菊外，其他三种植物受抑制效果均随水浸液浓度降低而减小。

4.1.2 根分泌物处理

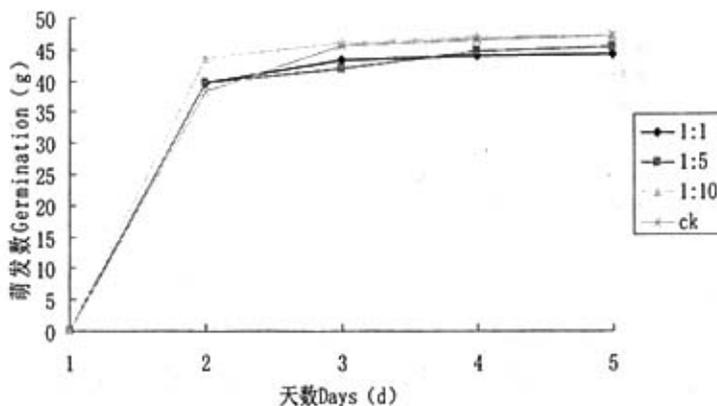


图 5 百里香根分泌物对萝卜种子萌发的影响

Fig.5 Effects of root exudates from the *Thymus vulgaris* on the germination of seeds Of *R. sativus* L

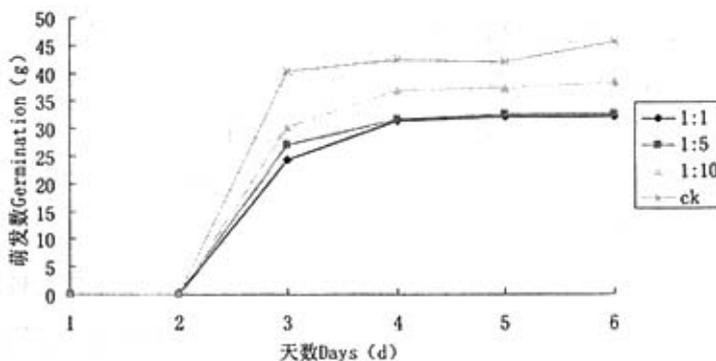


图 6 百里香根分泌物对千叶薯种子萌发的影响

Fig.6 Effects of root exudates from the *Thymus vulgaris* on the germination of seeds Of *Achillea millefolium*

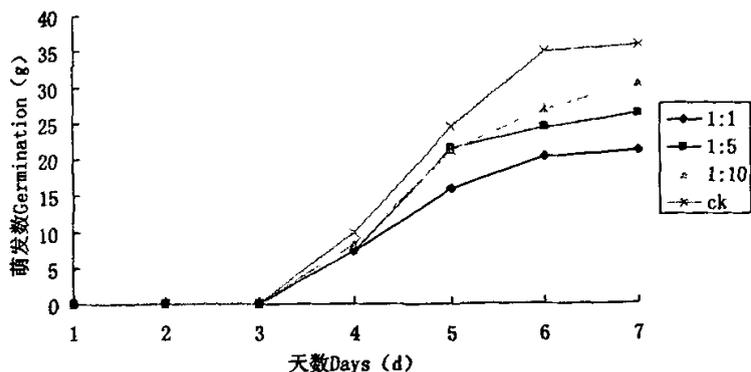


图7 百里香根分泌物对甘野菊种子萌发的影响
Fig.7 Effects of root exudates from the *Thymus vulgaris* on the germination of seeds Of *Chrysanthemum boreale* Makino

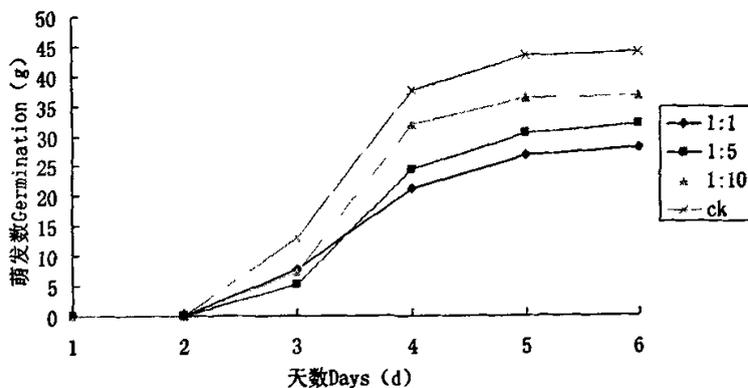


图8 百里香根分泌物对婆婆纳种子萌发的影响
Fig.7 Effects of root exudates from the *Thymus vulgaris* on the germination of seeds Of *Veronica didyma* Tenore

从表 2, 图 5、6、7、8 看出, 百里香根分泌物三种浓度均显著抑制千叶蓍、甘野菊和婆婆纳种子萌发, 其中千叶蓍和婆婆纳处理与对照差异较为显著, 但对萝卜种子抑制效果不明显。浓度 1:1 时抑制效果均最强, 各种子总萌发率分别为: 萝卜 88.7%, 千叶蓍 64.0%, 甘野菊 42.7%, 婆婆纳 56.0%; 萌发速度指数分别为: 萝卜 842.0, 千叶蓍 574.7, 甘野菊 278.7, 婆婆纳 352.0。浓度 1:10 时, 对植物种子萌发抑制效果最弱, 各种子总萌发率分别为: 萝卜 94.7%, 千叶蓍 76.7%, 甘野菊 61.3%, 婆婆纳 73.3%; 萌发速度指数分别为: 萝卜 883.3, 千叶蓍 694.7, 甘野菊 364.0, 婆婆纳 469.3。

根分泌物对四种受试植物种子萌发的抑制效果均随浓度增高而加强, 降低而减弱。

4.1.3 挥发物处理

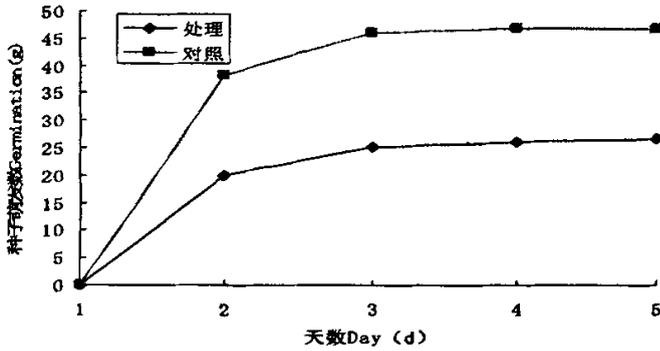


图9 百里香挥发物对萝卜种子萌发的影响

Fig.9 Effects of volatile from the *Thymus vulgaris* on the germination of seeds Of *R. sativus* L

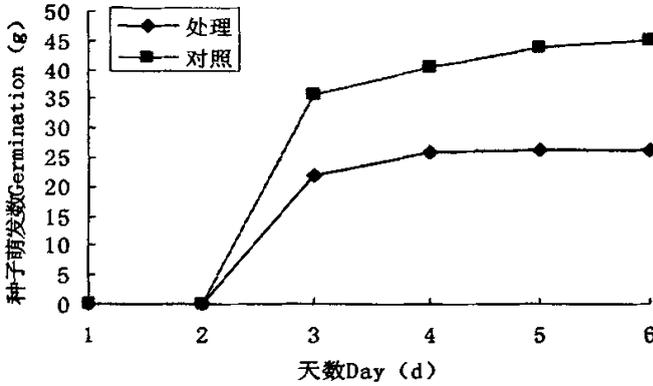


图10 百里香挥发物对千叶蓍种子萌发的影响

Fig.10 Effects of volatile from the *Thymus vulgaris* on the germination of seeds Of *Achillea millefolium*

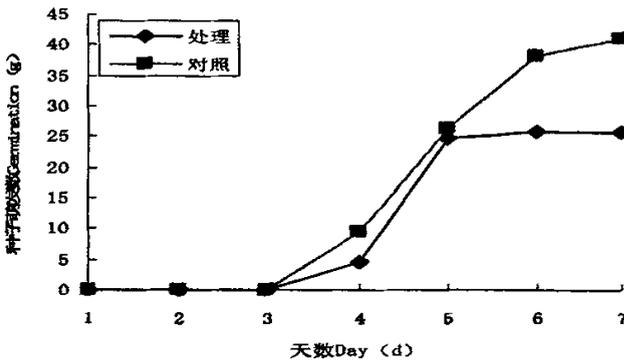


图11 百里香挥发物对甘野菊种子萌发的影响

Fig.11 Effects of volatile from the *Thymus vulgaris* on the germination of seeds Of *Chrysanthemum boreale* Makino

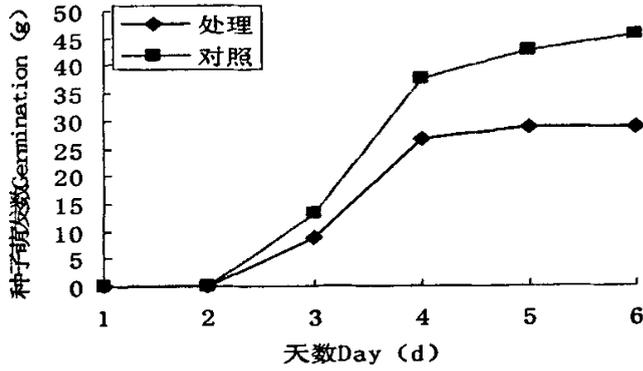


图 12 百里香挥发物对婆婆纳种子萌发的影响

Fig.12 Effects of volatile from the *Thymus vulgaris* on the germination of seeds Of *Veronica didyma* Tenore

从表 3, 图 9、10、11、12 看出, 百里香挥发物对四种受试植物种子的萌发速度和总萌发率均产生了抑制作用, 处理与对照差异显著。萝卜、千叶蓍、甘野菊、婆婆纳的萌发速度与对照相比分别为 54%、62%、73%、68%; 萝卜、千叶蓍、甘野菊、婆婆纳总萌发率与对照相比分别为 57%、60%、63%、63%。

表 1 百里香茎、叶水浸液对四种受试植物种子萌发的影响
Table 1 Effects of aqueous leachates from the *Thymus vulgaris* on the germination of seeds of the four receptor plants

项目	萝卜			千叶薯			甘野菊			婆婆纳		
	总萌发率(%)	萌发速度指数 I	萌发速度指数 I	总萌发率(%)	萌发速度指数 I	萌发速度指数 I	总萌发率(%)	萌发速度指数 I	萌发速度指数 I	总萌发率(%)	萌发速度指数 I	萌发速度指数 I
A	55.0±1.0cC	496.0±18.1cC	68.0±4.1cC	60.0±1.8cB	588.7±18.7cB	367.3±16.8aA	67.0±1.3bB	440.5±25.9bB	440.5±25.9bB	67.0±1.3bB	440.5±25.9bB	440.5±25.9bB
B	58.0±2.1cC	501.3±8.7cC	73.3±4.6bcBC	51.3±1.6cB	689.3±4.4bA	346.0±35.1aA	70.0±2.0bB	464.0±29.5bB	464.0±29.5bB	70.0±2.0bB	464.0±29.5bB	464.0±29.5bB
C	57.3±7.0cC	515.3±29.6cC	76.7±5.7bcBC	66.0±4.7abAB	718.7±27.9abA	407.3±34.8aA	78.0±9.0aA	552.0±15.1aA	552.0±15.1aA	78.0±9.0aA	552.0±15.1aA	552.0±15.1aA
D	73.5±2.8bB	704.0±8.7bB	75.0±2.8bB	62.0±3.0bcAB	686.7±24.1bA	354.0±35.6aA	84.5±3.0aA	548.0±24.3aA	548.0±24.3aA	84.5±3.0aA	548.0±24.3aA	548.0±24.3aA
CK	94.7±2.9aA	862.0±11.4aA	91.3±2.7aA	71.3±2.6aA	785.3±23.4aA	439.3±46.7aA	88.0±3.0aA	591.3±13.9aA	591.3±13.9aA	88.0±3.0aA	591.3±13.9aA	591.3±13.9aA

注: A、水浸液浓度 1:1; B、水浸液浓度 1:5; C、水浸液浓度 1:10; D、水浸液浓度 1:15; CK、对照; 不同小写字母的处理间差异显著 (P < 0.05); 不同大写字母的处理间差异极显著 (P < 0.01)

表 2 百里香根分泌物对四种受试植物种子萌发的影响
Table 2 Effects of root exudates from the *Thymus vulgaris* on the germination of seeds of the four receptor plants

项目	萝卜			千叶薯			甘野菊			婆婆纳		
	总萌发率(%)	萌发速度指数 I	萌发速度指数 I	总萌发率(%)	萌发速度指数 I	萌发速度指数 I	总萌发率(%)	萌发速度指数 I	萌发速度指数 I	总萌发率(%)	萌发速度指数 I	萌发速度指数 I
A	88.67±0.40 aA	842.00±29.00 aA	64.00±0.03 cB	42.67±0.05cB	574.66±21.45cC	278.67±25.33bB	56.00±0.01cC	352.00±5.00cC	352.00±5.00cC	56.00±0.01cC	352.00±5.00cC	352.00±5.00cC
B	90.67±0.21 aA	838.67±29.69 aA	65.33±0.02 cB	52.67±0.06bcAB	602.00±11.01cCB	338.67±18.99bAB	64.00±0.11cBC	374.00±2.00cC	374.00±2.00cC	64.00±0.11cBC	374.00±2.00cC	374.00±2.00cC
C	94.67±0.11 aA	883.33±15.33 aA	76.67±0.04 bB	61.33±0.02abAB	694.67±23.84bAB	364.00±13.32abAB	73.33±0.02bB	469.33±8.33bB	469.33±8.33bB	73.33±0.02bB	469.33±8.33bB	469.33±8.33bB
CK	94.67±0.01 aA	862.00±11.37aA	91.33±0.03aA	71.33±0.03aA	785.33±23.39aA	439.33±46.67aA	88.00±0.03aA	591.33±13.97aA	591.33±13.97aA	88.00±0.03aA	591.33±13.97aA	591.33±13.97aA

注: A、根分泌物浓度 1:1; B、根分泌物浓度 1:5; C、根分泌物浓度 1:10; CK、对照; 差异标记同表 1

表 3 百里香挥发物对四种受试植物种子萌发的影响
Table 3 Effects of volatile from the *Thymus vulgaris* on the germination of seeds of the four receptor plants

项目	萝卜			千叶薯			甘野菊			婆婆纳		
	总萌发率(%)	萌发速度指数 I	萌发速度指数 I	总萌发率(%)	萌发速度指数 I	萌发速度指数 I	总萌发率(%)	萌发速度指数 I	萌发速度指数 I	总萌发率(%)	萌发速度指数 I	萌发速度指数 I
处理	53.3±1.3b	469.33±12.71b	54.0±2.0b	51.3±2.4b	490.00±15.01b	339.33±9.40b	57.3±1.7b	401.33±18.66b	401.33±18.66b	57.3±1.7b	401.33±18.66b	401.33±18.66b
CK	94.00±2.0a	864.66±21.30a	90.6±2.9a	82.0±2.3a	796.00±20.23a	466.66± 20.95a	91.3±2.9a	592.00±8.71a	592.00±8.71a	91.3±2.9a	592.00±8.71a	592.00±8.71a

注: 差异标记同表 1

4.1.4 同一处理对不同植物种子萌发影响比较

因各种植物种子萌发特性不同,比较水浸液对各个植物间最强抑制效果中萌发率、速度指数与对照的比值的差异,可以整体反映水浸液对不同植物抑制效果的差别。比值越小,说明受抑制效果越强。

4.1.4.1 茎、叶水浸液处理

表 4 最强抑制效果之间比较

Table 4 Comparison among the strongest effect on inhibition of aqueous leachates from the *Thymus vulgaris*

名称	处理 AG/对照 G (%)	处理 AI/对照 I
萝卜	58.5	57.5
千叶蓍	74.7	74.9
甘野菊	84.5	83.5
婆婆纳	76.1	74.4

注:处理 AG:水浸液浓度 1:1 时的总萌发率;处理 AI:水浸液浓度 1:1 时的萌发速度指数

如表 4 所示,萝卜作为指示植物,对水浸液处理反应最为敏感,最终萌发率比值(58.5%)与萌发速度指数比值(57.5%)均最小,受抑制程度最高;甘野菊受水浸液抑制程度最低。千叶蓍与婆婆纳受抑制程度差异不显著,千叶蓍受抑制程度高于婆婆纳。

因此,四种植物萌发受抑制程度由高到低为:萝卜、千叶蓍、婆婆纳、甘野菊。

4.1.4.2 根分泌物处理

表 5 最强抑制效果之间比较

Table 5 Comparison among the strongest effect on inhibition of root exudates from the *Thymus vulgaris*

名称	处理 AG/对照 G (%)	处理 AI/对照 I
萝卜	93.6	97.7
千叶蓍	70.3	73.1
甘野菊	59.1	63.3
婆婆纳	63.6	59.6

注:处理 AG:根分泌物浓度 1:1 时的总萌发率;处理 AI:根分泌物浓度 1:1 时的萌发速度指数

如表 5 所示,甘野菊总萌发率受根分泌物抑制最强,为 59.1%;萝卜受抑制最弱,为 93.6%。婆婆纳萌发速度受抑制最强,为 59.6%;萝卜受抑制最弱,为 97.7%。

因此,四种植物总萌发率受百里香根分泌物抑制程度由高到低为:甘野菊、婆婆纳、千叶蓍、萝卜;萌发速度受抑制程度由高到低为:婆婆纳、甘野菊、千叶蓍、萝卜。

4.1.4.3 挥发物处理

表 6 百里香挥发物对不同植物种子萌发的影响比较

Table 6 Comparison among the effects of volatile from the *Thymus vulgaris* on different receptor plants

名称	处理 AG/对照 G (%)	处理 AI/对照 I
萝卜	56.7	54.2
千叶薯	59.6	61.6
甘野菊	62.6	72.7
婆婆纳	62.8	67.8

注：萌发率比值：处理总萌发率/对照总萌发率；萌发速度指数比值：处理萌发速度指数/对照萌发速度指数

由表 6 看出，百里香挥发物均抑制四种植物种子萌发，但总萌发率受抑制程度差异不显著，萝卜受抑制最强，为 56.7%，甘野菊和婆婆纳受抑制较弱，分别为 62.6% 和 62.8%。但各植物萌发速度受抑制影响差异较大。萝卜受抑制最强，为 54.2%，甘野菊最弱，为 72.7%。

四种植物种子萌发受抑制程度由强到弱顺序为：萝卜、千叶薯、甘野菊、婆婆纳；萌发速度受抑制程度由强到弱顺序为：萝卜、千叶薯、婆婆纳、甘野菊。

4.2 对受试植物幼苗生长的影响

4.2.1 茎、叶水浸液处理

如表 7 所示，水浸液四种浓度对不同的受试植物幼苗生长影响不同，对同一植物不同部位生长影响也不同。各植物幼苗生长受影响如下：

萝卜：苗高受促进，处理与对照差异极显著；根长受抑制，处理与对照差异显著；鲜重与干重均在浓度为 1:1 和 1:15 时受促进，在浓度 1:5 和 1:10 时受到抑制。

苗高化感效应差异显著，浓度 1:1 时促进效应最强，为 0.21；浓度为 1:10 时促进效应最弱，为 0.16。根长化感效应差异各处理间差异显著，浓度 1:10 时抑制效应最强，为 -0.15，浓度 1:15 时抑制效应最弱，为 -0.02。

当对苗高的促进效应大于对根长的抑制效应时，鲜重和干重也显著大于对照。当促进效应接近或小于抑制效应时，鲜重与干重大于对照，其中鲜重与对照差异显著。因此，水浸液高浓度下，萝卜幼苗受抑制，低浓度反而受促进。

千叶薯：幼苗生长受促进。苗高、根长、鲜重都显著高于对照，干重，处理与对照差异极显著。

从化感效应指数 RI 可看出，根长受促进强程度高于苗高。苗高所受化感效应随浓度增高而加强，降低而减弱。苗高受到的促进作用最强是在浓度 1:1 时，RI 为 0.38；

最弱在浓度 1:15 时, RI 为 0.13。而根长所受到的化感效应则随着水浸液浓度降低而增强。浓度 1:15 时, 根长受促进作用最强, RI 为 0.63; 浓度 1:1 时, 根长受促进作用最弱, RI 为 0.31。

甘野菊: 根长、鲜重、干重受抑制; 苗高在浓度 1:1 和 1:5 时受到抑制, 在浓度 1:10 和 1:15 时受到促进, 但处理与对照以及处理间差异不显著。苗高、根长与鲜重, 均在浓度 1:1、1:5、1:10 时处理与对照差异显著, 浓度 1:15 则差异不显著。就干重而言, 处理与对照差异不显著。

根所受到抑制效应大于苗高。水浸液浓度由高变低时, 对苗高抑制生长也转为促进生长。而根长受抑制程度随着浓度降低而减弱, 其中浓度 1:1 时, 抑制最强, RI 为-0.61; 浓度 1:15 时, 抑制最弱, RI 为-0.16。

苗高, 根长在水浸液不同浓度下大多时候受到抑制, 即使苗高受到促进, 根也受到强烈抑制, 表现在鲜重与干重处理均低与对照。因此, 总体上水浸液抑制甘野菊幼苗生长。

婆婆纳: 幼苗生长受不明显抑制, 就苗高而言, 处理与对照间差异不显著。就根长而言, 浓度 1:1 时, 处理与对照间差异极显著, 其他三处理与对照差异不显著。就鲜重与干重而言, 处理与对照间差异显著, 其中鲜重在浓度 1:10 时, 处理与对照差异达极显著。

苗高受到抑制作用强于根长。苗高在浓度 1:1 时受抑制最强, RI 为-0.49; 在 1:10 时受抑制最弱, RI 为-0.13。根长在浓度 1:1 时受抑制最强, RI 为-0.47; 在 1:5 和 1:10 时都弱, RI 为 0.01。

由此可见, 萝卜在水浸液最高和最低浓度时受促进, 中间浓度受抑制; 水浸液四种浓度均促进千叶蓍幼苗生长, 但抑制甘野菊和婆婆纳。

4.2.2 根分泌物处理

如表 8 所示, 百里香根分泌物对不同受试植物的化感作用不同, 对植物幼苗生长的不同部位影响液也不同。各植物幼苗生长受影响如下:

萝卜: 幼苗生长受抑制。苗高, 浓度 1:5 时处理与对照间差异极显著, 其他两个处理与对照差异不显著。根长、鲜重与干重, 处理与对照差异达极显著。

根长受抑制程度高于苗高。苗高和根长均在浓度 1:5 时受抑制最强, RI 为分别为 -0.11 和-0.28; 苗高在 1:10 时受抑制最弱, RI 为-0.03, 而根长在 1:1 时最弱, RI 为-0.21。

千叶薯：苗高在浓度为 1:1 时受促进，与对照差异极显著，其他两处理则抑制苗高生长，但与对照差异不显著。根长受促进，处理与对照差异达极显著；鲜重、干重略重于对照，但差异不明显。

根长受到的化感效应强于对苗高。根长在浓度 1:1 时受促进作用最强，RI 为 0.45；在 1:10 时最弱，RI 为 0.29。

苗高受到抑制，根长受促进，虽然根长受促进的强度大于苗高受抑制的强度，鲜重与干重处理与对照差异不显著。因此，总体上讲根分泌物促进千叶薯幼苗生长，促进效果并不明显。

甘野菊：浓度为 1:1 时抑制甘野菊苗高生长，处理与对照差异显著，其他两处理为促进作用，与对照差异不显著；三种浓度均促进根生长，处理与对照差异达显著；就鲜重、干重而言，处理小于对照，但差异不显著。

根长所受的化感效应强于苗高。随浓度降低，苗高由受抑制变为受促进。浓度 1:10 时苗高受促进作用强于 1:15。根长在浓度 1:1 时抑制作用最强，RI 为-0.32；在 1:10 时最弱，RI 为-0.25。

苗高在高浓度受促进，低浓度受抑制；根长、鲜重和干重受抑制，但差异都不显著。因此，总体上，根分泌物轻微抑制甘野菊幼苗生长，抑制效果并不明显。

婆婆纳：幼苗生长受抑制，处理与对照差异显著。

根长所受的化感效应强于对苗高。根分泌物浓度 1:5 时对苗高抑制作用最强，RI 为-0.33；浓度 1:10 时，对苗高抑制作用最弱，RI 为-0.01，但处理间差异不显著。根分泌物浓度 1:10 时，抑制根生长最强，RI 为-0.44；在 1:1 时最弱，RI 为-0.40，但处理间差异同样不显著。

由此可见，根分泌物对四种植物幼苗生长的影响中，萝卜、甘野菊、婆婆纳受抑制，千叶薯受促进。其中千叶薯、甘野菊受到的化感影响并不明显。

4.2.3 挥发物处理

如表 9 所示，百里香挥发物抑制萝卜、甘野菊、婆婆纳幼苗生长，促进千叶薯幼苗生长，处理与对照差异显著。

Table 7 Effects of aqueous leachates from the *Thymus vulgaris* on the growth of seedling of the four receptor plants

植物名称	项目	苗高(mm)	苗高 RI	根长(mm)	根长 RI	鲜重(g)	干重(g)
萝卜	A	80.7±1.0aA	0.21±0.01aA	71.5±1.2bB	-0.11±0.02bB	0.0411±0.0000bB	0.0259±0.0012bB
	B	73.3±0.8bBC	0.14±0.01bAB	70.3±0.9cbB	-0.13±0.01bcB	0.0342±0.0012cC	0.0178±0.0001cCD
	C	68.0±1.5cDC	0.07±0.02cA	68.3±0.9cB	-0.15±0.01cB	0.0314±0.0013dD	0.0171±0.0000dC
	D	75.3±3.0bAB	0.16±0.02bA	79.00±0.6aA	-0.02±0.01aA	0.0644±0.0015aA	0.0330±0.0002aA
	CK	63.3±3.0dD		81.00±0.6aA		0.0406±0.0022bB	0.0194±0.0003cC
千叶薯	A	20.7±1.2aA	0.38±0.04aA	38.0±1.7cC	0.31±0.03cC	0.0063±0.0000cbB	0.0025±0.00051bB
	B	20.3±0.8aAB	0.37±0.03aA	44.7±0.8bB	0.42±0.01bB	0.0117±0.0015aA	0.0028±0.0000aA
	C	17.0±0.6bBC	0.25±0.03bAB	46.7±0.7bB	0.44±0.08bB	0.0079±0.0000bB	0.0019±0.0000cB
	D	14.7±0.3bcC	0.13±0.02cB	69.3±0.9aA	0.63±0.00aA	0.0078±0.0001cB	0.0013±0.0000dC
	CK	12.7±0.3cD		26.0±2.1dD		0.0083±0.0001bcB	0.0014±0.0001eD
甘野菊	A	12.7±0.9cC	-0.33±0.05	19.7±0.9cC	-0.61±0.02bB	0.0033±0.0001cC	0.0012±0.0001aA
	B	15.0±1.2cC	-0.21±0.06	19.6±1.8cC	-0.61±0.04bB	0.0057±0.0001bB	0.0015±0.0002aA
	C	23.0±1.0aA	0.17±0.04	39.7±2.4bB	-0.21±0.05aA	0.0045±0.0000bB	0.0021±0.0003aA
	D	21.0±0.6bA	0.09±0.03	42.0±0.6bAB	-0.16±0.01aA	0.0062±0.0001aA	0.0028±0.0002aA
	CK	19.0±1.2bAB		50.3±2.9aA		0.0064±0.0013aA	0.0037±0.0001aA
婆婆纳	A	6.7±0.3aA	-0.49±0.03bB	18.3±0.6bB	-0.49±0.03bB	0.0040±0.0000abAB	0.0011±0.00004aA
	B	9.7±0.9aA	-0.26±0.07aAB	35.0±0.6aA	-0.26±0.07aAB	0.0046±0.0000aA	0.0012±0.0002abA
	C	11.3±0.9aA	-0.13±0.07aA	34.7±0.3aA	-0.13±0.07aA	0.0037±0.0000cC	0.0011±0.0000cBC
	D	11.0±0.6aA	-0.15±0.04aA	36.0±0.6aA	-0.15±0.04aA	0.0032±0.0002bBC	0.0018±0.0001dC
	CK	13.0±0.6aA		34.7±0.6aA		0.0030±0.0001bAB	0.0012±0.0001bcAB

注: RI为化感效应指数;其他同表1

表 8 百里香根分泌物对四种受试植物幼苗生长的影响
 Table 8 Effects of root exudates from the *Thymus vulgaris* on the growth of seedling of the four receptor plants

植物名称	项目	苗高(mm)	苗高 RI	根长(mm)	根长 RI	鲜重(g)	干重(g)
萝卜	A	60.3±1.2abAB	-0.05±0.02aA	63.7±0.9bB	-0.21±0.01aA	0.0282±0.0012bBC	0.0169±0.0001bB
	B	56.7±0.9bB	-0.11±0.02bA	58.7±0.3cC	-0.28±0.00bB	0.0025±0.0004cC	0.0104±0.0001cC
	C	61.7±0.9aAB	-0.02±0.01aA	60.0±0.6cC	-0.26±0.01bB	0.0030±0.0002bB	0.0122±0.0003bB
	CK	63.3±1.7aA		81.0±0.5aA		0.0040±0.0002aA	0.0190±0.0001aA
千叶薯	A	17.3±1.2aA	0.26±0.01	47.3±0.7aA	0.45±0.01aA	0.0082±0.0000aA	0.0015±0.0001aA
	B	11.0±0.5bB	-0.13±0.05	39.3±0.7bB	0.34±0.01bB	0.0080±0.0000aA	0.0010±0.0000bB
	C	11.7±0.7bB	-0.08±0.05	36.7±0.9bB	0.29±0.17cB	0.0081±0.0004aA	0.0010±0.0000bB
	CK	12.6±0.3bB		26.0±2.0cC		0.0081±0.0000aA	0.0009±0.0000bB
甘野菊	A	16.7±1.2bA	-0.12±0.06	34.0±4.6bA	-0.32±0.09aA	0.0045±0.0001bA	0.0018±0.0002aA
	B	19.7±1.5abA	0.03±0.12	43.0±3.0bA	-0.14±0.06aA	0.0059±0.0000aA	0.0025±0.0000aA
	C	21.0±0.6aA	0.09±0.04	37.3±2.0bA	-0.25±0.04aA	0.0059±0.0000aA	0.0016±0.0000aA
	CK	19.0±1.2abA		50.3±2.9aA		0.0064±0.0002aA	0.0076±0.0000aA
婆婆纳	A	10.7±0.9abAB	-0.18±0.07aA	21.0±0.5bB	-0.40±0.01aA	0.0029±0.0001bB	0.0005±0.0001cB
	B	8.7±1.2bB	-0.33±0.09aA	21.0±1.0bB	-0.40±0.03aA	0.0030±0.0000bB	0.0006±0.0001bcB
	C	11.7±0.3aAB	-0.10±0.02aA	19.7±0.9bB	-0.44±0.03aA	0.0033±0.0000aA	0.0006±0.0001bAB
	CK	13.0±0.5aA		34.7±0.7aA		0.0034±0.0000aA	0.0008±0.0001aA

注: RI 为化感效应指数; 其他同表 2

表 9 百里香挥发物对四种受试植物幼苗生长的影响
 Table 9 Effects of volatile from the *Thymus vulgaris* on the growth of seedling of the four receptor plants

植物名称	项目	苗高(mm)	苗高 RI	根长(mm)	根长 RI	鲜重(g)	干重(g)
萝卜	处理	51.1±0.5b	-0.22±0.01	46.8±0.9b	-0.42±0.01	0.0305±0.0012b	0.0146±0.0001b
	对照	66.2±1.2a		81.7±0.9a		0.0405±0.0002a	0.0190±0.0002a
千叶薯	处理	20.6±0.4a	0.34±0.01	36.6±0.9a	0.09±0.02	0.0084±0.0002a	0.0018±0.0001a
	对照	13.6±0.3b		33.0±0.8b		0.0081±0.0001b	0.0010±0.0001b
甘野菊	处理	11.6±0.3b	-0.36±0.02	20.1±0.6b	-0.36±0.02	0.0038±0.0001b	0.0038±0.0001a
	对照	18.2±0.6a		55.6±0.2a		0.0064±0.0002a	0.0064±0.0002b
婆婆纳	处理	7.0±0.1b	-0.47±0.01	18.3±0.6b	-0.47±0.02	0.0037±0.0002b	0.0008±0.0000a
	对照	13.4±0.3a		34.8±0.7a		0.0044±0.0001a	0.0011±0.0000b

注: RI 为化感效应指数

4.2.4 同一处理对不同植物幼苗生长影响比较

RI 反映化感作用效应，可以比较不同植物绝对值最大的 RI 来得出不同植物受化感作用的强弱的差异。

4.2.4.1 茎、叶水浸液处理

表 10 不同植物绝对值最大 RI 与整体化感影响比较

Table 10 Comparison between RI and effect of aqueous leachates from the *Thymus vulgaris* on the four receptor plants

名称	处理	苗高 RI	处理	根长 RI	效应
萝卜	A	0.21	C	-0.15	促进/抑制
千叶薯	A	0.38	D	0.63	促进
甘野菊	A	-0.33	A	-0.61	抑制
	C	0.17			
婆婆纳	A	-0.49	A	-0.47	抑制

注：A、C、D 均为水浸液不同浓度；RI 为化感效应指数。

由表 10 所示，多数情况下，浓度最大即 1:1 时，植物所受的化感作用最强。

水浸液对千叶薯幼苗生长促进，对甘野菊、婆婆纳幼苗生长抑制，对萝卜幼苗生长中对幼苗高起促进，对根长则抑制。从 RI 绝对值大小可以看出，苗高受化感影响由强到弱的顺序是：婆婆纳、千叶薯、甘野菊、萝卜；根长受化感影响由强到弱的顺序是：千叶薯、甘野菊、婆婆纳、萝卜。

4.2.4.2 根分泌物处理

表 11 不同植物绝对值最大 RI 与整体化感效应比较

Table 11 Comparison between RI and effect of root exudates from the *Thymus vulgaris* on the four receptor plants

名称	处理	苗高 RI	处理	根长 RI	效应
萝卜	B	-0.11	B	-0.28	抑制
千叶薯	A	0.26	A	0.45	促进
	B	-0.13			
甘野菊	A	-0.12	A	-0.32	抑制
	C	0.09			
婆婆纳	B	-0.33	C	-0.44	抑制

注：A、C、D 均为根分泌物不同浓度；RI 为化感效应指数

由表 11 所示，多数情况下，根分泌物浓度较大时，植物所受的化感作用较强。但并非最大浓度的化感效应最强。

根分泌物抑制萝卜、甘野菊和婆婆纳幼苗生长，略微促进千叶薯幼苗生长。从 RI 绝对值大小可以看出，苗高受化感影响由强到弱的顺序是：婆婆纳、千叶薯、甘野菊、萝卜；根长受化感影响由强到弱的顺序是：千叶薯、婆婆纳、甘野菊、萝卜。

4.2.4.3 挥发物处理

表 12 百里香挥发物对不同植物幼苗生长的影响比较
Table 12 Comparison between RI and effect of volatile from the *Thymus vulgaris* on the four receptor plants

名称	苗高 RI	根长 RI	效应
萝卜	-0.22	-0.42	抑制
千叶蓍	0.34	0.09	促进
甘野菊	-0.36	-0.36	抑制
婆婆纳	-0.47	-0.47	抑制

注：RI 为化感效应指数

百里香挥发物对四种植物幼苗生长的化感影响，差异显著。挥发物除促进千叶蓍苗高和根长外，对其他三种植物均为抑制。其中苗高抑制上，婆婆纳苗高受抑制程度最高，RI 为-0.47；萝卜受抑制最低，RI 为-0.22。根长抑制上，婆婆纳根长受抑制最高，RI 为-0.47；甘野菊受抑制最低，RI 为-0.36。

就整体化感效应强度而言，挥发物对婆婆纳幼苗生长整体化感最强。植物苗高受化感效应的由强到弱为：婆婆纳、甘野菊、千叶蓍、萝卜；根长受化感效应的由强到弱为：婆婆纳、甘野菊、萝卜、千叶蓍。

4.3 化感物质成分

4.3.1 茎、叶水浸液有机提取物不同组分成分

成分鉴定采用检索谱库 NIS798 与保留时间结合定性；面积归一法定量。

百里香水浸液有机提取物成分如表 13、14、15 所示。酸性成分信号最强，中性成分信号最弱（见图 13）。酸性、碱性和中性成分分别主要含有 11 种、10 种、9 种化学成分。三组成分相似，都主要含有百里酚和阿洛糖（质谱图见 14、15），但不同组分的这两种物质含量上有差别。其中酸性组分中百里酚和阿洛糖分别占总含量的 29.5%和 59.6%；碱性组分中，百里酚仅为 11.7%，而阿洛糖则占总量的 71.5%；中性组分中两物质含量分别为 29.5%和 56.6%。

表 13 酸性组分成分析结果

Table 13 Compounds analysis on Acid constituents aqueous leachates from the *Thymus vulgaris*

编号 No.	出峰时间 time	分子式 Molecular	分子量 Molecular weight	化合物名称 Compound	含量(%) Content
1	7.74	C10H18O	154	萜品醇(cis-Terpineol)	0.5
2	8.21	C10H18O	154	里纳醇(α -linalool)	1.5
3	8.95	C10H16O	152	(-)-Alcanfor	0.9
4	9.26	C10H18O	154	冰片(Borneol)	2.2
5	10.99	C10H18O	150	百里酚(Thymol)	29.5
6	11.41	C11H10	142	甲基萘(Methylnaphthalene)	0.3
7	12.64	C6H10O5	162	3,4-Altrosan	2.6
8	12.82	待定		待定	1.0
9	13.03	C16H12O4	268	anthraquinone1,8-dimethoxy-	1.5
10	14.69	C6H12O6	180	阿洛糖 (d-Allose)	59.6
11	16.45	C15H26O	222	Epizonarene	0.3

表 14 中性组分成分析结果

Table 14 Compounds analysis on Neutral constituents aqueous leachates from the *Thymus vulgaris*

编号 No.	出峰时间 time	分子式 Molecular	分子量 Molecular weight	化合物名称 Compound	含量(%) Content
1	7.75	C10H18O	154	萜品醇(cis-Terpineol)	1.9
2	8.95	C10H16O	152	(-)-Alcanfor	1.8
3	9.27	C10H18O	154	冰片(Borneol)	3.9
4	11.17	C10H14O	150	百里酚(Thymol)	29.5
5	13.91	C6H12O6	180	阿洛糖? (d-Allose)	4.8
6	14.47	C6H12O6	180	阿洛糖 (d-Allose)	56.6
7	15.7	C4H8O2	88	Ethyl Acetate	7.8
8	16.48	C15H26O	222	.tau.-Cadinol	0.4
9	18.46	O2	32	Oxygen	0.3

表 15 碱性组分成分析结果

Table 15 Compounds analysis on Alkaline constituents aqueous leachates from the *Thymus vulgaris*

编号 No.	出峰时间 time	分子式 Molecular	分子量 Molecular weight	化合物名称 Compound	含量(%) Content
1	7.76	C10H18O	154	萜品醇(cis-Terpineol)	0.8
2	8.26	C10H18O	154	里纳醇(α -linalool)	0.2
3	8.96	C10H16O	152	(-)-Alcanfor	0.8
4	9.26	C10H18O	154	冰片(Borneol)	1.9
5	11.08	C10H14O	150	百里酚(Thymol)	11.7
6	12.9	C7H16Osi	144	(2-Methyl-but-3-enyl-2-oxy)-dimethyl-silance	4.3
7	13.86	C6H12O6	180	阿洛糖? (d-Allose)	8.4
8	14.69	C6H12O6	180	阿洛糖 (d-Allose)	71.5
9	16.46	C15H26O	222	.tau.-Cadinol	0.3
10	20.02	C16H22O4	278	Phthalic acid,diisobutyl ester	0.1

EI GC-MS 分析 \My-hw-by\070403-Iky-hw-fs-1

2007-4-3 16:54:44

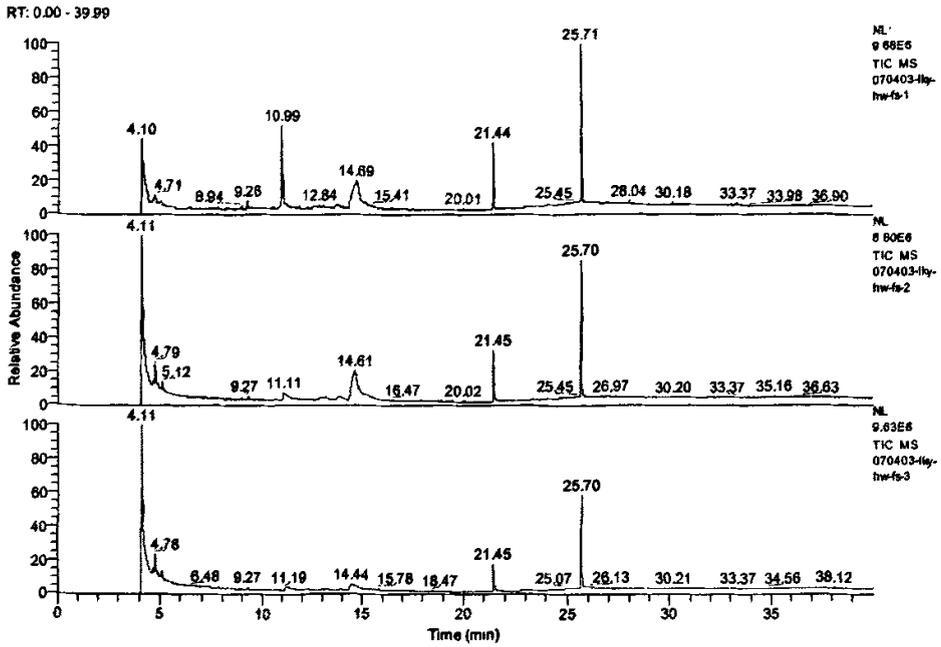


图 13 酸性, 碱性, 中性提取物气相色谱图

Fig.13 GC-MS of Acid, Alkaline and Neutral constituents of aqueous leachates from the *Thymus vulgaris*

EI GC-MS 分析 \My-hw-by\070403-Iky-hw-fs-1

2007-4-3 16:54:44

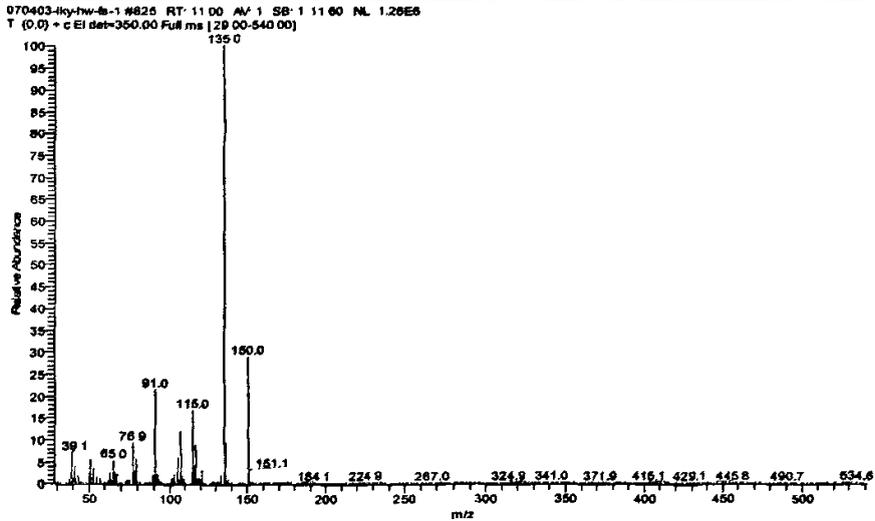


图 14 水浸液组分保留时间为 11.0min 的质谱图

Fig.14 GC-MS of Compounds of aqueous leachates from the *Thymus vulgaris* retained for 11.0 minutes

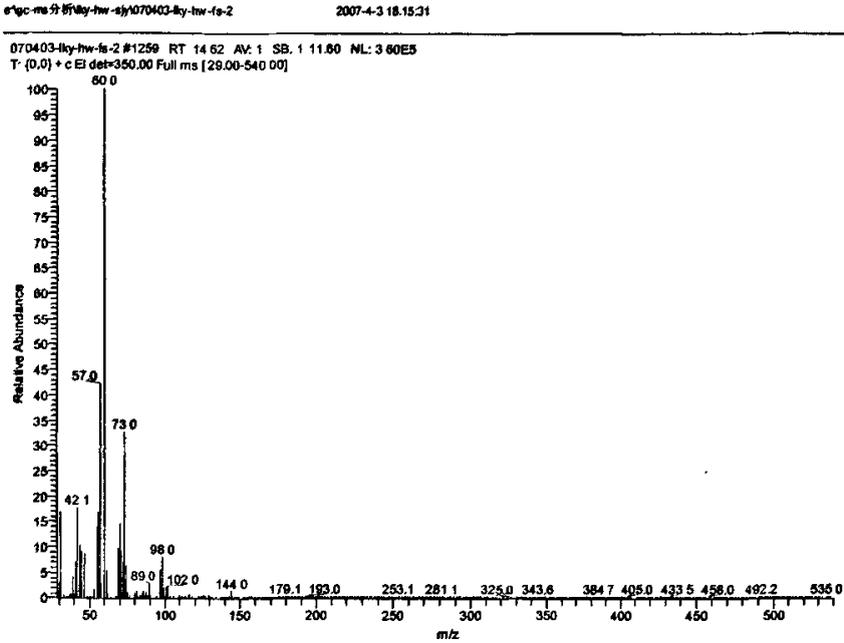


图 15 水浸液组分保留时间为 14.62min 的质谱图

Fig.15 GC-MS of compounds of aqueous leachates from the *Thymus vulgaris* retained for 14.62 minutes

4.3.2 根分泌物有机提取物成分

成分鉴定采用检索谱库 NIS798 与保留时间结合定性；面积归一定量。二氯甲烷提取根分泌物组分的结果信号微弱，明显的含有出峰时间为 5.48min 和 7.82min (见图 16、17) 这两个化合物。百里香根分泌物二氯甲烷提取物成份如表 16 所示。

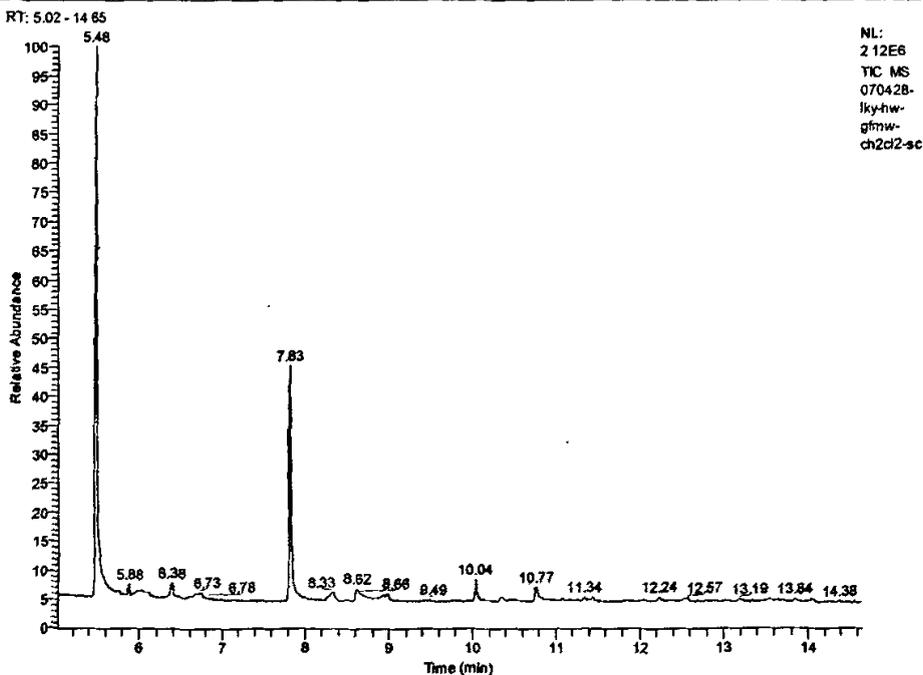
表 16 百里香二氯甲烷提取根分泌物组分分析结果

Table 16 Analysis on the compounds of root exudates from the *Thymus vulgaris*

编号	出峰时间	分子式	分子量	化合物名称	含量(%)
No.	time	Molecular	Molecular weight	Compound	Content
1	5.48	C ₈ H ₉ NO ₂	151	月亏,甲氧基-苯基 Oxime-,methoxy-phenyl-	0.7
2	7.82	C ₆ H ₁₈ O ₃ Si ₃	222	Dimethylsiloxane cyclic trimer	0.3

070428-lky-hw-gfmw-ch2cl2-sc

2007-4-28 14:28:22



NL:
2 12E6
TIC MS
070428-
lky-hw-
gfmw-
ch2cl2-sc

图 16 二氯甲烷提取根分泌物组分气相色谱图

Fig.16 GC-MS of compounds of root exudates from the *Thymus vulgaris*

070428-lky-hw-gfmw-ch2cl2-sc

2007-4-28 14:28:22

070428-lky-hw-gfmw-ch2cl2-sc#458 RT: 7.82 Av: 1 S8: 2 776,7.89 NL: 2.41E5
T: [0.0] + c EI det=350.00 Full ms [28.00-540.00]

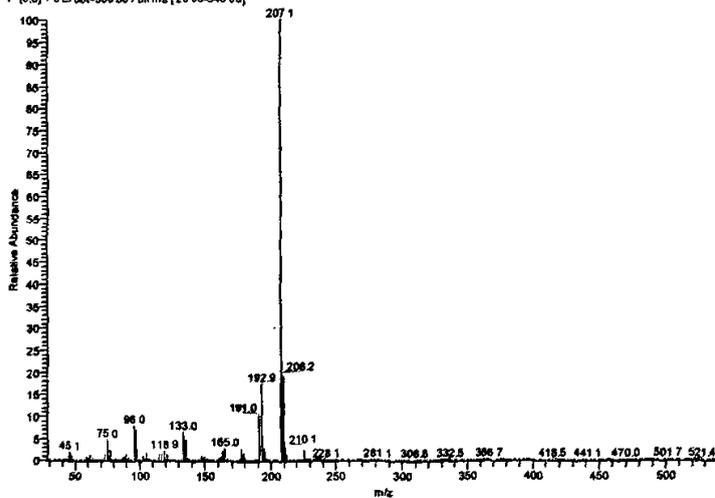


图 17 二氯甲烷提取根分泌物组分保留时间为 7.82min 的质谱图

Fig.17 GC-MS of compounds of root exudates from the *Thymus vulgaris* retained at 7.82 minite

4.3.3 百里香挥发物成分

百里香挥发物组分分析结果见表 17。

百里香挥发物共分离出 25 个峰 (见图 18), 分析鉴定了 23 种成分。其中主要成分有三种: 萜品烯、茴香醚和己烯醛 (见图 19, 20, 21), 含量分别为 28.3%、16.7% 和 15.3%。从化合物类型来看, 挥发物所含的成分主要为烯类、醇类、醛类、酚类。

表 17 百里香挥发物组分分析结果
Table 17 Analysis on compounds of volatile from the *Thymus vulgaris*

编号	出峰时间	分子式	分子量	化合物名称	含量 (%)
No.	time	Molecular	Molecular weight	Compound	Content
1	11.54	C ₆ H ₁₀ O	98	3-己烯醛(cis-3-Hexenal)	15.3
2	16.20	C ₆ H ₁₂ O	100	3-己烯醇(3-Hexenal-1-ol(c,t))	2.1
3	14.40	C ₁₀ H ₁₆	136	Bicyclo[3.1.0]hexane,4-methyl-1-(1-methylethyl)-, didehydro deriv	1.4
4	14.65	C ₁₀ H ₁₆	136	1R-蒎烯(1R-Pinene)	0.7
5	15.04	C ₁₀ H ₁₆	136	茨烯(Camphene)	0.5
6	15.24	C ₈ H ₁₆ O	128	戊稀乙稀基甲醇(Amyl vinyl carbinol)	5.1
7	15.42	C ₁₀ H ₁₆	136	月桂烯(Myrcene)	2.9
8	15.53	C ₈ H ₁₈ O	130	正辛酸醇(n-Octanol-3-ol)	0.3
9	16.09	C ₁₀ H ₁₆	136	2-萜烯(2-Carene)	2.0
10	16.20	C ₁₀ H ₁₄	134	系散花烃(o-Cymene)	3.8
11	16.72	C ₁₀ H ₁₆	136	萜品烯(Terpinen)	28.3
12	16.97	C ₁₀ H ₁₈ O	154	萜品醇(Terpineol,Z- α)	2.0
13	17.22	C ₁₀ H ₁₈ O	154	里纳醇(α -linalool)	0.9
14	17.46	C ₁₀ H ₁₈ O	154	顺式萜品醇(cis-Terpineol)	1.5
15	18.61	C ₁₀ H ₁₈ O	154	冰片(Borneol,(1S,2R,4S)-(-))	2.8
16	19.01	C ₁₁ H ₁₆ O	164	茴香醚(Anisole,2-isopropyl-5-methyl)	16.7
17	19.16	C ₁₁ H ₁₆ O	164	Benzene,1-methoxy-4-methyl-2-(1-methylethyl)-	5.7
18	19.50	C ₇ H ₁₁ NS	141	Cyclohexyl isothiocyanate	0.3
19	19.73	C ₁₀ H ₁₄ O	140	百里酚(Thymol)	2.3
20	22.11	C ₁₅ H ₂₄	204	葑澄茄油烯(Cubebene)	1.9
21	22.22	C ₁₅ H ₂₄	204	Cyclohexene,1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hrxyenyl)-,(S)-	3.4
22	22.26	C ₁₅ H ₂₄	204	待定	0.2
23	22.47	C ₁₅ H ₂₄	204	石竹烯(Caryophyllene)	0.9

GC-MS分析挥发物070420-iky-hw-pil-blk-p

2007-4-20 11:49:50

RT: 9.68 - 25.87

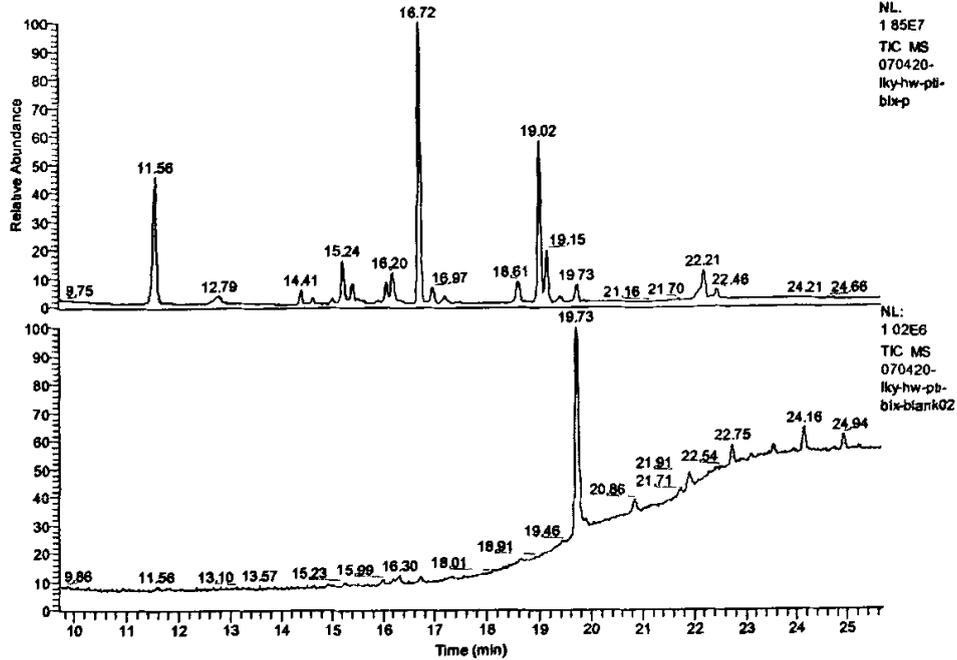


图 18 百里香挥发物成分气相色谱图(上为挥发物成分, 下为本底)

Fig.18 GC-MS of volatile from the *Thymus vulgaris* (compounds above, original below)

GC-MS分析挥发物070420-iky-hw-pil-blk-p

2007-4-20 11:49:50

070420-iky-hw-pil-blk-p #785 RT: 11.55 Av: 1 NL: 2 08E6
T. (0.0) + c EI det=350.00 Full ms [15.00-540.00]

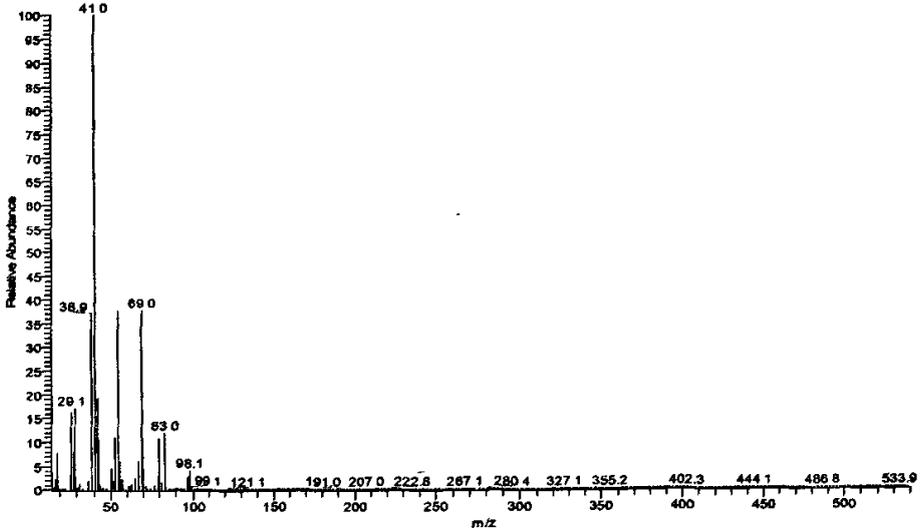


图 19 百里香挥发物保留时间为 11.54min 的成分质谱

Fig.19 GC-MS of volatile from the *Thymus vulgaris* retained for 11.54 minutes

EIGC-MS分析挥发物070420-ky-hw-pl-blx-p

2007-4-20 11:49:50

070420-ky-hw-pl-blx-p #1406 RT: 16.73 AV: 1 NL: 3.48E6
T: (0.0) + c EI det=350.00 Full ms [15.00-540.00]

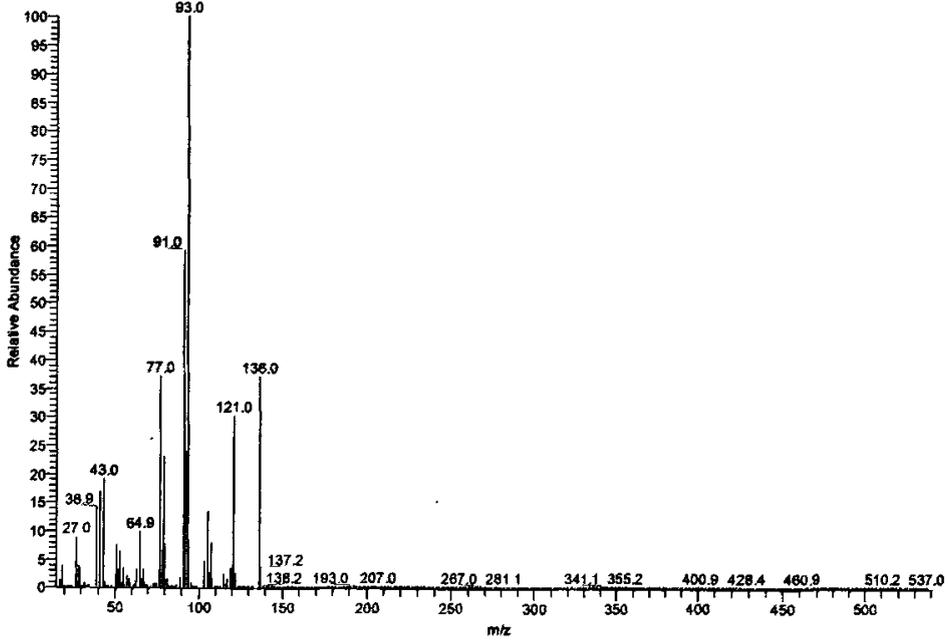


图 20 百里香挥发物保留时间为 16.73min 的成分质谱图

Fig.20 GC-MS of volatile from the *Thymus vulgaris* retained for 16.73 minutes

EIGC-MS分析挥发物070420-ky-hw-pl-blx-p

2007-4-20 11:49:50

070420-ky-hw-pl-blx-p #1860 RT: 19.01 AV: 1 NL: 3.23E6
T: (0.0) + c EI det=350.00 Full ms [15.00-540.00]

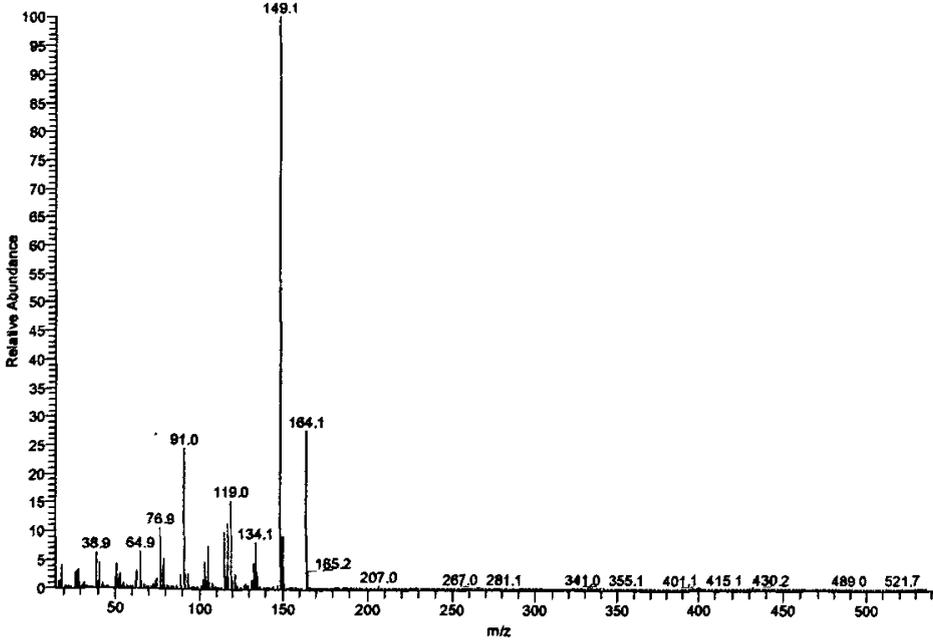


图 21 百里香挥发物保留时间为 19.01min 的成分质谱图

Fig.21 GC-MS of volatile from the *Thymus vulgaris* retained for 19.01 minutes

5 结论与讨论

5.1 结论

植物的化感作用广泛存在于自然界中,在优势种的形成、群落演替、植物恢复中有着重要的作用。植物通过释放次生代谢化合物而产生相互作用,以保护自己有利的生态环境。萜类、酚类等化合物广泛存在于高等植物中,当这些物质进入环境后会对其他植物产生化感作用。

百里香,它在自然界中种群数量大,常形成优势植被。全株芳香,耐践踏,是即将开发应用的优良园林地被植物。

本论文模拟雨水淋溶、根分泌途径制取茎、液水浸液和收集根分泌物,通过室内生物测定的方法研究了百里香茎、叶水浸液、根分泌物和挥发物的化感作用;用 GC-MS 对化感物质有机提取物组分进行了初步鉴定,为科学开发百里香资源,合理配置植物提供一定理论依据。

5.1.1 百里香化感作用途径

百里香对其他植物产生化感作用的途径有:茎叶淋溶、根分泌和挥发物。其中茎叶淋溶和挥发物产生的化感作用最为强烈。

三个途径对受试植物种子萌发产生抑制作用。抑制效果最强均在浓度 1:1 时。对植物种子的抑制程度由高到低的顺序是:

水浸液:从萝卜、千叶薯、婆婆纳、甘野菊。

根分泌物:总萌发率和萌发速度受到的影响并不同。总萌发率受抑制程度由高到低为:甘野菊、婆婆纳、千叶薯、萝卜;萌发速度受抑制程度由高到低为:婆婆纳、甘野菊、千叶薯、萝卜。

挥发物:萝卜、千叶薯、婆婆纳、甘野菊。

对植物幼苗生长影响中,三种途径对萝卜、甘野菊、婆婆纳均为抑制作用。水浸液和挥发物促进千叶薯幼苗生长;根分泌物中高浓度促进苗高,低浓度低抑制苗高,但对根长均抑制,因此对千叶薯整体表现出抑制作用。三种途径对植物产生的化感效果由强到弱为:

水浸液:(1)苗高受影响为:婆婆纳、千叶薯、甘野菊、萝卜;(2)根长受影响为:千叶薯、甘野菊、婆婆纳、萝卜。

根分泌物：(1) 苗高受影响为：婆婆纳、千叶薯、甘野菊、萝卜；(2) 根长受影响为：千叶薯、婆婆纳、甘野菊、萝卜。

挥发物：(1) 苗高受影响为：婆婆纳、甘野菊、千叶薯、萝卜；(2) 根长受影响为：婆婆纳、甘野菊、萝卜、千叶薯。

千叶薯、婆婆纳幼苗生长均受影响较大，萝卜受影响最小。但萝卜在种子萌发阶段受影响最大。

因此，百里香化感作用具有选择性；不同植物受到同种化感影响而效果不同；同种植物在不同的发育阶段受到同种化感影响而效果不同。

5.1.2 百里香化感物质

用 GC-MS 分析百里香水浸液、根分泌物和挥发物所得成分中发现了酚类、稀类等已研究的化感物质。水浸液组分成分结果显示，百里酚为主要成份。挥发物中萜品烯、己烯醛、茴香醚含量很高，酚类物质也含量较高。而根分泌物因信号太弱，所得结果只能供参考，需要改进方法，进一步分析。

综合看来，百里酚、萜品烯、冰片、茴香醚、萘澄茄油烯、系散花烃、2-萘烯、月桂烯、茨烯、R-蒎烯等物质可能在百里香化感作用中起主要作用。

5.1.3 百里香应用

百里香在自然界中成丛生长，不仅因为它走根发达，能较快占据资源，根分泌的物质、通过雨水淋溶进土壤的物质、挥发物也是抑制其他植物生长的主要原因。从实验结果看来，百里香虽抑制植物种子萌发，但对植物幼苗生长影响可促进可抑制，具有选择性。因此，百里香在应用中只要选取合适植物与之搭配即可营造出理想的植物景观，如千叶薯就能与它相配置，而婆婆纳和甘野菊则不适合。

5.2 讨论

百里香可以通过淋洗、根系分泌和挥发物等途径释放化感物质，除挥发性物质外，大多数化感物质是通过影响根系及其环境来影响受体植物的，此时根的反应更灵敏。研究结果也证明了茎、叶水浸液和根分泌物处理时，植物根长受到的化感影响强于苗高。这有可能是实验时间较短，幼苗生长的影响尚未完全体现出来；也可能由于实验条件下水分充沛，幼根的生长受适度的抑制而长得粗壮，反而有利于水分的吸收，从而促进幼苗的生长或改变物质在根和苗之间的分配。到

底是何种原因,尚需深入研究。根、苗化感反应的这种差异可作为化感指标选择的参考。

化感物质的浓度效应是化感作用研究的一个重要内容。常见的现象是:随着浓度的降低,化感物质的抑制或促进作用会逐渐减弱、消失。低浓度时,最低的浓度产生的化感作用高于稍高的浓度,如在种子萌发中,甘野菊在水浸液浓度 1:10 时受抑制明显小于在浓度 1:15 时所受抑制。另外值得注意的是:在本研究中,浓度的降低甚至能使化感物质的抑制作用转变为促进作用,如萝卜、甘野菊苗高均在水浸液浓度 1:1 和 1:5 时受抑制,在 1:10 和 1:15 时受促进。Sinkkonen^[63]、An^[119]和张远莉^[6]等曾提及了与此相似的化感现象。这种浓度对作用效果的根本逆转在化感作用的机理研究和实际应用中都具有重要的意义。

化感物质的成分效应是化感作用研究的另一个重要内容。本研究只是初步鉴定了水浸液、根分泌物有机提取物的成分和挥发物成分。多种化感物质的混合可导致水势降低。在化感研究中,抑制作用的一个非化感因素是低水势的影响。分离化感物质,单独测定可以表明化感物质的作用。

5.3 值得继续研究的相关问题

本研究作为百里香化感作用的初步研究,还需进一步完善。实验结果表明了百里香水浸液、根分泌物、挥发物各部分整体的化感作用,具体起作用的化感物质还有待进一步分离。化感物质作用与植物的机理也有待深入研究。

实验均为室内条件下进行,在室外模拟自然状态下百里香化感作用的方法还有待于继续探索。

化感作用总是相互的,本实验只研究了百里香对 4 种植物的化感作用,以后的研究可以更广泛地选取常用园林植物,研究它们与百里香的相互关系。

5.4 本研究的创新之处

百里香作为香草,在大规模开发为园林地被植物利用前,依据自然条件下生长状况,研究其化感作用,从而确定它是否会生物入侵本地植物,确保其应用的安全性。

以往对百里香的研究都侧重于精油开发、生物学特性方面的研究。本研究首次对其化感作用进行研究。

在实验方法上,总结以往化感作用研究的经验与教训,采用更接近自然状态

的方法。在水浸液和挥发物的研究上尽可能减少对百里香植株的破坏。从化感作用的三条不同途径——茎叶淋溶、根系分泌和挥发物出发，全面研究了百里香的化感作用。其中受体植物千叶薯、甘野菊、婆婆纳均为北方地区常用园林植物。

本研究为园林植物配置提供了更为科学理论依据，为植物应用开发、合理配置研究开辟了新的思路。

在化感物质化学成分分析中，对挥发物成分分析中，采用 PTI 方法较一般常用 TCT 法优化，消除了本底带来的干扰，所得结果更纯净、清晰、可靠。

参考文献

- [1] 曾任森.植物化感作用研究概况[J].国外科技, 1990, 8: 38-39
- [2] 聂呈荣, 骆世明, 曾任森等.三裂叶蟛蜞菊对菜菔生长的抑制作用[J].华南农业大学学报, 1992, 12(2):89-92
- [3] 宋君.植物间的化感作用[J].生态学杂志, 1990, 9(6): 43-47
- [4] 王德艺, 冯新满.741 杨化感作用的研究[J].河北农业大学学报, 22(3):47-50
- [5] 兰兴平.扁穗牛鞭草的化感作用研究[J].畜牧市场, 2005(8):30-32
- [6] 张远莉, 陈建群, 卫春等.薄荷化感物质的作用及其初步分离[J].应用与环境生物学报, 2003, 9(6):611-615
- [7] 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关系的研究[J].植物生态学报, 2004, 28(6):773-780
- [8] 曹潘荣, 骆世明.茶园的化感作用研究[J].华南农业大学学报, 1994, 15(2):129-133
- [9] 周志红, 骆世明, 牟子平.番茄的化感作用研究[J].应用生态学报, 1997, 8(4):445-449
- [10] 卫春, 陈建群, 张鹏飞等.复合农林系统中水杉化感作用的生物测定[J].南京林业大学学报, 1999, 23(4):85-87
- [11] 刘秀芬, 马瑞霞, 袁光林等.根际区化感化学物质的分离、鉴定与生物活性的研究[J].生态学报, 1996, 16(1):3-8
- [12] 王祥荣, 宋永昌.狗脊和里白植株浸出液化感作用的研究[J].植物生态学与地植物学报, 1993, 17(2):143-154
- [13] 张风云, 翟梅枝等.核桃青皮提取物对几种作物幼苗生长的影响[J].西北农业学报, 2005, 14(1):62-65
- [14] 王进闯, 潘开文等.花椒品种间化感效应的差异[J].生态学报, 2005, 25(7):1592-1597
- [15] 骆世明, 林象联, 曾任森等.华南农区典型植物的化感作用研究[J].生态科学, 1995, 2: 114-128
- [16] 李玉文.化学生态学研究现状和进展——植物化感作用和矿质化学生态[J].东北林业大学学报, 1999, 27(1):56-59
- [17] 慕小倩, 马燕, 王硕等.黄花蒿化感作用机理的初步研究[J].西北植物学报, 2005, 25(5):1025-1028
- [18] 曾杰, 翁启杰等.几种桉树生化化感作用的生物测定[J].林业实用技术, 2004(6):3-5
- [19] 张永明, 金洪, 高润宏.几种植物对濒危物种绵刺化感作用的研究[J].中国草地, 2005, 27(3):44-38
- [20] 陈贤兴, 陈永群, 何献武等.几种植物对豚草的生化化感作用[J].甘肃科学学报, 2002, 14(3):58-61
- [21] 周凯, 郭维明, 徐迎春.菊科植物化感作用研究进展[J].生态学报, 2004, 24(8):1780-1788
- [22] 张开梅, 石雷, 李振宇.蕨类植物的化感作用及其对生物多样性的影响[J].生物多样性, 2004, 12(4):466-471
- [23] 颜桂军, 朱朝华.可以开发为植物源除草剂的十种植物[J].广西热带农业, 2005, 4:21-24
- [24] 曹潘荣, 邹元辉.苦丁茶化感作用现象研究[J].华南农业大学学报, 1997, 18(1):11-14
- [25] 林武星, 洪伟, 叶功富.木麻黄根系浸提液对幼苗营养吸收和生长的影响[J].浙江林学院学报, 2005, 22(2):170-175
- [26] 闫龙凤, 杨青川, 韩建国.苜蓿的自毒性研究进展[J].牧草科学, 2005, 2:12-18
- [27] 李明, 马永清, 税军峰.南瓜组培根根系分泌物的化感效应研究[J].应用生态学报, 2005, 16(4):744-749

- [28] 孔垂华, 李德建, 骆世明. 尿囊素的合成及其对作物的生化化感作用[J]. 生态科学, 1995, 2: 88-91
- [29] 曹潘荣, 骆世明. 柠檬桉的化感作用研究[J]. 华南农业大学学报, 1996, 17(2):7-11
- [30] 曾任森, 林象联, 骆世明等. 蟛蜞菊的生化化感作用及生化化感作用物的分离鉴定[J]. 生态学报, 1996, 16(1):21-27
- [31] 曾任森, 林象联, 骆世明. 蟛蜞菊水抽提物的生化化感作用研究[J]. 华南农业大学学报, 1994, 15(4):26-30
- [32] 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]. 生态科学, 2004, 23(4):331-334
- [33] 郑丽, 冯玉龙. 入侵植物的生理生态特性对碳积累的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(6):1430-1438
- [34] 王大力, 祝心如. 三裂叶豚草的化感作用研究[J]. 植物生态学报, 1996, 20(4):330-337
- [35] 曾任森, 骆世明. 三叶鬼针草水抽提物化感作用与降雨量的关系[J]. 华南农业大学学报, 1995, 16(4):69-72
- [36] 林武星, 洪伟等. 森林植物化感作用研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(4):43-46
- [37] 周青, 韩晓鹰, 邹明勤. 生化化感作用的种群生态学意义[J]. 生物学通报, 1996, 31(3):3-8
- [38] 周青. 生化化感作用及其在群落学研究中的意义[J]. 生物学通报, 1991, 6:7-10
- [39] 马世俊. 植物化感作用研究[J]. 现代生态学透视, 科学出版社, 1990
- [40] 韦琦, 曾任森等. 胜红蓟地上部化感作用物的分离与鉴定[J]. 植物生态学报, 1997, 21(4):360-366
- [41] 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
- [42] 马永清. 蔬菜之间的生化化感作用及其在生产中的应用[J]. 中国蔬菜, 1993(6):53-55
- [43] 何华勤, 林文雄. 水稻化感作用生理生化特性研究[J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(3):56-57
- [44] 王大力, 祝心如. 豚草的化感作用研究[J]. 生态学报, 1996, 16(1):13-1
- [45] 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
- [46] 邵华, 彭少麟等. 薇甘菊的化感作用研究[J]. 生态学杂志, 2003, 22(5):62-65
- [47] 陈龙池等. 香茅醛对杉木幼苗养分吸收的影响[J]. 植物生态学报, 2003, 27(1):41-46
- [48] 曾任森, 骆世明. 香茅、胜红蓟和三叶鬼针草根分泌物的化感作用研究[J]. 华南农业大学学报, 1996, 17(2):119-120
- [49] 黎华寿, 黄京华. 香茅天然挥发物的化感作用及其化学成分分析[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4):763-767
- [50] 杨世超, 李孙荣, 杨学君. 小麦对白茅化感作用影响研究[J]. 杂草学报, 1992, 6(2):23-28.
- [51] 马永清等. 小麦秸秆的生化化感效应[J]. 生态学杂志, 1993, 12(5):36-38
- [52] 赵利琴. 野生草本植物的水提液对水稻生化化感作用的研究[J]. 淮阴师范学院学报(自然科学版), 2004, 3(3):255-258
- [53] 陈大清, 陈汝民, 潘瑞炽. 一种新发现的促进型化感作用物质——Lepidimoide[J]. 植物生理学通讯, 1998, 34(6):455-456
- [54] 贾黎明, 翟明普等. 油松白桦混交林中生化化感作用的生物测定[J]. 北京林业大学学报, 1996, 18(4):1-7
- [55] 冯道俊, 孙美荣. 园林绿化中植物“化感作用”研究[J]. 昌潍师专学报. 1999, 18(5):29-32
- [56] 易先正. 园林植物配置中应充分重视生化化感作用的影响[J].
- [57] 李今, 冯斌. 杂草对濒危植物长喙毛茛泽泻化感作用的研究[J]. 湖北师范学院学报(自然科

- 学版), 2000, 20(2):9-11
- [58] 马永清, 刘立德等. 杂草间的化感作用及其在杂草生防中的应用[J]. 生态学杂志, 1991, 10(5):46-49
- [59] 李寿田, 周健民等. 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
- [60] 王桂龙. 植物间的化感作用及其应用[J]. 作物研究 6(3):4-7
- [61] 申继忠. 植物间的化感作用与杂草防除[J]. 植物保护, 1992, 3:41-42.
- [62] 周志红. 植物化感作用及其在农业中应用的研究进展[J]. 植物保护, 1994, 4:35-38
- [63] Sinkkonen A. Density-dependent chemical interference-An extension of the biological response model. *J chem Ecol*, 2001, 27(7):1513~1523.
- [64] 秦娟, 上官周平. 植物之间互作效应及其生理机制[J]. 干旱地区农业研究. 2005, 23(3):226-229.
- [65] 方绮军, 傅均等. 植物之间生化化感作用的研究及其应用[J]. 云南农业大学学报, 1996, 14(2):206-208.
- [66] 金海洙, 金钟熙. 猪毛蒿对其它植物生长的化感作用[J]. 烟台大学学报, 2001, 14(3):180-184
- [67] 阎飞, 杨振明, 韩丽梅. 植物化感作用(Allelopathy)及其作用物的研究方法[J]. 生态学报, 2000, 20(4):692-696
- [68] 邵华, 彭少麟等. 化感作用研究中渗透势对生物测定结果的影响[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(3):35-37
- [69] 施月红, 谷文祥. 生化化感作用研究中的生物测定方法[J]. 生态科学, 1998, 17(1):84-89
- [70] 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
- [71] 周志红. 植物化感作用的研究方法及影响因素[J]. 生态科学, 1999, 18(1):34-38
- [72] 黄高宝, 柴强. 植物化感作用表现形式及其开发应用[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(3):172-174
- [73] 鲜啟鸣, 陈海东等. 淡水水生植物化感作用研究进展[J]. 生态学杂志, 2005, 24(6):664-669
- [74] 王进闯, 潘开文, 李富华. 分子水平和土壤系统化感作用研究现状与展望[J]. 生态学杂志, 2004, 23(6):125-130
- [75] 彭少麟, 邵华. 化感作用的研究意义及发展前景[J]. 应用生态学报, 2001, 12(5):780-786
- [76] 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
- [78] 史刚荣. 植物根系分泌物的生态效应[J]. 生态学杂志, 2004, 23(1):97-101
- [79] 孙文浩, 余叔文. 相生相克效应及其应用[J]. 植物生理学通讯, 1992, 28(2):81-87
- [80] 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):509-515
- [81] 李寿田, 周健民等. 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
- [82] 王日明, 赵梁军. 植物化感作用及其在园林建设中的利用[J]. 中南林业学院学报, 2004, 24(5):138-142
- [83] 李寿田, 周健民等. 植物化感作用研究概况[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(4):68-70
- [84] 孔垂华, 徐涛等. 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)
- [85] Zhang B-C(张宝琛), Bai X-F(白雪芳), Gu L-H(顾立华) et al. 1989. Study on allelopathy and natural degeneration phenomena of artificial grassland on Alpine meadow. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 9(2):115-119(in Chinese)
- [86] Nuzzo V. 1979. Experimental control of garlic mustard [*Alliaria petiolata* (Bied.) Cavara & Grande.] in Grande. *Can J Plant Sci*, 59:217-229

- [87] Nuzzo V.1991.Experimental control of garlic mustard[*Alliaria petiolata*(Bieb.) Cavara & Grande.]in northern Illinois using fire, herbicide, and cutting.*Nat Areas J*, 11:158-167
- [88] Nuzzo V.1993.Current and historic distribution of gathc mustard (*Alliaria Petivlata*) in Illionis, *Mich Bot*, 32:23-33
- [89] Rice.E.L.Allelopathy.Academicpress.Ino.Orlando Florida, 1984
- [90] 李绍文, 高等植物间的生化关系[J].生态学杂志, 1989, 8(1):66—70
- [91] Ponder, F.Jr.Tadros, S.H.1985.*J.Chem.Ecol*, 11(7):937
- [92] Rice E L.1984.Allelopathy.2nded.*Academic Press*, Orlando, FL.
- [93] Vogel.c.s, Dawson.J.O.1985.*Plant soil*, 87(1):79
- [94] Kershaw.K.A, 1985.Quatative and Dynamic Plant Ecology, 3rd ed.Printed in Great Britain by Zhomson Litho East Kilbride, Scotland
- [95] 朱斌. 油茶化感作用研究[D].南京大学, 20000501
- [96] Muller CH.1965.Inhibitory terpenes volatilized from *Salvia* Shrubs.*Bull Torrey Bot Club*, 92:38
- [97] 周青.生化化感作用及其在群落学研究中的意义[J].生物学通报, 1991(6):8-9
- [98] Fischer NH et al.1994.In search of allelopathy in the Florida scrub:the role of TErpenods.*J chem. Ecol*.20(6):1355-1380
- [99] Gallet C.1994.Alleopathic potential in bilberry-spruce forests:influence of phenolic compounds on spruce seedling.*J chem. Ecol*, 20(5):1009-1024
- [100] Souto XC et al.1994.Comparative analysis of allelopathic effects produced by four forestryspecies during decomposition process in their soils in Galicia(NW Spain).*J chem. Ecol*, 20(11):3005-3015
- [101] Lodhi MAK.1976.Role of allelopathy as expressed by dominating trees in a lowland forest in controlling the productivity and pattern of herbaceous growth. *Amer J Bot*.63(1):1-8
- [102] Chou CH&Yaw LK, 1986.Allelopathic research of subtropical vegetation in Taiwan. *J chem. Ecol*.12(6):1431-1447
- [103] Ma M-H, Yu F-L, Kong L-S.1999.Allelopathy effects of *Artomisia ordasica*.*Acta Ecol Sin*, 19(5):670-676
- [104] Seigler DS.1996.Chemistry and mechanisms of allelopathic interacons.*Agron J*, 8:876-885
- [105] Wardle DA, et al.1993.Influence of plant age on the allelopathic potential of nodding thistle(*Carduus nutans L.*)against grasses and legumes. *Weed Res*, 33:69-78
- [106] Ye J-X, Hong R-C, Nie Y-R.1987.The effect of the maceration extract of *Dicranopteris Dichotoma* on the growth of several plant species. *Actra Phytoecol et Geobot Sin*, 11(3):203-211
- [107] Zeng R-S, Luo S-M.1993.Study on allelopathic potentials of *Cymbopogon citrates*.*J south China Agric Univ*, 14(4):8-14
- [108] Jackson JR & Willemsen RW.1976.Alleopathy in the first stages of secondary succession on the piedmont of New Jersey.*Amer J Bot*, 63(7):1015-1023
- [109] Nell RL&Rice EL.1971.Possible role of *Ambrosia psilostachya* on pattern and succession in old-fields.*The Amer Mildland Naturalist*, 86(2):344-358
- [110] Putnam AR & Tang CS.1986.The science of allelopathy.New York:John Wiley & Sons.Inc.
- [111] YuJQ.1999, Allelopathic suppression of *Pseudomonas solanacearum* infection of tomato in a tomato-chunesa chive intercropping system.*J Chem Ecol*, 25(11), 2409-2417

- [112] LIU Yinghu(刘迎湖), XIE Li(谢利), LUO Shingming(骆世明)et. Allelopathy of invasive weeds : A simulation study with cellular automata model[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 2006, 17 (2): 229-232(in Chinese)
- [113] MEI Lingxiao(梅玲笑), CHEN Xin(陈欣), TANG Jianjun(唐建军). Allelopathic effects of invasive weed *Solidago Canadensis* on native plants [J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 2005, 16(12):2379-2382(in Chinese)
- [114] Ma Ruijun(马瑞君), WANG Mingli(王明理) et. Allelopathy and chemical constituents of *Ligularia virgaurea* volatile. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 2005, 16(10):1826-1829(in Chinese)
- [115] 孔宪武. 兰州植物通志[M]. 兰州:甘肃人民出版社. 1960
- [116] 中国科学院植物研究所. 中国高等植物图鉴(第三册)[M]. 北京:科学出版社, 1983
- [117] 张知侠. 百里香芳香油化学成分的研究[J]. 西北农业学报, 2004, 13(3):151-153
- [118] 张继, 刘阿萍, 杨永利等. 百里香挥发性成分的研究[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2004, 41(4):890-892
- [119] An M, Pratley JE, Haig T. Phytotoxicity of vulpia residues:III. Biological activity of identified allelochemicals from *Vulpia myuros*. *J chem Ecol*, 2001, 27(2):383-394

致 谢

三年硕士学习，是我人生中非常宝贵的经历。在论文完成之际，我要感谢所有在学习与生活中给予我关心与帮助的老师、长辈和同学。

首先，要感谢我的导师潘远智副教授。您严谨的科研精神，对事业的不断追求，对学生周到的关怀，都深深感染了我。谢谢您为我提供了到北京中国林科院学习的宝贵机会，这是我人生的转折点。您对我的引导、鼓励和信任是我一直努力奋进的动力！您对我的影响也是深远的！

感谢中国林科院孙振元研究员从选题、实验设计到完成，论文撰写期间给予我的宝贵指导。您开明的教育精神使我深受感动。您活跃的思维、前瞻性的思考、宽阔的胸怀、为人高尚的品德让我深受启发，获益终身。

在北京学习的日子里，课题组的老师和同学使我度过了非常愉快的一年半时间，留下很多珍贵的回忆。谢谢韩蕾副研究员对我学习的帮助、生活的照顾，谢谢巨关升副研究员对我的实验耐心的指导。谢谢刘小辉、郭晋华博后，白瑞琴老师，杨学军、钱永强博士，徐旭、陈文志、庞博、刘彩霞、李银凤、吴丹、王滑、陈宾等硕士带给我的启发和感动，您们使我在快乐中成长。

感谢四川农业大学的郭东力老师、胡庭兴老师、陈其兵老师、高素萍老师、刘军老师、石大兴老师、周兰英老师以及叶萌老师对我学业上的指导。

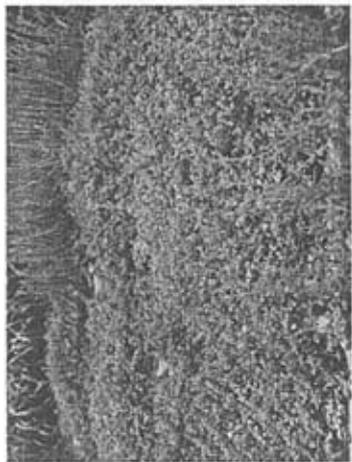
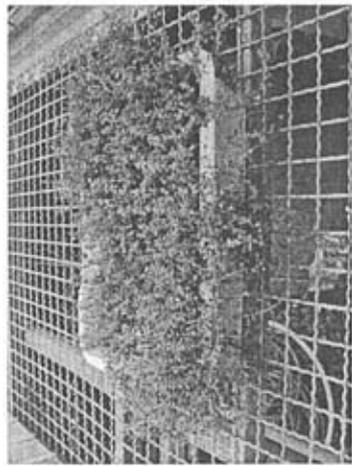
感谢我最好的朋友蒋燕，一直陪伴我左右，支持我。

最后要特别感谢我的父母，您们是我人生的导师，您们给我博大深厚的爱是我沮丧、迷茫时候的指路灯，您们对我绝对的信心和鼓励让我充满勇气！我将严格要求自己，心存远大理想，一步步实现人生目标！

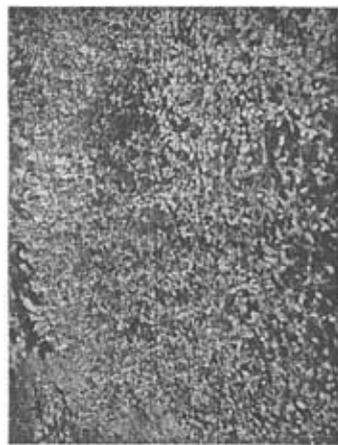
谢谢所有在我成长中带给我积极影响的人！在您的帮助与关心下，我得以顺利的完成论文，拓宽眼界，学有所获。

再次深深感谢所有爱我的人！我将继续努力，积极向上，不断完善自我，最终实现自己的人生价值！

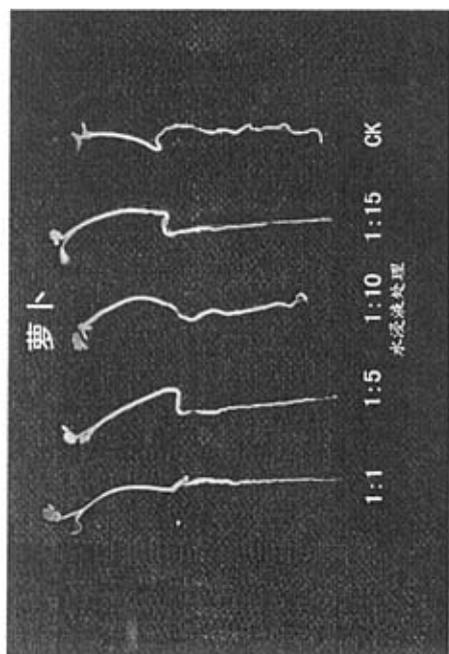
附 录



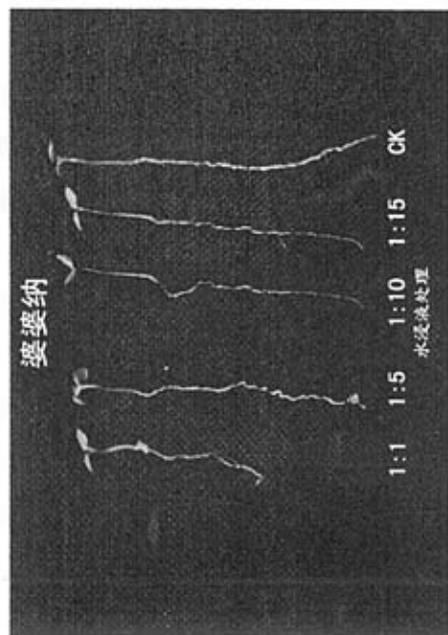
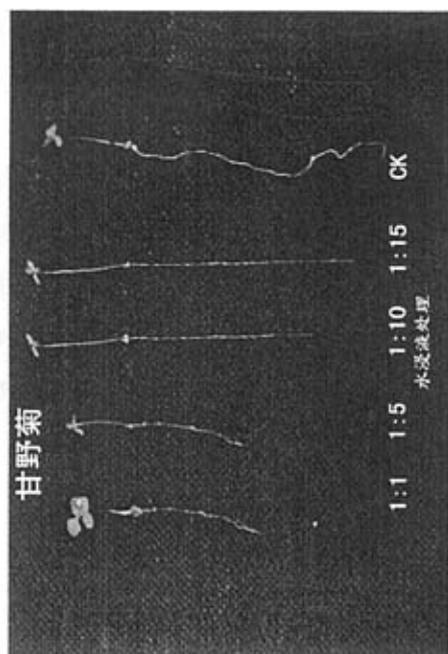
温室中培养的供试植物百里香

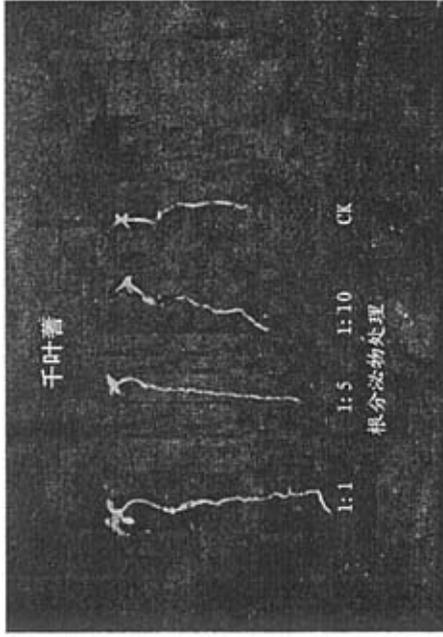
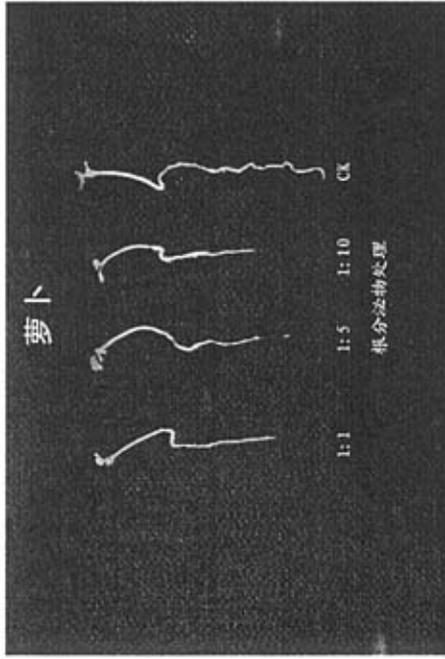


自然条件下的供试植物百里香

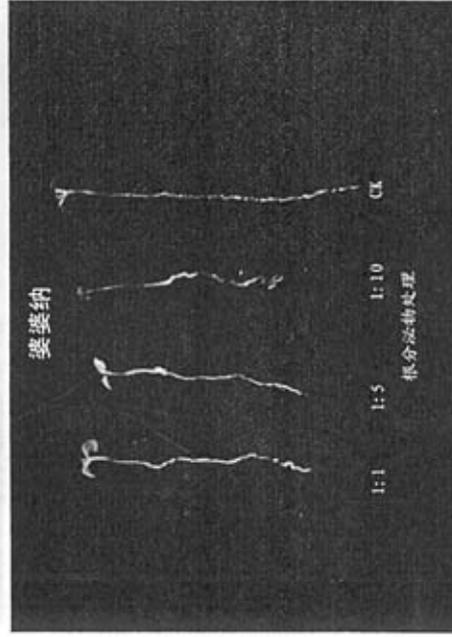
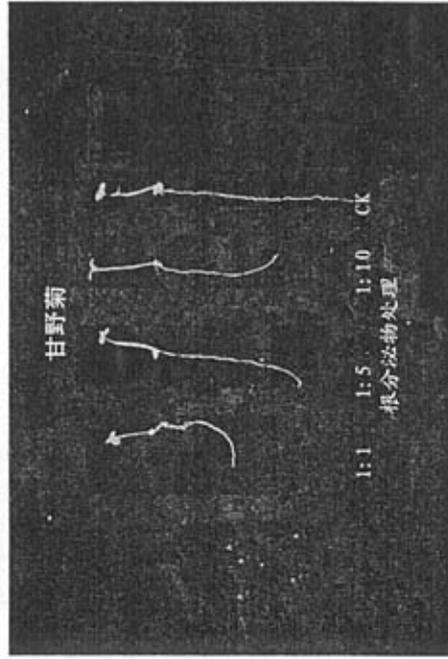


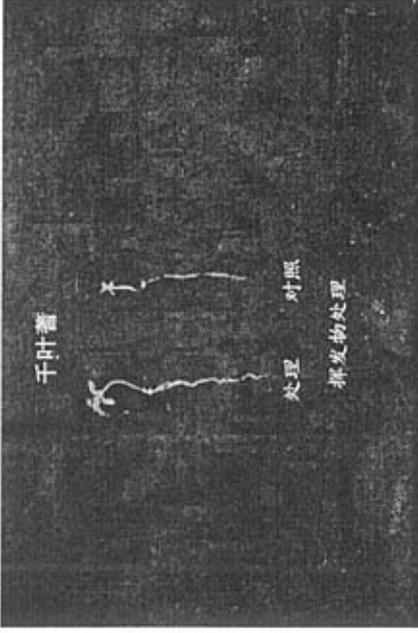
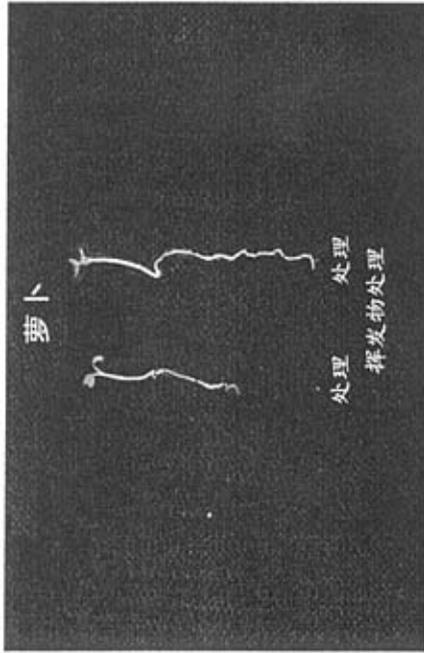
百里香茎叶水浸液对萝卜、千叶薯、甘野菊和婆婆纳幼苗生长的影响



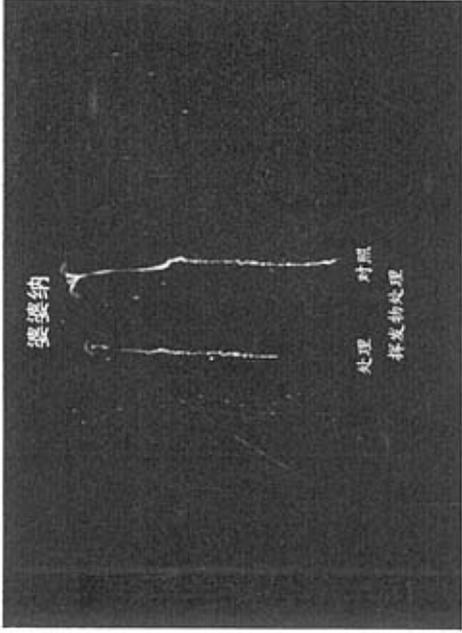
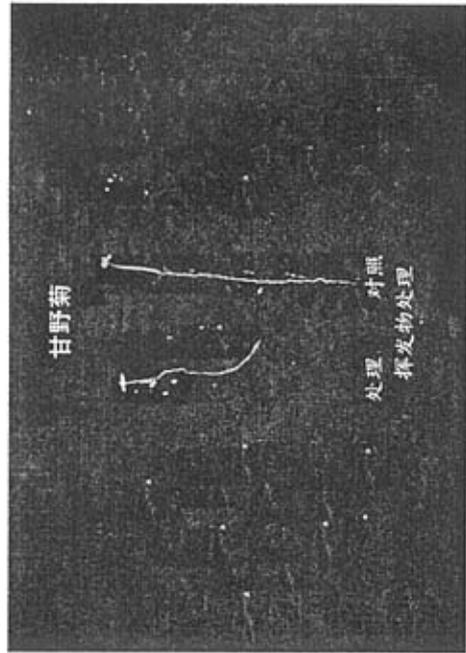


百里香根分泌物对萝卜、千叶薯、甘野菊和婆婆纳幼苗生长的影响





百里香挥发物对萝卜、千叶菊、甘野菊和婆婆纳幼苗生长的影响



攻读学位期间发表的学术论文

1. 侯维, 孙振元, 潘远智. 盆栽植物改善室内环境研究进展[J]. 中国农学通报, 2007 (06) (第一作者)
2. 廖嵘, 侯维. 唐代衙署园林——崇州罨画池[J]. 中国园林, 2004 (10) (第二作者)