98, 20(1)
1-11
1998\909135\020\001
维普资讯 http://www.cqvip.com

云 南 植 物 研 究 1998, 20(1): 1~11
Acta Botanica Yunnanica

1-126

锦鸡儿属分析生物地理学的研究*

张明理
(中国科学院昆明植物研究所, 昆明 650204)

Q949.751.9
Q948.2

摘要 将锦鸡儿属(*Caragana*)植物分布区划分成 13 个。在分支系统学基础上, 进行了分布区的成分分析。以种类和系为分布特征, 进行分布区的聚类分析和最小生成树分析。分布区分支图、表征图和最小生成树从不同方面表达了分布区的关系。锦鸡儿属的分布区被分成东亚和古地中海两大部分。其中分别来自这两部分的前苏联远东—我国东北与阿尔泰—萨彦岭分布区有密切关系。基于分布区分支图, 属的分布区分别由这两个分布区衍生, 同时结合属的种系发生关系, 推断本属可能起源于东西伯利亚, 时间为第三纪中新世末—上新世。生态适应上, 分类群是由东部温带中生性类型向西部旱化和寒化方向发展的。

关键词 锦鸡儿属, 分布区关系, 数值分析, 起源与演化 生物地理学
分类号 Q 948

A Preliminary Analytic Biogeography in Caragana (Fabaceae)

ZHANG Ming-Li
(*Kunming Institute of Botany, The Chinese Academy of Sciences*, Kunming 650204)

Abstract The analytic biogeographic methods, including the Component analysis, Cluster analysis and Minimum Spanning Tree, are employed to treat the area relationships of the genus *Caragana*. The distribution region of *Caragana* is divided into thirteen areal types according to the floristic regionalizations of Wu and Takhtajan. Seventy-two species and twelve series occurring in the areas are regarded as disribution characters. East Asia and Tethys are classified into two groups. The former includes Far East—Northeast China, North China—Qinling mountain, Hengduan mountain, Himalayas and East Asia subtropic areas, in addition to Mongolia plateau. The two areas, i.e. Far East—Northeast China and Altai—Sayan have a close relationship. Based on the area cladograms, the evolutionary directions of the areas may be considered from Far East—Northeast China in East Asia and from Altai—Sayan in other areas. Having summed up the area relationships, the distribution of the more primitive groups especially Ser. Caragana and the congruence between phylogeny and distribution pattern of *Caragana*, the origin of the genus is inferred in eastern Siberia at the Late Miocene to Pliocene of the Tertiary. The ecological adaptation could be explainated from eastern to western and from northern to southern areas, corresponding to the environment from mesophytic to xerophytic and frigid, this supports Komarov's (1909) viewpoint.

*国家自然科学基金资助项目(39370049)和中国博士后科学基金资助项目
1997-01-06 收稿, 1997-03-25 接受发表

维普资讯 http://www.cqvip.com

表1 13个分布区和72种在分布区的分布(分布标1,不分布标2)

Table 1 13 areas and 72 species distributions (present with 1 and absent with 0)

| | | |

维普资讯 http://www.cqvip.com

布。沿喜马拉雅分布还包括了藏南谷地。横断山包括延伸至唐古特的部分。这些分布区的选择, 是依据吴征镒教授(1979, 1996)的地区、亚区和塔赫他间(1988)"省"的等级概念, 但有的有所扩大。这些分布区均是一些较为自然的区域, 亦如区划的原则和根据, 考虑了区系、植被等因子。

2 分布式样

依照上述 13 个分布区, 把本属 72 种(张明理, 1997b)归于各自的分布区, 列表如表 1。由于已讨论了这 72 种涉及的系和组的等级(张明理, 1997b), 因此也有了系的分布(表 2)。

2.1 种的分布

是本文分析的基础和重点。根据本文所划定的 13 个分布区, 种类分布的最大特点是特有性很强, 一些相对广布的种类, 例如 *C. jubata*, 是环青藏高原和亚洲山地的分布, 如分布在阿尔泰-萨彦岭, 华北山地, 横断山, 天山, 帕米尔-阿赖。*C. tibetica* 分布在横断山三江上游, 祁连山, 蒙古草原。*C. opulens* 分布在蒙古草原, 华北, 横断山以及黄土高原, 唐古特邻接的准噶尔荒漠地区。可见分布也还是局限的。按照本文的统计, 种类最多的是中亚荒漠区、中央亚细亚, 有 21 种, 天山山地 14 种, 横断山和沿喜马拉雅(包括西藏的藏南谷地)各 13 种。表明本属植物以干旱和高寒区为分布中心。种类较少的地区是温带亚洲的外围地区, 我国的东亚亚热带、前苏联远东-我国东北各 2 种, 这里 *C. arborescens* 包括 *C. fruticosa* (Pall.)Bess., *C. manshurica* Kom.等。图兰, 欧洲南部—西西伯利亚各 3 种。

表 2　12 个分布区及 12 个系在分布区内的分布(分布标 1, 不分布标 0)

Table 1　12 areas and 12 series distributions (present with 1 and absent with 0)

FarEast	100000000100
AltaiSayan	110010000011
Mongoliap	010001010011
NChinaQL	110010000010
Hengduan	101011010011
Himalaya	001011010001
BalutAfgha	100100000000
CentrAsia	110011101011
Tianshan	100011110011
PamirAlai	100011110010
EupWSibrTun	000000000010
EAsiaSubt	000000000110

2.2 系的分布

由于 Komarov (1909)系的概念至今仍较为稳定, 所以系的分布也是很重要的分布特征。与种的分布类似, 包含系最多的仍然是中亚, 9 系, 天山 8 系, 横断山 7 系。图兰, 欧洲南部—西西伯利亚各 1 系, 前苏联远东—我国东北, 东亚亚热带, 俾路支—阿富汗各 2 系。分布较窄系是 Ser. Bracteolatae, 沿喜马拉雅分布, Ser. Ambiguae 为俾路支特有。Ser.Frutescentes 分布最广, 仅仅除去喜马拉雅、俾路支-阿富汗外, 在 13 个分布区中的 11 个有分布。

2.3 组的分布

中央亚细亚、天山、帕米尔-阿赖 3 个分布区所含组完全相同, 前苏联远东—我国东北、蒙古高原含组完全相同, 图兰、欧洲南部—西西伯利亚和东亚亚热带亦含有完全相同的组。有些分布区是邻近的, 它们在分布上具有相同的组是便于解释的, 但如图兰和东亚亚热带含有相同的组, 分别位于锦鸡儿属分布区的两端, 而且分布的种类也完全不同, 但分布的组相同, 就不好解释了。说明组的分布比较粗放, 也许掩盖了分布的一些真实性。

3 数值分析

3.1 成分分析(component analysis)

所谓成分, 指分支图中 1 个分支(clade)下的分布区或分类群所确定的元素(Humphries *et al*, 1988)。成

维普资讯 http://www.cqvip.com

分分析是替代和分支生物地理学分析手段的核心，它建立在系统发育基础上，具体地说，它以分支系统学为基础，即以分支图(cladogram)为基础构建分布区分支图(area cladogram)。自 Nelson 等(1981)以及 Zandee 等(1987)等提出了3个假设以来，理论和方法已逐渐完善。本文应用 Component 程序(Page, 1989)进行分析。

对前文(张明理，1997b)中图1的类群进行了逐步舍去，得到了如下式表示的分别含13和12个种的初始分支图，注意保持原类群的分支关系不变。

(arborescens, (decorticans, (boisi, stipitata), microphylla, (brachyantha, (((acythica, (kirghisorum, (licentiana, opulens))), (rosea, sinica)))))) (1)

(arborescens, (decorticans, (boisi, stipitata), microphylla, (brachyantha, (((acythica, (kirghisorum, licentiana)), (rosea, sinica)))))) (2)

本文舍去类群考虑的主要原则是，(1)若一个分支中若干类群分布区相同，则保留一个类群即可；(2)尽可能保持每个系、组中有类群代表；(3)一些分布区在不同分支中交错出现，则保留前边的一个，或这些分布区比较集中的位置；(4)广布种应舍去，本文中则几乎没有。

对式(1)在假设(Assumption) 0下得到3个等步长的最简约分布区分支图，以 Nelson 一致性原则得到1个一致性(consensus)树，图1。用 Strict 和 Majority-rule 一致性原则得到的和谐性树与图1结构相同。在假设1下得到的等步长最简约分布区分支图数目之大令人吃惊，有62, 357, 715个。而一致性分析得到的分布区全为"并列"现象，结果不理想，图略去。在假设2下则计算机计算溢出。

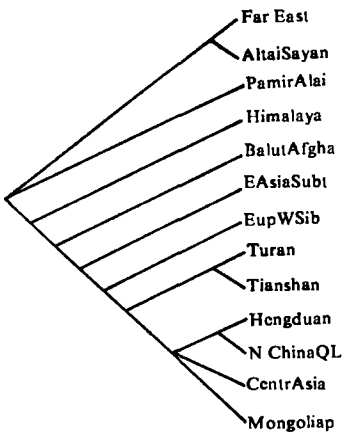

图1 对式(1)简化分支图及其种类在假设0下得到的分布区分支图，Nelson 选择

Fig. 1 An area cladogram, Nelson consensus tree analyzed under the Assumption 0 for *Caragana* distribution, based on the original simplified taxa cladogram as in the formula (1)

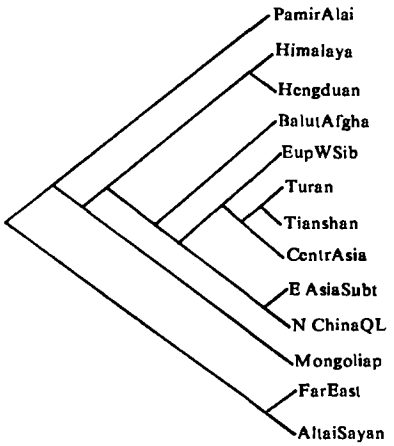

图2 对式(2)简化分支图及其种类在假设0下得到的分布区分支图，Nelson 选择

Fig. 2 An area cladogram, Nelson consensus tree analyzed under the Assumption 0 for *Caragana* distribution, based on the original simplified taxa cladogram as in the formula (2)

对式(2)在假设0下得到1个最简约分布区分支图，图2。在假设1下得到127, 512个最简约分布区分支图，分对用 Nelson、Strict 和 Majority-rule 一致性原则对其进行和谐性分析，分别得到一个的地区分支图，但选择 Strict 时，13个分布区完全"并列"，因此舍去，只列出另外两个(图3, 图4)。在假设2下数据计算溢出。

维普资讯 http://www.cqvip.com

3.2 聚类分析(cluster analysis)

以 13 个分布区种类有无作为特征, 分别对以种、系、组组成的数据矩阵进行聚类分析, 分析 13 个分布区的相似性关系。

选择 Jaccard 相似性系数, UPGMA 法聚类(Sneath *et al*, 1973; Brown *et al*, 1983)。用 NTSYS 程序计算。

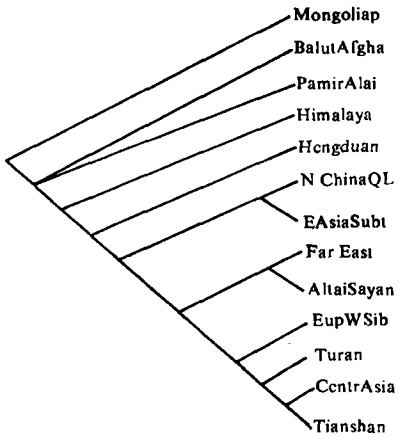

图 3　对式(2)简化分支图及其种类在假设 0 下得到的分布区分支图, Nelson 选择

Fig. 3 An area cladogram, Nelson consensus tree analyzed under the Assumption 0 for *Caragana* distribution, based on the original simplified taxa cladogram as in the formula (2)

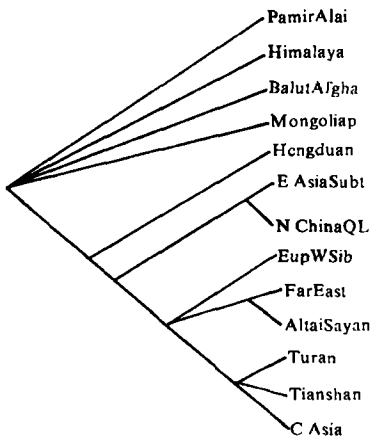

图 4　对式(2)简化分支图及其种类在假设 0 下得到的分布区分支图, Majority-rule 选择

Fig. 4 An area cladogram, Majority-rule consensus tree analyzed under the Assumption 0 for *Caragana* distribution, based on the original simplified taxa cladogram as in the formula (2)

如上述组的分布区分析, 组的分布已基本上掩盖了分布的真实性。故这里只分别列出以种和系为特征的 13 和 12 个分布区之间的聚类表征图(图 5, 图 6)。

3.3 最小生成树 MST(Minimum Spanning Tree)

分别以种、系的分布为基础, 对 13 个分布区计算 Jaccard 系数, 在此基础上构建最小生成树(Sneath *et al*, 1973; 张明理, 1995), 亦应用 NTSYS 软件包, 见图 7、图 8。

4 结果与讨论

4.1 几种方法与结果的评价

以上 3 种方法均为分析分布区之间关系的适当方法。本文主要侧重于成分分析, 因为它建立在种系发生关系基础上。但如上述分析结果所表明, 由于本文中分类群较多, 分支图结构较复杂, 在舍去分类群时, 虽然已经交待了几点理由, 然而这种舍去过程, 勿庸讳言, 仍带有一定的主观性。但几个分布区分支图仍然给我们提供了有关分布区关系的启发性线索和结果。就种、系、组的分布数据而言, 在系或组高级类群分布上, 结果的规律性较为模糊, 因为种的特有性本身较强, 因此在分析结果时, 以种的分布而建立的分布区关系为基础。

维普资讯 http://www.cqvip.com

4.2 分布区关系

分布区分支图图1表明华北—秦岭、横断山、蒙古高原、中亚荒漠区等锦鸡儿属植物分布的中部分布区关系较近。图1和图2表明前苏联远东—我国东北和阿尔泰—萨彦岭关系较近，并且在分支图的根部早先分化。

图2、图3、图4等还表明一些小分支，如横断山与喜马拉雅，华北山地—秦岭山地与东亚亚热带，即 *C. sinica* 的分布区，我国华中、华东、云贵高原关系较近；阿尔泰—萨彦岭及欧洲南部—西西伯利亚关系较近；中亚荒漠区、天山、图兰分布区关系较近。虽然这些分布区之间的关系都是以邻近区系相近，但这些关系确能使人相信，因为一些分布区之间有共有种，如前苏联远东—我国东北及阿尔泰—萨彦岭共有 *C. arborescens*。*C. tibetica* 沿内蒙草原至横断山的东北—西南方向分布。横断山和藏东南共有 *C. bicolor*, *C. franchetiana*。*C. arcuata*, *C. acanthophylla* 分布在中央荒漠区，天山，帕米尔—阿赖。

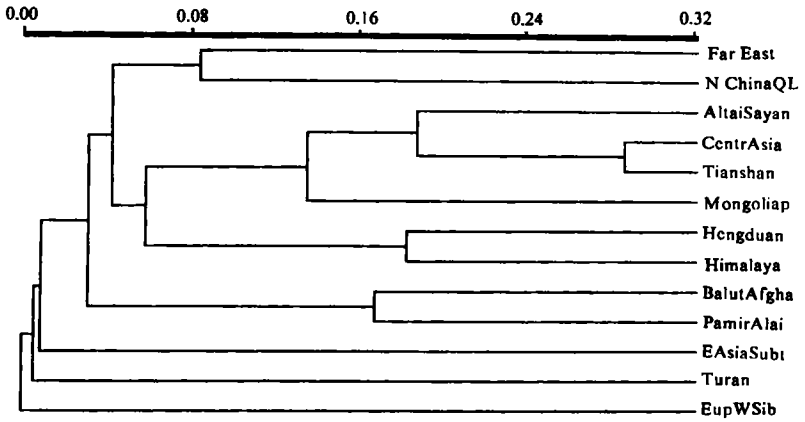

图5 基于72种分布的分布区表征图，选用Jaccard系数和UPGMA聚类法

Fig.5 An area phenogram of *Caragana* 72 species, using Jaccard coefficient and UPGMA

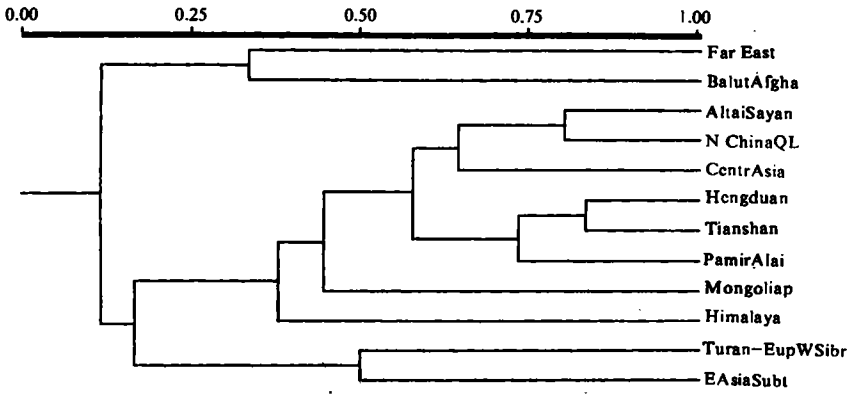

图6 基于12系分布的分布区表征图，选用Jaccard系数和UPGMA聚类法

Fig.6 An area phenogram of *Caragana* 12 series, using Jaccard coefficient and UPGMA

维普资讯 http://www.cqvip.com

聚类表征图 5 则除东亚亚热带、图兰和欧洲南部—西西伯利亚这 3 个分布区与其它分布不归在某些小聚类外, 其它如前苏联远东—我国东北与华北—秦岭; 阿尔泰—萨彦岭、中亚荒漠区、天山、蒙古高原;横断山与喜马拉雅; 俾路支与帕米尔—阿赖, 各自形成一些小聚类, 表达了分布区之间的相似关系, 也与分布区分支图有一些一致之处。以系的分布为基础, 进行聚类分析的结果(图 6)就使人难以理解了, 如图 6 中表达前苏联远东—我国东北与俾路支成一小聚类, 图兰、欧洲南部—西西伯利亚与我国华中、华东之间的近缘关系。说明依据种的分布分析的结果是较为牢靠的。

在以种和系级分布分析得到的最小生成树图 7、图 8 中, 也说明以种分布为基础的最小生成树结果是可信的。把最小生成树直接置于地图上有关分布区的位置, 则图 7、图 8 更直观地表达了分布区之间的关系。在图 7 中, 中亚荒漠区是 MST 中的一个结点。本区向东, 与蒙古高原草原地带相邻, 也连接着华北山地、黄土高原西部, 向南是横断山和青藏高原, 向北与阿尔泰—萨彦岭接壤, 天山山地位于其中, 西边是图兰区, 物种在此得到交汇。本区又是干旱半干旱草原性荒漠和荒漠, 旱生性类群集中分布。

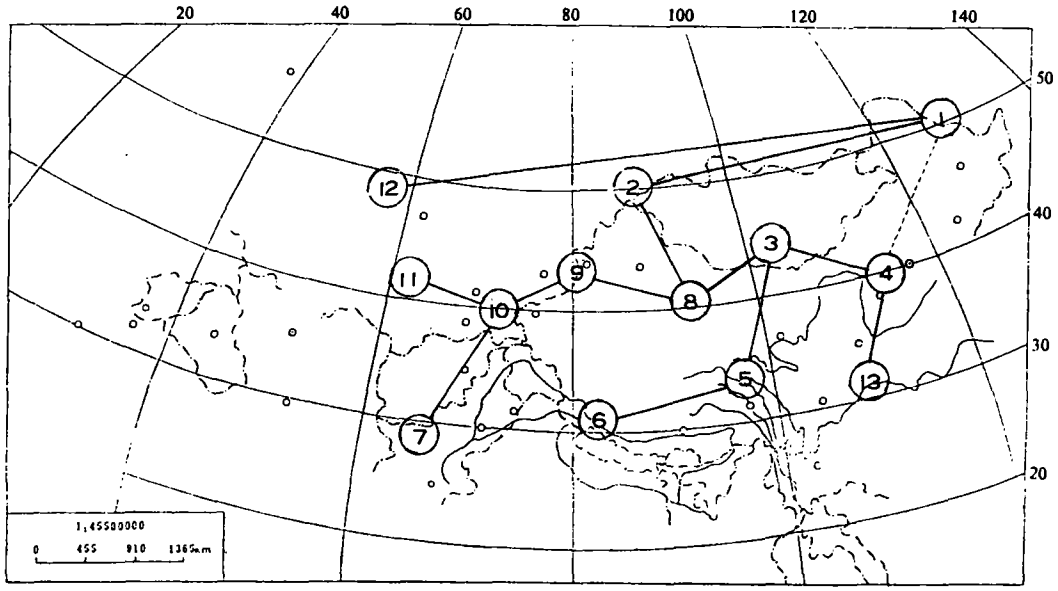

图 7　基于 72 种分布, 选用 Jaccard 系数构建的分布区的最小生成树 MST(图中分布区代号同表 1)

Fig.7　Minimum Spanning Tree shows area relationships based on 72 species and Jaccard coefficient (the number order as in the Table 1)

通过以上成分分析、聚类分析和最小生成树分析, 13 个分布区大体上以东亚和古地中海划分 2 大类, 把蒙古草原和中亚荒漠区分别隶于东亚和中亚, 就达到了成分分析的分类目的(Humphries *et al*, 1988)。东亚和古地中海之间的分布联系, 以锦鸡儿属的分析, 以蒙古高原和中亚荒漠区所联系, 如图 7; 或是前苏联远东—我国东北与阿尔泰—萨彦岭之间相联系, 见图 1～4、图 7, 抑或后者的联系更密切、更实质。

成分分析得到的分布区分支图不仅能达到分类, 而且有分布区先后次序的分化。一般来讲, 在分布区分支图根部出现的分布区, 可能是其中的分类群在分类群分支图的根部出现。如前苏联远东地区-中国东北, 阿尔泰-萨彦岭, 有 *C. arborescens* 分布, 它出现在分支图的根部(张明理, 1997b)。另外, 可能是那些类群分布较少, 且特有性很强, 与其它分布区无共有类群的分布区, 如帕米尔-阿赖, 俾路支(参见图 1～5)。如果按照成分分析结果, 有分布区衍生次序, 从而确定如前苏联远东-中国东北以及阿尔泰-萨彦岭为较原始

维普资讯 http://www.cqvip.com

地区，则亦为最小生成树确定了“根”，使之成为有向树。这样，东亚范围内分布区的衍生次序是由中国东北沿华北-秦岭，到横断山和喜马拉雅。蒙古草原是衍生区，华中、华东等亦为衍生区。古地中海范围内分布区的衍生次序是从阿尔泰-萨彦岭到中亚荒漠区，从天山、帕米尔-阿赖再到俾路支。俾路支从分布区关系分析，似乎与中亚关系较为接近。然而，它也与喜马拉雅也有一定联系，是通过 Ser. Ambiguae 与其所在组另一系 Ser. Bracteolatae 的近缘关系，前者在俾路支特有，后者沿喜马拉雅和横断山特有。

4.3 起源与演化

有了锦鸡儿属分类群的种系发生关系和分布区关系，就有了讨论起源演化等问题的基础。以下结合 Komarov(1909), Moore(1968), Sanczir(1979), Gorbunova(1984)、赵一之(1993)等学者的观点，对一些问题进行探讨。

4.3.1 原始类群 自 Moore (1968) 根据形态解剖学证据(Dormer, 1945)确定本属植物原始类群是羽状叶、叶轴脱落类群，以 *C. arborescens* 为代表以后，得到如 Sanczir(1979)、Gorbunova(1984)、赵一之(1993)、徐朗然等(1989)及笔者(张明理等, 1993)等的赞同，从而否定了 Komarov(1909)认为 *C. sinica* 具备羽状叶 2 对或假掌状叶类群是原始类群的观点。分支分析的结果(张明理, 1997b)也证实了上述观点，不仅如此，而且羽状叶多数、叶轴脱落的类群 Sect. Caragana，在分支图中均显示处于原始位置。

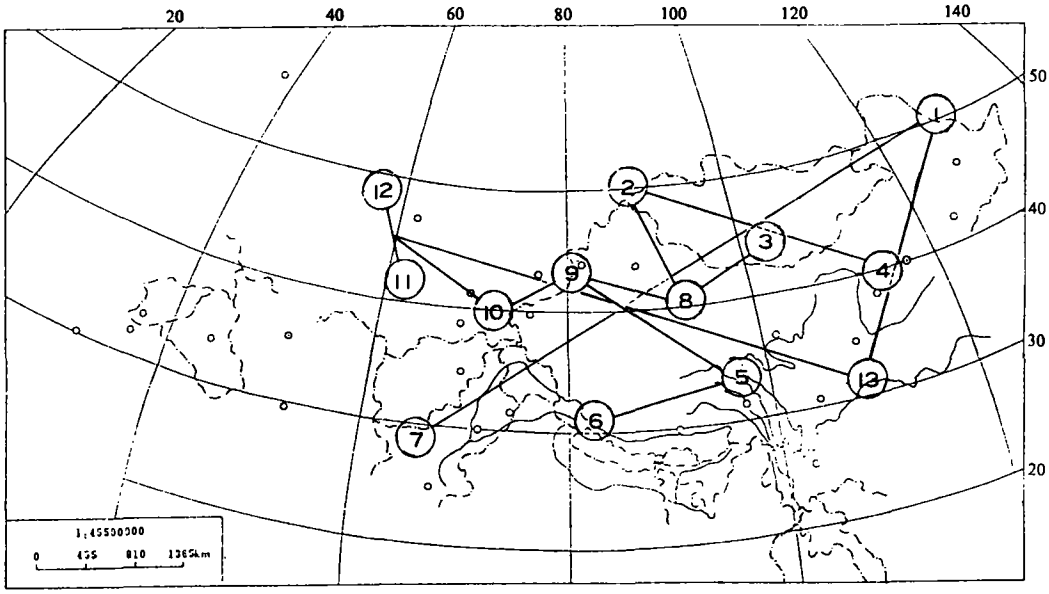

图 8 基于 12 系分布，选用 Jaccard 系数构建的分布区的最小生成树 MST(图中分布区代号同表 2 中顺序)

Fig.8 Minimum Spanning Tree shows area relationships based on 12 series and Jaccard coefficient (the number order as in the Table 2)

锦鸡儿属的外类群，如性状分析时所述，是盐豆木属 *Halimodendron*、丽豆属 *Calophaca*、黄耆属 *Astragalus* 等。但这些类群在山羊豆族 Galegeae 中的分化是很明显的。它们各有一些原始的特征，也有一些演化的特征，目前也许还难以讲清楚那些原始，那些演化。Moore(1968)认为锦鸡儿属是从黄耆属的木本类群演化而来，但黄耆属的原始类群至今亦是含糊不清的(Sanderson, 1991)，同时黄耆属是世界性广布属，所以，从黄耆属类群去寻找锦鸡儿属的“根”，目前还是比较困难的。

4.3.2 起源地 本文确定起源地，主要依据原始类群所在地，以及这些所在地是否在地史上相对稳定，具备

维普资讯 http://www.cqvip.com

原始类群诞生地的条件。亚洲古老的山地, 安卡拉古陆, 东西伯利亚(吴鲁夫, 1964), 即本文分布区的前苏联远东地区及中国东北具备了这些起源地的条件, 而且这些分布区绝大多数种类是中生类群, 没有种系发生高级演化阶段的类群, 仅 *C. ussuriensis* 一种例外。与阿尔泰—萨彦岭相比, 它为起源地的可能性更大一些, 与我们对青藏高原和喜马拉雅地区分布分析(张明理, 1997a)、赵一之(1993)、Sanczir (1979)等的看法一致。这样, 我们把锦鸡儿属北方第三纪起源属的起源地点似乎更加具体了一些。与本文数值分析结果在解释上也不存在太多矛盾。而 Komarov(1909) 以 *C. sinica* 推测东亚中国东部为本属起源地, 显而易见, 由于对类群种系发生关系的假设不牢靠, 因而是不恰当的。Moore (1968) 根据巴尔喀什湖以南每系(Pojarkova, 1945 系的概念)都有分布, 认为巴尔喀什、天山以及与蒙古邻近的区域是起源中心, 由此向西欧洲、前苏联, 向东太平洋沿岸两个方向扩散。与我们对种系发生关系、分布区关系及衍生次序的结论相去甚远。且不论 Moore(1968)讨论的这些系的概念等级不尽完备, 单考虑如东北亚、华北有 Sect. Caragana 种类较集中的分布, 而且与他的属起源地关系疏远, 在大的地理分布格局上, 也可看出 Moore (1968) 的这些观点是站不住脚的。

4.3.3　起源时间　锦鸡儿属绝大多数种类分布局限在温带亚洲的事实说明了本属起源是较晚的。在欧洲的种类如 *C. arborescens, C. frutex, C. pygmaea, C. spinosa* 等, 根据研究, 是 18 世纪引种栽培的(Moore , 1968)。在东亚 *C. sinica* 也被引种栽培。根据化石资料, 目前尚无山羊豆族 Galegeae, 即包括黄耆属 *Astragalus*、棘豆属 *Oxytropsis* 和锦鸡儿属等温带类群的化石记录。已知的 *Indigofera, Desmodium, Dalbergia, Lespedeza, Pueraria, Wisteria, Campylotropis* 等热带、亚热带分布的木本、灌木属最早的化石记录在中新世 (陶君容, 1992; Guo *et al*, 1992)。从豆科植物系统发育关系上看(Polhill, 1981), 它们要比温带类群原始一些。因此, 锦鸡儿属可能发生在第三纪中新世末期—上新世初。这一时期, 也恰是古地中海西退、青藏高原强烈隆起以及内陆旱生化加剧的时期(吴鲁夫, 1964;李吉均等, 1979; 周廷儒, 1982), 锦鸡儿属寒化和旱化的物种分化和形成大致也就发生在这一时期。同时, 锦鸡儿属起源较晚, 也可从分布特有性强等方面得到佐证。我们赞同汤彦承、李良千(1996)的观点, 即中新世以后, 植物长距离扩散已基本停止。根据我们对横断山、喜马拉雅有关种类的分析(张明理, 1997a), 看不出物种长距离扩散的踪迹。其它分布区都各自有其某些特有的种类, 跨越多个分布区的种类很少。这些种类没有发生长距离扩散现象, 是分布特有性强的主要原因之一, 它们也反映了中新世末期—上新世起源的特点。

4.4　生态适应

这里所谓的生态适应, 指锦鸡儿属植物从中生的羽状叶、叶轴脱落等性状发展到假掌状叶、叶轴宿存硬化的旱化、寒化适应的现象。这些旱化、寒化的梯度变异非常明显, 如对内蒙古草原荒漠、黄土高原、青藏高原以及横断山、喜马拉雅分布区的分析(徐朗然等, 1989; 赵一之, 1990 ; 张明理等, 1993; 张明理, 1997a)。结合分类群种系发生关系和分布区衍生次序, 认为 Komarov (1909)当年提出锦鸡儿属植物从东向西, 从中生向旱化和寒化方向演化的观点是有道理的, 但认为 *C. sinica* 为原始类群则是不可靠的。本文的的结果, 还说明了北方欧亚森林区, 如前苏联远东—我国东北、阿尔泰—萨彦岭分别到蒙古草原、中亚荒漠区这样的由北向南适应的趋势。如沿我国东北—华北山地—秦岭, 到达横断山东部, 以 *C. arborescens* 和 *C. boisi* 的替代, 它们与有些类群的辐射适应方向相反(王荷生, 1979;王文采, 1992), 说明双向的适应方向是客观存在的。又如沿阿尔泰—萨彦岭到达天山, 帕米尔—阿赖, 以及向西西伯利亚, 中亚荒漠区的适应辐射。大的地理生态适应上, 是从东部东亚区向西部古地中海、中亚适应的。与现今植被、气候变化相一致(吴征镒等, 1980)。即从东部到西部, 对应湿润区—干旱区, 从森林区—草原区—荒漠区。形态变异上也相应地出现如大灌木—矮灌木, 羽状叶—假掌状叶, 叶轴脱落—宿存硬化等特征。

致谢　承蒙吴征镒教授亲切指导并审阅初稿, 汤彦承、应俊生、杨昌友、赵一之、徐克学诸教授, 桑涛博士在文献资料、计算等方面给予帮助和赐教。

维普资讯 http://www.cqvip.com

参考文献

王文采, 1992. 东亚植物区系的一些分布式样和迁移路线. 植物分类学报, **30**(1): 124, **30**(2): 97～117

王荷生, 1989. 中国种子植物特有属起源的研究. 云南植物研究, **11**(1): 1～6

汤彦承, 李良千, 1996. 试论东亚被子植物区系的历史成分和第三纪源头—基于省沽油科、刺参科和忍冬科植物地理的研究. 植物分类学报, **34**(5): 453～478

李吉钧, 文世宣, 张青松等, 1979. 青藏高原隆起的时代、幅度和形式的探讨. 中国科学, **6**: 608～616

吴征镒, 1979. 论中国植物区系的分区问题. 云南植物研究, **1**(1): 1～22

吴征镒, 1991. 中国种子植物属的分布区类型专辑. 云南植物研究, 增刊 IV, 32

吴征镒主编, 1980. 中国植被.北京: 科学出版社

张明理, 1995. 最小生成树MST的系统学与生物地理学意义. 西北植物学报, **15**(2): 154～160

张明理, 1997a. 青藏高原和喜马拉雅锦鸡儿属植物的地理分布. 植物分类学报, **37**(2): 36～147

张明理, 1997b. 锦鸡儿属种系发生关系重建的探讨. 云南植物研究, **19**(4): 331～341

张明理, 王常如, 1993. 秦岭和黄土高原地区锦鸡儿属的表征, 分支和生物地理学的探讨. 云南植物研究, **15**(4): 332～338

周廷儒, 1982. 古地理学. 北京: 北京师范大学出版社

赵一之, 1991. 内蒙古锦鸡儿属的分类及其生态地理分布. 内蒙古大学学报, **22**(2): 264～273

赵一之, 1993. 中国锦鸡儿属的分类学研究. 内蒙古大学学报, **24**(6): 631～653

徐朗然, 郝秀英, 1989. 黄土高原和秦岭山地锦鸡儿属植物的分类和地理分布. 西北植物学报, **9**(2): 92～101

陶君容, 1992. 中国第三纪植被和植物区系历史及分区. 植物分类学报, 30(1): 25～43

吴鲁夫 E B 著, 仲崇信等译, 1964. 历史植物地理学. 北京: 科学出版社.304～363

塔赫他间 A L 著, 黄观程译, 1988. 世界植物区系区划. 北京: 科学出版社.1～311

Brown J H, Gibson A C, 1983. Biogeography. St. Louis: V C Mosby

Brundin L Z, 1966. Transantarctic relationships and their significance as evidence by chironomid midges. *Svenska Vetenskapsakad Handl*, **11**: 1～472

Crovello T J, 1981. Quantitative biogeography: an overview. *Taxon*, **30**: 563～575

Dormer E J, 1945. An investigation of the taxonomic value of shoot structure with special references of the Leguminosae. *Ann Bot N S*, **9**: 141～161

Farris J S, 1970. Methods for computering Wagner tree. *Syst Zool*, **28**: 200～214

Farris J S, 1988. Henning 86, version 1.5. New York

Gorbunova N N, 1984. De generis Caragana Lam. (Fabaceae) notae systematicae. *Nov Sist Vyssh Rast*, **21**: 92～100

Guo S X, Zhou Z K, 1992. The megafossil legumes from China. In: Herendeen P S, Dilcher D L, eds. Advances in legume systematics, part 4. Kew: The Royal Bot Gard, 207～223

Humphries C J, Parenti L R, 1986. Cladistic Biogeography. London: Clarendon Press

Humphries C J, Funk V A, 1984. Cladistic methodology. In: Heywood V H, Moore D M, eds. Current concept in plant taxonomy. London: Academic Press, 323～364

Humphries C J, Ladiges P Y, Roos M C, Zandee M, 1988. Cladistic biogegraphy. In: Myers A A, Giller P S, eds. Analytic biogeography. London: Champman and Hall, 371～404

Komarov V L, 1909. Generis Caragana monographia. *Acta Horti Petrop*, **29**(2): 77～388

Komarov V L, 1947. V L Komarov Opera Selecta. Mosquae: Acad Sci URSS, 159～342

Moore R J, 1968. Chromosome numbers and phylogeny in Caragana (Leguminosae). 46, 1513～1522

维普资讯 http://www.cqvip.com

Nelson G, Platnick N I, 1981. Systematics and biogeography: cladistics and vicariance. New York: Columbia University Press

Page R D M, 1989. Component users manual Release 1.5. Auckland.

Polhill R M, 1981. Galegeae. In: Polhill R M, Raven P H eds. Advances in legume systematics, part 1. Kew: The Royal Bot Gard, 357～363

Sanczir Cz, 1979. Genus Caragana Lam. (systematic, geography, phylogeny and economic significance).— in study on flora and vegetation of P.R.Mongolia. Vol.1. Ulan-Bator: Academic Press.233～388

Sanczir Cz, 1980 . Outline of Caragana Lam. species—Tr. Inst Bot Acad P.R.Mongolia. **4**: 106～123

Sanderson M J, 1991. Phylogenetic relationships within North American Astragalus (Fabaceae). *Syst Bot*, **16**(3): 414～430

Sneath P H A, Sokal R R, 1973. Numerical taxonomy. San Francisco: W H Freeman and Company

Stuessy T F, 1990 . Plant taxonomy. New York: Columbia University Press

Wiley E O, 1981. Phylogenetics. New York: John Wiley and Sons

Wu Z Y, Wu S G, 1996. A proposal for a new floristic Kingdom (realm)——the E. Asiatic kingdom, its delineation and characteristics. Unpub.

Zandee M, Roos M C, 1987. Component compatibility in historical biogeography. *Cladistics*, **3**: 305～332