

# 苜蓿属 3 种不同花色基因型的染色体核型分析

刘磊, 王宗礼, 李志勇, 师文贵, 李鸿雁, 黄帆, 李俊

(中国农业科学院草原研究所/农业部草原资源与利用重点开放实验室, 呼和浩特 010010)

**摘要:** 基于形态学的显著差异, 对紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.)、黄花苜蓿 (*Medicago falcata* L.) 和白花苜蓿 (Alfalfa with Cream flower) 进行染色体核型分析, 结果表明, 3 种类型的苜蓿材料在染色体核型方面有显著差别, 白花苜蓿和黄花苜蓿都是随体染色体, 其中, 黄花苜蓿有 2 条为端着丝点染色体, 其核型公式分别为: 紫花苜蓿  $2n = 4x = 24m + 8sm$ 、黄花苜蓿  $2n = 4x = 24m + 6sm + 2T(SAT)$ 、白花苜蓿  $2n = 4x = 24m + 8sm(SAT)$ 。紫花苜蓿与白花苜蓿的染色体具有 89% 的相似性, 只是在紫花苜蓿 7 号染色体和白花苜蓿 15 号染色体存在随体有无的区别; 黄花苜蓿染色体具有独特性, 显著区别于紫花苜蓿和白花苜蓿, 但从其 19 号染色体来看, 参与了紫花苜蓿或白花苜蓿的构建; 白花苜蓿 15 号随体染色体与黄花苜蓿 25 号随体染色体和紫花苜蓿 7 号染色体有高度的相似性, 但也存在随体有无的区别。

**关键词:** 苜蓿; 基因型; 核型分析

## Karyotype Analysis on 3 Different Flower Color Genotypes of *Medicago* L.

LIU Lei, WANG Zong-li, LI Zhi-yong, SHI Wen-gui, LI Hong-yan, HUANG-Fan, LI Jun

(Grassland Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Grassland Resources and Utilization, Hohhot 010010)

**Abstract:** Based on the significant difference of morphology, chromosome karyotype analysis were carried out in *Medicago sativa* L., *Medicago falcata* L. and alfalfa with cream flower. The results showed that three genotypes of materials had unambiguous difference in chromosome karyotype due to the satellite chromosomes in alfalfa with cream flower and *Medicago falcata* L. which included 2 terminal point chromosomes. The karyotype formula of *Medicago sativa* L., *Medicago falcata* L. and alfalfa with cream flower respectively were  $2n = 4x = 24m + 8sm$ ,  $2n = 4x = 24m + 6sm + 2T(SAT)$  and  $2n = 4x = 24m + 8sm(SAT)$ . The chromosome similarity in *Medicago sativa* L. and alfalfa with cream flower was 89% and the dissimilarity was owing to the satellite condition in No. 7 of *Medicago sativa* L. and No. 15 of alfalfa with cream flower. The chromosome of *Medicago falcata* L. was very unique which constructed of *Medicago sativa* L. and alfalfa with cream flower from chromosome No. 19. No. 15 chromosome in alfalfa with cream flower had the higher similarity with No. 25 chromosome in *Medicago falcata* L. and No. 7 chromosome in *Medicago sativa* L., but there were still difference in satellite condition.

**Key words:** *Medicago* L.; genotypes; karyotype analysis

紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.)、黄花苜蓿 (*Medicago falcata* L.) 和白花苜蓿 (alfalfa with cream flower) 在形态上存在着显著的差异, 尤其是经典分

类学苜蓿分种的关键部位—花色、荚果形状上的区别<sup>[1]</sup>。依据《中国植物志》和《内蒙古植物志》, 紫花苜蓿和黄花苜蓿在分类学上是两个独立的种, 而白

收稿日期: 2015-02-04 修回日期: 2015-03-24 网络出版日期: 2016-01-28

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20160128.1516.004.html>

基金项目: 国家自然科学基金(31402122); 农业部牧草种质资源保护项目(2014-08); 科技部国家科技基础条件平台课题(NICGR2015-065)

第一作者主要从事牧草种质资源的分类及育种研究。E-mail: liu4311755@163.com

通信作者: 李志勇, 主要从事牧草种质资源研究。E-mail: zhiyongli1216@126.com

花苜蓿在《内蒙古植物志》中没有谈及,《中国植物志》也没有专门的描述,但对杂交苜蓿的花色描述为“各色”,即白花苜蓿在分类学上应该归属于杂交苜蓿,而杂交苜蓿系紫花苜蓿和黄花苜蓿自然杂交产生的类型,分布地区也与二者相同。笔者认为白花苜蓿这一称谓是存在一定问题的,由于在苜蓿分类学上没有给予分类学地位,白花苜蓿不像紫花苜蓿、黄花苜蓿成为苜蓿属的一个种名,也没有拉丁学名,只是一些研究者根据白花苜蓿的花色特征赋予了其英文名(alfalfa with white flower)<sup>[2-4]</sup>。根据笔者在大田的观测,白花苜蓿存在着白色和乳白色两类,白色这一类在孕蕾初期花蕾顶部有紫花苜蓿的痕迹,当花瓣完全开展以后,整个花朵颜色变白,旗瓣上还可以发现明显的紫脉存在,体现了杂交苜蓿的特征,而乳白色花序这一类不存在上述的现象,花序整体乳白色,没有一点杂色。笔者在研究白花苜蓿的来源问题时,以紫花苜蓿、黄花苜蓿和白花苜蓿分别做母本进行开放授粉,在 $F_1$ 没有发现白花苜蓿,但与黄花苜蓿存在着相似的杂交特性,并参与了杂交苜蓿的构建。L. R. Waldron<sup>[5]</sup>报道,在一个紫花苜蓿的群体中出现了纯白色花的植株,旗瓣上也没有紫色的网脉。K. Lesins<sup>[6]</sup>研究白色花序的苜蓿材料,发现白花苜蓿有较好的抗寒性。因此,白花苜蓿是一类特殊的、重要的种质类型,在植物学特征上与紫花苜蓿和黄花苜蓿存在较大的区别。由于白花苜蓿不是一个正规的种名,对白花苜蓿的表述与进一步深入研究有一定影响。

染色体数目、基数、组型分析等对植物的分类、起源和演化研究都有重要作用<sup>[7-8]</sup>。到目前为止,

在染色体核型分析方面,有以下几种方法:传统手工分析、Photoshop 软件分析、自动核型分析和流式细胞术,上述研究方法各自均有优缺点<sup>[9]</sup>。除流式细胞术外,其余方法对前期染色体图像的压制清晰程度均有要求,而流式细胞术也需要复杂的前期处理,都是围绕染色体数目、长度、着丝粒、随体等指标进行统计。利用核型分析进行植物的亲缘关系、分类、起源和演化等方面的研究,主要是依据核型近似系数、进化距离的估计以及最远邻体法聚合分类方法<sup>[10-11]</sup>。随着软件技术的发展,后人对研究方法进行了改造<sup>[12]</sup>,并在很多生物上进行了广泛的应用<sup>[13-14]</sup>,但这些算法主要还是围绕染色体相对长度、着丝粒指数、带型比值等指标进行核型近似系数、进化距离的计算,而且主要是研究不同种之间的差别或亲缘关系。

研究将基于细胞染色体核型分析技术和原理,在染色体压制清晰的基础上,对紫花苜蓿、黄花苜蓿和白花苜蓿的染色体进行了核型基础数据的统计并进行配对,对每一对染色体性状数据(包括数量性状数据和质量性状数据)进行标准化,进行近似距离分析和聚类分析,来解析三者的区别与关系。这样分析的优点是可以计算出染色体之间的相似程度,进一步明确染色体的来源。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试材料为3种不同花色基因型的苜蓿材料,分别为紫花苜蓿、黄花苜蓿和白花苜蓿材料,来自中国农业科学院草原研究所(图1)。



图1 试验材料

Fig. 1 Materials in the study

### 1.2 方法

试验方法参照阎贵兴<sup>[15]</sup>压制染色体的方法,在100倍OlympusBX41多功能显微镜及图像分析系统下镜检并拍照,分别从5个以上根尖压片中,选择清

晰且分散较好的染色体分裂相供核型分析。

### 1.3 统计分析

统计分析参照王清邴<sup>[16]</sup>的方法,为了分析紫花苜蓿、黄花苜蓿和白花苜蓿的亲缘及进化关系,把已

经配对的染色体作为单独的单元进行顺序编号,对其长臂、短臂、相对长度、臂比、着丝粒指数和随体等数据进行标准化,采用 SPSS19.0 统计软件中的 Hierarchical Cluster Analysis-Euclidean 距离进行遗传距离和聚类分析<sup>[17-18]</sup>。

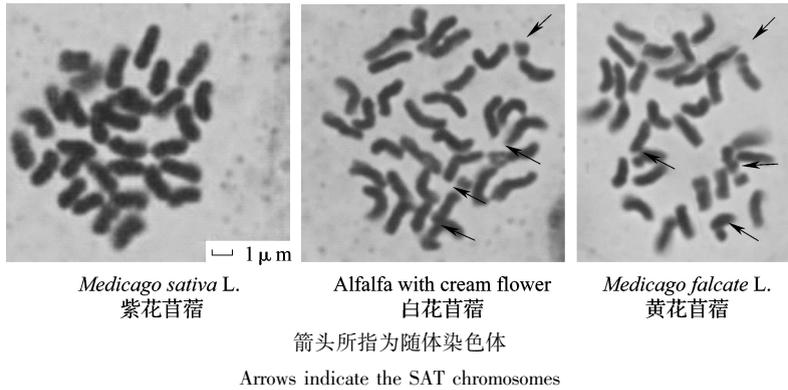


图 2 紫花苜蓿、白花苜蓿和黄花苜蓿的染色体显微照片

Fig. 2 The microscope chromosome view of *Medicago* L. in different flower color

紫花苜蓿的染色体长度变化为渐变式,  $2n = 4x = 32$ , 为四倍体, 最长染色体和最短染色体的比值为 1.647, 属于 2A 核型, 核型不对称系数 ( $As \cdot k\%$ ) 为 59.16%; 其中属于中部着丝点区的染色体有 6 对, 分别为 1 号、2 号、3 号、4 号、5 号 and 6 号染色体; 属于近中部着丝点区的染色体为 7 号和 8 号 2 对染色体; 核型公式为  $2n = 4x = 24m + 8sm$ 。

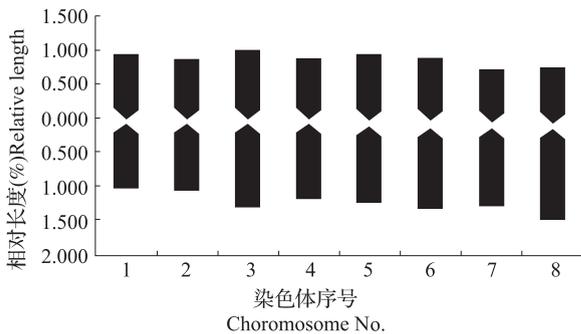


图 3 紫花苜蓿染色体核型模式图

Fig. 3 Chromosome mode of alfalfa (purple flower)

白花苜蓿的染色体长度变化为渐变式,  $2n = 4x = 32$ , 也为四倍体, 最长染色体和最短染色体的比值为 1.778, 属于 2A 核型, 核型不对称系数 ( $As \cdot k\%$ ) 为 59.4%; 其中属于中部着丝点区的染色体有 6 对, 分别为 1 号、2 号、3 号、4 号、5 号 and 6 号染色体; 属于近中部着丝点区的染色体为 7 号和 8 号 2 对染色体, 其中 8 号染色体为随体染色体; 核型公式为  $2n = 4x = 24m + 8sm$  (SAT)。

## 2 结果与分析

### 2.1 3 类苜蓿染色体核型分析

对 3 种不同花色基因型苜蓿材料进行根尖细胞染色体压片处理(图 2)。

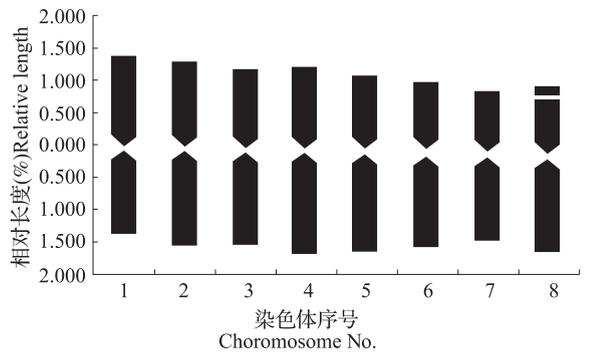


图 4 白花苜蓿染色体核型模式图

Fig. 4 Chromosome mode of alfalfa (cream flower)

黄花苜蓿的染色体长度变化为渐变式,  $2n = 4x = 32$ , 也为四倍体, 最长染色体和最短染色体的比值为 1.44, 属于 2A 核型, 核型不对称系数 ( $As \cdot k\%$ ) 为 60.09%; 其中属于中部着丝点区的染色体有 6 对, 分别为 1 号、2 号、3 号、4 号、5 号 and 6 号染色体; 属于近中部着丝点区的染色体为 7 号染色体; 8 号染色体为随体染色体, 其中 2 条为近中部着丝点染色体, 剩余 2 条为端着丝点染色体(为方便起见, 在图中标为 9 号染色体); 核型公式为  $2n = 4x = 24m + 6sm + 2T$  (SAT)。

### 2.2 3 类苜蓿染色体核型聚类分析

对 3 类不同花色基因型苜蓿材料的染色体长臂、短臂、相对长度、臂比、着丝粒指数和随体等核型参数进行测定和标准化(表 1)。依据 3 类苜蓿染色体的特征, 对其 Euclidean 距离进行了分析并聚类,

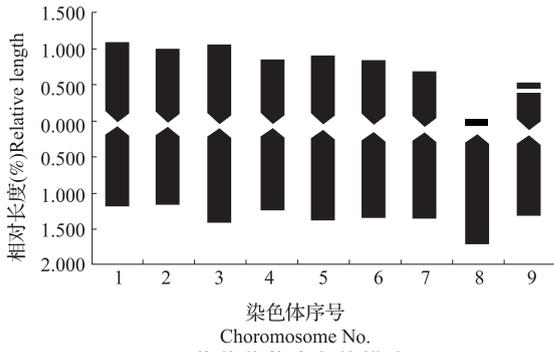


图5 黄花苜蓿染色体模式图

Fig.5 Chromosome mode of sickle alfalfa (yellow flower)

结果见表2和图6。为分析方便,在进行3类苜蓿染色体相似性的分析过程中,对染色体进行了顺序编号,且与核型模式图中的染色体编号有所不同。

从图6中可以看出,在欧氏距离2.25处,可以非常明显的聚为6个大类,其中24号染色体单独聚为第I大类,是黄花苜蓿的端部着丝点染色体,同时也是一个随体染色体,与其他染色体的相似性都较小;从欧氏距离来看,该染色体与7号和15号染色体距离最近,为6.95,与1号和9号染色体距离最远,为9.92。紫花苜蓿7号染色体,白花苜蓿15号

表1 染色体核型参数

Table 1 Chromosome parameter of alfalfa (purple flower)

试验材料 Materials	序号 No.	染色体长臂 + 短臂 = 全长 ( $\mu\text{m}$ ) Length of chromosome (LA + SA = Total)	相对长度 (%) Relative length	臂比 Arm ratio	着丝粒指数 Centromere index	类型 Type
紫花苜蓿	1	1.03 + 0.93 = 1.95	2.928	1.109	47.416	m
	2	1.05 + 0.85 = 1.90	2.853	1.238	44.697	m
	3	1.30 + 1.00 = 2.30	3.453	1.302	43.453	m
	4	1.18 + 0.88 = 2.05	3.078	1.344	42.669	m
	5	1.23 + 0.85 = 2.08	3.078	1.344	42.669	m
	6	1.33 + 0.88 = 2.20	3.303	1.511	39.843	m
	7	1.28 + 0.70 = 1.98	2.965	1.826	35.450	sm
	8	1.48 + 0.73 = 2.20	3.303	2.028	33.036	sm
白花苜蓿	9	1.38 + 1.35 = 2.73	3.225	1.021	49.500	m
	10	1.55 + 1.28 = 2.83	3.343	1.213	45.199	m
	11	1.53 + 1.15 = 2.68	3.166	1.328	42.958	m
	12	1.68 + 1.18 = 2.85	3.373	1.425	41.245	m
	13	1.65 + 1.05 = 2.70	3.195	1.573	38.882	m
	14	1.58 + 0.95 = 2.53	2.988	1.659	37.608	m
	15	1.48 + 0.80 = 2.28	2.692	1.846	35.141	sm *
	16	1.65 + 0.85 = 2.50	2.959	1.944	33.983	sm
黄花苜蓿	17	1.18 + 1.10 = 2.28	3.232	1.069	48.361	m
	18	1.15 + 1.00 = 2.15	3.054	1.148	46.569	m
	19	1.40 + 1.05 = 2.45	3.480	1.332	42.893	m
	20	1.23 + 0.85 = 2.08	2.947	1.441	40.981	m
	21	1.38 + 0.90 = 2.28	3.232	1.528	39.565	m
	22	1.33 + 0.83 = 2.15	3.054	1.605	38.404	m
	23	1.40 + 0.68 = 2.08	2.947	2.071	32.647	sm
	24	1.70 + 0 = 1.70	2.415	$\infty$	-	T *
	25	1.30 + 0.50 = 1.80	2.557	2.600	27.778	sm *

m:中部着丝点区;sm:近中部着丝点区;T:端部着丝点;\* :随体,下同

m;Median region,sm;Submedian region,T:Terminal point,\* :Satellite,the same as below

表 2 3 类苜蓿染色体进化距离

Table 2 The evolution distance on chromosome of 3 types of alfalfa

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	0																								
2	1.24	0																							
3	1.35	0.84	0																						
4	2.19	0.97	1.22	0																					
5	2.25	1.32	0.92	0.86	0																				
6	2.39	1.93	1.15	1.80	0.96	0																			
7	3.94	3.91	3.26	3.93	3.29	2.69	0																		
8	3.26	2.71	2.10	2.38	1.69	1.33	1.86	0																	
9	0	1.24	1.35	2.19	2.25	2.39	3.94	3.26	0																
10	1.24	0	0.84	0.97	1.32	1.93	3.91	2.71	1.24	0															
11	1.35	0.84	0	1.22	0.92	1.15	3.26	2.10	1.35	0.84	0														
12	2.19	0.97	1.22	0	0.86	1.80	3.93	2.38	2.19	0.97	1.22	0													
13	2.25	1.32	0.92	0.86	0	0.96	3.29	1.69	2.25	1.32	0.92	0.86	0												
14	2.39	1.93	1.15	1.80	0.96	0	2.69	1.33	2.39	1.93	1.15	1.80	0.96	0											
15	3.94	3.91	3.26	3.93	3.29	2.69	0	1.86	3.94	3.91	3.26	3.93	3.29	2.69	0										
16	3.26	2.71	2.10	2.38	1.69	1.33	1.86	0	3.26	2.71	2.10	2.38	1.69	1.33	1.86	0									
17	1.50	2.41	2.24	3.21	3.06	2.90	3.97	3.70	1.50	2.41	2.24	3.21	3.06	2.90	3.97	3.70	0								
18	1.99	2.86	2.45	3.56	3.22	2.82	3.62	3.59	1.99	2.86	2.45	3.56	3.22	2.82	3.62	3.59	0.80	0							
19	1.57	1.34	1.47	1.83	1.92	2.25	3.96	2.98	1.57	1.34	1.47	1.83	1.92	2.25	3.96	2.98	1.74	2.26	0						
20	2.39	2.91	2.27	3.39	2.83	2.21	2.99	2.92	2.39	2.91	2.27	3.39	2.83	2.21	2.99	2.92	1.60	1.00	2.37	0					
21	1.86	1.82	1.33	2.15	1.74	1.56	3.18	2.34	1.86	1.82	1.33	2.15	1.74	1.56	3.18	2.34	1.68	1.76	1.13	1.43	0				
22	2.25	2.43	1.77	2.76	2.17	1.61	2.84	2.35	2.25	2.43	1.77	2.76	2.17	1.61	2.84	2.35	1.80	1.51	1.88	0.78	0.78	0			
23	3.30	3.22	2.54	3.26	2.57	1.92	1.65	1.65	3.30	3.22	2.54	3.26	2.57	1.92	1.65	1.65	3.02	2.68	2.85	1.88	1.89	1.52	0		
24	9.92	9.55	9.01	9.17	8.59	8.17	6.95	7.31	9.92	9.55	9.01	9.17	8.59	8.17	6.95	7.31	9.82	9.46	9.42	8.67	8.70	8.41	7.23	0	
25	5.06	5.19	4.48	5.26	4.54	3.79	1.78	3.18	5.06	5.19	4.48	5.26	4.54	3.79	1.78	3.18	4.61	4.06	4.88	3.32	3.93	3.37	2.12	6.32	0

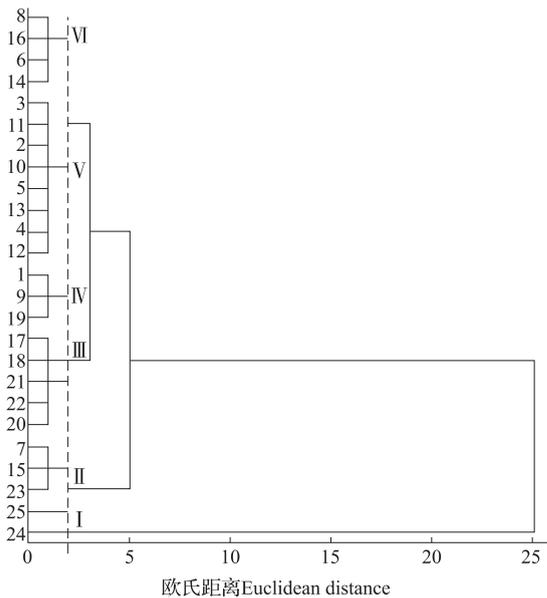


图6 3类苜蓿材料染色体聚类结果

Fig. 6 The clustering analysis on chromosome of 3 types of alfalfa

染色体与黄花苜蓿 23 号和 25 号染色体聚为第 II 类,均为近中部着丝点区染色体,其中 15 号染色体和 25 号染色体为随体染色体;从近似距离来看,虽然紫花苜蓿 7 号染色体与白花苜蓿 15 号染色体的距离为 0,但 15 号染色体为随体染色体,所以其来源有一定区别;同为随体染色体的 15 号染色体和 25 号染色体的欧氏距离为 1.78,且这两对染色体的长度、相对长度、臂比和着丝粒指数都有较大差别,所以这两条染色体的来源也有一定区别。黄花苜蓿 17 号、18 号、20 号、21 号和 22 号等 5 对染色体聚为第 III 类,显著地区别于紫花苜蓿和白花苜蓿的染色体。紫花苜蓿 1 号染色体、白花苜蓿 9 号染色体和黄花苜蓿 19 号染色体聚为第 IV 类,其中 1 号染色体与 9 号染色体的欧氏距离为 0,说明这两对染色体有相同的来源,与 19 号染色体的欧氏距离为 1.57。紫花苜蓿 2 号、3 号、4 号和 5 号染色体与白花苜蓿 10 号、11 号、12 号和 13 号染色体聚为第 V 类,从欧氏距离来看,3 号与 11 号染色体、2 号与 10 号染色体、5 号与 13 号染色体以及 4 号与 12 号染色体的欧氏距离均为 0,说明这几对染色体的来源相同。紫花苜蓿 6 号和 8 号染色体与白花苜蓿 14 号和 16 号染色体聚为第 VI 类,从欧氏距离来看,8 号与 16 号染色体、6 号与 14 号染色体的均为 0,说明这几对染色体的来源也相同。

综上所述,紫花苜蓿与白花苜蓿的染色体具有 89% 的相似性,只是紫花苜蓿 7 号染色体与白花苜

蓿 15 号染色体存在有无随体的区别;黄花苜蓿染色体具有自己的独特性,显著区别于紫花苜蓿和黄花苜蓿;白花苜蓿 15 号随体染色体与黄花苜蓿的 25 号随体染色体有一定的相似性,但也有一定的区别。

### 3 讨论

前人对苜蓿染色体核型分析进行了一定的研究,张雪婷等<sup>[19]</sup>对陇东野生紫花苜蓿和其他 6 个紫花苜蓿品种进行了染色体核型分析,在陇东野生紫花苜蓿上发现有 1 对随体,而陇东紫花苜蓿没有随体。张晓红等<sup>[17-20]</sup>等研究发现不同紫花苜蓿材料是否具有随体染色体的情况各有不同。从上述分析的紫花苜蓿材料来看,大部分材料是育成品种,对于苜蓿品种来说,本身就是一个非常杂合的群体,因为苜蓿本身就是一个杂合体,由 8 ~ 200 个父本组成<sup>[21-25]</sup>。如果指紫花苜蓿品种,那也只是在这个品种群体内紫花苜蓿所占的比例较大,而不是绝对的分属学上的紫花苜蓿材料,所以在上述研究中同为紫花苜蓿却出现随体有无的情况。笔者曾以黄花苜蓿、紫花苜蓿和白花苜蓿分别为母本进行开放授粉实验,在不知道母本的情况下,黄花苜蓿 F<sub>1</sub> 群体部分材料有可能被鉴定为紫花苜蓿,这也与草原 2 号和草原 3 号苜蓿品种选育的研究结果相同。即在不知道苜蓿遗传背景的情况下研究苜蓿的染色体核型,进而判定不同苜蓿种染色体核型是存在一定不足的。

本研究所选的苜蓿材料是在分类学鉴定情况下进行的染色体核型分析,首先保证苜蓿材料的准确性。从聚类分析结果来看,紫花苜蓿与白花苜蓿的染色体来源比较相似,与黄花苜蓿的染色体来源相距较大,但黄花苜蓿也参与了紫花苜蓿或白花苜蓿的染色体构建,例如紫花苜蓿的 1 号染色体、白花苜蓿的 9 号染色体和黄花苜蓿的 19 号染色体的来源相似,紫花苜蓿的 7 号染色体和黄花苜蓿的 23 号染色体也相似。从进化的角度来看,紫花苜蓿和白花苜蓿具有较高的进化相似性,与黄花苜蓿有着较大的进化区别。对于白花苜蓿来说,与紫花苜蓿具有 89% 的染色体同源性,但是白花苜蓿的 15 号染色体是随体染色体,而这对随体染色体与紫花苜蓿的 7 号染色体、黄花苜蓿的 23 号和 25 号染色体聚为一类,具有较近的亲缘关系,但紫花苜蓿的 7 号染色体是没有随体的,而黄花苜蓿 25 号染色体虽然具有随体,但是较白花苜蓿 15 号染色体小,这有两种可能,一是白花苜蓿的 15 号染色体是紫花苜蓿 7 号染色体加上了黄花苜蓿 25 号染色体的随体部分,二是白花苜蓿的 15 号染色

体是独立进化的,这就涉及到白花苜蓿的分类地位问题,需要进一步深入研究。

#### 参考文献

- [1] 中国植物志编辑委员会. 中国植物志:第 42(2)卷[M]. 北京:科学出版社出版,1998
- [2] 王红艳,贾志宽,韩清芳,等. 白花苜蓿单株生长特性的初步研究[J]. 西北农业学报,2006,15(3):190-192
- [3] 吴凤萍. 白花苜蓿生产性能、抗性 & 营养品质的初步研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008
- [4] 王红艳. 白花苜蓿单株生长特性 & 营养品质的初步研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2006
- [5] Waldron L R. An alfalfa bud mutation: a white-flowered alfalfa branch found upon a lavender-flowered plant[J]. J Hered, 1925, 10(16):423-424
- [6] Lesins K. Somatic flower color mutations in alfalfa[J]. J Hered, 1956, 47(4):171-179
- [7] 陈好. 银胶菊的形态多样性与染色体核型分析[D]. 海口:海南师范大学,2013
- [8] 王任翔,陆树刚,邓晰朝. 中国蕨类植物细胞分类学研究概况[J]. 植物分类学报,2007,45(1):98-111
- [9] 丁鸿,邱东萍,陈少雄. 植物染色体标本的制备和染色体核型分析研究进展[J]. 南方农业学报,2012,43(12):1958-1962
- [10] 吴昌谋. 核型似近系数和进化距离的估计[J]. 动物分类学报,1997,21(3):338-344
- [11] 梁月荣,刘祖生. 茶树核型的分类学意义初探[J]. 浙江农业大学学报,1990,16(1):88-93
- [12] 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
- [13] 渠云芳,段永红,黄晋玲. 亚比棉及其与陆地棉、海岛棉种间杂交种的核型及似近系数聚类分析[J]. 中国农业大学学报,2013,18(5):15-20
- [14] 刘冬云,张晓曼,李艳,等. 不同居群山丹的核型分析[J]. 植物遗传资源学报,2015,16(1):199-204
- [15] 阎贵兴. 中国草地饲用植物染色体研究[M]. 呼和浩特:内蒙古人民出版社,2001
- [16] 王清邈. 3 个不同类型尖叶胡枝子遗传多样性研究[D]. 北京:中国农业科学院,2012
- [17] 张晓红,何庆元,邹长明,等. 南苜蓿和紫花苜蓿染色体的核型分析[J]. 安徽农学通报,2009,15(7):51-52
- [18] 张为民. 四种紫花苜蓿的核型分析[J]. 山西农业大学学报,2006,26(1):73-76
- [19] 张雪婷,师尚礼,张小甫. 陇东野生紫花苜蓿的核型分析[J]. 植物遗传资源学报,2011,12(1):150-153,157
- [20] 张雪婷,杨文雄,杨芳萍,等. 6 个紫花苜蓿材料的核型及其亲缘关系分析[J]. 西北植物学报,2011,31(4):671-676
- [21] 白岚,张爱勤,方晴,等. 新疆两个苜蓿品种的核型分析[J]. 中国草地学报,2009,31(6):76-79
- [22] 张凤仙,毕玉芬,王晓云. 云南野生苜蓿与引进苜蓿的核型分析[J]. 云南农业大学学报,2008,23(4):431-435
- [23] Julier B, Huyghe C, Ecalle C. Within-and among cultivar genetic variation in alfalfa: forage quality, morphology, and yield[J]. Crop Sci, 2000, 40:365-369
- [24] Sreevalli Y, Kulkarni R N, Baskaran K. Inheritance of flower color in periwinkle: orange-red corolla and white eye[J]. J Hered, 2002, 93(1):55-60
- [25] Havananda T, Brummer E C, Doyle J J. Complex patterns of autopolyploid evolution in alfalfa and allies (*Medicago sativa* L.; Leguminosae)[J]. Am J Bot, 2011, 98(10):1633-1646