

云南云秃蝗不同地理种群染色体多态性分析*

李金玲^{1#}, 张晓明^{1#}, 张睿¹, 柳青^{1,2**}, 欧晓红^{3**}

(1. 云南农业大学 植物保护学院, 云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 云南 昆明 650201;

2. 保山学院 资源环境学院, 云南 保山 678000;

3. 西南林业大学 林学院, 云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 云南 昆明 650224)

摘要:【目的】云南云秃蝗[*Yunnanacris yunnaneus* (Ramme)]是中国特有种, 为了解云南云秃蝗不同地理种群的染色体特征。【方法】采用常规的液氮冰冻压片法和BSG显带法对云南云秃蝗3个地理种群的染色体核型和C带带型进行了研究。【结果】云南云秃蝗3个地理种群的染色体数目都为 $2n(\text{♂})=21$; 染色体类型多样, 具有端、近端、中及亚中着丝粒染色体; 性别决定机制均为XO型。染色体分组形式基本是3~4对大型、3~6对中型、1~3对小型染色体, 性染色体X属大型染色体。C带分析显示: 云南云秃蝗C带带型简单, 仅具有着丝粒带和端带, 但带纹数量在3个种群间具有差异, 最多的有21条; 种的平均异染色质含量为20.99%。【结论】3个种群在染色体C带核型和外部形态两个方面差异显著, 结果对进一步研究云南云秃蝗种群分化提供了重要的参考依据。

关键词: 云南云秃蝗; 地理种群; 染色体; C带核型

中图分类号: Q 969.265.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X(2018)01-0034-07

Chromosome Polymorphism of Three Populations of the Grasshopper *Yunnanacris yunnaneus* (Ramme)

LI Jinling¹, ZHANG Xiaoming¹, ZHANG Rui¹, LIU Qing^{1,2}, OU Xiaohong³

(1. Plant Protection College, Yunnan Agricultural University, National Key Laboratory for Conservation and

Utilization of Biological Resources in Yunnan, Kunming 650201, China; 2. Department of Resources

and Environmental Sciences, Baoshan College, Baoshan 678000, China; 3. Key Laboratory of

Forest Disaster Warning and Control in Yunnan Province, College of Forestry, Southwest Forestry University,

Kunming 650224, China)

Abstract: [Purpose] *Yunnanacris yunnaneus* (Ramme) is an endemic species of China, in order to understand the cytogenetic characteristics of different populations of *Y. yunnaneus*. [Method] The chromosome karyotype and C-band patterns of the three geographic populations of *Y. yunnaneus* have been studied using squashing and BSG chromosomal banding technique in this paper. [Results] Three populations of *Y. yunnaneus* have a diploid chromosome number of $2n(\text{♂})=21$, with an XO sex-determining mechanism and a diverse chromosome type consisting of telocentric, subtelocentric,

收稿日期: 2017-11-02

修回日期: 2017-11-21

网络出版时间: 2018-03-12

*基金项目: 国家自然科学基金项目(31400351, 30760033)。

作者简介: #对本文贡献等同, 为并列第一作者。李金玲(1993—), 女, 青海西宁人, 学士, 主要从事农业昆虫与害虫防治研究。E-mail: 1097535142@qq.com; 张晓明(1984—), 男, 云南保山人, 博士, 讲师, 主要从事农业昆虫及其防控研究。E-mail: zxmalex@126.com

**通信作者 Corresponding authors: 柳青(1981—), 男, 新疆乌苏人, 博士, 副教授, 主要从事农业昆虫与害虫防治研究。E-mail: liuqinggc065@126.com; 欧晓红(1959—), 女, 云南昆明人, 博士, 教授, 主要从事昆虫学研究。E-mail: oxh82011@public.km.yn.cn

网络出版地址: [http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201711006](http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201711006)

metacentric and submetacentric chromosomes. The autosomes can be divided into 3-4 large, 3-6 medium and 1-3 short groups according to their relative length, the X chromosome is the large one in size. C-banding reveals that the three populations have a simple type only with centromeric and terminal C-band, and the numbers are different among populations, and the most having 21 C-bands. The average value of heterochromatic content in this species is 20.99%. [**Conclusion**] The three populations show obvious differences in the two aspects of C-band karyotype and external morphology, and which provide an important reference for further study of the population differentiation of this species.

Keywords: *Yunnanacris yunnaneus*; geographical population; chromosome; C-banding karyotype

斑腿蝗科 (Catantopidae) 是直翅目 (Orthoptera) 蝗总科 (Acridoidea) 中最大的科, 已知有 760 多属近 4 000 种, 种类多, 分布广, 其中有少数种类是农业、畜牧业和林业生产上的重要害虫; 中国记录的斑腿蝗科昆虫有 100 多属 430 余种, 主要分布于中国南方地区^[1-2]。

云秃蝗属 (*Yunnanacris* Chang) 隶属斑腿蝗科秃蝗亚科 (Podisminae), 是中国特有的短翅型蝗虫类群, 目前已知仅 2 种。云南云秃蝗 [*Yunnanacris yunnaneus* (Ramme)] 是云秃蝗属中最常见的种类, 广泛分布于云南各地, 多在林下灌丛和杂草间活动, 是典型的草栖型种类^[3]。前期野外调查分别在云南昆明白龙寺呼马山、呈贡大渔村和丽江龙潘村采集到云南云秃蝗标本, 经过形态学比较发现, 3 个种群云南云秃蝗表现出明显的形态差别。为此, 本研究采用常规的液氮冰冻压片法及 BSG 显带法对云南云秃蝗 3 个地理种群的染色体 C 带核型进行了多态性分析, 以期能够明确云南云秃蝗不同地理种群的染色体特征, 为云南云秃蝗细胞学研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 试验材料

研究标本均采自野外, 具体采集信息见表 1。

表 1 云南云秃蝗标本来源及研究个体数量

Tab. 1 Source and numbers of *Y. yunnaneus* in this study

采集时间 (year-mm) collection time	采集地点 (海拔/m) location and elevation	个体数 number
2005-10	白龙寺呼马山 (1930) Humashan	2 (♂)
2005-10	呈贡大渔村 (1970) Dayu	10 (♂)
2016-10	丽江龙潘村 (1960) Longpan	9 (♂)

1.2 染色体玻片制备

将采集的云南云秃蝗雄虫按个体编号, 依据

个体大小不同, 活体腹腔注射 0.05% 的秋水仙素溶液 4~6 μL, 经 6~8 h 后解剖取出精巢, 放入 0.08% 的生理盐水中低渗 10~15 min, 再浸入甲醇—冰醋酸 (3:1, 体积比) 固定液内固定 6~12 h, 然后移入 75% 酒精内常温保存^[1]。制片时取出预先保存好的精巢材料, 在体视解剖镜下用解剖针挑取精小管盲端部分 2~3 根置于洁净的载玻片上, 滴加 45% 冰醋酸软化 5~10 min, 盖上盖玻片进行压片, 随后置于液氮罐中冰冻 3~5 min, 取出后快速揭片, 室温下无尘处自然老化 2~6 d。

1.3 C 带核型处理

C 带核型处理采用 BSG 法进行。将老化好的玻片置于 5% 新配制的饱和 Ba(OH)₂ 溶液中 50 ℃ 恒温水浴处理 15~20 min, 取出后用同温度的蒸馏水冲洗, 再经 2×SSC 于 60 ℃ 恒温水浴处理 1 h, 用同温度的蒸馏水冲洗晾干, 5% Giemsa 染液 (pH 6.8) 染色 10~15 min, 蒸馏水冲洗, 自然干燥, 镜检^[4-5]。使用 Nikon ECLIPSS E800 进行显微拍照, 每种选取 5~10 个染色体形态清晰、分散良好的分裂象细胞进行染色体数目统计、C 带核型参数的测量和计算, 并用 Adobe Photoshop CS6 软件对染色体图像切割配对。染色体类型依据 LEVEN 等^[6]的标准进行划分。

2 结果与分析

云南云秃蝗 3 个地理种群的染色体数目均为 2n (♂)=21; 染色体类型多样, 具有端、近端、中及亚中着丝粒染色体; 性别决定机制为 XO 型。染色体分组形式基本是 3~4 对大型、3~6 对中型、1~3 对小型及属大型染色体的性染色体 X。C 带带型简单, 仅具有着丝粒带和端带; 带纹数目在 3 个种群间表现出不同, 最多的有 21 条; 种的平均异染色质含量为 20.99%。下面分别叙述 3 个地理种群的染色体特征。

2.1 白龙寺呼马山种群

该种群具有 6 对端、4 对亚端和 1 对亚中着丝粒染色体，性染色体 X 为亚端着丝粒染色体；染色体臂数 NF=25。染色体组式为 4L+3M+3S+X，包括大型染色体 4 对 (L₁₋₄)，相对长度 RL 值为 17.21~10.41；中型染色体 3 对 (M₅₋₇)，RL 值

为 8.02~5.32；小型染色体 3 对 (S₈₋₁₀)，RL 值为 4.73~4.13；性染色体 X 属于大型染色体，RL 值为 13.76，在染色体组中位居第三 (图 1，表 2)。

染色体 C 带带纹 18 条，着丝粒带 11 条，端带 7 条分别位于 L₁、L₂、L₃、M₅、M₆、M₇ 和性染色体 X 上 (图 2)。

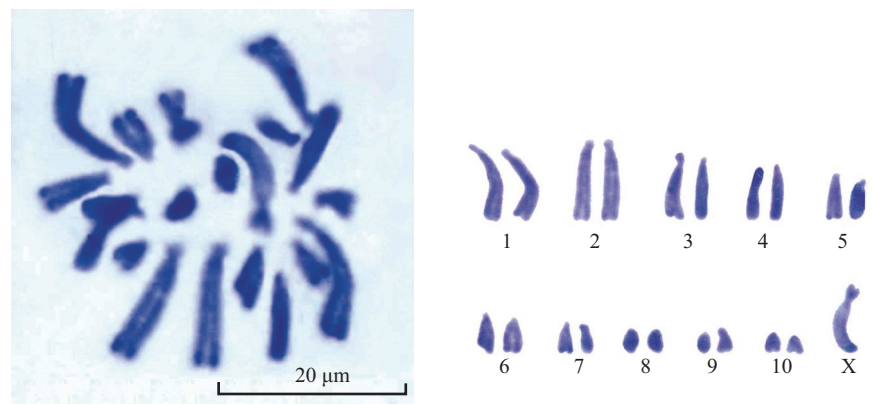


图 1 云南云秃蝗白龙寺呼马山种群染色体 C 带核型
Fig. 1 C-banding karyotype of *Y. yunnaneus* from Humashan population

表 2 云南云秃蝗白龙寺呼马山种群有丝分裂中期染色体数据
Tab. 2 Chromosome data of *Y. yunnaneus* in mitosis metaphase from Humashan population

序号 No.	分组 group	实测长度/ μm absolute length	相对长度/% relative length	C 带带纹实测长度/ μm C-band length		异染色质含量/% heterochromatic content	染色体类型 chromosome type
				着丝粒带 centromeric band	端带 terminal band		
1	L ₁	15.93	17.21	0.71	1.79	15.69	st
2	L ₂	13.26	14.33	0.80	1.54	17.65	t
3	L ₃	10.74	11.61	0.71	1.09	16.76	t
4	L ₄	9.64	10.42	0.84		8.71	t
5	M ₅	7.42	8.02	0.57	0.70	17.12	st
6	M ₆	5.77	6.24	0.70	1.43	36.72	t
7	M ₇	4.92	5.32	0.70	1.11	36.79	st
8	S ₈	4.38	4.73	0.50		11.42	t
9	S ₉	3.91	4.22	0.57		14.58	sm
10	S ₁₀	3.82	4.13	0.51		13.35	t
X	X	12.74	13.77	0.74	1.40	16.80	st
合计 total		92.53	—	16.41		17.73	—

染色体组异染色质总含量为 17.73%，其中 M₇ 染色体异染色质含量在整个染色体组中最高，为 36.79%；M₆ 次之，为 36.72%；L₄ 最低为 8.71%；性染色体 X 的异染色质含量为 16.80% (表 2)。

2.2 呈贡大渔村种群

该种群具有 5 对亚端、3 对亚中和 2 对中着丝粒染色体，性染色体 X 为端着丝粒染色体；染

色体臂数 NF=31。染色体组式为 4L+4M+2S+X，其中包括大型染色体 4 对 (L₁₋₄)，RL 值为 12.30~10.36；中型染色体 4 对 (M₅₋₈)，RL 值为 9.43~7.07；小型染色体 2 对 (S₉₋₁₀)，RL 值为 4.93~3.96；性染色体 X 属于大型染色体，RL 值为 13.24，在染色体组中位居第一 (图 3，表 3)。

该种群染色体 C 带带纹数目最多，达 21 条，着丝粒带 11 条分别位于每 1 条染色体上；

端带 10 条位于除 L₂ 和 S₁₀ 外的其他染色体上, 其中 M₆ 染色体的长、短臂上各有 1 条端带, L₃ 和 M₇ 的端带也位于其短臂上, 其余染色体的均位于长臂上(图 4)。

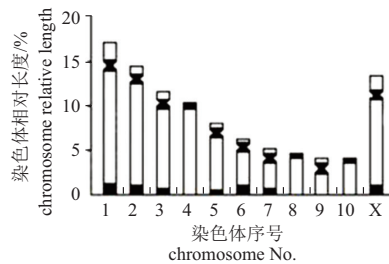
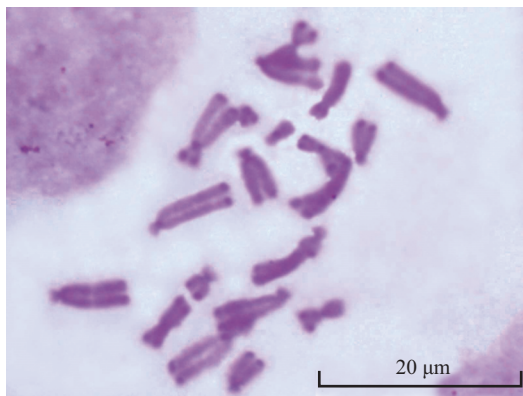


图 2 云南云秃蝗白龙寺呼马山种群染色体 C 带核型模式图

Fig. 2 Chromosome idiogram of *Y. yunnaneus* from Humashan population



染色体组异染色质总含量为 22.97%, 其中 S₉ 染色体异染色质含量在整个染色体组中最高, 为 47.66%; M₆ 次之, 为 41.19%; L₄ 最低为 8.63%; 性染色体 X 的异染色质含量为 18.63% (表 3)。

2.3 丽江龙蟠村种群

与前两个种群相比, 该种群的染色体类型较为简单, 具有 9 对端着丝粒和 1 对亚端着丝粒染色体, 性染色体 X 为端着丝粒染色体; 染色体臂数 NF=21。染色体组式为 3L+6M+S+X, 包括大型染色体 3 对 (L₁₋₃), RL 值为 16.49~10.18; 中型染色体 6 对 (M₄₋₉), RL 值为 8.91~5.54; 小型染色体 1 对 (S₁₀), RL 值为 4.57; 性染色体 X 属于大型染色体, RL 值为 13.71, 在染色体组中位居

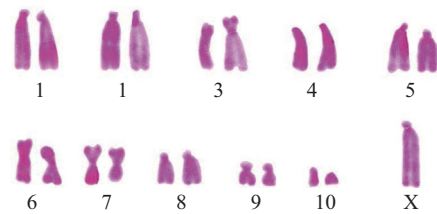


图 3 云南云秃蝗呈贡大渔村种群染色体 C 带核型

Fig. 3 C-banding karyotype of *Y. yunnaneus* from Dayu population

表 3 云南云秃蝗呈贡大渔村种群有丝分裂中期染色体数据

Tab. 3 Chromosome data of *Y. yunnaneus* in mitosis metaphase from Dayu population

序号 No.	分组 group	实测长度/ μm absolute length	相对长度/% relative length	C 带带纹实测长度/ μm C-band length		异染色质含量/% heterochromatic content	染色体类型 chromosome type
				着丝粒带 centromeric band	端带 terminal band		
1	L ₁	9.63	12.30	0.90	0.91	18.80	st
2	L ₂	9.59	12.25	0.96		10.01	st
3	L ₃	8.23	10.52	0.91	1.13	24.79	sm
4	L ₄	8.11	10.36	0.70		8.63	st
5	M ₅	7.38	9.43	0.71	1.26	26.69	st
6	M ₆	6.53	8.34	0.73	1.96	41.19	m
7	M ₇	5.95	7.60	0.70	1.08	29.92	m
8	M ₈	5.53	7.07	0.72	0.81	27.67	st
9	S ₉	3.86	4.93	0.74	1.10	47.66	sm
10	S ₁₀	3.10	3.96	0.73		23.55	sm
X	X	10.36	13.24	0.98	0.95	18.63	t
合计 total		78.27	—	17.98		22.97	—

第二(图 5, 表 4)。

染色体具有 C 带带纹 16 条, 除 11 条着丝粒带之外, 5 条端带分别位于 L₁、L₂、L₃、M₄ 和 M₆ 染色体上(图 6)。

染色体组异染色质总含量为 22.26%, M₆ 染色体异染色质含量在整个染色体组中最高, 为 48.34%; M₄ 次之, 为 33.14%; M₈ 最低为 13.10%; 性染色体 X 的异染色质含量为 13.33%(表 4)。

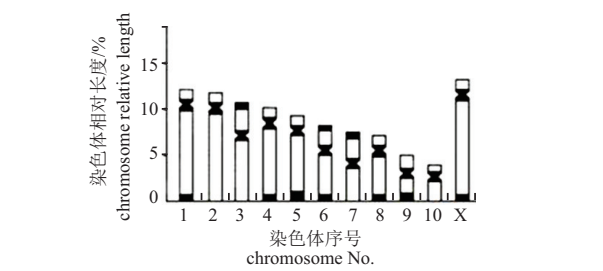


图 4 云南云秃蝗呈贡大渔村种群 C 带核型模式图
Fig. 4 Chromosome ideogram of *Y. yunnaneus* from Dayu population

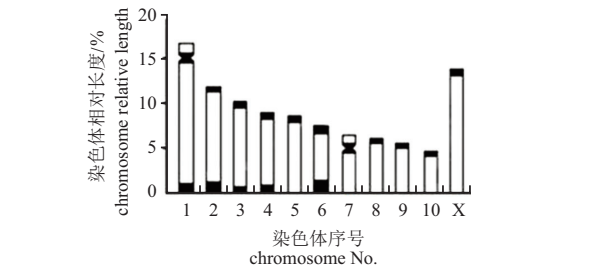


图 6 云南云秃蝗丽江龙蟠村种群 C 带核型模式图
Fig. 6 Chromosome ideogram of *Y. yunnaneus* from Longpan population

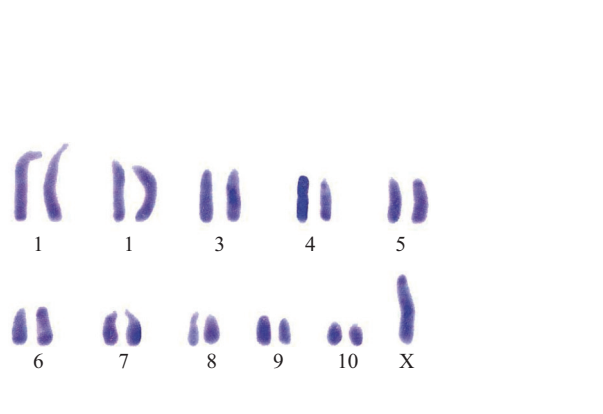
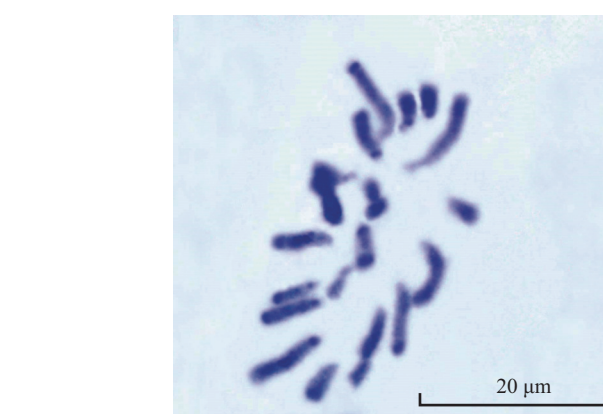


图 5 云南云秃蝗丽江龙潘村种群染色体 C 带核型
Fig. 5 C-banding karyotype of *Y. yunnaneus* from Longpan population

表 4 云南云秃蝗丽江龙蟠村种群有丝分裂中期染色体数据							
Tab. 4 Chromosome data of <i>Y. yunnaneus</i> in mitosis metaphase from Longpan population							
序号 No.	分组 group	实测长度/ μm absolute length	相对长度/% relative length	C 带带纹实测长度/ μm C-band length		异染色质含量/% heterochromatic content	染色体类型 chromosome type
				着丝粒带 centromeric band	端带 terminal band		
1	L ₁	12.63	16.49	0.68	1.40	16.46	t
2	L ₂	9.10	11.88	0.70	1.96	29.23	t
3	L ₃	7.80	10.18	1.05	1.26	29.62	t
4	M ₄	6.82	8.91	1.10	1.16	33.14	t
5	M ₅	6.65	8.68	1.05		15.79	t
6	M ₆	5.71	7.46	1.18	1.58	48.34	t
7	M ₇	4.90	6.40	0.70		14.28	st
8	M ₈	4.73	6.18	0.62		13.10	t
9	M ₉	4.24	5.54	0.70		16.51	t
10	S ₁₀	3.50	4.57	0.51		14.57	t
X	X	10.50	13.71	1.40		13.33	t
合计 total		76.58	—		17.05	22.26	—

3 讨论

蝗虫染色体大而数目少, 且材料易得, 是进行细胞遗传和细胞分类研究的极好类群^[7]。全世界一万多种蝗虫, 有一千多种进行过染色体研究^[8]。前人研究表明: 与形态学数据一样, 染色体核型数据已经成为蝗虫鉴别分类和亲缘关系界定的基本数据^[9-10], 染色体特征如染色体数目、大小、类型、组式、异染色质分布位置和数量、减数分裂染色体行为等在不同蝗虫类群中亦有不同, 呈现出多态性变化^[11-19]。从本研究结果来看, 云南云秃蝗 3 个地理种群除了具有相同的染色体数目 $2n(\text{♂})=21$ 和相同的性别决定机制 XO 型, 在染色体类型、组式、C 带带纹分布位置、大小、数量、异染色质总含量及性染色体 X 位次等方面均表现出差异。云南云秃蝗翅短而无飞行能力, 3 个种群地理分布区的不同在很大程度上限制了种群间的基因交流, 这些差异可能正是由于地理阻隔的作用而造成 3 个种群发生遗传分化的结果。

斑腿蝗科染色体数目多为 $2n(\text{♂})=23$, 少数为 $2n(\text{♂})=21$, 染色体类型主要为端或近端着丝粒^[11, 15]。普遍认为, 蝗总科染色体数目 $2n(\text{♂})=23$ 是原始的染色体核型, 而 $2n(\text{♂})=21$ 是在前者的基础上通过染色体的端部易位或不等互换^[20]或通过染色体的着丝粒融合和臂间倒位^[21]进化产生。云南云秃蝗 3 个种群染色体数目相同, 但染色体类型则较复杂, 除了端、近端着丝粒染色体外, 在白龙寺呼马山和呈贡大渔村两个种群还具有中和亚中着丝粒染色体, 加之 3 个种群染色体相对长度的变化均匀一致, 因此, 可以推测, 云南云秃蝗 $2n(\text{♂})=21$ 这一染色体核型可能是由 $2n(\text{♂})=23$ 经过染色体着丝粒融合, 然后又经历臂间倒位而演变而来。

染色体多态性的另一个主要体现就是异染色质的变异。云南云秃蝗 3 个种群染色体 C 带带纹

类型简单, 都只具有着丝粒带和端带, 但着丝粒带带纹大小、端带数量和分布位置在各种群间明显不同, 进而导致各种群染色体组异染色质总含量也呈现出多态性变化, 如呈贡大渔村种群有端带 10 条, 较白龙寺呼马山和丽江龙蟠村种群的端带数量多, 其异染色质总含量也高于后两者 (表 5)。

结合 3 个种群的外部形态比较, 发现三者的形态差别体现在 6 个方面。(1) 体形。以白龙寺呼马山种群个体最小, 呈贡大渔村和丽江龙蟠村种群个体大小相近。(2) 体色。白龙寺呼马山和呈贡大渔村两个种群个体深绿色, 丽江龙蟠村种群个体呈褐色。(3) 后足股节斑纹。3 个种群在后足股节外侧均有 2 个白色斑纹, 但大小形状各有区别; 白龙寺呼马山种群 2 个斑纹均为长条形, 第 2 个斑纹较小; 呈贡大渔村种群斑纹形状同前者, 但比前者宽; 丽江龙蟠村种群第 1 个斑纹长条形, 宽于前二者, 第 2 个斑纹大而倾斜, 贯串整个后足股节外侧, 并在后足股节上侧与内侧白斑相连通。(4) 雄性尾须。三者雄性尾须形状相近, 均为锥形, 端部扁而向内向下弯曲, 但长短不同, 三者中丽江龙蟠村种群尾须最长, 呈贡大渔村种群次之, 白龙寺呼马山种群最短。(5) 尾片。云秃蝗属尾片小, 呈片状弧形突出, 其中丽江龙蟠村种群尾片最大且明显, 呈贡大渔村种群较小, 白龙寺呼马山种群最小, 几无尾片。(6) 雄性肛上板。三者雄性肛上板均具纵沟, 但白龙寺呼马山种群纵沟深而明显, 呈贡大渔村种群略浅, 丽江龙蟠村种群仅略可见。

当然, 形态的变异和多样性是内部遗传和外部环境因素共同作用下的表征^[22]。云南云秃蝗 3 个种群在染色体 C 带核型和外部形态两个方面都有显著差异, 更为深入的研究有待今后收集更多种群的样本, 并采用 DNA 分子标记等技术来进行。

表 5 云南云秃蝗 3 个种群异染色质总含量比较
Tab. 5 Comparison of total heterochromatic content of *Y. yunnaneus* from three populations

种群 populations	C 带带纹数量 numbers of C-band		异染色质总含量/% heterochromatic content
	着丝粒带 centromeric band	端带 terminal band	
白龙寺呼马山种群 Humashan population	11	7	22.97
呈贡大渔村种群 Dayu population	11	10	17.73
丽江龙蟠村种群 Longpan population	11	5	22.26

[参考文献]

- [1] 柳青, 欧晓红. 斑腿蝗科两种短翅蝗虫的染色体研究[J]. 西南林学院学报, 2005, 25(2): 5. DOI: [10.3969/j.issn.2095-1914.2005.02.002](#).
- [2] 牛瑶. 中国斑腿蝗科(广义)系统分类研究(直翅目:蝗总科)[D]. 西安: 陕西师范大学, 2007: 13.
- [3] 郑哲民. 蝗虫分类学[M]. 西安: 陕西师范大学出版社, 1993: 130.
- [4] LIN C, WANG N, GAO S J, et al. Comparative study of the karyotypes of two species of grasshoppers in genera *Chorthippus* Fieber and *Euchorthippus* Tarbinsky (Orthoptera: Acridoidea)[J]. Entomotaxonomia, 2015, 37(1): 2. DOI: [10.11680/entomotax.2015001](#).
- [5] PINE M B, GALLO R B, DA SILVA C R, et al. Chromosome mapping in *Abracris flavolineata* (De Geer, 1773) (Orthoptera) from the Iguacu National Park - Foz do Iguacu, Paraná, Brazil[J]. Comparative Cytogenetics, 2017, 11(2): 203. DOI: [10.3897/CompCytogen.v11i2.10282](#).
- [6] LEVAN A K, FREDGA K, SANDBERG A A. Nomenclature for centromeric position on chromosomes[J]. Hereditas, 1964, 52(2): 201. DOI: [10.1111/j.1601-5223.1964.tb01953.x](#).
- [7] 欧晓红, 郑哲民. 中国蝗总科昆虫细胞分类学研究概况[C]//廉振民. 昆虫学研究(第一辑). 西安: 陕西师范大学出版社, 1995: 216.
- [8] 马恩波, 郑哲民. 五种稻蝗染色体核型和 C 带带型的比较[J]. 昆虫学报, 1989, 32(4): 399. DOI: [10.16380/j.kcxb.1989.04.003](#).
- [9] 李新江, 张道川, 王文强. 蝗虫染色体 C-带核型研究进展(昆虫纲:直翅目)[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2004, 24(3): 332. DOI: [10.3969/j.issn.1000-1565.2004.03.026](#).
- [10] 郝锡联, 闻鸣, 张雪, 等. 4 种鸣虫染色体核型研究(直翅目:蝗总科)[J]. 吉林农业大学学报, 2016, 38(1): 26. DOI: [10.13327/j.jjlau.2015.2494](#).
- [11] 马恩波, 欧晓红, 乔格侠, 等. 蝗总科染色体研究及科级综合比较(直翅目)[J]. 昆虫分类学报, 2000, 22(1): 6.
- [12] WARCHAŁOWSKAŚLIWA E, GRZYWACZ B, HELLER K G, et al. Comparative analysis of chromosomes in the Palaearctic bush-crickets of tribe *Pholidopterini* (Orthoptera, Tettigoniinae)[J]. Comparative Cytogenetics, 2017, 11(2): 309. DOI: [10.3897/CompCytogen.v11i2.12070](#).
- [13] ALLISON A, VILMA L, CABRAL-DE-MELLO D C. Organization of some repetitive DNAs and B chromosomes in the grasshopper *Eumastusia koebelei koebelei* (Rehn, 1909) (Orthoptera, Acrididae, Leptysminae)[J]. Comparative Cytogenetics, 2016, 10(2): 219. DOI: [10.3897/CompCytogen.v10i2.7609](#).
- [14] GRZYWACZ B, HELLER K G, CHOBANOV D P, et al. Conventional and molecular chromosome study in the European genus *Parnassiana* Zeuner, 1941 (Orthoptera, Tettigoniinae, Platycleidini)[J]. Folia Biologica (Kraków), 2017, 65(1): 1. DOI: [10.3409/fb65_1.01](#).
- [15] 马恩波, 郭亚平. 四种斑腿蝗科昆虫染色体带型的比较[J]. 昆虫学报, 2001, 44(3): 268. DOI: [10.3321/j.issn.0454-6296.2001.03.003](#).
- [16] BRIDLE J R, DE LA TORRE J, BELLA J L, et al. Low levels of chromosomal differentiation between the grasshoppers *Chorthippus brunneus* and *Chorthippus jacobsi* (Orthoptera; Acrididae) in northern Spain[J]. Genetica, 2002, 114(2): 121. DOI: [10.1023/A:1015185122507](#).
- [17] 马恩波, 郭亚平, 任竹梅, 等. 山稻蝗不同地域种群染色体 C 带核型研究[J]. 动物分类学报, 2002, 27(2): 252. DOI: [10.3969/j.issn.1000-0739.2002.02.012](#).
- [18] HOUBEN A, BANAEI-MOGHADDAM A M, KLEME S, et al. Evolution and biology of supernumerary B chromosomes[J]. Cellular and Molecular Life Sciences, 2014, 71: 467. DOI: [10.1007/s00018-013-1437-7](#).
- [19] PALACIOS-GIMENEZ O M, MARTI D A, CABRAL-DE-MELLO D C. Neo-sex chromosomes of *Ronderosia bergi*: insight into the evolution of sex chromosomes in grasshoppers[J]. Chromosoma, 2015, 124: 353. DOI: [10.1007/s00412-015-0505-1](#).
- [20] HEWITT G M. Orthoptera: grasshoppers and crickets[M]//JOHN B. Animal cytogenetics, 3. Insecta I. Berlin, Stuttgart: Borntraeger, 1979.
- [21] WHITE M J D. Animal cytology and evolution[M]. 3rd ed. London: Cambridge University Press, 1973.
- [22] 刘昭阳, 李玉蓉, 潘忠玉. 光肩星天牛两型种群表型多样性分析[J]. 应用昆虫学报, 2016, 53(5): 1045. DOI: [10.7679/j.issn.2095-1353.2016.129](#).