

670-676

第19卷第5期
1999年9月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 19, No. 5
Sept., 1999油蒿(*Artemisia ordosica*)的化感作用研究

马茂华, 于凤兰, 孔令韶

(中国科学院植物研究所, 北京 100093)

Q949.7183.5
714.2

摘要:通过对鄂尔多斯高原毛乌素沙地油蒿(*Artemisia ordosica*)化感作用研究,发现油蒿茎叶的水浸提液对几种受体植物种子的萌发率、幼苗长和根长生长均有不同程度的抑制作用,随水浸提液浓度的增加抑制作用逐步增加;用油蒿茎叶水浸提液进行盆栽试验,受体植物的出苗率、苗高、根长和干物重也受到抑制,苗的形态也与对照有较明显的差异;在不同有机溶剂的水浸提液的萃取液中,乙酸乙酯萃取液对受体植物种子的萌发率、幼苗长和根长均有显著的抑制作用,形态差异明显;进一步对乙酸乙酯萃取液不同组分的生物试验表明,在洗脱出的3个组分中,其中的一个组分对受体植物种子萌发具有显著的抑制作用。经化学定性反应鉴定,此组分主要为黄酮类化合物。由此表明,油蒿具有一定的化感作用,其分泌物对其他植物种子的萌发有不同程度的影响。

关键词:毛乌素沙地;油蒿;化感作用

Allelopathy effects of *Artemisia ordosica*

MA Mao-Hua, YU Feng-Lan, KONG Ling-Shao (Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract: The allelopathic effects of *Artemisia ordosica* on receptor plant species: *Amaranthus tricolor*, *Orychopragmus violaceus*, *Raphanus sativus* and *Triticum aestivum* was given. The aqueous extracted from aerial parts of *A. ordosica* causes inhibition on germination and decreases seedling and root elongation of receptor plants in vitro. The dry weight, seedling height and root length are reduced proportionally at various concentrations of the extracts. In different organic extracts of aqueous extracts, EtOAc extracts significantly inhibited the seedling and root elongation of receptor plants. This EtOAc extracts is separated into three parts. Through identification with chemical reactions, it was found that the bioactive fraction contained flavonoid compounds.

Key words: Maowusu sand land; allelopathy; *Artemisia ordosica*

文章编号: 1000-0933(1999)05-0670-07 中图分类号: Q948 文献标识码: A

植物化感作用当前是植物化学生态学研究的热点。它是植物通过淋溶、挥发、残体分解和根系分泌^[1]向环境中释放化学物质,而对周围植物(包括微生物)产生间接或直接的有害或有利的的作用^[2]。虽然这一现象早已发现,但只是在近30年才引起人们的重视^[2-6]。据报道,有化感作用的植物,其地上部分含有较多的化感物质,且在干旱条件下发生化感作用的可能性更大^[4]。在我国,这方面的工作处于起步阶段^[7-9]。另有报道说,植物营养元素的亏缺会影响植物次生代谢物的产生^[10]。但这方面的工作开展的很少。

油蒿(*Artemisia ordosica*)是一种旱生、沙生多枝的半灌木植物,其分布中心在鄂尔多斯高原毛乌素沙地^[11,12]。由于油蒿独特的叶片旱生结构、根系特征和生理生态学特点,使之能在干旱少雨的沙地生境下生存下来,并成为相当稳定的建群种。此外,它也是牧畜冬春重要的补贴饲料,并具有一定的药用价值,还在流沙固定方面发挥着显著作用^[13]。近年来,已报道了多种蒿属植物的化感作用研究,并发现多种黄酮类及萜类化感物质^[14-18,4]。但油蒿化感作用的研究未见报道。本文结合野外对油蒿群落的种群观测,着重讨论油蒿水浸提液的化感作用。

基金项目:国家自然科学基金(编号:39370128)及北京中关村地区联合分析测试中心资助项目

收稿日期:1997-05-05; **修订日期:**1998-05-07

1 自然条件概况

毛乌素沙地位于 $30^{\circ}20' \sim 39^{\circ}50'N$, $107^{\circ}10' \sim 113^{\circ}45'E$ 。处于三面为黄河所环抱的鄂尔多斯高原的南部^[19]。这一地区的土壤以淡栗钙土和沙性淡栗钙土为主,地貌上是戈壁、沙区向黄土区的过渡^[20]。

该区气候属于干旱半干旱向亚湿润区的过渡型,年降水量由东南部的 401.6mm 降至西北部的 162.4mm,降水的 60% 集中在夏季。年蒸发量变化范围为 2047~3085mm,年均温为 $6^{\circ}C$,7 月份的均温为 $22^{\circ}C$,1 月份的均温为 $-11^{\circ}C$ ^[21]。

在毛乌素沙地生态实验站范围内对油蒿群落进行了全面的调查。群落的覆盖度差异较大,为 10%~60%。记录到的植物种类有 50 余种,有的群丛种类组成极为贫乏,仅为 2~3 种,有的达 20 余种。

2 实验材料与方法

2.1 实验材料

实验所用的供体材料为油蒿,采自内蒙毛乌素沙地生态实验站。鲜草风干备用。受体种子有萝卜(*Raphanus sativus*)、小麦(*Triticum aestivum*)、二月兰(*Orychophragmus violaceus*)、牛心朴子(*Cynanchum komarovii*)和苋菜(*Amaranthus tricolor*)。萝卜和苋菜来源于中国农业科学院蔬菜花卉种子商店,二月兰采自北京动物园草地内,牛心朴子采自毛乌素沙地生态实验站,小麦来自中国科学院植物所植化室。

2.2 实验方法

2.2.1 油蒿水浸提液的制备 取风干植物地上部分样品粉碎,按 0.5g/100ml、1g/100ml 和 3g/100ml、5g/100ml 和 10g/100ml 的比例用蒸馏水浸泡 24h,过滤后备用。

2.2.2 油蒿有机溶剂萃取液制备 取油蒿茎叶干样 100g+蒸馏水 600ml+乙醇 10ml(防霉)浸泡 30h。过滤后得到 300ml 水浸提液,首先用石油醚(沸点 $30 \sim 60^{\circ}C$)50ml 萃取 4 次,合并萃取液备用。然后,将上步萃取余液用乙酸乙酯 50ml 萃取 4 次,合并萃取液备用。最后收集两次萃取后的剩余水溶液,备用。

2.2.3 化感活性物质的分离 对化感作用显著的乙酸乙酯萃取液部分做柱层析分离。依次用石油醚、石油醚:乙酸乙酯(1:1)、石油醚:乙酸乙酯(1:3)、乙酸乙酯、乙酸乙酯:乙醇(1:1)和乙醇洗脱。收集后备用。

2.2.4 化感作用的生物活性鉴定 ①水浸提液对种子萌发的生物试验 取 5ml 不同浓度的水浸提液分别加入铺有 2 层滤纸的培养皿中。培养皿放种子分别为小麦 80 粒、二月兰 80 粒、苋菜 100 粒和牛心朴子 30 粒,置恒温培养箱中培养,温度 $25 \sim 26^{\circ}C$,光照,每天补充适量水浸提液两次,各处理 3 个重复。以蒸馏水对照,并记录萌发数,最后测定幼苗长和根长。

②水浸提液对苗期生长影响和盆栽试验 将筛后的土壤 350g 放入大小相当的培养钵中,加入 30ml 不同浓度的水浸提液,刚好将盆中土壤浸透,分别播入经浸种处理的种子 15 粒,设 3 个重复,室外培养,白天最高温度 $29 \sim 33^{\circ}C$,夜间最低温度 $24 \sim 26^{\circ}C$,每天补充适量水浸提液 1 次。以蒸馏水对照,记录出苗数,最后测定幼苗长、根长和干物重。

③油蒿有机溶剂萃取液的生物活性试验 取 5ml 萃取液加入培养皿的滤纸上,自然挥发干后,加 6ml 蒸馏水,分别放入种子,置恒温箱中培养,以蒸馏水对照,并记录萌发数,最后测定芽长和根长。

④油蒿化感活性组分的生物试验 取经柱层析分离得到的组分 I(石油醚:乙酸乙酯 1:1)、组分 II(乙酸乙酯)和组分 III(乙酸乙酯:乙醇 1:1)各 1g,用相应溶剂稀释至 100ml,取 5ml 洗脱液加于培养皿的滤纸上,自然挥发干后,加 6ml 蒸馏水,分别放入种子,置恒温箱中培养,以蒸馏水对照。

2.2.5 化感活性组分的化学定性 用锌粉盐酸、三氯化铝和氨熏 3 种试验进行化学定性鉴定^[22]。

2.2.6 在野外定点定期进行油蒿群落种类组成,植物种在油蒿群落中分布格局和种群消长的观察记载。

3 结果与讨论

3.1 油蒿茎叶水浸提液对种子萌发和苗期生长的影响

3.1.1 水浸提液对种子萌发的影响 由表 1 可以看出,油蒿茎叶水浸提液浓度在 5g/100ml 以上时,几种受体植物种子萌发被强烈抑制,萌发率不足 5%,多重比较结果表明,其抑制作用均达到显著水平($p = 0.05$)。

表 1 不同浓度油蒿茎叶水浸提液对
受体植物种子萌发率的影响

Table 1 Germination percentage of receptor
plants sown in petri dishes at different concentrations of aerial parts of *A. ordosica**

植物种 Species	对照 CK	浓度(g/100ml)Concentration				
		0.5	1	3	5	10
二月兰 <i>O. violaceus</i>	79a	59b	50bc	44c	3d	0d
苋菜 <i>A. tricolor</i>	97a	78a	75b	62b	3c	4c
小麦 <i>T. aestivum</i>	93a	87a	55b	21c	1d	0d
萝卜 <i>R. sativus</i>	87a	72a	41b	25c	5d	1d
牛心朴子 <i>C. komarovii</i>	43a	58a	54a	49a	4b	1b

* 数字后的字母表示 Duncan's 新复极差显著性测验 ($p = 0.05$), Values in the same rows followed by the same letters do not differ ($p = 0.05$) according to Duncan's new multiple range test (Duncan, 1955).

在 5 种受体种子中,牛心朴子在水浸提液浓度小于 3g/100ml 时,有轻微的促进作用。水浸提液对二月兰种子萌发的抑制作用,在浓度大于或等于 0.5g/100ml 时,与对照相比达到显著水平 ($p = 0.05$),且随浓度的增加,其抑制程度逐步增大。苋菜、小麦和萝卜在浓度大于或等于 1g/100ml 时,与对照相比,对种子萌发的抑制作用达到显著水平 ($p = 0.05$)。

图 1 是受体植物种子萌发后的幼芽长和根长随不同水浸提液浓度的变化情况。从中可以看出,幼芽长或根长与对照相比,均受到不同程度的抑制,且随浓度的增加而长度减少。这表明,油蒿水浸提液中的某些化合物对幼苗胚根和胚芽的细胞分裂有抑制作用。

从受体种子萌发后的形态来看,处理组的小麦和二月兰的幼芽有轻微的卷曲,根上翘,根毛较少,而对照组中,幼芽为直立,根毛较多,差异明显。处理组中的苋菜幼芽均倒伏,而对照组为直立。处理组的萝卜和牛心朴子除幼芽短小外,形态上与对照

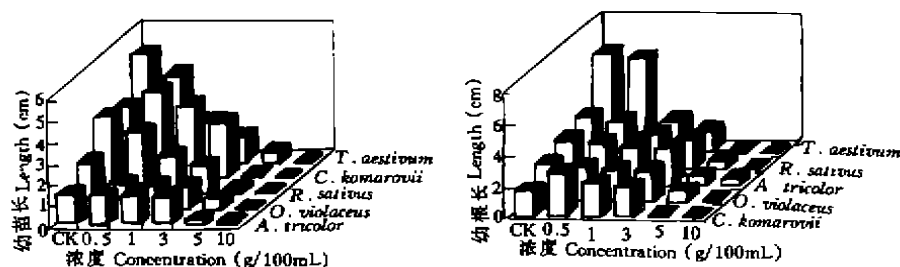


图 1 不同浓度油蒿茎叶水浸提液对受体植物种子幼苗长和根长(cm)生长的影响

Fig. 1 Seedling and root elongations (cm) of receptor plants sown in petri dishes at different concentrations of aerial parts of *A. ordosica*

差异不显著。造成形态上差异的原因可能是由于水浸提液中含有某种化合物,在幼苗发育初期,这类化合物可能改变了植物体内激素的分配,或是影响了幼苗对某些矿质营养元素的吸收。

3.1.2 水浸提液盆栽实验对苗期生长的影响 考虑到自然条件下土壤因子的作用,进行了油蒿水浸提液的土壤盆栽试验,观察水浸提液对受体植物种子萌发和苗期生长的影响。由图 2 可以看出,处理组的最终出苗率与对照相比均有不同程度的抑制作用,其中二月兰的出苗率在水浸提液浓度达到 3g/100ml 时有强烈的抑制作用,最终出苗率未超过 1%。从半数出苗时间(达到对照的最终出苗率一半所用时间)来看,处理组所用时间均超过对照组,如萝卜对照组的半数出苗时间约为 31h,而处理组在不同浓度(0.5g/100ml、1g/100ml 和 3g/100ml)时分别约为 38、100 和 127h。从中可以看出,油蒿水浸提液对种子萌发有延迟作用。其幼苗的苗长、根长和干物质重,处理组均比对照组有所减少,各处理组之间的差异不显著。

从苗生长的形态来看,处理组与对照组相比也有差异,对照组中小麦的苗为直立,处理组的苗有轻微

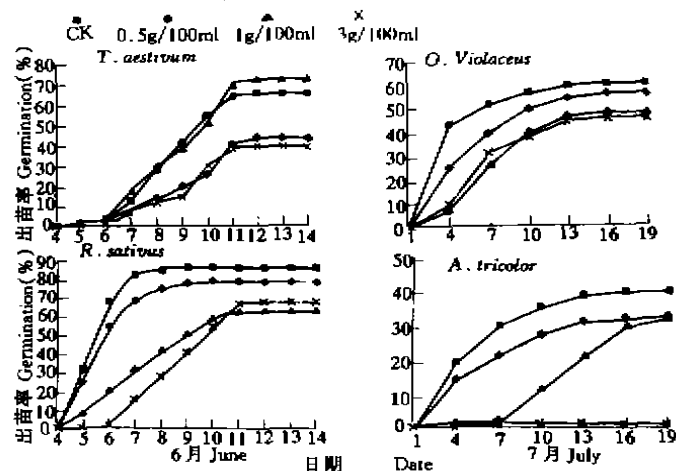


图2 在盆栽条件下不同浓度油蒿茎叶水浸提液对受体植物种子出苗进程的影响

Fig. 2 Seedling germination percentage of receptor plants sown in petri dishes in vivo at different concentrations of aerial parts of *A. ordosica*

—■—CK; —◆—0.5g/100ml; —▲—1g/100ml; —×—3g/100ml

的倒伏,根系发育不良,幼根数少于对照;在试验期间,对照组中多数二月兰苗的小叶片数为3片,而处理组中大多为2片。

通过以上水浸提液对受体植物种子的萌发和苗期盆栽试验发现,油蒿地上部水浸提液对植物种子的萌发和苗期生长有抑制作用。在其中含有某些亲水性的化感物质,可影响受体植物种子的萌发和苗期的生长,它们可能对细胞膜有一定的损伤。有研究表明,化感物质对细胞膜的伤害可能是化感物质多种效应的起始点,细胞膜功能的改变必然会影响植物对水分和矿质元素的吸收,以及蛋白质的合成和酶功能的改变。进而影响到植物的生长发育^[22]。

3.2 油蒿茎叶有机溶液萃取液的生物活性试验

3.2.1 有机溶剂萃取液对种子萌发影响的生物试验 用不同的有机溶剂对水浸提液的萃取液,生物鉴定的结果见表2。多重比较结果表明,石油醚萃取液对几种受体植物种子的萌发率影响不大,与对照相比未达到显著水平。乙酸乙酯萃取液对种子萌发有强烈的抑制作用,达到显著水平($p=0.05$)。余液部分对种子萌发的抑制作用介于前二者之间。

从图3可以看出,与对照相比,乙酸乙酯萃取液对受体种子的幼苗长和根长生长有明显的抑制作用。综合而言,油蒿茎叶水浸提液的乙酸乙酯萃取液部分抑制活性最高,可能含有较多的抑制种子萌发的化感物质。为进一步探讨油蒿的化感作用,在以上的生物鉴定的基础上对水浸提液的乙酸乙酯部分进行更进一步的分离和鉴定。

3.2.2 乙酸乙酯萃取液各分离组分对种子萌发影响的生物试验 表3为乙酸乙酯萃取液分离出的

表2 不同有机溶剂萃取液对受体植物种子萌发率的影响*

Table 2 Germination percentage of receptor plants sown in petri dishes to different organic reagent extract of aerial parts of *A. ordosica**

植物种 Species	对照 CK	有机溶剂 Organic reagent		
		石油醚 PE	乙酸乙酯 EtoAC	萃取余液 Remaind
小麦 <i>T. aestivum</i>	96a	95a	50b	43b
苋菜 <i>A. tricolor</i>	97a	40b	0d	18c
萝卜 <i>R. sativus</i>	96a	81a	24c	51b
二月兰 <i>O. violaceus</i>	95a	80a	18c	42b

* 数字后的字母表示 Duncan's 新复极差显著性测验($p=0.05$), Values in the same rows followed by the same letters do not differ ($p=0.05$) according to Duncan's new multiple range test (Duncan, 1955).

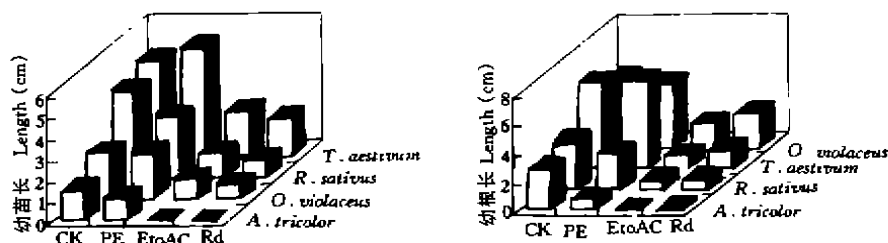


图3 不同有机溶剂萃取液对受体植物种子幼苗长和根生长的影响

Fig. 3 Seedling and root elongation (cm) of receptor plants sown in petri dishes to different organic reagent extract of aerial parts of *A. Ordosica*

PE: 石油醚; EtoCH: 乙酸乙酯; Rd: 萃取余液

3个组分对种子萌发的化感作用生物试验, 多重比较结果表明, 组分 I (石油醚: 乙酸乙酯=1:1) 对几种受体种子的萌发率与其他组分比较, 有显著 ($p=0.05$) 的抑制作用。图4为幼芽长和根长的比较, 从中也可以发现, 组分 I 对幼芽长和根长的抑制活性是最高的, 而组分 I、II 对种子萌发、幼苗和根长的影响与对照相比没有达到显著差异。

幼苗植株形态上也有显著差异。对照组中的萝卜幼芽发育良好, 根平展, 并有根毛。而组分 I 中的幼芽倒伏, 叶片黄绿, 根尖呈深褐色, 根毛较少。在组分 I 和组分 II 中, 除个别根短小外, 形态与对照相近。

这表明, 从乙酸乙酯萃取液中分离的组分 I (石油醚: 乙酸乙酯=1:1) 中, 含有起化感作用的重要成分, 是下一步分离和鉴定化感物质结构的主要部分。

3.3 化感物质的化学定性反应试验

为进一步分析鉴定化感物质, 对乙酸乙酯萃取液分离的组分 I 进行了3种化学定性反应试验: 锌粉盐酸反应试验、三氯化铝反应试验和氨熏反应试验。结果表明, 3种反应试验均呈阳性反应, 说明组分 I 中物质主要为黄酮类化合物。某些黄酮类化合物可影响矿质元素的吸收, 抑制矿质吸收的原因是抑制呼吸和氧化磷酸化, 抑制质膜^[24], 这与细胞膜的损伤有关, 它可能是油蒿水浸提液化感作用的重要原因。对其它化合物有待做进一步的鉴定。

3.4 油蒿群落种类组成中的化感作用现象

在生态站范围内调查记载了8个主要油蒿群落, 群落总覆盖度为10%~60%, 记录到50多种植物。不同群落, 种类组成差异较大, 从3种到20余种。动态观测结果表明, 油蒿群落5~10月份, 种群消长近似抛物线型, 主要是1年生植物消长造成的。选择旺盛生长、半死和死亡状态的单株油蒿, 调查70cm半径范围内的种类组成和分布格局, 有迹象表明, 在活株和半死株油蒿周围, 缺少某些1年生植物, 如无腺花旗参 (*Donostemon eglandulosus*)、尖头叶藜 (*Chenopodium acuminatum*) 和蒺藜 (*Tribulus terrestris*) 等; 同时还观察到, 牛心朴子与油蒿一起生长时, 前者生长较好, 后者较弱。综合考虑油蒿水浸提液和挥发油 (另文发表) 化感作用的生物试验结果, 不难联想到, 在自然条件下, 某些1年生植物的缺少, 可能和油蒿的化感物

表3 乙酸乙酯萃取液的不同组分对受体植物种子萌发率的影响

Table 3 Germination percentage of receptor plants sown in petri dishes to various fractions of EtoAC extract of aerial parts of *A. ordosica**

植物种 Species	CK	组分 Fraction		
		I	II	III
萝卜 <i>R. sativus</i>	83a	5.7b	84a	64a
苋菜 <i>A. tricolor</i>	86a	1b	54a	53a
二月兰 <i>O. violaceus</i>	61a	5c	28b	21b

* 数字后的字母表示 Duncan's 新复极差显著性测验 ($p=0.05$), Values in the same rows followed by the same letters do not differ ($p=0.05$) according to Duncan's new multiple range test (Duncan, 1955).

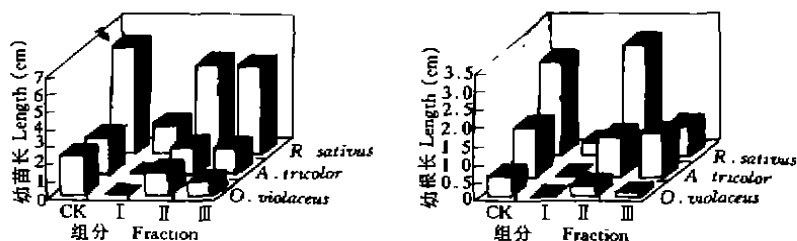


图 4 乙酸乙酯萃取液的不同组分对受体植物种子幼苗长和根长生长的影响

Fig. 4 Seedling and root elongation of receptor plants sown in petri dishes to various fractions of EtoAC extract of aerial parts of *A. ordosica*

质所产生的抑制作用有关。前文也已阐明,在油蒿水浸提液浓度小于 3g/100ml 时,对牛心朴子的发芽有一定的促进作用,在自然条件下,和油蒿一起生长的牛心朴子生长较好,这和室内生物试验结果和野外调查研究结果也正好有一致之处。这些结果显示,在油蒿群落中,潜在着油蒿化感物质,对群落的种类组成、分布格局以及群落的演替的相互作用的化学的相互作用。当然由于大气环境稀释能力很强,有机物降解迅速,油蒿向环境释放化感物质的量有一定的限度,它的化感物质的生态学作用,不像直接的生物鉴定那样明显,同时短期的研究在深度上也受到一定的限制。但从化学生态学的学科发展和群落中植物间化学相互关系方面看,油蒿化学生态学确是值得进一步研究。

4 结论

(1) 油蒿茎叶水浸提液对植物受体种子的萌发和苗期生长有明显的抑制作用,对种子萌发后的苗长和根长生长也有一定程度的影响。

(2) 从油蒿茎叶有机溶剂萃取液对种子萌发的影响来看,乙酸乙酯萃取液对种子萌发有强烈的抑制作用,从乙酸乙酯萃取液中进一步分离出的 3 个组分对种子萌发的生物试验来看,组分 I 中含有主要的化感物质。通过定性反应试验结果说明组分 I 中物质主要为黄酮类化合物。

(3) 油蒿群落种类组成、种群消长的初步观察结果表明,在油蒿周围缺少某些 1 年生植物,对比油蒿化感作用的生物试验结果,可以认为,在自然条件下,某些 1 年生植物的缺少可能和油蒿释放出的化感物质所产生的对种子萌发抑制作用有关。

参考文献:

- [1] Chou C H. The Role of Allelopathy in Phytochemical Ecology, in *Phytochemical Ecology, Allelochemicals, Mycotoxins, Insect Pheromones and Allomones*. Chou, C. H., Waller, G. R., Eds. Institute of botany, Academia Sinica Monograph series No. 9, Taipei. 1989.
- [2] Rice E L. some Possible Roles of Inhibitors In Old-field Succession, In: *Biochemical Interactions Among Plants*. National Academy of Sciences, U. S. A., Washington, D. C., 1971.
- [3] Putnam A R, et al. *The Science of Allelopathy*. John Wiley & Sons, New York. 1986.
- [4] Muller C H. The role of Chemical Inhibition (Allelopathy) in Vegetation Composition. *Bulletin of The Torrey Botanical Club*, 1966, **93**(5): 332~351.
- [5] Whittaker R H, Feeny P P. Allelochemicals: Chemical Interactions between Species. *Science*, 1971, **171**, 757~770.
- [6] Chou C H. The Role of Allelopathy in Subtropical Agroecosystems in Taiwan, In: *The Science of Allelopathy*. Putnam, A. L., Tang, C. S., Eds. John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 1986, 57~73.
- [7] 王大力, 祝心如. 三裂叶豚草的化感作用研究. *植物生态学报*, 1996, **20**(4): 330~337.

- [8] 张宝翠,白雪芳,顾立华,等. 生化他感作用与高寒草甸上人工草场自然退化现象的研究. 生态学报, 1989, 9(2): 115~120.
- [9] 曾任森,林象联,骆世明,等. 澎蘘菊的生化他感作用及生化他感作用物的分离鉴定. 生态学报, 1996, 16(1): 20~27.
- [10] Sembdancer G, Parthier B. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 1993, 44: 569.
- [11] 丘明新,刘家琼. 试论油蒿植物群落的利用. 自然资源, 1982, (2).
- [12] 雍世鹏,郭锡锋. 内蒙古植被,第九章,沙地植被. 中国科学院内蒙古、宁夏综合考察队. 北京: 科学出版社, 1985.
- [13] 王庆锁. 我国油蒿研究的一些进展. 中国草地, 1992, 2: 74~78.
- [14] Stiles L H, *et al.* Effects of Two Sesquiterpene Lactones Isolated from *Artemisia Annua* on Physiology of *Lemna Minor*. *J. of Chemical Ecology*, 1994, 20(4): 969~978.
- [15] Kil B S, Yun K W. Allelopathic Effects of Water Extracts of *Artemisia princeps* var. *orientalis* on Selected Plant Species. *J. of Chemical Ecology*, 1992, 18(1): 39~51.
- [16] Friedman J, *et al.* suppression of Annuals by *Artemisia Herba-Alba* in The Negev Desert of Israel. *J. Ecology*, 1977, 65: 413~426.
- [17] Funke G L. The Influence of *Artemisia absinthium* on Neighboring Plants. *Blumea*, 1943, 5: 281~293.
- [18] Halligan J P. Toxicity of *Artemisia californica* to Four Associated Herb Species. *Am. Midt. Nat.* 1976, 95: 406~421.
- [19] 张文彬主编. 内蒙古自治区伊克昭盟毛乌素沙地农牧业资源及调查区划. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1989.
- [20] 北京大学地理系等. 毛乌素沙区自然条件及其改良利用. 北京: 科学出版社, 1983.
- [21] 李 博. 内蒙古鄂尔多斯高原自然资源与环境的研究. 北京: 科学出版社, 1990.
- [22] 中国科学院上海药物研究所. 中草药有效成分提取与分离(第2版). 上海: 上海科学技术出版社, 1983.
- [23] Einhellig F A. In: Putnam A. R. and C. S. Tang Eds., *The Science of Allelopathy*. John Wiley & Sons. New York, 1986. 171.
- [24] Glass A D M. *J. Exp. Bot.* 1974, 25: 1104.