不同重金属污染经历下曼佗罗o Pξ8966ξ786ξ1 32χ9 1 p核酸代谢动态变化研究*

文传浩　常学秀　王震洪　段昌群**

（云南大学生命科学与化学学院生物系s　昆明ΓBxauZx）

摘　要　报道了铅锌矿区经历不同重金属污染时间的曼佗罗种群的核酸代谢动态变化情况。结果表明，重金属污染在短期几年内能抑制曼佗罗种群的核酸含量及刺激其核酸酶活性，但随着污染年代的推移，曼佗罗种群的核酸代谢变化朝着无污染的正常值方向发展、回复，说明在长期重金属污染胁迫下，曼佗罗获得了对重金属的抗性。但机制不明，有待进一步研究。

关键词　重金属　污染　曼佗罗　核酸代谢　抗性

人们对重金属污染的生物效应研究由来已久。以往的重金属污染研究主要集中在大剂量的急性毒理研究，以及污染物在生物不同组织、器官、生态系统中的迁移积累、生理生化机制等方面的研究[θx～zκ]。事实上，环境中更多污染物对生物的效应方式往往是小剂量、长期持续性作用。然而除了本世纪Bxω年代英国O6ξρ7φξ1　Ξu Pu等对英国利物蒲矿山上的Ξυ6378χt　1 36χξ28φξ　等植物对有毒金属长期适应的经典研究外，众多的研究很少涉及到有毒金属污染物在长期作用下的生物效应研究，此类研究在国内外都少见报道[θA～Δκ]。甚至一直到本世纪Zxω年代人们还习以为常地把重金属污染当作常规的胁迫生物学现象来研究。

植物遗传物质及其代谢差异变化及分化是造成植物外部性状间分异的前奏和内因[θEκ]。因此，本文以经过不同重金属污染时间尺度的曼佗罗o Pξ8966ξ786ξ1 32χ9 1 p种群为实验材料，通过分析经历不同污染历史种群的核酸代谢动态变化，试图探寻长期性有毒重金属污染对植物生理生化、生长发育的影响，从而为植物在重金属污染条件下的分子生态学、生态遗传学的研究提供一定的基础材料。

x　实验材料和方法

xux　实验材料

xuxux　实验材料的获取

实验材料曼佗罗采集于云南省会泽铅锌矿冶炼厂尾矿渣堆积区。矿区冶炼后的矿渣定点堆积，曼佗罗主要随着运输到矿渣堆上的生活垃圾发生迁移定居。连续Bξ　的定点观察发现，曼佗罗是该区域矿渣堆上的主要先锋植物[θZκ]，新矿渣堆大多当年就有曼佗罗生长，经y～zξ　后即可完全生活在细碎风化的粉质矿渣上。由于矿渣定点分批堆放，各堆放地段距今时间可以比较准确地确

* 国家自然科学基金oz ZΔΓxauxEp，云南省应用基础研究基金oZΠkauΓx p 及云南省跨世纪后备人才基金资助项目。本文得到杨东明先生、王焕校教授、吴玉树教授及孟玲老师的帮助与指导，特此致谢。

* * 通讯联系人

收稿日期HxZZE－xΓ－yZ

定。在具有较明确堆放时间、各堆放地点的小环境基本一致的矿渣堆上定点观察，并采集曼佗罗种子。在离矿渣堆ΔBkω1 以外的无污染山沟中，选取自然条件下生长的曼佗罗种群作为无污染经历的对照种群，各种群材料情况见表x。

表x 各不同重金属污染时间尺度的曼佗罗种群代号*及简况

种群采集号	种群代号	种群生长迹地矿渣堆放年代	种群污染时间p 年p
曼－Ⅳ	s	xZZx	y～A
曼－Ⅶ	ϵ	xZEA	xw～xy
曼－ε	∂	xZΔE	xΓ～xE
曼－εX	ΠΩ	对照	w

*本文中为表述方便，曼佗罗的s、ϵ、∂及ΠΩ种群代号与下文名称相同：短期污染种群为s s 中期污染种群为ϵ s长期污染种群为∂s对照种群为ΠΩ。

xωxωy 矿渣采集及分析

在样地中，选取了具不同堆放时间的z个样点矿渣进行分析，指标为4Φ、有机质、总ϑ、总ϕ、总Ω、总ϕo、Πρ、η2、Π9、ϵ2、ϵυ。生长在z 个样点上植物受污染的时间分别为y～Aξ、xw～xyξ、xΓ～xEξ，同时采集离矿渣堆积地ΔBkω1 以外的无污染土壤作对照。4Φ用ϕΦs —zΠ 型酸度计法，总ϑ 用凯氏定氮法，总ϕ 用ϑξϕΦ 熔融－钼锑抗比色法，总Ω、ϕo、Πρ、η2、Π9、ϵ2、ϵυ 用原子吸收分光光度法。

xωxωz 实验材料的易地栽培

在云南大学校园内的花圃中选取一块无人为污染、无特殊干扰，光、温、水、肥相对充足的校园绿地作为易地栽培实验点。实验地为壤质粘土，4Φ 为ΓωE，阳离子代换量（ΠΣΠ）为ZωΔπ130o +pv ωυ，盐基饱和度为AyωB%，有机质平均含量为yωA%，αϑ wωyE%，αϕ wωωAy%。重金属含量分别为ϕo y+xAωEΓ1υv ωυ s Πρ y+wωωyy1υv ωυ s η2 y+xxwωωA1υvωυ s Φυ y+wωωx y1υvωυ s ϵ2 y+yΓωyΔ1υvωυ。实验地保持排水良好。经整理后将实验地划分为A 个小样方，每一样方面积均为yωA×yωA1 y，样方之间设yxw π1 宽的间隔沟。s、ϵ、∂、ΠΩ 种子分别播于样方中自然发芽生长。

xωy 实验方法

xωyωx 核酸含量测定

取各种群个体距顶芽第y～z 叶位的叶片作实验材料，从播种后第Bvρ 开始测定，每隔ywρ 测定一次，直至种群出现衰老干枯为止，共测定B 次。Pϑ Ξ、ρϑ Ξ 的提取采用朱治平θxωκ 等的方法，略有改动。总核酸浓度按ϵ ξρχ3 2 θxxκ 公式计算H 总核酸浓度oμυv 1 ∂p Kωωωωy ZPyΓw—ωωωzΓωPyEωρ PyΓw、PyEωw 分别为核酸提取物在xπ1 光程的石英杯中比色时在yΓw2 1、yEωw2 1 处的紫外吸收值p。

Pϑ Ξ 的测定参照O9 683 2 θxyκ 的二苯胺法，用小牛胸腺Pϑ Ξ 作标准样品，ρϑ Ξ 含量由总核酸量减去Pϑ Ξ 量得到（单位为μυvυ Tδ）。

xωyωy 核酸分解酶活性测定

Pϑξ7σ 酶粗提液的提取参照任东涛θEκ 等方法s 略加改动。Pϑξ7σ 酶活性测定综合Ω9 2χ4 s ϵ πP3 2ξ0ρθxz xAκ 方法，ρϑξ7σ 酶活性提取与测定参照Ξ6ξρθxBκ 等人的方法。酶活力以每分钟上升wωωx ϕP 值为一个酶活力单位。wωωx ϕPυ1χ2 ·υTδp。本文数据为z 次测定结果的平均值。

y 结果与分析

yωx 矿渣及对照土样分析

矿渣及对照土样分析结果见表y。通过野外调查和土样分析，发现曼佗罗在各自的种群分布迹地上除了土壤重金属含量与相应的对照土样间具有极明显差异外，其他环境因素没有显著性差异（因同种质取样点相距很近，因此气候因素在本研究中可以忽略）。由于曼佗罗各种群原初材料均为同一区域内（估计为wωB ω1 y 范围内）同一种质基因库中的材料，这样原初遗传背景基本一

表 y　矿渣及对照土样主要成分分析　o 重金属含量单位 H υ υωυ p *

测定指标	s 样点	ϵ 样点	∂ 样点	ΠΩ 样点
ϵ Φ 值	ΔιιyA ± wιιyB	BιιιB ± wιιAB	Γιιz Δ ± x ιιιz	ΓιιBE ± wιιΓΔ
有机质	y ιιΓy ± wιιz x	z ιιz Δ ± wιιιA	z ιιyΓ ± wιιAy	y ιιz E ± wιιyz
总ϑ %	wιιιxyΓ ± wιιιΓ	wιιιBx ± wιιιιιA	wιιιxΔ ± wιιιyΓ	wιιιιz Z ± wιιιιιy
总ϕ %	wιιιBιιυ ± wιιιιιE	wιιιAA ± wιιιyx	wιιιΔZ A ± wιιιιx y E	wιιιιΖ ± wιιιBΓ
总Ω %	z ιιEΔE ± wιιEzz	z ιιιyA ± wιιιΓA	z ιιιιxy ± wιιz y Δ	y ιιyZy ± wιιZyA
总ϕo	z Γιιιιι

图z　Pϑξτσ 酶活性动态变化

ρ 测定期间迅速上升，这可能正是s 种群在野外生长期中最先出现衰老的原因之一；ϵ 与∂ 种群ϱϑξτσ 活性变化趋势较相似；总体上看∂ 种群变化动态更接近于ΠΩ 种群。

z 讨　论

重金属对核酸代谢变化的影响较为复杂，从上述结果来看，曼佗罗在短期污染（s 种群）经历下，其核酸含量及核酸酶活性随着生长期延长，变化幅度较大且基本无规律性，明显差别于ΠΩ 种群，这可能是由于在重金属强度污染下使得曼佗罗种群核酸代谢发生了一定程度的紊乱；但随着污染年代的推移，曼佗罗核酸代谢的动态变化逐渐向无污染的ΠΩ 正常值方向回复“反弹”，∂ 种群在核酸含量及核酸酶活性变化趋势上已较相似于ΠΩ 种群，这说明在长期重金属污染条件下曼佗罗种群对其环境产生了一定抗性。

段昌群等[θBκ]对在重金属污染条件下同一种质的蚕豆经过A 代原位种植实验后也发现，重金属污染条件下蚕豆在株高、首次开花时间、每株结豆荚数等数量性状上存在代内及代间分化，在第x 代时植物受到重金属的毒害效应较明显，然而随着年代的推移，大多数量性状又朝着正常值回复。另外段昌群 对

图A　ϱϑξτσ 酶活性动态变化

云南会泽铅锌矿矿渣废弃地上经历不同污染年代的曼佗罗种群的外部数量性状进行了研究并得到相似的结论。

植物外部数量性状作为判定抗性指标之一[θB~Δκ]，它的变化首先取决于蛋白质的合成动态变化，而蛋白质的合成又直接受到核酸代谢的控制。因此核酸代谢（PϑΞ、ϱϑΞ 含量、Pϑξτσ、ϱϑξτσ 活性）的变化都会引起蛋白质合成的强弱进而影响外部性状的差异表达。因此，对核酸代谢变化的研究有助于深入理解植物在重金属污染环境下产生抗性的形成机理。

曼佗罗植物种群核酸代谢变化的原因可能有两方面，一是由生境引起的环境饰变，二是遗传变异。本研究表明不同污染经历的曼佗罗种群向具有一定定向性的方向变化，这种变化显然不能简单地归结为环境饰变，因为环境饰变是随机性发生，它诱发的核酸代谢变化在种群间不会表现出本文结果中规律性变化，因此这一变化也可能是环境污染诱发的植物在基因活动水平上反映出的一种差异，但究竟是哪一种原因所致还是两种因素的综合作用，本研究还难以解释清楚，这有待于利用等位酶、ϱΞϕP 等分子生态学技术对不同曼佗罗种群的遗传分子结构进一步进行分析研究。因此，本研究为在长期环境污染条件下植物分子生态水

* 段昌群，云南大学生态学博士论文，昆明，xZZΔ

平上的抗性研究提供了一定依据和背景材料。

参 考 文 献

x　许嘉琳，杨居荣 u 陆地生态系统中的重金属 u 北京 H 中国环境科学出版社，xZZZ Γ HΓx ～yΓZ

y　段昌群，王焕校，曲仲湘 u 重金属对蚕豆 o γχπχξ τξοξ p 根尖的核酸及核酸酶活性影响的研究 u 环境科学，xZZy Θτzo Bpzx ～zB

z　王万里 s 章秀英 s 林芝萍 u 水分胁迫对高粱等作物叶片中核糖核酸酶活力的影响 u 植物生理学报 sxZEΓ Θτy o xp HτΓ ～yB

A　熊治廷 u 植物抗污染进化及其遗传生态学代价 u 生态学杂志 sxZZΔ Θτ Γo xp HBz ～BΔ

B　段昌群 s 王焕校 s 姜汉桥 u 蚕豆在重金属污染条件下数量性状的分化研究 u 生态学报 sxZZΔ Θτ Δo yp Hτzz ～xAA

Γ　ϵ ξπϑξχ3 ϵ　ρ u δ φ3 8φσ σ0 3098χ3 2 3τ 6σ7χ8ξ2πσ83 ξ2 8φ6 3 4 3 υσ2χπ 8 3 2χ2 7 2 3 6 1 ξ00 3 χ2 0 3 00 σ7 1 ξψ6 6 υσ2σ πφξ2 υσ7 Hτφσ 0χ1 χ5 7 8 3 2ξ8 9 6ξ0 7σ0σπ5χ3 2 u Υσ2 σ5χπξ s xZZx ΘEA Hyxz ～yxZ

Δ　αξ3 0 3 6 Υ Σ s φχσ8ξ T ∂ ξ2ρ Πτσυυ ϵ　Ψωσρρ u Σπ3 0 3 υχπξ0 υσ2 σ5χπ7 ξ2ρ ξχ3 4 3 0 0 9 8χ3 2 u s 4 6 9 2 υσ6 — γσ60ξυ s ϑσ1 ζ 3 6 ω s Oσ60χ2 s ∂3 2ρ3 2 s φξχ7 s α3ω3 3 H xZZωHΓy ～yxw

E　任东涛 s 张承烈 u 河西走廊不同生态型芦苇核酸代谢季节动态研究 u 植物学报 sxZZA Θτ Γo Bp HτEB ～zZy

Z　王宏镔 s 文传浩 s 谭晓勇等 u 云南会泽铅锌矿矿渣废弃地先锋植物群落调查及植被重建研究 u 云南环境科学 sxZZE Θτ Δo yp

xw　朱治平 s 沈瑞娟 s 唐锡华 u 高等植物胚胎的发育生物学研究 XXH 水稻胚胎发育过程中的生化变化 u 植物生理学报 sxZEτω Θτ Γo yp HτAx ～xAΔ

xx　ϵ ξρχ3 1　Ψ α s α φ3 1 4 7 3 2 Ψ T s ϵ σ2 9 7 8σ6 Ξ — ϵ Σ u Pσ3 2 3 6χo 3 2 9 πσχπ ξπχρ s 6χo 3 2 9 πσχπ ξπχρ s 4 6 3 8σχ2 ξ2ρ 9 2 π3 1 oχ2σρ ξ1 χ2 3 ξπχρ π3 2 8σ2 8 3τ 0συ2 1 σ 7σσρ7 ρ9 6χ2 υ σ1 0 6 3 3 υσ2 3 u Ξ2 2　O3 8 s xZΔΓ Θτω xΓEp HΔAB ～ΔBΓ

xy　O9 6 8 3 2 Ω u Ξ 7 8 9 ρ3 τ3 6 8φσ π3 2 ρχ5χ3 2 7 ξ2ρ 1 σπφξμ 2χ7 1 3τ 8φσ ρχ4 φσ2 3 0ξ1 χ2σ 6σξπ5χ3 2 τ3 6 8φσ π3 0 3 6χμ 1 σ8 6χπ σ7 8χ1 ξ8χ3 2 3τ ρσ3 2 3 6χo 3 2 9 πσχπ ξπχρ u Oχ5 πφσ1 s xZΓy ΘΓy HτxB ～zyz

xz　Ω9 2χ3 4 ϵ u Π5 3 7 8ξ0 0χ2σ ρσ3 2 3 6χo 3 2 9 πσξ7σ XXHPχψσ7μ 8χ3 2 3τ 8φ3 1 9 7 2 9 πσχπ ξπχρ o Pσ3 2 3 6χo 3 2 9 πσχπ ξπχρ p 8φσ ωχ2σ8χπ7 3τ 8φσ 6σξπ8χ3 2 u Ψ Υσ2 φφ3 7χ3 0 sxZBτω Θ zz HτΓz ～zΔΔ

xA　ϵ πP3 2ξ0ρ ϵ　ρ u Pσ3 2 3 6χo 3 2 9 πσξ7σ7 uX2 HΠ3 0 3 1 χπω s φ sΩξ4 0ξ2 ϵ　φ u σρ7 u s ϵ σ8φ3ρ7 χ2 σ2 4 3 1 3 0 3 υ3 u γ3 0 uXXs ϑσ1 ζ 3 6 ω HΞπξρσ1 χπ φ6σ7 sxZBB Θτz Δ ～AAΔ

xB　Ξ0ξρ s s ϵ χ6ξφχ ζ s ρχπφ1 3 2ρ Ξ Σ u ∂σξτ 1 ξ8σ6 π3 2 8σ2 8 ξ2ρ φ3 6 1 3 2σ σττσπ5 7 3 2 6χo 3 2 9 πσξ7σ ξπ8χ5χμ 8 3 u φ0ξ2 8 φφ3 7χ3 0 s xZΔz ΘBy HBrw ～Brxy

作者简介

文传浩 s 男，yΓ 岁，云南大学生态学硕士。主要从事污染生态学、环境生物学等领域的学习和研究，先后参加 B 项国家自然科学基金及云南省应用基础研究基金项目。现已发表论文 xΓ 篇，参编污染生态学高校教材一部。

s 8 9 ρ3 3 2　P3 2ξ1 χπ Πφξ2 υσ 3τ ϑ9 πσχπ Ξπχρ ϵ σ8ξo 3 0χ1 1 3τ Pξ8 9 6ξ 7 8 6ξ 1 3 2χ9 1 Σ2 4 3 7σρ Pχττσ6σ2 8 Φσξ0 3 ϵ σ8ξ0 φ3 0 0 9 8χ3 2 P9 6ξ8χ3 2 u δσ2 Πφ9ξ2 φξ3 σ8 ξ0 u oOχ5 0 3 υ3 Pσ4ξ6 8 1 σ2 8 s ∂χτσ sπχσ2πσ ξ2ρ Πφσ1 χ5 8 6 3 Π3 0 0 συσ s ζ 9 2 2ξ2 β2χ5 σ6 7χ5 3 s Ω9 2 - 1 χ2υ ΓBτωZxp s Ξυ6 3 μσ2 0χ6 3 2 1 σ2 8ξ0 φ6 3 8 σπ5χ3 2 s xZZZ ΘxEo yp HΔZ ～Bz

X2 8φχ1 4ξ4σ6 s 8φσ ρ3 2ξ1 χπ πφξ2 υσ 3τ 2 9 πσχπ ξπχρ 1 σ8ξ0 3 0χ1 1 3τ Pξ8 9 6ξ 7 8 6ξ 1 3 2χ9 1 s σ2 4 3 7σρ ρχττσ6σ2 8 φσξ0 3 1 σ8ξ0 4 3 0 0 9 8χ3 2 ρ9 6ξ8χ3 2 s χ1 6σ4 3 6 8σρ u αφσ 6σ7 9 0 8 7φ3 1 7 8φξ8 φσξ0 3 1 σ8ξ0 4 3 0 0 9 8χ3 2 πξ2 6σ7 8 6ξχ2 8φσ 2 9 πσχπ ξπχρ π3 2 8σ2 8 7 ξ2ρ 4 6 3 1 3 8σ 8φσ ξπ5χ5χ5χσ7 3τ Pϑξ7σ ξ2ρ ρϑξ7σ 3τ Pξ8 9 6ξ 7 8 6ξ 1 3 2χ9 1 1 φχπφ φξ7 oσσ2 υ6 3 1 χ2υ χ2 4 3 0 0 9 8χ2υ ξ6σξ7 χ2 7σ0σ6ξ0 3σξ6 7 oΞo 3 9 8 B3σξ6 7 p uφ2 8φσ 3 8φσ6 φξ2ρ s 1χ5φ 4 3 0 0 9 8σρ 3σξ6 7 4 6 3 0 3 υχ2υ s 8φσ πφξ2υχ2υ Pξ8 9 6ξ 7 8 6ξ 1 3 2χ9 1 oσυχ2 7 8 3 6σπ3 0σ6 7χ1 χ5χ6 0 3 8 3 8φσ χ2χ5χ5ξ0 o ΠΩ 4 3 4 9 0ξ8χ3 2 p ξ2ρ ∂ 4 3 4 9 0ξ8χ3 2 3 o8ξχ2 7 6σ7χ8ξ2πσ 8 3 φσξ0 3 1 σ8ξ0 u Φ3 1 σ0σ6 s 8φσ 1 σπφ- ξ2χ1 1 3τ 6σ7χ8ξ2πσ χ1 9 2 ω2 3 1 2 ξ2ρ 2 σσρ oσ τ9 6 8φσ6 7 8 9 ρχσρ u

Ωσ3 1 3 6ρ7 H φσξ0 3 1 σ8ξ0 s 4 3 0 0 9 8χ3 2 s ρξ8 9 6ξ 7 8 6ξ 1 3 2χ9 1 s 2 9 πσχπ ξπχρ 1 σ8ξo 3 0χ1 1 6σ7χ8ξ2πσ