

# 中华小长臂虾 (*Palaemonetes sinensis*) 4 个群体的形态差异

赵莹莹<sup>1</sup> 朱晓琛<sup>1</sup> 徐伟彬<sup>1</sup> 姜冶<sup>1</sup> 李智<sup>1</sup> 韩志斌<sup>1</sup> 王诗跃<sup>1</sup> 董婧<sup>1</sup>  
魏华<sup>1</sup> 白文林<sup>1</sup> 李晓东<sup>1,2\*</sup>

(<sup>1</sup>沈阳农业大学畜牧兽医学院, 沈阳 110866; <sup>2</sup>盘锦光合蟹业有限公司, 辽宁盘锦 124000)

**摘要** 本文采用 3 种多元分析方法, 分析了中华小长臂虾 4 个群体(鞍山、大连、沈阳和盘锦群体)的形态差异, 探讨了它们的形态亲缘关系。聚类分析的结果表明, 盘锦群体和鞍山群体的形态差异最小, 而与大连和沈阳群体的差异程度逐渐增大。Mantel 检验的结果表明, 各群体的欧氏距离和地理距离之间没有显著相关性( $r=0.576, P=0.901$ )。经主成分分析得到 7 个主成分, 累计方差贡献率为 84.74%, 4 个群体的形态学分化主要集中在头胸甲部的特征上。经判别分析建立了 4 个群体的判别函数, 判别准确率为 66.00%~97.00%, 综合判别率为 77.83%。本研究可为中华小长臂虾的资源保护和遗传育种提供依据。

**关键词** 中华小长臂虾; 群体; 聚类分析; 主成分分析; 判别分析

**Morphological differences among four populations of Chinese grass shrimp (*Palaemonetes sinensis*).** ZHAO Ying-ying<sup>1</sup>, ZHU Xiao-chen<sup>1</sup>, XU Wei-bin<sup>1</sup>, JIANG Ye<sup>1</sup>, LI Zhi<sup>1</sup>, HAN Zhi-bin<sup>1</sup>, WANG Shi-yue<sup>1</sup>, DONG Jing<sup>1</sup>, WEI Hua<sup>1</sup>, BAI Wen-lin<sup>1</sup>, LI Xiao-dong<sup>1,2\*</sup> (<sup>1</sup> College of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; <sup>2</sup> Panjin Guanghe Crab Industry Co. Ltd., Panjin 124000, Liaoning, China).

**Abstract:** Morphological differences in 18 morphological parameters among four populations (Anshan, Dalian, Shenyang and Panjin population) of Chinese grass shrimp (*Palaemonetes sinensis*) were studied using three multivariation analysis methods, including cluster analysis, principal component analysis and discriminant analysis. Cluster analysis revealed that the populations of Panjin and Anshan were clustered together due to the smallest difference in their morphology, while had a gradually increased difference with Dalian and Shenyang populations. The Mantel matrix tests showed that there was no significant relationship between geographic and Euclidean distances ( $r=0.576, P=0.901$ ). Seven principal components with an accumulative variance percentage of 84.74% were extracted by principal component analysis, and indicated the morphological differences mainly resulting from carapace characters. Four discriminant functions were obtained, with the discrimination accuracy being 66.00%–97.00%, and the integrated discrimination accuracy being 77.83%. The results provided a scientific basis for the protection and use of germplasm resources and for artificial selection breeding of Chinese grass shrimps.

**Key words:** *Palaemonetes sinensis*; population; cluster analysis; principal component analysis; discriminant analysis.

中华小长臂虾 (*Palaemonetes sinensis*), 隶属于十足目(Decapoda), 长臂虾科(Palaemonidae), 小长

臂虾属(*Palaemonetes*), 分布于越南、缅甸、俄罗斯、日本和中国, 在中国主要分布于东北、华北、西南以及长江中下游的河流和淡水湖泊中(李新正等, 2003)。中华小长臂虾作为初级和次级消费者, 具有重要的生态价值, 同时也是许多鱼类和蟹类的主

辽宁省农业领域青年科技创新人才培养资助计划项目(2015044)和国家科技支撑计划项目(2012BAD26B04-02)资助。

收稿日期: 2017-01-03 接受日期: 2017-05-10

\* 通讯作者 E-mail: lxd001@ceraap.com

要饵料,也具有一定经济价值和观赏价值(姜宏波等,2016)。近年来随着过度捕捞导致中华小长臂虾的野生资源日渐枯竭,而市场价格的提升使其经济价值不断提高,因此对中华小长臂虾的人工繁育已经逐步展开。目前,对中华小长臂虾的研究却仅限于种间的形态分类(Bruce,1994;Imai *et al.*,2014)和地理分布(邓一德等,1997;李新正等,2003;秦海明等,2007;王丑明等,2011),对其种质资源的系统研究尚未展开。

生物形态是物种许多性状的集合,是遗传因子和环境因子相互作用的产物(乔德亮等,2010),在虾类群体研究中,不仅使用遗传学手段,形态学方法也被广泛应用(赵晓勤等,2006;孙成波等,2009),而调查不同种群间的形态差异也是种质研究的基础(赵晓勤等,2006)。本研究中,运用在其他水生动物种群形态分析中应用较为成熟的聚类分析、判别分析和主成分分析3种多元分析法,对鞍山、大连、沈阳和盘锦4个中华小长臂虾群体进行形态差异的分析,以期筛选差异较大的形态特征,并建立鉴别方法,为中华小长臂虾种质资源的保护与利用,遗传育种和生产实践提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集与数据测量

中华小长臂虾样本采集地点和样品数列表1。其中鞍山、大连和沈阳3个群体均为野生群体,盘锦群体为采自周边水域(辽河流域)野生亲本的后代,为人工养殖F<sub>1</sub>群体。所测的形态指标包括全长(overall length, OL)、体长(body length, BL)、头胸甲长(carapace length, CL)、头胸甲宽(carapace width, CW)、头胸甲高(carapace height, CH)、腹部长(abdomen length, AL)、腹部宽(abdomen width, AW)、腹部高(abdomen height, AH)、尾扇长(tail fan length, TL)、尾节高(tail height, TH)、眼窝距(eye width, EW)、额剑长(rostrum length, RL)。用电子游标卡尺测量各形态指标,精确至0.02 mm,测量方法参照赵晓勤等(2006)、姚茜(2008)和王志铮等(2011)。

表1 中华小长臂虾实验样品采集信息

Table 1 Sample information of *Palaemonetes sinensis*

群体	采样地点	样品数
鞍山	宁远镇张忠堡杨柳河	100
大连	瓦房店市元台镇沙河	97
沈阳	东陵公园龙尾湖	100
盘锦	盘锦光合蟹业有限公司	100

### 1.2 数据处理与分析

为了消除个体规格差异对形态学参数的影响,本研究将形态学参数转换为以体长、头胸甲长、头胸甲高、头胸甲宽、腹部长为基数的形态学比例参数,所选用的比例参数见表2。利用软件SPSS 21.0,分别采用聚类分析、因子分析和判别分析3种多元分析方法对其进行分析。

**1.2.1 聚类分析** 分别求出各群体各项形态比例参数的平均值,而后采用SPSS 21.0中欧氏距离的最短系统聚类法做聚类分析。

**1.2.2 地理直线距离与欧氏距离的相关性分析** 使用Google Earth软件测量两两取样点间的直线地理距离,使用SPSS 21.0计算欧氏距离,得出的数据通过软件XLSTAT对中华小长臂虾4个群体间的地理直线距离矩阵和欧氏距离矩阵进行Mantel检验。

**1.2.3 主成分分析** 通过SPSS 21.0的因子分析程序,筛选互不关联的主成分,并计算各主成分的贡献率和累计贡献率以及各变量的因子荷载。

**1.2.4 判别公式的建立** 采用SPSS 21.0的逐步判别法构建判别函数,根据费舍尔线性判别函数系数表,分别建立4个群体的判别函数。判别准确率的计算公式参照李思发等(1998)的方法:

$$P_1 = \text{某群体判别正确的尾数} / \text{该群体实际尾数} \times 100\%$$

$$P_2 = \text{某群体判别正确的尾数} / \text{判入该群体的尾数} \times 100\%$$

$$\text{综合判别率} = \sum_{i=1}^k A_i / \sum_{i=1}^k B_i$$

式中, $A_i$ 为第*i*个群体判别正确的尾数, $B_i$ 为第*i*个群体的实际尾数, $k$ 为群体数。

表2 中华小长臂虾形态比例参数和代号

Table 2 Morphological parameters and their codes of *Palaemonetes sinensis*

形态参数比	代码	形态参数比	代码
全长/体长	A <sub>1</sub>	额剑长/头胸甲长	A <sub>10</sub>
头胸甲长/体长	A <sub>2</sub>	头胸甲宽/头胸甲长	A <sub>11</sub>
头胸甲宽/体长	A <sub>3</sub>	头胸甲高/头胸甲长	A <sub>12</sub>
头胸甲高/体长	A <sub>4</sub>	腹部宽/头胸甲宽	A <sub>13</sub>
腹部长/体长	A <sub>5</sub>	眼窝距/头胸甲宽	A <sub>14</sub>
腹部宽/体长	A <sub>6</sub>	腹部高/头胸甲高	A <sub>15</sub>
腹部高/体长	A <sub>7</sub>	尾节高/头胸甲高	A <sub>16</sub>
尾扇长/体长	A <sub>8</sub>	腹部宽/腹部长	A <sub>17</sub>
尾节高/体长	A <sub>9</sub>	腹部高/腹部长	A <sub>18</sub>

## 2 结果与分析

### 2.1 中华小长臂虾4个群体的聚类分析

图1显示,盘锦群体和鞍山群体的欧氏距离最短,形态差异最小,而与大连群体和沈阳群体的差异程度则逐渐增大。

### 2.2 地理距离与欧氏距离的相关性分析

使用 Google Earth 软件测量不同群体间的地理直线距离,使用 SPSS 21.0 计算得出不同群体间的欧氏距离,计算结果见表3。为了检测群体间欧氏距离和地理距离的相关性,应用软件 XLSTAT 对两个矩阵进行 Mantel 检验,结果表明,各群体间的地理距离和欧氏距离之间没有显著相关性( $r=0.576$ ,  $P=0.901$ )。

### 2.3 主成分分析

采用 SPSS 21.0 因子分析得到方差贡献率较大的7个主成分(表4),主成分1至7的贡献率分别为21.91%、18.29%、11.09%、9.83%、9.12%、7.88%和6.62%,累计贡献率为84.74%,解释了总变异的绝大部分。其中贡献率最大的主成分1中,影响较大的变量依次为 $A_3$ 、 $A_4$ 、 $A_{12}$ 和 $A_{11}$ 。在以主成分1

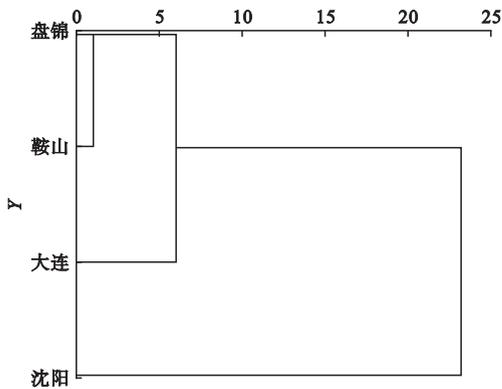


图1 中华小长臂虾4个群体的聚类分析图  
Fig.1 Clustering analysis on four populations of *Palaemonetes sinensis*

表3 中华小长臂虾4个群体间的地理距离与欧氏距离  
Table 3 Geographical and Euclidean distances among four populations of *Palaemonetes sinensis*

群体	鞍山	大连	沈阳	盘锦
鞍山		0.146	0.353	0.075
大连	175.30		0.418	0.129
沈阳	105.56	278.77		0.324
盘锦	64.14	152.37	152.62	

对角线以上的数据为欧氏距离,对角线以下的数据为地理距离(km)。

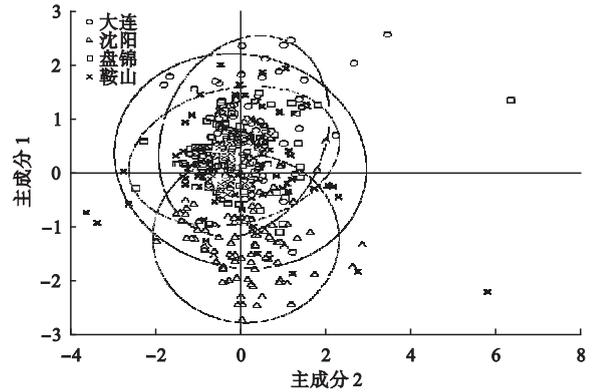


图2 中华小长臂虾4个群体主成分1、主成分2散布图  
Fig.2 Distribution of factor 2 vs. factor 1 for four populations of *Palaemonetes sinensis*

为Y轴,以主成分2为X轴绘制的散点图可以看出(图2),沈阳群体与其他3个群体的重叠度不高,主要分布于图的下部,大连群体则主要分布于图偏上部,鞍山群体较为分散,盘锦群体则分布的较为集中,与大连群体部分重叠,且完全分布于鞍山群体的区域内。

### 2.4 判别分析

采用逐步判别法对18个参数进行分析,得到中华小长臂虾4个群体的判别函数如下:

大连群体:  $Y = -2.128A_1 + 10486.796A_2 - 20298.595A_3 + 1949.599A_4 + 28727.384A_5 - 114034.554A_7 - 1188.354A_8 + 266.62A_{10} + 5518.546A_{11} - 127.437A_{14} + 73.91A_{16} + 79983.537A_{18} - 11668.696$

盘锦群体:  $Y = 1.298A_1 + 10456.197A_2 - 20329.286A_3 + 1971.392A_4 + 28737.088A_5 - 114107.517A_7 - 1177.039A_8 + 261.969A_{10} + 5503.148A_{11} - 146.516A_{14} + 84.093A_{16} + 80018.924A_{18} - 11653.255$

沈阳群体:  $Y = 5.724A_1 + 10373.141A_2 - 20137.431A_3 + 1858.72A_4 + 29031.901A_5 - 115253.851A_7 - 1206.992A_8 + 304.893A_{10} + 5387.023A_{11} - 194.363A_{14} + 68.664A_{16} + 80869.222A_{18} - 11803.613$

鞍山群体:  $Y = 0.206A_1 + 10524.573A_2 - 20435.391A_3 + 2038.541A_4 + 28742.252A_5 - 114169.282A_7 - 1234.059A_8 + 266.394A_{10} + 5516.26A_{11} - 162.523A_{14} + 96.078A_{16} + 80074.652A_{18} - 11669.503$

各群体的判别准确率 $P_1$ 和 $P_2$ 列于表3。 $F$ 检验的结果显示判别效果较好( $P < 0.01$ ),因此该判别公式可以用于以后的生产实践。

表4 中华小长臂虾4群体因子负荷矩阵及主成分对总变异的贡献率

Table 4 Component matrix and contribution of principal components to total variances for four populations of *Palaemonetes sinensis*

	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5	主成分 6	主成分 7
A1	-0.418	0.124	0.284	0.221	0.044	-0.284	0.339
A2	-0.004	0.317	0.671	-0.340	-0.492	-0.182	0.048
A3	0.810	0.046	0.260	0.194	-0.130	0.219	0.273
A4	0.808	-0.046	0.405	-0.099	0.020	-0.233	-0.081
A5	-0.030	0.292	0.601	0.151	0.589	-0.171	-0.021
A6	0.516	0.641	-0.183	-0.175	0.248	-0.291	0.253
A7	0.265	0.762	0.176	0.434	-0.098	-0.072	-0.240
A8	-0.017	0.368	0.306	0.205	0.225	0.058	-0.245
A9	0.226	0.489	0.279	-0.407	0.226	0.513	0.131
A10	-0.477	-0.016	-0.077	0.500	0.390	-0.053	0.193
A11	0.726	-0.172	-0.212	0.398	0.202	0.321	0.200
A12	0.742	-0.289	-0.147	0.165	0.386	-0.078	-0.135
A13	-0.246	0.579	-0.396	-0.339	0.343	-0.446	-0.034
A14	0.175	0.000	-0.097	-0.309	0.259	0.138	-0.726
A15	-0.430	0.694	-0.165	0.445	-0.107	0.145	-0.128
A16	-0.391	0.501	-0.043	-0.286	0.182	0.657	0.190
A17	0.509	0.456	-0.552	-0.252	-0.121	-0.178	0.262
A18	0.279	0.575	-0.254	0.344	-0.524	0.057	-0.224
贡献率(%)	21.91	18.29	11.09	9.83	9.12	7.88	6.62

表5 中华小长臂虾4群体的判别结果

Table 5 Discrimination results of four populations of *Palaemonetes sinensis*

群体	总数	预测分类				判别准确率(%)		综合判别率(%)
		鞍山	大连	沈阳	盘锦	$P_1$	$P_2$	
鞍山	100	66	9	3	22	77.32	74.26	77.83
大连	97	4	75	0	18	71.00	63.96	
沈阳	100	2	0	97	0	97.00	97.00	
盘锦	100	12	17	0	71	66.00	78.57	

### 3 讨论

#### 3.1 多元分析方法进行形态差异分析

采用多元分析的方法,特别是将聚类分析、主成分分析和判别分析相结合的方法来探讨物种内各群体间的形态差异是一种比较成熟的研究方法,在鱼类(乔德亮等,2010;马爱军等,2016)、贝类(刘建勇等,2010;宋菲菲等,2012)、甲壳类(丁金强等,2012;张萌等,2016)都得到了广泛的应用。

通常认为,聚类分析可以量化群体间的相似程度,并根据其亲疏度对将不同群体进行初步归类;主成分分析是将多个具有相关性的参数重新整合成少数几个相互无关的参数,并得到其贡献率,还可以通过构建主成分值的二维或三维散点图,直观观察群体间差异;判别分析则主要是通过建立判别函数,来对群体进行判别,得出各群体的归属情况,因此同时采用3种方法可以从不同角度反映群体间的形态学差异,其结果不能互相代替。

本研究中,3种多元分析方法表现出一定的相似性,如聚类分析的结果表明盘锦群体和鞍山群体的形态差异最小,与大连和沈阳群体的差异则逐步增大,该结果在根据主成分分析构建的主成分1和主成分2的散点图(图2)的结果相似。在散点图中,盘锦群体的散点图全部局限于鞍山群体的区域内,而沈阳群体则与其余3个群体重叠的部分最小。同样在判别分析中,除了沈阳群体的判别准确率较高(97%)外,其余3个群体的判别准确率较低(66.00%~77.32%),而且盘锦和鞍山两个群体之间相互较高的误判率(12/100和22/100)也说明了两个群体间形态差异较小。

#### 3.2 中华小长臂虾4个群体的形态差异的主要性状

主成分分析的结果显示,对主成分1影响最大的变量为 $A_3$ 、 $A_4$ 、 $A_{11}$ 和 $A_{12}$ ,即头胸甲宽/体长、头胸甲高/体长、即头胸甲宽/头胸甲长、头胸甲高/头胸甲长。说明头胸甲的长宽高和体长这4个性状是决

定4个群体分化的主要因素。这与赵晓勤等(2006)和孙成波等(2009)分别对日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)和凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)群体研究的结论类似。

### 3.3 中华小长臂虾4个群体的亲缘关系

Mantel 检验的结果表明,4个群体的形态差异与其地理距离不存在显著相关性。在物种系统分类研究中,地理隔离一直被认为是种及种下阶元形成的重要因素(闫路娜等,2005),从水文角度看,同样注入渤海的辽河和大辽河在上游存在河道交叉,因此亲本来自辽河流域的盘锦群体和采自大辽河流域的杨柳河的鞍山群体可能存在基因交流;二者与封闭水域龙尾湖的沈阳群体和注入黄海的沙河流域的大连群体原则上不存在基因交流。因此水文关系可以解释4个群体聚类分析中所显示的亲缘关系。一般认为,长臂虾亚科(Palaemoninae)的淡水种是从其海生祖先中进入淡水,再通过淡水入侵,水域隔离等分化方式形成现在各个种的地理分布(Ashelby *et al.*, 2012)。Cook等(2006)利用mtDNA的COI基因,对匙指虾科(Atyidae)中*Paratya australiensis*的群体多态性研究验证了以上理论。因此,中华小长臂虾很可能存在相同的生物地理演化历史。

当然,形态学差异是遗传因子和环境因子共同作用的结果。根据形态差异所做的聚类分析能否如实地反映了各群体的亲缘关系尚需要分子水平的验证,在后续研究中将逐步展开对中华小长臂虾分子水平的遗传差异研究。

### 参考文献

邓一德,吴本寿,张梅. 1997. 贵州省的淡水虾类. 动物学杂志, **32**(1): 5-8.

丁金强,刘萍,李健,等. 2012. 中国沿海日本蠍4个地理群体的形态差异比较分析. 中国水产科学, **19**(4): 604-610.

姜宏波,包杰,丛岩懿,等. 2016. 中华小长臂虾对温度的耐受性及温度对其呼吸代谢的影响. 生态学杂志, **35**(8): 2202-2207.

李思发,李晨虹,李家乐. 1998. 尼罗罗非鱼品系间形态差异分析. 动物学报, **44**(4): 450-457.

李新正,刘瑞玉,梁象秋. 2003. 中国长臂虾总科的动物地理学特点. 生物多样性, **11**(5): 393-406.

刘建勇,吴继兴,孙成波. 2010. 我国东南沿海5个波纹巴非蛤(*Paphia undulata*)地理群体的形态差异分析. 海洋与湖沼, **41**(1): 114-120.

马爱军,王新安,孙志宾,等. 2016. 红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)三个不同群体的形态差异分析. 海洋与湖沼, **47**(1): 166-172.

乔德亮,李思发. 2010. 细鳞斜颌鲷三个群体形态差异. 生态学杂志, **29**(12): 2425-2430.

秦海明,李钟杰,张堂林,等. 2007. 大源湖虾类种类组成、时空分布及生物量估算. 曲阜师范大学学报:自然科学版, **33**(2): 101-105.

宋菲菲,王其翔,刘名,等. 2012. 不同地区毛蚶群体的形态差异的比较研究. 中国海洋大学学报:自然科学版, **42**(11): 40-45.

孙成波,陈国良,童汉荣,等. 2009. 美国4个凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)种群形态差异与判别分析. 海洋与湖沼, **40**(1): 27-32.

王丑明,谢志才,宋立荣,等. 2011. 滇池大型无脊椎动物的群落演变与成因分析. 动物学研究, **32**(2): 212-221.

王志铮,吴一挺,杨磊,等. 2011. 日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)形态性状对体重的影响效应. 海洋与湖沼, **42**(4): 612-618.

闫路娜,左惠凯,曹玉萍. 2005. 文昌鱼秦皇岛,青岛和厦门地理种群形态特征的分化. 动物学研究, **26**(3): 311-316.

姚茜. 2008. 日本沼虾 *Macrobrachium nipponense* 5个群体形态学及遗传结构的比较研究(博士学位论文). 上海:华东师范大学.

张萌,白俊,金辉,等. 2016. 不同地理群体的克氏原螯虾形态差异多元分析. 南昌大学学报:理科版, **40**(2): 188-196.

赵晓勤,倪娟,陈立侨,等. 2006. 日本沼虾4种群的形态差异分析. 中国水产科学, **13**(2): 224-229.

Ashelby CW, Page TJ, De Grave S, *et al.* 2012. Regional scale speciation reveals multiple invasions of freshwater in Palaemoninae (Decapoda). *Zoologica Scripta*, **41**: 293-306.

Bruce AJ. 1994. A re-examination of *Palaemonetes sinensis* (Sollaud, 1911) (Crustacea; Decapoda; Palaemonidae). *The Beagle, Records of the Museums and Art Galleries of the Northern Territory*, **11**: 1-7.

Cook BD, Baker AM, Page TJ, *et al.* 2006. Biogeographic history of an Australian freshwater shrimp, *Paratya australiensis* (Atyidae): The role life history transition in phylogeographic diversification. *Molecular Ecology*, **15**: 1083-1093.

Imai T, Oonuki T. 2014. Records of Chinese grass shrimp, *Palaemonetes sinensis* (Sollaud, 1911) from western Japan and simple differentiation method with native freshwater shrimp, *Palaemon paucidens* De Haan, 1844 using eye size and carapace color pattern. *BioInvasions Records*, **3**: 163-168.

作者简介 赵莹莹,女,1980年生,博士,讲师,主要从事水产动物遗传育种研究。E-mail: likeyingying@126.com  
责任编辑 李凤芹