

408-414

3965(11)

第14卷 第4期
1994年12月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 14, No. 4
Dec., 1994

红树植物秋茄幼苗对镉耐性的研究*

郑逢中 林 鹏 郑文教

(厦门大学环境科学研究中心, 厦门, 361005)

Q949.761.7

摘 要 土培和砂培相结合, 以不同镉浓度处理秋茄幼苗的试验结果表明, 100mg/L 镉浓度对种苗萌发产生显著抑制效应, 第2对叶萌发百分率在13.3%以下。在幼苗生长阶段, 砂培25mg/L组, 幼苗(植物体平均镉含量146.43 μ g/g)受严重伤害致死; 土培25mg/kg, 幼苗(镉含量27.24 μ g/g)生长正常; 达50mg/kg时, 幼苗(镉含量30.47 μ g/g)生长明显受抑制, 生物量和高度生长量分别比对照降低19.54%和25.02%, 因此植物体镉积累浓度是抑制幼苗生长的主要因素之一, 与其他陆生木本植物相比, 秋茄属高耐性植物。根据秋茄幼苗根与其它器官镉含量的比值变化, 确定土培幼苗体内耐受镉的临界值大约为30 μ g/g。

关键词: 红树植物, 秋茄, 镉, 耐性。

红树科

红树林生长于海陆交汇河口的盐渍滩涂, 由于特殊的环境条件, 以及红树林所特有的阻浪消能、加速沉积和对底质的改造等作用, 使上游地区水中绝大部分悬浮颗粒物沉降在河口区^[1], 其中含有不少重金属。因此河口区重金属污染已成为重要的生态环境问题之一。红树林及其它木本植物对重金属污染物的耐性和净化作用是重要的研究课题^[2-6]。镉是具有极大潜在危害的重金属污染物之一, 在植物体内积累会对植物生长发育等生理活动产生广泛影响^[7,8]。本文通过对红树植物秋茄(*Kandelia candel*)种苗盆栽试验, 旨在探索红树植物对重金属的耐性及其机制, 以期治理海洋河口重金属污染提供理论和实践依据。

1 试验材料与方法

1.1 材料

供试验的种苗采自福建九龙江口龙海县浮宫镇(24°24'N, 117°55'E)红树林区, 选取刚从母树上掉落的成熟、生活力强、重量相近的种苗进行培养。

1.2 栽培试验

1.2.1 土培试验 取基本无污染的40—60cm深层的红壤土, 经测定镉本底值低于0.108mg/kg, 过筛, 取颗粒小于1.0mm, 用NaOH溶液调土壤pH至7.0左右, 加NaCl溶液使土壤盐度为10‰。用氯化镉($\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$)母液处理土壤, 使之浓度为0(对照)、25、50、100、200、400mg/kg系列, 充分搅拌成湿润状态后置于直径为24cm, 高14cm的陶质花盆中, 放置4星期后移栽种苗, 每盆5株。

1.2.2 砂培试验 采用内盛砂基的网格塑料盆, 套入陶质盆(体积与土培的相近)中, 每盆种植5株, 培养液500mL。培养液用经活性炭过滤的海水和自来水配制(盐度约为10‰, 镉本底值低于0.1 μ g/L), 设置0(对照)、0.25、2.5、25、50、100、200、400mg/L镉处理系列。每500mL培养液添加 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 0.500g和 KH_2PO_4 0.125g。每7d换液一次, 每天用经过滤的自来水补足蒸发散失的水量。

* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1992 03 06, 修改稿收到日期: 1994 01 05。

以上 2 项试验均设 3 个重复,每天光照 10h,光强 3000lx(与幼苗所处自然林下光强相近);相对湿度 70%—80%;平均日最高和夜最低气温分别为 $30.5 \pm 2.9^{\circ}\text{C}$ 和 $22.5 \pm 2.6^{\circ}\text{C}$ (5 月 12 日始种),培养期 70d。

1.3 样品处理和分析

植物样品按叶、茎、胚轴(原种苗部分)、根 4 个组分取样,经自来水、蒸馏水洗净,80℃烘干(另取部分样品 105℃烘至恒重,称重,以求取生物量)。样品用石英研钵磨碎过 80 目尼龙筛,装瓶待测;样品用硝酸-高氯酸(均为优级纯)湿法消化^[9],稀释定容用无离子水。镉含量用 Perkin-Elmer3030B 原子吸收光谱仪和 HGA-500 石墨炉、AS-40 自动进样器,高含量样品用火焰法测定。

2 结果与讨论

2.1 镉对秋茄的毒性效应

2.1.1 镉对种苗萌发的影响 种苗萌发是决定胚轴繁殖体能否生长为幼苗的关键期,为了便于观测,将种苗萌发过程分芽从上胚轴露出,第一对叶展开和第二对叶展开 3 个阶段,并记录各阶段所经历的天数以及植株在各阶段萌发百分数。

含镉系列土培和砂培种苗萌发各阶段天数和萌发百分数的结果见表 1 和表 2。在 50mg/L 以下各处理组,其萌发速率与对照相比无明显差异;土培除 50mg/kg 组第二对叶展开百分数为 86.7%外,其余各组萌发百分数均达 100%,表明 50mg/kg 以下镉浓度对幼苗的萌发无显著影响。

在土培基质镉含量达 100mg/kg 和砂培基液镉浓度达 100mg/L 以上,种苗萌发明显受抑制。随处理浓度增大,萌发所需时间延长,萌发百分数下降。在基质浓度达 400mg/kg(土培)或 mg/L(砂培),露芽率土培和砂培仅分别为 6.7%和 26.7%。并随着处理时间延长,受害效应日趋明显,如砂培 100mg/L 浓度组种苗虽能露芽,但只有 93.3%的植株展开第一对叶,而仅有 13.3%的植株展开第二对叶。与砂培类似,土培 100mg/kg 组种苗虽可露芽和展第一对叶,但未能展开第二对叶,经 F 检验,土培 100mg/kg 和砂培 100mg/L 以上浓度组种苗萌发速率及萌发率与对照比较差异均极显著($p < 0.01$),这表明秋茄种苗萌发受镉抑制的浓度在 100mg/kg(土培)或 mg/L(砂培)。

表 1 不同浓度镉对土培秋茄种苗萌发的影响

Table 1 Effect on germination of *Kandelia candel* seedlings treated with Cd in soil culture

镉浓度 Treatment (mg/L)	株数 Amount of plants (n)	露 芽 Germination		第一对叶展开 First pair of leaves unfurled from stem		第二对叶展开 Second pair of leaves unfurled from stem	
		时间 Time(d)	百分数(%) Percentage	时间 Time(d)	百分数(%) Percentage	时间 Time(d)	百分数(%) Percentage
0(CK)	15	19±5	100	23±5	100	37±5	100
25	15	21±4	100	24±4	100	39±5	100
50	15	19±4	100	23±4	100	42±5 (n=13)	86.7
100	15	25±5	100	30±5	100		0
200	15	26±4 (n=12)	80.0	32±5 (n=10)	66.7		0
400	15	28±0 (n=1)	6.7	35±0 (n=1)	6.7		0

表 2 不同浓度镉对砂培秋茄种苗萌发的影响

Table 2 Effect on germination of *Kandelia candel* seedlings treated with Cd in sand culture

镉浓度 Treatment (mg/L)	株数 Amount of Plants (n)	露 芽 Germination		第一对叶展开 First pair of leaves unfurled from stem		第二对叶展开 Second pair of leaves unfurled from stem	
		时间 Time(d)	百分数(%) Percentage	时间 Time(d)	百分数(%) Percentage	时间 Time(d)	百分数(%) Percentage
0(CK)	15	20±4	100	25±4	100	35±4	100
0.25	15	18±5	100	25±5	100	34±6	100
2.5	15	19±4	100	25±4	100	34±4	100
25	15	17±5	100	24±5	100	33±7	100
50	15	17±4	100	26±7	100	34±5	100
100	15	24±5	100	33±7 (n=14)	93.3	40±2 (n=2)	13.3
200	15	26±4 (n=13)	86.7	35±6 (n=6)	40.0		0
400	15	27±4 (n=4)	26.7	35±1 (n=2)	13.0		0

2.1.2 镉对幼苗生长的影响 幼苗受镉浓度的影响可从其生物量和高度生长量表现出来。不同镉浓度系列培养 70d 幼苗净生长生物量(扣除原种苗胚轴)差异见图 1, 30d 及 70d 幼苗高度生长量变化见图 2。从图中可见, 不同浓度组幼苗受镉浓度影响的程度不同。在土培条件下, 镉浓度在 25mg/kg 以下, 幼苗生物量和高度生长量不受影响。但浓度达 50mg/kg 以上, 两者均随浓度的增加而降低。如 50mg/kg 浓度组植株生物量和高度生长量分别比 25mg/kg 组降低 22.56% 和 25.08%。在砂培条件下, 0.25mg/L 浓度组植株生物量和高度生长量未受到影响; 而浓度达 2.5mg/L 以上, 两者均表现出随处理浓度的提高而下降, 但下降较明显的是高度生长量。将各处理组植株生物量和高度生长量进行方差分析, 结果表明: 土培 50mg/kg 以上和砂培 25mg/L 以上处理组与相应低浓度组差异均达到极显著水平($p < 0.01$); 但土培 25mg/kg, 砂培 2.5、0.25mg/L 处理组与相应对照组差异不显著($p > 0.05$)。

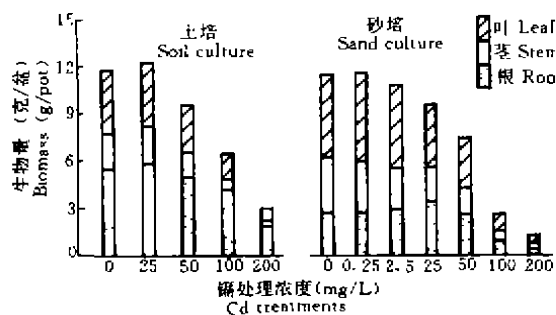


图 1 不同浓度镉对 70d 秋茄幼苗生物量的影响
Fig. 1 Effect of different Cd treatments on biomass of *K. candel* seedlings for 70 days

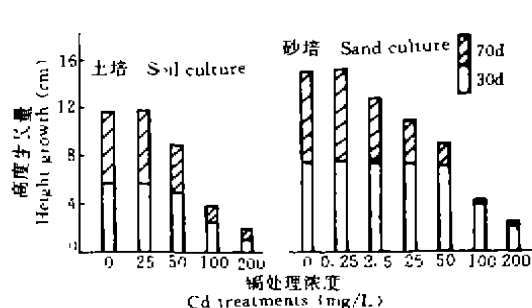


图 2 不同浓度镉对秋茄高度生长量的影响
Fig. 2 Effect of different Cd treatments on height of *K. candel* seedlings

以上试验结果显示土培和砂培镉对幼苗生长的影响存在较大的差异。砂培 2.5mg/L 浓度组幼苗生长已受到一定程度的影响。生物量和高度生长量分别比对照下降 5.79% 和 14.50%。而土培则达到 50mg/kg 才受到影响(生物量和高度生长量分别比对照下降 19.54% 和 25.02%)。这表明了土培秋茄幼苗比砂培幼苗可忍耐更高的镉浓度; 这可能与镉在土壤中的可

溶态含量降低有关,而减少了镉对植物的有效性,以致削弱土壤镉对秋茄幼苗的毒性。

自然情况下,土壤镉背景值为 $0.01\sim 0.70\text{mg/kg}^{[5]}$ 。据报道,土壤重金属含量为背景值的 3 倍以上时,被确定已受到严重污染^[10]。本试验秋茄幼苗受害土壤浓度在 50mg/kg ,这一浓度远高于一般污染土壤,表明秋茄的耐镉性较强,是一种较好的抗镉污染植物。

镉对幼苗的伤害首先从根的外部形态表现出来,表现了根的伸长被抑制,镉浓度愈大,抑制作用愈明显。受害初期根系粗而短,根毛稀少,呈褐色,根表皮增厚,后期较严重时,根系变黑致死,叶片萎蔫脱落,植株枯萎而死亡。

2.2 幼苗对镉的积累和耐性

2.2.1 积累特征及其与受害的关系 无论是土培或砂培,植物体各器官镉积累量随处理浓度的增加而增加(见表 3、表 4)。各器官镉的积累浓度为:根>胚轴>茎>叶。其中根镉含量为其他器官的 2.6—456 倍。无论哪一级浓度,根镉含量均比基质浓度高,表现出显著富集效应。在相同处理浓度下,砂培植株镉含量比土培高,受害程度较大。

表 3 砂培幼苗镉含量与受害的关系

Table 3 The relation between the contents of Cd in seedlings and their injury in sand culture

镉浓度 Treatment (mg/L)	植物体各组分镉含量($\mu\text{g/g}$) Cd content in fraction					生物量 下降 Biomass decline (%)	生长高 度下降 Height decline (%)	受害出现 时间 Injury start time (d)	生长状况 Growth state
	叶 Leaf	茎 Stem	胚轴 Hypocotyl	根 Root	整株 Plant				
0(CK)	0.246	0.372	1.006	2.645	0.973				正常 Normal
0.25	0.643	1.420	3.403	45.497	5.110	+0.26	+1.40		正常 Normal
2.5	0.915	1.615	8.261	538.740	34.648	-5.79	-14.50	60	生长缓慢 Slow growth
25	5.542	6.648	34.437	2045.988	146.425	-16.68	-28.08	38	65d 死亡 Died after growing for 65 days
50	11.787	11.601	115.436	3542.046	256.165	-35.21	-40.32	26	54d 死亡 Died after growing for 54 days
100	13.552	20.765	442.649	5828.718	515.402	-78.05	-73.99	14	45d 死亡 Died after growing for 45 days
200	19.431	49.019	907.821	8863.899	949.998	-90.08	-83.57	8	38d 死亡 Died after growing for 38 days

表 4 土培幼苗镉含量与受害的关系

Table 4 The relation between the contents of Cd in seedlings and their injury in soil culture

镉浓度 Treatment (mg/L)	植物体各组分镉含量($\mu\text{g/g}$) Cd content in fraction					生物量 下降 Biomass decline (%)	生长高 度下降 Height decline (%)	受害出现 时间 Injury start time (d)	生长状况 Growth state
	叶 Leaf	茎 Stem	胚轴 Hypocotyl	根 Root	整株 Plant				
0(CK)	0.184	0.260	0.585	1.761	0.660				正常 Normal
25	1.278	1.857	5.625	213.992	27.238	+1.61	+0.80		正常 Normal
50	2.406	3.218	8.872	259.938	30.474	-19.54	-25.02	52	生长缓慢 Slow growth
100	5.741	5.120	14.609	312.500	35.416	-45.18	-66.53	15	62d 死亡 Died after growing for 62 days
200	10.523	14.594	189.448	484.273	195.784	-75.38	-84.53	9	46d 死亡 Died after growing for 46 days

在出现受害的土培 50mg/kg 和砂培 25mg/L 以上各处理组,植物体镉含量愈高,生长受抑制愈大及受害出现的时间愈早,表明了体内镉含量增加是抑制植物生长的主要原因之一,即受害是在植物体内镉吸收积累达一定浓度时出现的。并且其受害程度与镉积累浓度和培养时间呈正相关。

2.2.2 幼苗对镉的耐性 植物对重金属的耐性可用“临界值上限”(Upper critical level)来衡量^[4]。即当土壤或植物体镉含量达到并稍高于临界浓度时,植物的生物量明显下降,此时土壤或植物体内镉含量值即反映植物对镉的耐性。通常用植物体镉含量作为指标比用土壤镉浓度更适宜,并采用生物量下降 25% 时植物体内镉含量值(或叶镉值)确定为植物的耐性临界浓度^[8]。

从表 4 可看出,土壤镉浓度为 25mg/kg,培养 70d 的幼苗,其根镉含量达 214 μ g/g,植株平均镉含量为 27.24 μ g/g,为对照植株的 41 倍,但无论高度生长量或生物量与对照相比均无明显差别。在土壤含镉达 50mg/kg 时,幼苗根镉含量达 260 μ g/g,植株镉含量为 30.47 μ g/g,高于对照 46 倍,生物量比对照下降 19.5%,接近临界水准。黄会一等^[5]报道了 3a 龄木本植物体内对镉的耐受临界浓度一般在 2—17 μ g/g 之间,耐性强的种类如杨柳类可达 35—47 μ g/g,其耐性与本实验秋茄幼苗相近,表明秋茄幼苗对镉有较强的耐性。

秋茄对镉的高耐性与其生物学特性密切相关。Bella 等^[11]认为,红树科植物对重金属的耐性与根中含有大量难溶性硫化物有关。Walsh 等^[12]则解释为由于红树植物根组织内具有特殊的解毒机能,可有效地降低重金属的毒性。总之,红树植物长期生长在高盐环境,体内富含硫化物、丹宁等,能与金属离子结合为难溶的物质或络合物,降低了金属离子的毒性;另外,其根中还具有拒盐、排盐等多种独特适应结构和机能,能有效地降低或排除包括重金属在内的盐离子对植物体的伤害。因此,红树科秋茄对镉的耐性是与其高耐盐性有着本质的联系。

表 5 根与其它器官镉含量的比值变化

Table 5 Variation of ratios of Cd contents in root and that in other organs

镉浓度 Treatment (mg/L)	砂培 Sand culture			土培 Soil culture		
	R/L	R/S	R/H	R/L	R/S	R/H
(CK) Control	10.75	7.11	2.63	9.57	6.77	3.01
0.25	70.76	32.04	13.37			
2.5	588.79	333.59	65.21			
25	369.18	307.76	59.41	167.44	115.24	98.04
50	300.50	305.32	30.41	108.04	80.78	29.30
100		280.70	13.17	54.43	61.04	21.39
200		180.83	9.76	46.02	33.18	2.56

R, Root; L, Leaf; S, stem; H, Hypocotyl

2.3 镉毒性临界浓度的确定与探讨

根与其他器官镉含量比值根/叶(R/L)、根/茎(R/S)、根/胚轴(R/H)不仅反映了镉在幼苗植物体内的迁移和分配规律,其比值变化还反映出植物受害时生理变化的某些特征。同一浓度组植株根镉含量与叶、茎、胚轴镉含量的比值关系见表 5。由表 5 看出,在系列浓度组中,砂培镉浓度低于 2.5mg/L 组、土培低于 25mg/kg 浓度组间,随着镉浓度提高, R/L、R/S、R/H 均呈逐渐增加的趋势,这表明在一定浓度下,存留在根部的镉相对量

增大。这一结果也证明了 Teas 所报道的根部凯氏带是阻挡离子大量进入的屏障^[12]。在砂培 2.5mg/L、土培 25mg/kg 浓度组,其比值均达到最大值。超过此浓度,其比值呈逐一下降趋势,说明了镉进入体内的量相对增加,这可能与在此浓度范围,植物根部阻挡离子进入的结构受到破坏,透性增大有关。通过对幼苗生长的观测,发现砂培 2.5mg/L 和土培 25mg/kg 浓度组生

长都属正常,但大于该浓度组(砂培 25mg/L 和土培 50mg/kg 以上)的各处理组,幼苗受害非常显著,该起始受害的浓度与 R/L 、 R/S 、 R/H 起始下降的浓度相吻合。这表明了 R/L 、 R/S 、 R/H 下降与植物体受害、生长受阻相关连。

上述分析结果表明:在盆栽条件下,随处理浓度提高,秋茄幼苗器官之间镉含量的 R/L 、 R/S 、 R/H 比值达到峰值后开始下降时,其植物体镉含量值(本试验土培秋茄幼苗植株为 $30.47\mu\text{g/g}$)可视为秋茄植物的“耐受临界浓度”。用此方法与用生物量下降 25% 的标准来判断临界浓度的传统方法相比,其优点在于以秋茄受害机理为依据,结果准确。是判定植物对镉耐性的有效指标之一。

参 考 文 献

- [1]李锦霞等.痕量重金属在厦门港和九龙江河口表层水中的分布特征.中国环境科学,1989,8(5):30—34
- [2]Walsh G E, et al. Resistance of red mangrove (*Rhizophora mangle* L.) seedlings to lead, cadmium, and mercury. *Biotropica*, 1979, 11(1): 22—27
- [3]Thomas C, et al. Effect of heavy metals zinc and lead on *Rhizophora mucronata* Lam. and *Avicennia alba* BL. seedlings. *Proc. As. Symp. Mangr. Env. Res. Manag.*, UNESCO, 1984, 568—574
- [4]Kuboi T, et al. Relationship between tolerance and accumulation characteristics of cadmium in higher plants. *Plant and Soil*, 1987, 104: 275—280
- [5]黄会一等.木本植物对土壤中镉的吸收、积累和耐性.中国环境科学,1988,9(5):323—330
- [6]林治庆等.木本植物对汞耐性的研究.生态学报,1989,9(4):315—319
- [7]张云孙,王焕校.种子镉的积累对蚕豆质量的影响.环境科学学报,1986,6(2):199—205
- [8]Page A L, et al. Cadmium In: Effect of heavy metal pollution on plant Vol. 1, Effect of trace metal on plant function (ed. by N. W. Leep), *Applied Science Publishers*, London and New Jersey, 1981, 77—109
- [9]环境污染分析方法编辑组.环境污染分析方法.北京:科学出版社,1987, 85—89
- [10]王焕校.污染生态学基础.昆明:云南大学出版社,1990, 332
- [11]Bella D A. Tidal flats in estuarine water quality analysis. Ecological Series Report, *Environ. Prot. Agency*, Corvallis, Oregon, 1975, 186
- [12]Teas H J. *The biosaline concept*. Plenum Publishing Corporation, 1979, 117

STUDY ON THE TOLERANCE OF *KANDELIA CANDEL* MANGROVE SEEDLINGS TO CADMIUM

Zheng Fengzhong Lin Peng Zheng Wenjiao

(Research Center for Environmental Science, Xiamen University, Xiamen, 361005)

Seedlings of *Kandelia candel* mangrove were treated with different concentrations of Cd in soil culture and sand culture under the same conditions. The results show that the treatment with Cd at a level of 100 mg/kg has a significantly inhibitive effect on the germination of the seedlings, with the second pair of cotyledons germinated at a rate of below 13.3%. In the stage of seedling growth, the seedlings growing in a sand culture treated with 25 mg/L of

Cd were heavily injured, with an average content of $146.43\mu\text{g Cd/g}$ tissue, and died after growing for 65 days. The seedlings growing in a soil culture treated with 25 mg/kg of Cd were normal to grow, with an average content of $27.24\mu\text{g Cd/g}$ tissue, and those treated with up to 50 mg/kg of Cd had a significantly inhibited growth, with an average content of $30.47\mu\text{g Cd/g}$ tissue, and the biomass and height reduced by 19.54% and 25.02%, respectively, relative to control. This indicates that the level of cadmium accumulated in the plant is one of the main factors inhibiting the growth of the seedlings. As compared with other terrestrial xylophyta, *K. candel* is a plant resistant to a higher Cd pollution. Based on the ratio of Cd level in the roots to that in other organs of the seedlings, the critical value of Cd in tissue that the seedlings growing in a soil culture can tolerate was determined to be about $30\mu\text{g Cd/g}$ tissue.

Key words: Mangrove, *Kandelia candel*, cadmium, tolerance.

信息

全国第4次植物种群生态学研讨会召开

全国第四次植物种群生态学研讨会于1994年8月22—28日在哈尔滨东北林业大学召开。来自复旦大学、西南师范大学、内蒙古大学、东北林业大学等十多所院校及研究所的近50名代表出席了会议。会议共收到论文30余篇,编辑出版了我国第一部植物种群生态学论文集——《植物种群生态学研究现状与进展》,该书在一定程度上反映了我国植物种群生态学近年来的研究现状和发展趋势,将对我国种群生态学的发展起到极大的推动作用。

会议由东北林业大学祝宁教授主持,王凤友教授、郑师章教授就本次学术研讨会的主要议题:种间关系、种群遗传与分化和构件统计等专题做了学术报告。与会代表就上述问题做了报告并就植物种群生态学新理论、新概念和新方法及该学科的发展趋势等问题进行了充分的讨论。

台湾大学森林学系姜家华教授和朱建华先生做了精彩的学术报告,终于实现了海峡两岸学者在该领域的学术交流,这对两岸携手发展我国植物种群生态学是一个良好的开端。

学者们一致认为:为了我国植物种群生态学的深入发展,需积极开展国内外学术界的广泛交流和多学科的联合或交叉,继续坚持长期的定位、定量和实验生态学的研究方法,进一步把个体、种群、群落和系统水平的研究有机地结合起来,把种群生态学的理论和研究方法向前推进。

建议中国生态学会种群生态学专业委员会,每2至3年召开一次研讨会。专家们建议下一次会议在重庆西南师范大学召开,其中心议题是:全球变化对种群的影响及其生态适应;种群的遗传分化;物种多样性与稀有植物、濒危植物的保护措施。

本刊讯