

文章编号: 1001-1498(2008)04-0446-05

胶蚧属 7种紫胶虫染色体的核型与演化分析

陈航, 陈晓鸣*, 冯颖, 杨子祥, 石雷

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 国家林业局资源昆虫培育与利用重点实验室, 云南 昆明 650224)

摘要:运用核型近似系数聚类分析方法,分析了胶蚧属 7种紫胶虫的亲缘关系与系统演化。结果显示:田紫胶虫与云南紫胶虫核型近似系数为 0.968 8,核型同源性最大,亲缘关系最近;信德紫胶虫与紫胶蚧核型近似系数为 0.953 3,亲缘关系较紧密,聚在一起形成姐妹群;尼泊尔紫胶虫与普萨紫胶虫的核型近似系数为 0.944 1,也构成姐妹群;而中华紫胶虫的核型较为特殊,与其它 6种差异较大,未能与其它种形成姐妹群关系。从核型进化上看,尼泊尔紫胶虫和普萨紫胶虫与其它 5种紫胶虫的核型近似系数均小于 0.762 6,因此与它们亲缘关系较远,从群体中分化出来较早,属最原始的种类;信德紫胶虫与紫胶蚧出现分化的时间也较早,也属较原始的虫种;而田紫胶虫、云南紫胶虫的核型最为相似,进化距离最近,说明二者出现分化的时间最晚,属最进化的虫种;中华紫胶虫比前二者分化的时间较早,属较进化的虫种。通过对染色体核型对称性的比较,初步得出 7种紫胶虫核型演化总体呈现出由不对称向着对称方向进化的趋势。

关键词:紫胶虫;染色体;核型近似系数;进化距离

中图分类号: S899.2

文献标识码: A

Analysis of Karyotype and Evolution Trend in Seven Species of Lac Insects in Genus *Kerria*

CHEN Hang, CHEN Xiaoming², FENG Ying², YANG Zi-xiang², SHI Lei

(Research Institute of Resource Insect, CAF, Kunming 650224, Yunnan, China; The Key Laboratory of Cultivating and Utilization of Resources Insects of State Forestry Administration, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: The cluster analysis method of karyotype resemblance-near coefficient was used to study the relationship and evolution of seven species in the genus *Kerria*. The results showed that *K. nivalis* and *K. yunnanensis* had the closest relationship with the nearest homology in karyotype. The value of r between *K. sindica* and *K. lacca* was 0.953 3 and the two species form a sister group, indicating a close relationship. *K. pusana* and *K. nepalensis* also formed a sister branch with the value of 0.944 1. The karyotype of *K. chinensis* is much different from the other six species and formed an isolated branch. On the evolution trend of karyotype, *K. pusana* and *K. nepalensis* were the earliest diverging members and they were the primitive species in the group as the value of r between the two species and the others was no more than 0.762 6. *K. sindica* and *K. lacca* also belonged to prior species as they diverged earlier than *K. chinensis*. On the contrary, *K. nivalis* and *K. yunnanensis* had the highest identity in karyotype and nearest distance in evolution, which showed they were the latest species of the seven-group. *K. chinensis* belonged to more advanced category. The evolution trend of chromosomes was approximately along the direction from asymmetry to symmetry.

Key words: Lac insects; chromosome; resemblance-near coefficient; evolutionary distance

收稿日期: 2007-10-10

基金项目: 国家自然科学基金“紫胶虫种质资源库建立及紫胶虫遗传规律研究”(30371165)、国家科技支撑计划(2006BAD06B07)和国家攻关(2004BA502B04)项目研究内容

作者简介: 陈航(1977—),男,四川万源人,博士,主要从事资源昆虫细胞与分子遗传学等相关研究。

*通讯作者。

紫胶虫是一类具有重要经济价值的植食性昆虫,属同翅目(Homoptera)胶蚧科(Tachardiidae)胶蚧属(*Kerria*)。紫胶虫主要依靠吮吸寄主植物韧皮部的养分生长发育,其分泌的紫胶具有绝缘、防潮、防锈、防腐、防紫外线、粘合力强、涂膜光滑、耐酸、油等特性,被广泛地应用于日用化工、机械、电子、军工、医药、食品等行业^[1],具有重要的经济价值。对于紫胶虫的染色体研究,国外有 Dikshith^[2]、Teofia *et al.*^[3]和 Tulsyan^[4]做过相关的工作,国内王淑芳等^[5]、陈晓鸣等^[6]、周朝鸿等^[7]、陈航等^[8-9]研究过紫胶虫的染色体,但研究范围主要局限于染色体数目与形状报道、通过核型分析探讨亲缘关系等领域,而对于紫胶虫染色体的进化研究和利用核型似近系数分析紫胶虫的系统演化,目前未见相关报道。

核型似近系数是 2 个物种在染色体形态结构上的等同程度的表征,它反映的是物种间在核型上的同源性或亲缘关系的远近^[10]。核型似近系数聚类分析法是谭远德等^[10]提出的一种研究方法,并通过在 10 种淡水鱼聚类方面的应用,获得了与形态学分类非常一致的结果,由于核型似近系数是从核型的整体结构、单个染色体的形态和染色体内部结构等三个不同层次刻画物种间的等同性或同源性,因此具有较高的可靠程度,这种以核型似近系数归类的顺序完全反映了 10 种淡水鱼自然分类的属性和进化中发生分歧演化的自然过程。随后吴昌谋^[11]又将此分析方法进一步完善,提出了核型进化距离的概念及计算方法。此后许多学者^[11-13]利用核型似

近系数与核型进化距离进行了多个物种的分析,使之得到了较为广泛的应用。

对动物染色体进化研究,学术界一直存在着不同的观点。Rieger 认为染色体组型进化通常伴随着基本染色体数目的减少和不对称性的增大,进化的机制主要是罗伯逊异位^[14]; Levitzky 则认为染色体进化的方向是数目由少到多,进化的机制主要是罗伯逊断裂和多倍化^[14]; White 认为一个类群的染色体模式数为该类群的原始类型,其它的数目均为模式染色体组型通过融合或分离衍生而成^[15]。对于胶蚧属昆虫的染色体进化方向,目前还没有相关的发表文献。本文对具有重要经济价值的 7 种紫胶虫分别进行了染色体分析,并通过计算各种紫胶虫之间的核型似近系数,对它们的亲缘关系和核型演化方向进行探讨,为研究紫胶虫的系统发育与昆虫核型进化做出初步探索并提供新的证据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

7 种紫胶虫标本分别采自中国林科院资源昆虫所元江试验站、景东试验站和昆明温室,将有虫寄生的枝条剪下,用无水乙醇溶解表面紫胶,小心使虫体与其寄生的枝条分离,然后将虫体浸泡在无水乙醇中,4℃ 冰箱保存。标本的种类、数量、寄主及采集时间与地点见表 1。

表 1 胶蚧属 7 种紫胶虫供试标本概况

名称	寄主树	样本数	采集地点	采集时间(年-月)	原产地
云南紫胶虫 <i>K. yunnanensis</i> Ou et Hong	秧青 <i>Dalbergia assamica</i> Benth	50	云南景东	2004-07	中国·景东
紫胶蚧 <i>K. lacca</i> Kerr (兰吉尼)	滇刺枣 <i>Zizyphus mauritiana</i> Lam.	50	云南元江	2005-06	印度
中华紫胶虫 <i>K. chinensis</i> Mahdihassan	荔枝 <i>Litchi chinensis</i> Sonn	50	云南元江	2004-11	泰国
尼泊尔紫胶虫 <i>K. nepalensis</i> Varshney	大叶千斤拔 <i>Flankingia macrophylla</i> Wil	50	云南元江	2003-12	缅甸
普萨紫胶虫 <i>K. pusana</i> Misra	苏门答腊金合欢 <i>Acacia montana</i> Benth	50	云南元江	2005-06	缅甸
田紫胶虫 <i>K. nralis</i> Wang (红色型)	铁藤 <i>Pueraria tonkinensis</i> Gagn	50	云南昆明	2003-08	中国·西双版纳
信德紫胶虫 <i>K. sindica</i> Mahdihassan	聚果榕 <i>Ficus mcanose</i> Linn	50	云南元江	2005-06	孟加拉国

1.2 实验方法

1.2.1 染色体制片方法 取出酒精标本,让其表面酒精充分挥发,转入 1.5 mL 离心管中,加入 100 μ L 0.08% KCl 溶液,用小杵充分研磨组织,再加入 200 μ L 0.08% KCl 溶液低渗处理 20 min,转入 300 μ L 新配制的甲醇-冰乙酸 = 2:1 固定液中固定 20 min,用吸管吹打成细胞悬液,滴 1~2 滴在预冷的载玻片上,放在 30℃ 恒温箱中干燥 20~30 min,

Giemsa 染色 20 min,用蒸馏水缓慢冲洗玻片表面 1~2 S,洗去多余的染料,自然晾干。

1.2.2 染色体核型标准分析方法 将制好的玻片放在光学显微镜下进行观察,每个种选择 20 个染色体缢缩程度适中、分裂相较好的细胞拍照。用 photo shop 6.0 软件对其染色体进行图像的切割、配对,然后用 Leica M50 软件对各条染色体进行测量。分别对选出 5 个中期分裂细胞染色体的短臂、长臂以

及全长进行测量和统计。根据公式:

相对长度 = 染色体实测长度 / 染色体组总实测长度 × 100

臂比值 = 长臂 (L) / 短臂 (S)

相对长度指数 = 染色体长度 / 全组染色体平均长度

着丝粒指数 = 短臂长度 / 染色体全长 × 100

不对称系数 = 长臂总长 / 全长总长 × 100

分别计算每对染色体的相对长度、臂比和着丝粒指数^[16]。

1.2.3 核型似近系数的计算与聚类分析 将 7 种紫胶虫的染色体相对长度、臂比值倒数、着丝粒指数等核型数据输入核型似近系数的聚类分析软件^[17], 分别计算出每种紫胶虫核型参数的平均值、标准差和极差。使用核型似近系数的聚类分析软件,按核

型似近系数 = $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{d_{ij}}$ 公式,计算出每两种紫胶虫之间的核型似近系数值。其中, d_{ij} 为接近系数, $\frac{1}{d_{ij}}$ 为相似系数,似近系数值越大,反映出核型的相似性越大。其具体计算方法参照谭远德^[10]、吴昌谋^[11]提出的算法。算出后,根据公式计算出核型进化距离,用不加权算术平均组对法 (UPGMA) 进行聚类分析。

2 结果与分析

紫胶虫的染色体形态图、核型模式图以及核型数据参照陈航等^[9]“七种紫胶虫染色体核型分析与亲缘关系探讨”并加以整理,将整理好的紫胶虫的染色体核型数据输入核型似近系数的聚类分析软件,计算出每种紫胶虫核型参数的平均值、标准差和极差 (表 2)。

表 2 胶蚧属 7 种紫胶虫染色体核型分析相关参数

项目	编 号	中华紫胶虫	云南紫胶虫	紫胶蚧	田紫胶虫	普萨紫胶虫	尼泊尔紫胶虫	信德紫胶虫
染色体相对长度	第 1 号染色体	19.30	13.26	16.41	17.80	14.26	19.38	15.21
	第 2 号染色体	13.06	13.07	13.47	15.34	12.33	16.12	13.55
	第 3 号染色体	12.19	12.64	13.40	13.01	11.56	12.61	13.06
	第 4 号染色体	11.44	12.40	11.86	11.43	11.26	11.43	13.00
	第 5 号染色体	11.44	12.16	11.09	10.48	11.10	10.25	11.56
	第 6 号染色体	9.70	10.99	9.85	9.41	11.03	9.07	11.02
	第 7 号染色体	8.94	9.22	8.93	8.43	10.72	7.92	8.68
	第 8 号染色体	7.26	8.80	7.54	7.54	10.02	7.35	7.77
	第 9 号染色体	6.67	7.45	7.47	6.65	7.71	6.17	6.15
	染色体长度平均	11.11	11.11	11.11	11.12	11.11	11.14	11.11
	染色体长度方差	14.18	4.49	8.98	13.68	3.07	18.68	9.00
	染色体长度极差	12.63	5.81	8.94	11.15	6.55	13.21	9.06
	染色体臂比倒数	第 1 号染色体	71.94	60.61	68.97	68.97	72.99	62.11
第 2 号染色体		75.76	78.13	63.69	70.92	68.49	86.21	53.19
第 3 号染色体		59.52	56.82	93.46	70.42	0.00	0.00	75.19
第 4 号染色体		99.01	76.34	0.00	71.42	0.00	0.00	0.00
第 5 号染色体		69.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
第 6 号染色体		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
第 7 号染色体		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
第 8 号染色体		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
第 9 号染色体		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
染色体臂比平均		41.80	30.21	25.12	31.30	15.72	16.48	22.62
染色体臂比标准差		40.97	36.43	38.51	37.13	31.21	33.25	34.52
染色体臂比和		376.16	271.90	226.12	281.73	141.48	148.32	203.57
着丝粒指数		第 1 号染色体	41.87	37.78	40.85	40.9	42.15	37.27
	第 2 号染色体	43.19	43.92	38.83	41.46	40.63	46.28	34.69
	第 3 号染色体	37.33	36.23	48.28	41.28	0.00	0.00	42.69
	第 4 号染色体	49.74	43.31	0.00	41.64	0.00	0.00	0.00
	第 5 号染色体	41.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	第 6 号染色体	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	第 7 号染色体	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	第 8 号染色体	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	第 9 号染色体	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	着丝粒指数平均	23.71	17.92	14.22	18.37	9.20	9.28	13.38
	着丝粒指数标准差	22.72	21.38	21.47	21.78	18.26	18.56	20.20
	着丝粒指数和	213.39	161.24	127.96	165.28	82.78	83.55	120.38
	端部着丝粒个数	8	10	12	10	14	14	12
中部着丝粒个数	10	6	6	8	4	4	4	
亚中着丝粒个数	0	2	0	0	0	0	2	

将核型分析得出的数据输入核型似近系数的聚类分析软件,计算出 7种紫胶虫的核型似近系数、进化距离(表 3),构建聚类图(图 1)。结果显示:7种紫胶虫核型似近系数(值)范围 0.525 8~0.968 8,其中,田紫胶虫同云南紫胶虫的核型似近系数为最大值 0.968 8,2个虫种核型同源程度最高;普萨紫胶虫同中华紫胶虫的核型似近系数为最小值 0.525 8,核型相似程度最低。

从聚类图(图 1)可以看出:在核型近似系数为 0.930 1时,7个虫种共组成 3个姐妹群:田紫胶虫与云南紫胶虫首先相聚,这说明 2个虫种的核型同源性最大,亲缘关系最近;信德紫胶虫与紫胶蚧核型似近系数为 0.953 3,亲缘关系也较紧密,聚在一起形成姐妹群;尼泊尔紫胶虫与普萨紫胶

虫的核型似近系数为 0.944 1,也构成姐妹群,表现出较高的同源性;而中华紫胶虫的核型较为特殊,与其它 6种差异较大,所以未能与其它种形成姐妹群关系。

从核型的演化顺序看,尼泊尔紫胶虫和普萨紫胶虫与其它 5种紫胶虫的核型似近系数均小于或等于 0.762 5,因此与它们亲缘关系较远,最早从群体中分化出来,在 7种中属最原始的种类。信德紫胶虫与紫胶蚧组成的姐妹群随后分化出来,属于较原始的种类;田紫胶虫、云南紫胶虫的核型最为相似,进化距离最近,说明二者出现分化的时间最晚,为最进化的虫种;相对而言,中华紫胶虫的核型与田紫胶虫和云南紫胶虫更为相似,与二者分歧的时间较晚,也属于较进化的虫种。

表 3 胶蚧属 7种紫胶虫染色体核型似近系数和进化距离

	中华紫胶虫	云南紫胶虫	紫胶蚧	田紫胶虫	普萨紫胶虫	尼泊尔紫胶虫	信德紫胶虫
中华紫胶虫	-	0.177 2	0.356 5	0.158 4	0.642 8	0.618 0	0.395 1
云南紫胶虫	0.837 6	-	0.174 1	0.031 7	0.431 0	0.412 5	0.210 7
紫胶蚧	0.700 1	0.840 2	-	0.164 9	0.329 1	0.323 4	0.047 8
田紫胶虫	0.853 5	0.968 8	0.848 0	-	0.454 5	0.433 5	0.201 1
普萨紫胶虫	0.525 8	0.649 8	0.719 6	0.634 8	-	0.057 6	0.271 1
尼泊尔紫胶虫	0.539 0	0.662 0	0.723 7	0.648 2	0.944 1	-	0.275 1
信德紫胶虫	0.673 6	0.810 0	0.953 3	0.817 8	0.762 5	0.759 5	-

注:左下区为核型似近系数,右上区为核型进化距离。

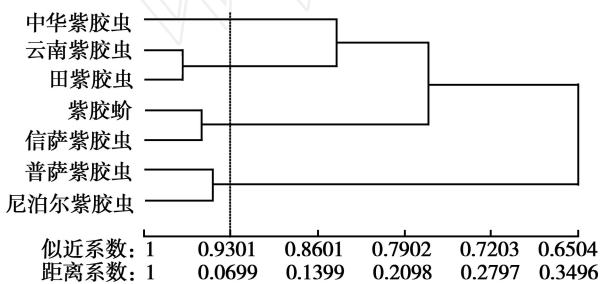


图 1 胶蚧属 7种紫胶虫的核型似近系数聚类

3 讨论

3.1 亲缘关系

由于通过核型公式所求出的核型似近系数和核型进化距离有效消除了复系、并系现象或由取样误差所产生的影响,从多向、立体、多维的考察物种间的相似性,因而成为较客观地表达物种间亲缘关系远近的尺度,为物种的分类和进化提供较为可靠的实验学和统计学证据^[10-13]。中华紫胶虫的染色体核型较为特殊,未与其它种形成姐妹群关系。在形态特征上,中华紫胶虫也与其它 6种紫胶虫存在较大的差异:中华紫胶虫体长最长,是其它种体长的 2~7倍;中华紫胶

虫的体型为明显的长梭形,而其它 6种体型呈球状或椭球状;中华紫胶虫前气门下方角质化痕迹延长并骨化,其角质化痕迹明显长于其它种。

田紫胶虫同云南紫胶虫的核型似近系数为最大值 0.968 8,核型同源性程度最高。二者在外部形态上也较为相似:除在体形大小接近以外,还具有膊臂紧贴体壁,抬起不明显,前气门紧靠膊臂,前气门角质化痕迹退化、背刺不发达等共同特征。从地理分布上看:云南紫胶虫与田紫胶虫分布地较为相近,云南紫胶虫主要分布于云南南亚热带地区,而田紫胶虫则主要分布于云南南亚热带地区与热带北缘(西双版纳)之间,其较近的亲缘关系可能与二者地理分布的相近有关。

信德紫胶虫与紫胶蚧的核型似近系数为 0.953 3,二者在外部形态结构上具有许多相似之处:二者在虫体大小、膊背凹陷的形状与大小较为接近;其次,二种紫胶虫膊背均明显抬起,凹陷上的坑清晰可辨;另外,二者还在前气门宽度、角质化痕迹长度、背刺基部宽度、围阴孔群数量等方面相近似;形态学特征与核型聚类的结果相一致。信德紫胶虫与紫胶蚧同分布于印巴地区,属于热带紫胶虫种,地理分布上较为相似形成了相似的形态特征和较为紧密的亲缘关系。

尼泊尔紫胶虫与普萨紫胶虫同分布于缅甸东枝、腊叙地区,二者在核型上较为一致,聚为姐妹群,但在外形上存在较大差别:尼泊尔紫胶虫的肛突发育很好,明显分为 2 节,膊背抬起较为明显,膊陷中的坑模糊不清难以计数,前气门远离膊背;而普萨紫胶虫肛突较短且不分节,膊背紧贴在体壁上,几乎不抬起,膊陷中的坑的数量恒定为 6,前气门接近膊背。二者在遗传物质上近似而在形态结构上存在较大的差异,这可能与所在的独特生态环境有关,尼泊尔紫胶虫生长在低海拔地区,主要寄主植物为榕属,而普萨紫胶虫生长在低海拔地区,主要寄主植物为滇刺枣、雨树等。在长期的进化过程中,2 种紫胶虫对生态环境产生了不同的适应机制,逐渐形成形态学上的一些差异,不断积累下来形成了不同的物种。

3.2 核型演化

近百年来,在植物界,主流的观点认为核型进化的总趋势是由对称向不对称发展的^[18],而动物核型进化的方向一直存在着不同的观点。对于昆虫的核型演化趋势的讨论,主要集中于染色体数目增减上,而对于核型的对称性演化方向的研究结果很少见到。从目前的研究结果看,是以染色体数目向着数目增加这一进化趋势为主。如 Inai^[19]在研究膜翅目蚁科的染色体后认为:低染色体数目为原始,高染色体数是通过染色体的中断、多倍化及重复等演化而成。Crozier^[20]在研究蚁类染色体时也得出了相同的结论;但 Thomas^[21]认为异翅目染色体进化具有双向性,即一部分种类染色体为增加,另一部分为减少。

就紫胶虫的染色体而言,各种间的数目并没有发生变化。从目前已发表的紫胶虫核型分析结果来看,7 种紫胶虫的核型主要有 2B、3A、3B 三种类型。其中,中华紫胶虫的核型为 2B,在 7 种中对称性最强,核不对称系数 57.49,为 7 种中的最小值;普萨紫胶虫与云南紫胶虫的核型为 3A;其它 4 种紫胶虫的核型为 3B,不对称性最强,其中信德紫胶虫核不对称系数 57.49,为 7 种中的最大值。根据核型似近系数建立的聚类图(图 1)可以得出 7 种紫胶虫的核型演化顺序:尼泊尔紫胶虫(3B)与普萨紫胶虫(3A)最先从群体中分化出来,属比较原始的物种;信德紫胶虫(3B)与紫胶蚧(3B)是另一支系首先分化出的姐妹群,中华紫胶虫(2B)随后从群体中分化出来,为较进化的物种,云南紫胶虫(3A)与田紫胶虫(3B)是最新形成的物种,由此可以看出紫胶虫核型进化的方向从 3B(或 3A)到 2B,总体沿着从不对称向着对称方向进化,与植物核

型的进化趋势大致呈相反的方向,同时 7 种紫胶虫染色体数目并没有发生变化,反映出胶蚧属内染色体数目的稳定性。

参考文献:

- [1] 陈晓鸣. 紫胶虫生物多样性研究 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2005
- [2] Dikshith S. Chromosome number of *Laccifer lacca* (Kerr) [J]. Current Science, 1962, 31: 383 - 384
- [3] Teofia, T P S, Dikshith T S S. Utility of phloglucinol in the chromosome studies of *Laccifer lacca* (Kerr) (Rageeni Strain) Homoptera-Coccoidea [J]. The India Journal of Entomology, 1963, 25 (3): 263 - 264
- [4] Tulsan G P. Studies on the chromosome number and spermatogenesis in the lac insect, *Laccifer lacca* (Kerr) [J]. Current Science, 1963, 32 (8): 374
- [5] 王淑芳. 紫胶虫精子形成的研究 [J]. 昆虫学报, 1976, 19 (2): 194 - 197
- [6] 陈晓鸣, 王绍云, 毛玉芬, 等. 四种紫胶虫雄性外生殖器观察及初步杂交试验 [J]. 林业科学研究, 1992, 5 (2): 236 - 238
- [7] 周朝鸿, 王自力, 王绍云, 等. 紫胶虫核型的初步研究 [M] / 陈晓鸣. 资源昆虫研究进展. 云南: 云南科技出版社, 1999: 36 - 42
- [8] 陈航, 陈晓鸣, 冯颖, 等. 田紫胶虫红、黄两型染色体核型研究 [J]. 林业科学研究, 2006, 19 (1): 32 - 38
- [9] 陈航, 陈晓鸣, 冯颖, 等. 七种紫胶虫染色体核型分析与亲缘关系探讨 [J]. 动物学研究, 2007, 28 (6): 597 - 605
- [10] 谭远德, 吴昌谋. 核型似近系数的聚类分析方法 [J]. 遗传学报, 1993, 20 (4): 305 - 311
- [11] 吴昌谋. 核型似近系数和进化距离的估计 [J]. 动物分类学报, 1996, 21 (3): 338 - 344
- [12] 姚世鸿, 王景佑, 周江, 等. 九种蝗虫核型似近系数的聚类分析研究 [J]. 昆虫学报, 1998, 41 (2): 135 - 140
- [13] 姚世鸿, 吴昌谋. 三科五属 18 种蝗虫的核型似近系数聚类分析研究 [J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2004, 22 (3): 20 - 26
- [14] 彩万志. 昆虫细胞分类学的基本问题及染色体系统发育的重建方法 [J]. 昆虫分类学报, 1994, 16 (1): 4 - 14
- [15] White M J D. Animal cytology and evolution, 3rd ed [M]. Cambridge University Press, 1973
- [16] 李懋学. 植物染色体研究技术 [M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1991: 149 - 156
- [17] 李峰, 潘沈元. 核型似近系数的聚类分析软件设计 [J]. 徐州师范大学学报: 自然科学版, 2005, 23 (4): 64 - 67
- [18] 李贵全. 细胞学研究基础 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 91 - 99
- [19] Inai H T, Crozier R H, Taylor R W. Karyotype in Australian ants [J]. Chromosoma, 1977, 59: 341 - 393
- [20] Crozier R H. Evolutionary genetics of the Hymenoptera [J]. Ann Rev Entomol, 1977, 22: 263 - 288
- [21] Thomas D B. Chromosome evolution in Heteroptera (Hemiptera): Agnathobidy versus aneuploidy [J]. Ann Rev Entomol Soc Amer, 1987, 80 (6): 720 - 730