

第一章 沙地云杉研究进展

一、沙地云杉的研究现状

沙地云杉是一种非常珍贵的林木种质资源,在改善气候及维持生态平衡方面都具有极其重要的作用。因此,许多专家、学者对其进行了系统的研究,主要成果表现在个体生态学、种群生态学、群落生态学和分类学方面。

(一)沙地云杉林生态系统的个体生态学研究

沙地云杉的个体生态学研究主要集中在蒸腾作用的研究、根系分布规律的研究、生长与生态条件关系的研究、适应特性的研究、扦插繁殖技术的研究、对食叶害虫危害的补偿效应研究。

1. 蒸腾作用研究

植物的蒸腾作用是植物生理特性的主要标志,也是植物对于水分需求的重要指标。齐亚东等(1984)研究了沙地云杉的蒸腾作用,发现在晴朗的天气,当气温大于 3°C 就有明显的蒸腾^[1]。郭连生等(1992,1994)测定了沙地云杉幼树蒸腾生理特性,得出在土壤水分充足条件下,幼树的蒸腾速率主要受气象因子影响,同时还受叶子自身水分状况的调节,其叶水势具有较强的敏感性^[2-3]。此后,邹春静等(1998)研究发现,沙地云杉的蒸腾速率与气温和光照有很密切的关系;6~7月沙地云杉的蒸腾强度为双峰型,高峰分别出现在10:00和16:00,而8~9月为单峰型,高峰出现在10:00;最大的蒸腾强度出现在7月中下旬^[4]。

2. 生长与生态条件关系

温度、水分、光照等多环境因子对沙地云杉的生长具有重要的作用。徐文铎等研究发现沙地云杉树高、胸径在前10年生长极为缓慢,10年后进入速生期,树高在50年后连年生长量达到最高点;而胸径在20年前后生长量略有平缓,30年后生长量又出现第二次高峰,到60年开始进入缓慢生长阶段。沙地云杉的日高生长属于昼夜生长类型,夜间生长高于昼间的146%~279%;高生长主要集中于6月,占年高生长的65%,整个高生长期约为80天。沙地云杉逐年高生长量是随着各年度的6月份降水量的多少而变化,6月份降水量较多的年份,树高生长量就大,反之则较小。沙地云杉的高生长也随着沙丘部位的土壤含水量不同而有很大的差异。沙丘上部的云杉,平均高生长低于下部的一倍多^[5]。邹春静等研究沙地云杉根系特征,发现沙地云杉根系发达,属于浅根系^[6]。

(二)沙地云杉林生态系统的种群生态学研究

沙地云杉种群生态学的研究主要从种群分布格局、种群结构与动态的研究、种群生殖生态及对策研究、种群稳定性及种群调节研究、种群的更新与扩散研究几个方面进行的。

1. 种群分布格局

植物种群的分布格局(Spatial pattern)是指种群个体在水平空间的配置状况或分布样式。邹春静等(1993)通过研究发现沙地云杉的分布格局类型属于聚群分布。从幼苗—幼树—小树—中树—大树,沙地云杉种群的聚集分布程度有所降低,种群有大量的个体被自然稀疏过程淘汰,趋于随机分布^[7]。徐文铎等采用曲仲湘的种群分布格局等级划分标准得出沙地云杉种群在其发育过程中,分布格局的动态变化由集群分布过渡到随机分布^[8]。

2. 种群结构与动态研究

邹春静等研究发现沙地云杉构件的生长中,以地下部分,即根生长最快,从根长度到根生物量都增长较快;随着年龄的增长,针叶、枝条脱落较为严重,而雄花逐渐增加,顶端生长优势减弱。进一步研究发现,沙地云杉树冠半径以东侧最长,西侧最短,南北相差不大^[9]。

郑元润等通过研究沙地云杉种群结构与动态,结果显示沙地云杉种群分为两种类型,增长型的沙地云杉纯林和稳定型的与白桦的混交林。进一步研究了分布区有代表性的藓类云杉林种群动态增长过程,结果表明,沙地云杉为缓慢增长种群,种群的净增殖率、内禀增长率及周限增长率较高,但是种群的世代周期及加倍时间偏低^[10]。

3. 种群生殖生态及对策研究

种群的生殖对策是其长期适应不同环境条件所表现出的适应方式。郑元润等(1998)通过调查发现,沙地云杉在长期适应环境的过程中,表现出不同的适应对策。将沙地云杉种群的生态对策类型划分为5类,r对策型、偏r对策型、rk对策的过渡型、偏k对策型和k对策型,影响沙地种群生殖对策的主要因子有种鳞宽度、球果宽度、生殖分配、单株平均材积、球果长度、种鳞长/宽、种鳞长度、球果长/宽和种鳞数目^[11]。

4. 种群调节及种群稳定性研究

郑元润等(1996)等研究发现影响沙地云杉种群自疏过程的主要因子有坡向、群落类型、坡位、土壤含水量、海拔、土壤平均容重、针叶密度等7个因子^[12]。种群稳定性是衡量植物种群乃至生态系统能否长期存在的一个重要指标。郑元润等发现沙地云杉种群在数量上呈一种稳定的极限环类型,受到干扰后恢复时间相对较短^[13]。

5. 种群的更新与扩散

植物种群的更新(Regeneration)与扩散(Dispersal)是种群自我发展的过程。邹春静等(1998)研究发现沙地云杉种子库变化很大,大幅度减少,有趋于均匀化的趋势^[14]。其种群主要通过林下更新、生态场更新、林窗更新、坡地更新、灌丛内更新5种形式进行幼苗补充。沙地云杉林下更新以1级幼苗最多,达71.9%,有充足的幼苗补充。沙地云杉种群生态场是半椭圆形特殊的非均匀场,生态场强度随着与母树距离的增大而变化,而且生态场的作用范围与坡度、坡长等地形因子及树高、冠半径等测树因子都有密切的关系^[15]。

从沙地云杉的更新与扩散中可以看出,只要有庇荫条件和合适的水分热量组合条件,沙地云杉就能自我更新,甚至扩大范围^[14]。

(三)沙地云杉的群落生态学研究

沙地云杉林群落生态学的研究主要集中在植物区系分析、群落结构特征的研究、群落类型与动态的研究、沙地云杉林生物量与生产力的研究。

1. 群落植物区系研究

在自然界的历史过程中,植物区系的演化是植被发生和发展的基础。徐文铎(1981)认为沙地云杉林在植物区系上属于中国植物区系区划中的泛北极植物区,欧亚草原植物区,东蒙古亚地区范畴^[16]。据邹春静等(1998)统计,在沙地云杉林中有种子植物 161 种,其中厥类植物仅木贼(*Equisetum fluriatile*)1 种,裸子植物 2 种,被子植物 158 种。该地区总共有 10 种地理分布区类型,达乌里—蒙古成分、古北极成分、东古北极成分、泛北极成分、东亚成分、哈萨克斯坦—蒙古成分、东西伯利亚成分、华北东北成分、世界成分、特有种。其中以达乌里—蒙古成分占优势,约占 32.9%^[17]。

2. 群落结构特征的研究

邹春静等认为沙地云杉林层次结构明显,一般可分为乔木层、草本层和苔藓层 3 个层次。这反映出沙地云杉林属于暗针叶林的基本性质。群落高度一般在 15~20m 之间。沙地云杉林群落地下也有成层现象,草本层和苔藓层在土壤中分布最浅,灌木层和乔木层植物根系分布最深。沙地云杉群落外貌以地面芽植物为主,高位芽植物盖度系数最高,在高位芽植物中又以常绿针叶中高位芽植物占优势,群落外貌表现出常绿针叶林的特点^[18]。

3. 群落类型与动态的研究

研究群落动态是解决人类现在环境危机的基础;研究群落类型可以反映自然条件的历史和现状,反映出一个地段的土地生产力。对于群落类型的划分,徐文铎将沙地云杉林划分为藓类苔草云杉林、禾草杂类草云杉林和沿河云杉林 3 个群落类型^[19]。此后,邹春静等(1998)将沙地云杉群系划分为藓类苔草沙地云杉林、禾草杂类草沙地云杉林、杂类草白桦沙地云杉林和沿河沙地云杉林 4 种类型。同时他们还从分布规律、植被外貌、植被组成、植被结构、生态条件等方面总结出沙地云杉的类型特点,沙地云杉林是超地带性顶级植被类型,林内没有树毛、树挂及皮藓等植物生长。沙地云杉林是一种暗针叶林类型,但是由于它是在特定生态条件下形成,所以它具有与山地云杉不同、别具一格的群落特点^[20]。

沙地云杉的群落动态主要表现在 2 个方面,即群落演替和森林更新。徐文铎(1983)指出沙地云杉林的群落演替主要有进展演替和逆行演替两种方式;进展演替分沙地先锋植物群落阶段、根茎禾草杂类草群落阶段、沙地云杉林阶段,而逆行演替有沙地云杉林被杨桦林或灌丛代替和沙地云杉林向草原演替 2 种形式。对沙地云杉的天然更新作了一些研究^[21]。邹春静等(1998)研究发现沙地云杉林天然更新良好,但由于沙地云杉幼苗没有木质化之前,很容易发生灼伤致死,因此沙地云杉常见的更新方式有三种。由林墙的北侧不断向外更新、借助于灌木丛或其他树种庇荫下进行更新、在林内进行连续更新^[20]。刘涛等的研究也证明了这点。他们发现沙地云杉林更新的一般规律。①在各种立地类型中,以阴坡更新情况最好。②平缓地段及阳坡、半阳坡更新一般较困难。③不同密度的云山林和白桦林在阴坡、半阴坡及丘间低地均有良好的云杉更新。④云杉疏林及云杉孤立木下更新是目前沙地云杉林较为重要的更新方式。⑤灌丛是沙地云杉重要的更新方式^[22]。

4. 生物量、生产力及凋落物研究

研究森林群落的生物量、生产力,可了解森林生态系统光能利用率和物质循环、能量流动状况。刘广田等(1998)通过计算得出沙地云杉的生物量和生产力,沙地云杉总生物量为 108.89 t/hm²,其中乔木层为 97.27 t/hm²,占 89.31%;地被层生物量为 5.51 t/hm²;枯枝落叶层生物量为 25.40 t/hm²。而对林外灌木、草本及苔藓层的生物量和生产力进行

计算发现, 柃木灌丛的生物量和生产力最大^[23]。邹春静等人凋落物的平均分解速率随着坡位的升高而降低, 瞬时分解速率依然表现出这种规律性^[24]。

(四) 分类地位

郑万钧 1979 在中国植物志把该云杉收录为红皮云杉(*Picea koraiensis*), 1986 年乌弘奇提出这种云杉是白杆云杉的地方种, 即蒙古云杉(*Picea meyeri* var. *mongolica* H. Q. WU), 徐文铎对沙地云杉的形态解剖、同工酶、核型、生态地理分布的分析归纳为一个独立的种即沙地云杉(*Picea mongolica* W. D. XU), 而周世权等根据小枝颜色、毛被、有无白粉, 球果大小, 叶尖等性状认同乌弘奇的分类, 认为是白杆的一个变种——蒙古云杉, 宛涛等(2014)通过基因分析说明沙地云杉与白杆的亲缘关系较红皮云杉近, 并结合形态学、解剖学、孢粉学和 RAPD 的研究结果, 支持将沙地云杉作为一个独立种的结论。

二、沙地云杉研究展望

(一) 沙地云杉的种群研究

1. 沙地云杉的更新生境阈值和小种群的年轮构成

调查过程中发现沙地云杉的更新是以母树的树冠为主, 形成类似樟子松的团状分布, 但需一定的遮荫性。种群的小居群一方面与其母树形成的范围有多大相关, 另一方面, 在以母树为更新依托, 其更新的生境空间多大, 这一空间内的立地条件、土壤理化性质、光照、地表微环境如何, 都是种群更新和进一步保护措施的关键。

2. 种子扩散途径和定居的微环境研究

沙地云杉种子被翅, 应该是风力传播, 但其种子的富营养是否也是动物的重要食物, 这一点对扩大沙地云杉的种群和保护其生态系统中的营养链具有重要的作用, 而目前这一方面的研究是空白。

(二) 沙地云杉的群落学研究

1. 沙地云杉林不同生境的排序和群落学特征

沙地云杉是浑善达克沙地特有的树种, 由此构成的沙地云杉、沙地榆、山杏和草本植物在不同演替阶段群落结构和功能的稳定性是沙地云杉林应开展的研究。特别是以白音敖包(海拔 1498.8m)为最高点, 曾是整山的沙地云杉林, 因一场大火而毁灭, 目前在山脚有人工林外, 周围主要是以山杏和榆树及草原植被为代表的群落, 因此沿敖包山到沙地边缘开展沙地云杉的排序工作, 对沙地云杉的保护边界和范围的研究具有重要意义。

2. 沙地云杉与水系变迁的分布格局引种适应性研究

沙地云杉无论是白杆变种、还是独立的种, 其发生演化过程都与水有着密切的关系, 这在沙地云杉林的林型中是最好的佐证。从沙地云杉分布的敖包河到敖包山, 其具有的林型分别为柳类灌木沙地云杉林、杂草类白桦沙地云杉混交林、藓类苔草沙地云杉林、禾草杂类草沙地云杉林。那么其随水生环境而演变的途径和适应方式是对沙地云杉引种驯化的重要依据。

(三) 沙地云杉林生态系统研究

1. 生物多样性研究

沙地云杉林是东北植物区系、华北植物区系和达乌里区系的交汇处, 因而其动物区系相应地也是多样的, 动物多样性对沙地云杉林发生、演化、营养动态、土壤改良、物种关

系、系统稳定等具有的特定功能目前还没有理顺和编织，特别是由沙地云杉的生境中沙地、山地、草地、河流复合景观不仅构成了乡土动物的栖息地，同时也是候鸟觅食、繁殖和中转地，共同构成了维系沙地云杉森林生态系统结构和功能的稳定性。所以，理顺沙地云杉林中植物与动物、动物与动物、动物与环境的关系，对沙地云杉林的保护具有重要的作用。

2. 能流研究

以沙地云杉为主要生产者固定的太阳能，维系着沙地生态系统正常的能量分配，同时决定沙地生产力。所以如何在不同立地条件、不同的林分进行合理经营，促进沙地云杉林的生产力提高，促进沙地云杉林生态能量的自补给，减少人工能量的补给具有重要意义。

3. 适度干扰研究

沙地云杉是一个动态的生态系统，沙地环境本身是一个相对不稳定的条件，沙地云杉作为我国珍贵的沙地针叶林，又是林草交错区，人类对此的保护与利用是一个相对矛盾的结合点，因此开展沙地云杉林适度干扰，如放牧、旅游和抚育强度都应找到一个平衡点，保证沙地云杉资源的可持续性。

(四)沙地云杉的起源

沙地云杉以白音敖包为中心形成核心分布，但其历史记载和残存分布都说明，沙地云杉曾经有着广泛的分布，从其群落的组成区系成分来看，与红皮云杉和白杆分布都有着密切的联系，目前群落中与沙地柏混生又说明该区域沙地云杉的存在，应与冰川有着更直接的联系。所以，开展沙地云杉的历史分布与目前潜在分布，对研究物种起源、进化、适应与引种、繁育及驯化都具有重要的理论和生产价值。

第二章 沙地云杉资源分布

一、沙地云杉的起源

(一)分布的地理特征

沙地云杉为浑善达克沙地的特有树种，乌弘奇认为沙地云杉为白杆的一个变种，后经徐文铎重新鉴定确定为沙地云杉。所以研究沙地云杉的起源就必须追溯浑善达克沙地的变化以及随着气候环境的变化白杆的迁移变化过程。

近 500 年来，浑善达克沙地发生了一系列变化。武建伟等研究发现近 500 年来，浑善达克沙地气候环境经历了干寒—温湿—温干的百年尺度的气候演化过程，其间又有次一级的干湿与冷暖不同组合的波动，19 世纪末 20 世纪初，小冰期结束，中国北方进入一个相对温暖阶段，浑善达克沙地近百年气候向暖干化变化^[25]。气候环境的变化为沙地云杉的形成提供了环境条件。

现代沙地云杉的分布区内，以锡林郭勒盟的巴彦锡勒牧场(E 116°40′, N 43°45′)为北界和东界，以锡林郭勒盟的多伦县的蔡木山(E116°38.034″, N42°30.894″, H1329m)为南界，以赤峰克什克腾的广兴(E117°35′, N42°55′)为西界，沙地云杉均分布于海拔 1400m 左右的地方。

根据沙地云杉分布范围与生长的生境，可以发现沙地云杉对水热条件要求较为严格。沙地云杉具有明显的中生性。中山山地阴坡和海拔较高的沙地因水分条件较好，成为其适生生境。在对热量的需求上，沙地云杉为中温—暖温型，所以浑善达克沙地为沙地云杉林的分布提供了必要的条件。

适生生境为特定种的定居提供了可能性，这种可能性与物种散布结合起来才能实现定居。现有研究表明：早白垩世(130 ± 3 至 112 ± 2Ma)古阴山—古燕山一线以北的古植物区系中云杉孢粉已占很大比重^[26]。呼和浩特西郊的察素旗北部的静水沼泽沉积物剖面中，云杉属植物孢粉从 93~100cm 均有分布，表明该区从 7400aBP 以来均有云杉属植物生长，且在 5000~4100aBP 期间达到较大数量^[27]。在呼伦贝尔的扎赉诺尔地区，从 12.9~7.3 KaBP 期间均有云杉属植物分布，在 5.5~4KaBP 间又有出现^[28]。第三纪内蒙古二连盆地及河北省围场东部的孢粉中，裸子植物均占很大比重，以铁杉(*Tsuga*)、云杉为主。第四纪早更新世冷期三江平原孢粉中，松(*Pinus*)、云杉(*Picea*)、桦(*Betula*)等耐寒种属为主；北京附近孢粉组合中云杉占 2%；晚更新世冷期，中国北方耐寒针叶树云杉、冷杉(*Abies*)比重增大。全新世沉积层的孢粉分析结果反映了此期的植物分布，特别是对于“气候适宜期”和最近几百年来来的“小冰期”反映最为明显。北京地区 10~8KaBP 期间周围丘陵区尚有云杉、冷杉的分布^[29~33]。这些研究结果表明：云杉属植物在中国东北、华北曾有广泛分布。仅全新世以来，随干旱区面积扩大而使云杉的分布区破碎。云杉受干旱的作用而移向

山地，形成相对孤立的残遗分布区。王伟据此认为：沙地云杉林是第三纪云杉后裔分布区的残存片段，具有残遗性特点^[33]。

全新世以来，白杆云杉受干旱的影响，在局部沙地上残存下来。沙地虽然具有较好的保水能力，但也易渗流和散失水分，所以沙地生境对白杆的生长已属于极限生境，白杆的生长受到限制，因而难以形成郁闭林分，通常以疏林形式存在。疏林未完全占据的资源空间和空间的异质性条件为其他植物种的生长提供了条件，这就形成了不同于山地白杆林的特殊群落——沙地云杉。

按达里诺尔砬子山的海拔 1341m 和白音敖包山的海拔为 1498m 相比，加之目前砬子山的水淹痕迹，则海拔 1300m 范围曾为水淹，目前的达里诺尔海拔为 1200m，浑善达克沙地的海拔为 1100m。所以在曾经浑善达克沙地是为水面所浸，在干暖的地质环境下，随着水退，为沙地云杉的分布提供了可能。同时，浑善达克沙地又是大兴安岭西南坡与锡林郭勒高原的过渡区，形成沙地云杉疏林在水热限制上是地带性植被。所以，沙地云杉的分布是以大兴安岭西南汇水区的锡林河、贡格尔河和燕山北部的汇水区的闪电河共同形成的浑善达克沙地。

由此推断，曾经寒冷期的沙地云杉在浑善达克沙地的分布区大于目前的分布区，并东与大兴安岭南坡的针叶林相连(经棚山、黄岗梁上天然分布的云杉)，南与燕山山脉阴坡的针叶林相连(宁城黑里河天然分布的云杉)，向西与大青山的针叶林相连(大青山帐房片天

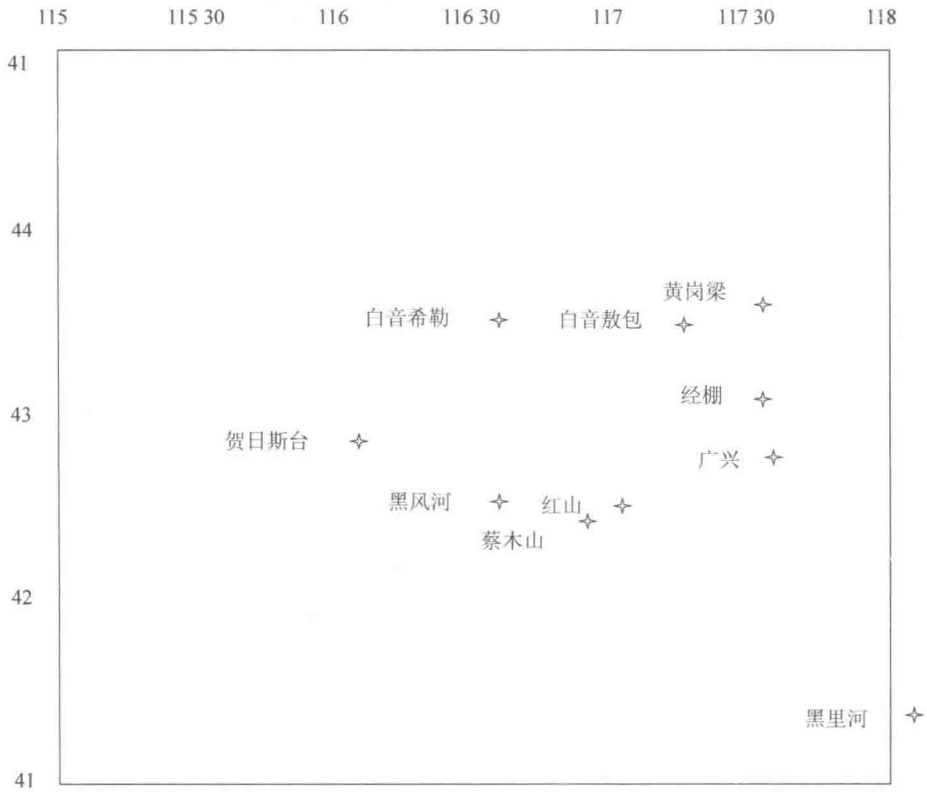


图 2-1 沙地云杉分布点

(黑风河、贺日斯台、白音希勒牧场、白音敖包、广兴、红山、黄岗梁、桦木沟、经棚、蔡木山的后青龙背)

然分布的云杉)，北部与乌珠穆的山地针叶林相连；随着干旱温暖期取代寒冷期，加之人为干扰，目前沙地云杉在白音敖包为集中地，零星地分布于乌珠穆沁旗、锡林浩特市、多伦县、克什克腾旗、正蓝旗等，按这些分布点(图 2-1)，可串连起沙地云杉曾经的分布区(图 2-2)，并与上述推断是吻合的。

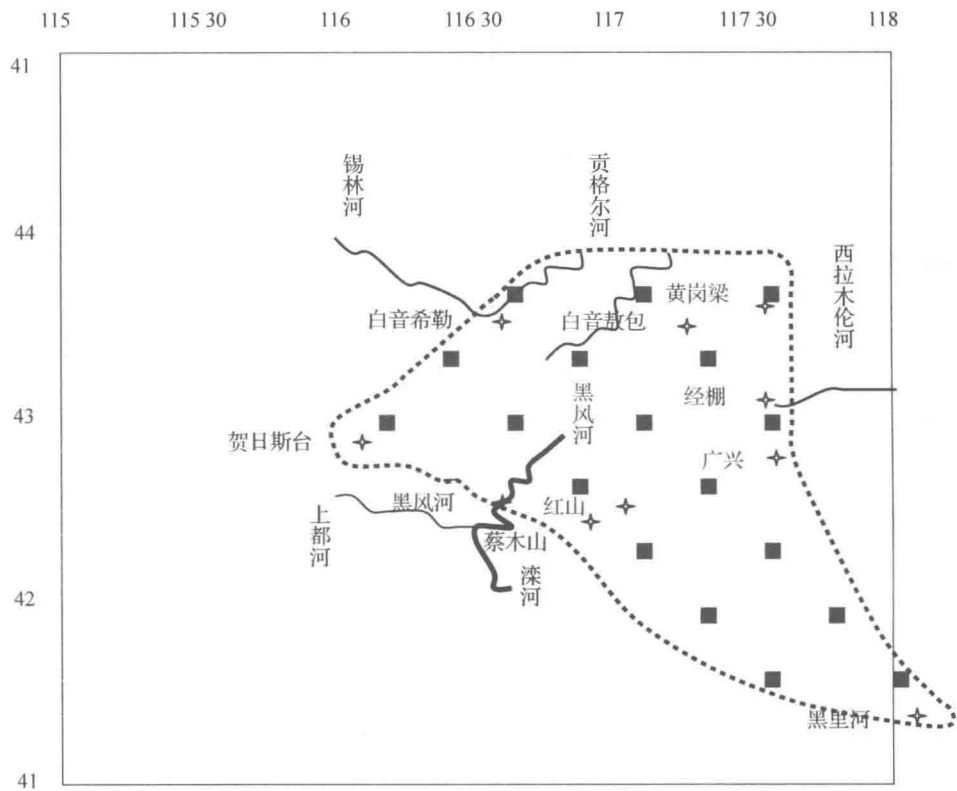


图 2-2 沙地云杉分布区
(围绕浑善达克沙地、锡林河、贡格尔河、黑风河)

(二)沙地云杉引种分布的不同适应性

白音敖包保护区沙地云杉苗木销往地区主要有陕西、北京、黑龙江、河北、吉林、辽宁等地，销售数量为小苗销售 9000 万株，大树销售 1 万株。

根据野外大量观测和对 3 种云杉的标本研究，沙地云杉在外部形态上与红皮云山、白杆云杉有明显差异(表 2-1)，沙地云杉针叶气孔线布满白粉，极为明显(通过反光以减少蒸腾)，而红皮云山、白杆云杉不及沙地云杉明显。在针叶解剖结构上，沙地云杉气孔较少且下陷，角质层较厚，机械组织较发达。这些特征对于降低蒸腾速率和减少水分消耗具有重要意义。

采用常规育苗、造林方法进行造林。采用人工整地方式，整地规格 50cm × 50cm × 30cm；造林配置 2m × 2m；育苗面积为 9 亩(包括对照面积)，造林面积为 60 亩(包括对照面积)。

表 2-1 3 种云杉形态特征比较

比较项目	红皮云山	沙地云杉	白杆云杉	备注
叶片树脂道	2 个占 66.7%，1 个占 33.3%	0 个占 95%，1 个占 5%	2 个占 46.7%，1 个占 53.3%	
叶片角质层	较薄	极厚	较厚	
种子千粒重	5.32	6.6	6.34	
种子发芽率	78.1%	82.7%	69.8%	

表 2-2 章古台与克旗地形地貌及物候比较

站名	海拔(m)	降水量(mm)	蒸发量(mm)	气温(℃)	最低气温(℃)	风速(m/s)	土壤类型
章古台	226.5	516.5	1781	6.1	-30.6	4.0	固定沙地
克旗	780~2069	389.1	1766	2.5	-36.7	3.7	固定沙地
差值		127.4	15	3.6	6.1	0.4	固定沙地

由表 2-2 可知，二者的自然条件差异不明显。

表 2-3 沙地云杉与樟子松育苗造林指标比较

树种	育苗亩产量(万株)	造林面积(亩)	当年成活率(%)	3 年后保存率(%)	抗性	
					冻害株数	病虫害危害株数
沙地云杉	18	30	91	85.4	0	3
樟子松	14	30	87	81	8	18

由表 2-3 可以看出，沙地云杉苗木亩产量高于樟子松 4 万株；成活率、保存率均高于樟子松；抗冻害和病虫害能力也明显强于樟子松。

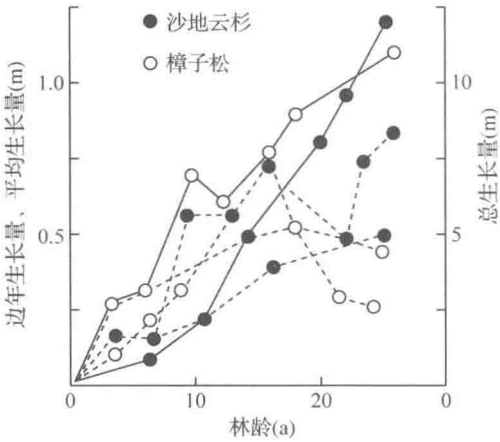


图 2-3 章古台沙地云杉与樟子松高生长曲线对比

从图 2-3 两树种树高生长曲线看出，树种间生长关系呈阶段性变化。6 年生樟子松树高生长速度明显高于沙地云杉，这是由于各自的生物学特性所决定的；6 年后生长速度均加快，且增长速度相近；9~15 年生连年生长量都出现高峰，且高生长量很接近；至 20 年后 2 树种的高生长关系又发生了变化，20 年生以后，沙地云杉的高生长高峰期并为结束，且

以更高的生长量继续生长，而章古台固沙造林研究所对樟子松生长趋势的研究证明，该地的樟子松 21 年后生长量开始逐渐下降。

表 2-4 胸径、材积生长进程比较

树种	胸径连年生长量 (cm)				材积连年生长量 (m ³)			
	1~6 年	7~15 年	16~21 年	22~24 年	1~6 年	7~15 年	16~21 年	22~24 年
沙地云杉	0	0~1.1	0.5~0.95	0.8~0.9	0~0.00001	0.00001 ~0.00176	0.00226 ~0.00554	0.00749 ~0.00816
樟子松	0	0~1.1	0.48~0.77	0.5~0.55	0~0.00004	0.00005 ~0.0041	0.0054 ~0.0058	0.0063 ~0.0077

由表 2-4 可以看出，22~24 年沙地云杉胸径和材积连年生长量，分别比同阶段樟子松高出 0.30~0.35cm 和 0.00119~0.00460m³，也就是说沙地云杉在 22~24 年时，比樟子松木材增益 18.9%。可见沙地云杉具有较强的后期生长优势。

通过近十年来，在赤峰市范围内的育苗和造林推广的实践证明，沙地云杉育苗、造林的各种指标优于樟子松，同时高于辽宁章古台地区。

通过试验分析，可以看出：沙地云杉适宜种植范围较广，在东北地区、京津地区、河北及内蒙古等地的固定沙地、半固定沙地或干旱的丘陵山地大面积种植，即可作为治沙先锋树种和商品林建设的重要树种，也是城市绿化的首选优良树种。

此外还引种范围还有黑龙江哈尔滨市，呼伦贝尔市鄂伦春自治旗大杨树镇、吉林长白山、齐齐哈尔；引苗木的有鄂尔多斯、陕西、甘肃、辽宁、北京、新疆等地。

(三)沙地云杉目前的资源状况

沙地云杉是浑善达克沙地分布的特有树种，总面积为 2624.18hm²，其中人工林面积为 1206.18 hm²，天然林为 1418 hm²；总蓄积量为 116351m³，其中人工林蓄积量为 22628 m³，天然林蓄积量为 93723 m³，天然林的分布大于人工林的分布。在各个林场的天然林分布区中，以白音敖包自然保护区面积最广，蓄积量最大。沙地云杉的龄组主要为幼龄林和中龄林，很少为近熟林，所以应加强管理，做好抚育措施，提高森林质量，以形成稳定、健康、丰富多样的森林群落结构。

表 2-5 沙地云杉面积统计表 (hm²)

乡苏木林场	人工林				天然林		小计
	有林地		未成林地		有林地		
	幼林龄	中龄林	幼林龄	幼林龄	中龄林	近熟林	
白音敖包林场	32	66	112. 7		70		280. 7
白音敖包保护区				18	853	151	1022
大局子林场	41	308. 8		81			430. 8
青山林场			13				13
托河林场		1					1
桦木沟林场		6	14	235			255
黄岗梁林场	353						353
热水林场	249. 68		9				258. 68
广兴林场					10		10
合计	675. 68	381. 8	148. 7	334	933	151	
总计	1206. 18	1418					

白音敖包保护区内林龄结构中中龄林面积最大，种群结构为稳定型；而大局子、桦木沟为幼龄林，属增长型。

表 2-6 沙地云杉蓄积量统计表(m³)

乡苏木林场	人工林				天然林		小 计
	有林地		未成林地		有林地		
	幼林龄	中龄林	幼林龄	幼林龄	中龄林	近熟林	
白音敖包林场	1832	4550	0		7647		14029
白音敖包保护区				30	49700	13200	62930
大局子林场	730	1317		4775			6822
青山林场			0				0
托河林场		49					49
桦木沟林场		508	0	17108			17616
黄岗梁林场	13642						13642
热水林场	/		0				
广兴林场					1263		1263
合计	16204	6424	0	21913	58610	13200	
总计	22628				93723		

由表 2-5 和表 2-6 可知，单位面积蓄积量人工林小于天然林，近熟林大于中龄林。

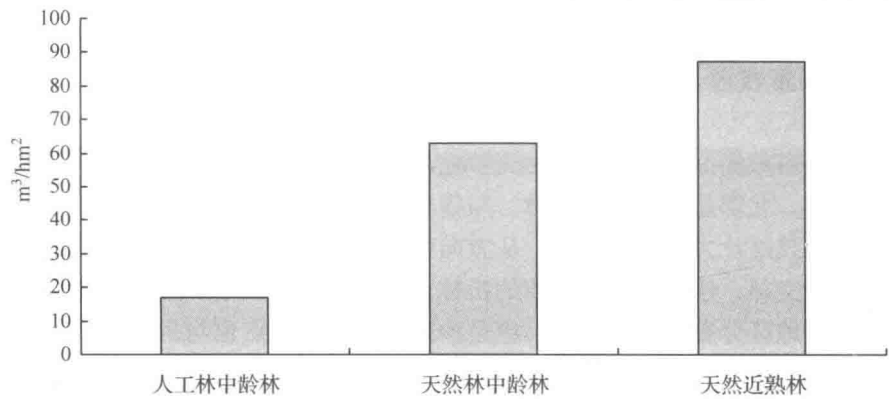


图 2-4 沙地云杉人工林和天然林的单位面积蓄积量对比

二、现实分布

经考证，沙地云杉以白音敖包的天然分布最为集中，面积达 16110 亩，其次是广兴源，为 120 亩，再次零星地分布于多伦的蔡木山、锡林浩特的巴彦锡勒牧场(扎格斯太)、克旗的大局子、红山子、黄岗梁、经棚及正蓝旗的黑风河和贺日斯台。

三、历史分布

沙地云杉蒙古名为嘎初拉(gachura)，意为挺拔绿色的树，形容其形成的森林为哈日毛道(har mod)，意为黑树林，即现在科学上称谓的暗针叶林，这一点也与沙地云杉林相符。

“自裹谭入大山，行十余日而出，过一大林，长二三里，皆芜萋，枝叶有芒刺如箭羽，其他皆无草。”辽的上京临潢府在今内蒙古巴林左旗南波罗城，平地松林在今内蒙古克什克腾旗一带，南至河北省围场县以北，东至扎鲁特旗以西。

自庆州西南(察汗木伦河源一带)至开平(正蓝旗以东的闪电河岸)遍地皆松，号曰千里松林。

一过沙岭，“北皆勿牧之地，无树木，遍地地椒、野茴香、葱韭，芳香袭人。草多异花五色，有名金莲花者，似荷而黄”。

“都东北不十里，有大松林，异鸟群集，曰察必鹞者，盖产于此。山有木，水有鱼，盐货狼籍，畜牧蕃息，大供居民食用。”另外，从元朝的诗词描述中可知，当年元上都城东北二百里处曾有一片大的古松林。“栾人薪巨松，童山八百里。世无奚超勇，惆怅渡易水”(白斑的《续演雅十诗》《湛渊遗稿》)。“阴阴松林八百里，昔山相传为界址”(袁角的《松林行》《清容居士集》)。“山围行殿周遭住，万里客看牧羊父。听神榆树北车声，满载松林寒雨。应昌南旧日长城，带取上京愁去。又秋风落雁归鸿。怎说到无言语处”(冯子振的《松林》《全金元词》)。“百万苍虬几雪霜，夜深知雨激沧浪”(张嗣德的《松林夜雨》《皇元风雅》后集，卷3)。

上述资料足以证明，离上都城东北二百里，确有古松林千里，有的松树根深叶茂，树干粗达十围。栾阳即上都，又称栾京。栾人，即居住在栾城(上都)附近的居民。他们常去采伐这里的树木烧木炭。上都位于“龙岗蟠其阴，滦江经其阳，四山拱卫，佳气葱郁。”的环境中，说明当时上都的地理环境非常优越，有山有水有松林，可谓水草丰美，物产丰盈，既适合发展畜牧业，也适宜人居住。这里有各种动物、植物及野生飞禽走兽和水产品。

现在的上都古城周围，北部浑善达克沙地东端有杨桦次生林，西部低山丘陵的山体阴坡有岛状灌木林。北部是沙地榆树疏林，与锡林浩特市、克什克腾旗草原连接。对照当时记载的资料来寻找这片大松林的原址，从方向和距离来看，现在锡盟的巴音锡勒牧场的部分松林和杨桦混交林，还有克什克腾旗的松林，都应属这片大松林的范围之内。

此推断，该地区分布的千里松林，应是沙地云杉，这一点也与目前零星分布的沙地云杉相一致。

四、潜在分布

沙地云杉的水分生态型属中生乔木，根据沙地云杉分布的沙地和河流条件，主要河流有贡格尔河和艾比盖河。分布区的山地主要是大兴安岭南段西坡，燕山山脉北部，所以其潜在分布应是大兴安岭南段西坡与锡林郭勒草原的过渡区，这一地区也是沙地云杉的核心分布区，向北还应可以分布到乌珠穆沁北部，向南不仅可分布到多伦蔡木山，还可以分布到燕山北段。向北分别为红皮云杉所取代，向南为白杆所取代。所以单以沙地云杉作为一个独立的种，而没有对其起源和分化的深入研究，对沙地云杉还是有欠缺的。从沙地云杉分布的自然生态环境可知，沙地云杉的潜在分布范围要比现实分布范围大的多。

不论在上述那种生境分布的沙地云杉，其林中的小环境在稳定的情况下有着极其相似的特征，典型的地被组成中均会出现藓类、鹿蹄草、白鲜等林下植物，但在沙地的沙地云杉林林下出现山刺玫，而在山地出现栒子木，伴生的乔木均为白桦。

所以，沙地云杉的种源地应是山地，是由山地逐渐下移，在沙地的低湿地形成了沙地云杉林，这一点在白音敖包河河流两侧是沙地云杉生物最好，也是树龄最长的沙地云杉，高度达 20m，胸径达 80cm。

当然，也有可能是沙地云杉曾经是连片大面积在大兴安岭南段西坡及燕山北面和阴山东段的范围内大面积分布，随着干冷气候变化，向山地上移，从而在黄岗梁、白音敖包山及经棚山退缩，随着暖湿变化，再次向山下扩散。



图 2-6 白音敖包山与浑善达克沙地云杉的形成过程示意图

历史上白音敖包山体是成片的云杉林，20 世纪 1959 年 6 月 30 日发生雷击现象，有 14 人受雷击，其中死亡 4 人，是否有大火发生没有报道。按目前白音敖包的地形条件，应是以敖为中心形成连片的沙地云杉林。

第三章 沙地云杉分布区的环境特点

一、沙地云杉分布的地形类型

沙地云杉分布的核心区白音敖包保护区地势南高北低，以南部的白音敖包山为最高点，海拔高度为 1498.8m，向北逐渐降低，地形起伏不大，绝大部分为东西走向的连续、不规整的垄状固定沙袋，少部分为半固定沙地及零星分布的新月形沙丘，平均海拔高度为 1350m 左右。

所谓沙地云杉实际是与分布在山地、河岸的云杉林有着不可分割的关系，只是生境不同而已。分布在白音敖包的沙地云杉同样以白音敖包山为中心与沙地、河岸的云杉林共同形成沙地云杉林，如果向外推移，分布在黄岗梁和广兴的云杉同样与沙地云杉的群落成分和地理区位相同。形成沙地云杉的共同生境是有高大的沙垄，有足够的地下水，并可保证光照。因而在稳定的沙地云杉林中都会出现白桦、苔藓、钝叶瓦松、鹿蹄草。反映了沙地云杉林虽然生长在沙地，仍是耐荫性树种和中生性的水分条件要求。

二、沙地云杉分布的水系构成

沙地云杉的分布区——浑善达克沙地是半干旱区域，而沙地云杉为耐阴喜湿树种，对水分有严格的要求，所以为满足沙地云杉的生长需要要有足够的水资源来提供水分。沙地云杉分布区水源丰富，但其地表径流普遍较弱，河流流量不大，河网密度小，沙地表层土壤水分不高。分布区内部主要河流有流经白音敖包的贡格尔河、流经黄岗梁的木希嘎河、流经蔡木山的羊肠河、流经巴彦锡勒的昌图河和流经广兴的广兴源等。由此可知，目前分布的沙地云杉与河流有着密切的关系。

保护区境内分布的主要河流有贡格尔河和敖包河。其中，南部的敖包河在境内流经 9km，而北部的贡格尔河由保护区东北部流入境内，将保护区分为东西两部分，境内流经长度为 14km。

敖包河年均净流量 0.0062 亿 m^3 ，流域面积达到 93.8 km^2 ；查干套海河（锡林河）年均净流量 0.257 亿 m^3 ，流域面积达到 1287.75 km^2 。

三、沿河不同的生长特性

通过对白音敖包沿贡格尔河岸作的样线调查表明，河岸林的生长高度和胸径最大，而杂草类生长最低，这也反映了水分条件逐渐降低，而生长缓慢。而更新以苔藓和苔草云杉林最高，反映了云杉是由山地过渡而来的起源（表 3-1）。

表 3-1 不同生境下沙地云杉的生长特点

标准地号	胸径 (cm)	树高 (m)	幼株数 (株/hm ²)	海拔 (m)	活枝下高 (m)	密度 (株/hm ²)
河岸林样地(Ⅰ)	37.9	11	780	1350		360
杂草云杉林(Ⅱ)	17.5	6.8	270			280
苔藓白桦云杉林(Ⅲ)	11.5	8.9	1130	1350	2.11	240
河岸云杉林(Ⅳ)	11	7.3	0		1.44	170
苔草云杉林(Ⅴ)	9.8	7.2	1900	1351	1.71	1350

四、沙地云杉分布的土壤

云杉林下的土壤也因分布地区的不同而有很大的差异。在大兴安岭北部山地，发育在云杉林下的土壤是棕色针叶林土。在克什克腾旗大局子林场云杉林下的为黑土。发育在白音敖包沙地云杉林下的土壤也是灰黑土。后者的基质是风积沙，土壤肥力也不低。

以沙地为主，在迎风坡的沙地云杉下，为风积沙层上发育的薄层腐殖质的灰色森林土，此外，还有沙质黑钙土、沙栗土、沙质草甸土等，土层薄、贫瘠、干旱、透水性强是本区土壤的主要特征。

在河岸的沙地云杉土壤剖面由上而下组成为上层腐殖质厚度为 30cm，颜色为棕褐色；向下是 15cm 的淋溶层，颜色为灰白色；最下层为黄白色的沙粒基质。

由河岸向上，到达沙地云杉分布的坡中部，腐殖质层达 30cm，但分解程度高于河岸，颜色淡褐色，淋溶层 20cm，颜色白褐色，下层为沙质基质；坡顶部腐殖质层为 15cm，颜色淡褐色，淋溶层达 80cm，颜色为红褐色，下层为沙粒基质，见附图。

五、沙地云杉分布的气候特征

在赤峰市白音敖包沙地以及锡林郭勒盟伊和乌拉沙地云杉分布地段，气候趋向“冷干”型，湿润系数小于 0.7，为半干旱区。

根据经棚镇气象站观测数据(图 3-1)，分析沙地云杉分布区内的气象要素。经棚镇是克什克腾旗政府所在地，白音敖包位于经棚镇的西北部。距经棚镇直线距离 70 公里，二者山地上都有云杉的分布，以经棚镇为气象监测点可以反映白音敖包的气候特点。

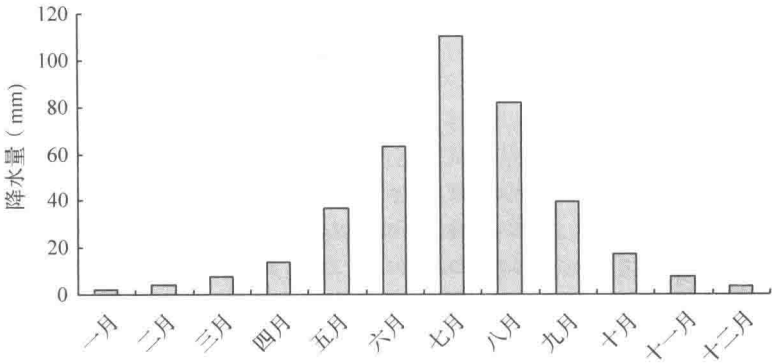


图 3-1 克什克腾旗 1981~2012 年各月平均降水量

(一)降水量

年平均降水量 386.8mm，最大日降水量 110.9mm，春季降水量 58.0mm，夏季降水量 255.0mm，秋季降水量 64.2mm，冬季降水量为 9.2mm。7、8 月份降水量为 192mm，占全年降水量的 49.6%，1 月份降水量为 2.4mm，为全年最低，7 月份最高降水量可达 258.2mm(1990 年)，7 月份最低降水量为 45.5mm(2005 年)，见表 3-2。

表 3-2 克什克腾旗 1981~2012 年各月降水量(单位: mm)

年份	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	合计	平均	最低	最高
1981	3.6	8.2	11.9	2.3	19.9	51.9	58.5	102.2	73.7	6.1	7.3	3.5	349.1	29.1	2.3	102.2
1982	1.2	1.2	5.4	3.1	33.6	77.3	119.8	46.2	15.1	7.1	5.9	0.8	316.7	26.4	0.8	119.8
1983	0.3	3.9	3.4	39.7	7.0	44.4	76.1	191.8	24.4	8.7	1.9	0.3	401.9	33.5	0.3	191.8
1984	0.1	3.3	3.5	18.0	9.6	173.9	78.2	52.2	67.6	9.7	0.2	0.3	416.6	34.7	0.1	173.9
1985	1.4	12.1	6.5	7.6	32.8	72.3	158.3	68.4	6.9	5.5	12.9	1.0	385.7	32.1	1.0	158.3
1986	2.6	1.1	7.2	2.9	14.6	57.5	101.3	64.1	120.7	31.5	14.7	1.6	419.8	35.0	1.1	120.7
1987	6.2	6.2	12.1	8.3	46.9	43.0	83.8	174.9	39.4	9.3	3.2	1.9	435.2	36.3	1.9	174.9
1988	1.5	3.9	1.5	13.2	18.9	35.3	123.0	80.1	43.0	10.1	0.1	1.4	332	27.7	0.1	123.0
1989	0.6	4.8	4.0	11.1	23.3	33.0	61.0	49.9	48.8	27.3	2.7	5.4	271.9	22.7	0.6	61.0
1990	3.8	11.0	8.4	11.5	35.2	30.8	258.2	97.5	33.2	0.2	7.1	2.6	499.5	41.6	0.2	258.2
1991	0.1	7.6	10.1	31.4	42.1	110.4	159.0	14.8	45.7	21.9	0.2	3.3	446.6	37.2	0.1	159.0
1992	0.5	1.4	18.7	2.4	93.3	79.5	164.5	71.6	24.4	9.7	18.6	0.7	485.3	40.4	0.5	164.5
1993	0.4	11.1	10.6	24.2	24.5	67.9	185.8	67.5	34.3	8.5	13.7	0.9	449.4	37.5	0.4	185.8
1994	4.0	0.2	3.0	4.1	22.4	61.0	112.5	105.3	20.9	15.7	0	7.7	356.8	29.7	0	112.5
1995	0.2	0.5	6.4	4.0	23.3	91.5	94.4	70.9	16.6	56.1	0.3	3.4	367.6	30.6	0.2	94.4
1996	2.7	0.5	11.6	11.3	40.7	98.9	128.2	187.2	57.6	21.6	10.3	4.0	574.6	47.9	0.5	187.2
1997	1.5	0.8	1.1	17.2	62.6	38.6	130.0	40.0	43.6	7.1	2.6	2.5	347.6	29.0	0.8	130.0
1998	7.1	3.0	6.0	29.0	49.5	53.6	250.2	58.5	8.5	12.7	15.3	4.4	497.8	41.5	3.0	250.2
1999	0.1	0.2	9.4	22.9	51.3	58.1	74.2	49.1	53.9	10.8	13.1	4.5	347.6	29.0	0.1	74.2
2000	11.0	1.3	0.7	12.4	53.8	42.7	49.0	180.6	30.4	28.8	13.3	9.8	433.8	36.2	0.7	180.6
2001	9.1	0.7	9.1	0.9	29.9	109.9	57.6	60.6	58.2	20.4	4.6	0.6	361.6	30.1	0.6	109.9
2002	0.4	1.3	4.5	16.5	3.9	106.2	66.9	69.9	16.9	16.8	3.5	4.2	311.0	25.9	0.4	106.2
2003	1.1	0.8	7.5	9.2	78.9	36.8	128.3	85.9	49.9	20.2	7.6	1.6	427.8	35.7	0.8	128.3
2004	0.8	12.3	4.8	11.8	27.3	38.7	69.2	190.9	37.3	14.6	3.9	3.8	415.4	34.6	0.8	190.9
2005	0.5	6.9	0.8	6.1	45.5	27.7	45.5	63.9	24.5	5.0	6.7	3.9	237.0	19.8	0.5	63.9
2006	0.9	6.5	0.3	15.8	39.6	63.2	109.5	21.0	36.1	15.8	5.2	2.4	316.3	26.4	0.3	109.5
2007	0.9	1.0	23.0	1.8	39.5	24.3	96.3	46.5	26.0	4.5	5.3	7.1	276.2	23.0	0.9	96.3
2008	0.5	0.1	9.7	31.8	23.4	121.3	53.7	114.4	19.5	11.2	9.4	4.5	399.5	33.3	0.1	121.3
2009	0.6	2.6	8.9	47.2	27.7	60.0	127.9	45.8	18.8	15.3	6.7	3.3	364.8	30.4	0.6	127.9
2010	11.2	3.4	14.5	11.9	101.2	10.7	87.4	66.1	97.1	84.7	12.4	5.9	506.5	42.2	3.4	101.2
2011	0.6	6.4	0.1	8.7	14.9	33.4	104.3	53.1	11.3	9.9	8.9	0.9	252.5	21.0	0.1	104.3
2012	1.5	2.4	14.1	3.7	38.4	61.8	114.3	27.4	60.4	26.5	18.0	5.1	373.6	31.1	1.5	114.3
合计	77.0	126.7	238.8	442.0	1175.5	2015.6	3526.9	2618.3	1264.7	553.3	235.6	103.3	12377.7	1031.6	24.7	4396.2
平均	2.4	4.0	7.5	13.8	36.7	63.0	110.2	81.8	39.5	17.3	7.4	3.2	386.8	32.2	0.8	137.4
最低	0.1	0.1	0.1	0.9	3.9	10.7	45.5	14.8	6.9	0.2	0	0.3	237.0	19.8	0	61.0
最高	11.2	12.3	23.0	47.2	101.2	173.9	258.2	191.8	120.7	84.7	18.6	9.8	574.6	47.9	3.4	258.2

由图 3-1 和表 3-2 可知全年平均降水量为 386mm，属半干旱地区，7 月为最高降水量月份，可达 110.2mm。

(二) 蒸发量

年蒸发量 1617.5mm，冬季蒸发量 77.0mm，春季蒸发量 560.7mm，夏季气温高，蒸发量大为 647.4mm，秋季蒸发量 332.4mm。蒸发量最大值出现在雨季来临之前的 5 月份为 276.7mm，占全年总蒸发量的 17.1%。

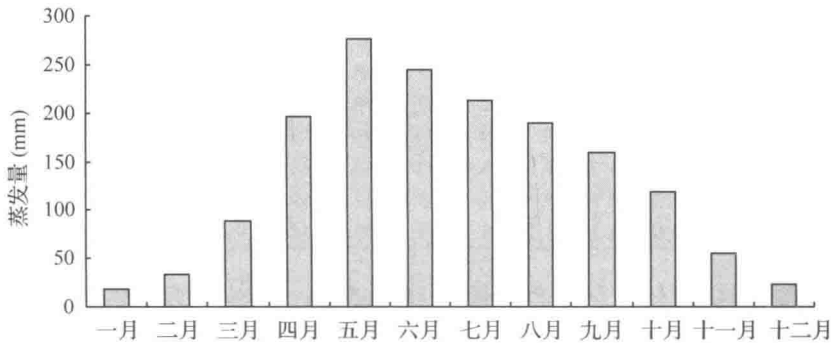


图 3-2 克什克腾旗 1981~2012 年各月平均蒸发量

表 3-3 克什克腾旗 1981~2012 年各月蒸发量 (单位: mm)

年份	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	合计	平均	最低	最高
1981	10.9	22.9	86.0	238.6	259.9	262.6	267.2	185.5	152.1	124.6	41.2	37.4	1688.9	140.7	10.9	267.2
1982	31.2	48.0	112.9	208.3	264.8	208.6	181.0	190.0	187.7	151.4	46.7	18.6	1649.2	137.4	18.6	264.8
1983	20.9	18.5	83.1	220.4	323.7	287.4	211.9	167.4	150.3	112.1	55.2	36.3	1687.2	140.6	18.5	323.7
1984	17.6	28.7	67.9	186.8	304.3	232.3	211.8	189.0	162.4	129.6	80.6	25.1	1636.1	136.3	17.6	304.3
1985	17.4	18.7	67.4	170.8	263.6	261.4	184.0	177.7	174.9	147.8	39.1	15.4	1538.2	128.2	15.4	263.6
1986	16.2	23.7	75.5	215.5	303.5	287.9	175.4	195.5	127.2	85.2	60.9	21.7	1588.2	132.4	16.2	303.5
1987	20.2	28.9	63.3	196.8	319.0	277.2	260.8	174.0	155.9	141.3	64.2	41.4	1743.0	145.3	20.2	319.0
1988	30.8	30.6	89.4	192.7	291.5	286.8	230.3	151.7	141.1	141.2	95.4	27.1	1708.6	142.4	27.1	291.5
1989	24.0	38.4	99.0	227.7	318.7	258.1	232.0	257.9	144.9	130.6	56.8	24.6	1812.7	151.1	24.0	318.7
1990	14.7	27.5	84.1	184.9	250.0	254.9	184.4	168.4	137.4	148.6	62.7	27.7	1545.3	128.8	14.7	254.9
1991	20.8	31.8	89.8	173.5	270.7	196.8	170.5	236.4	157.0	113.0	63.8	25.6	1549.7	129.1	20.8	270.7
1992	21.3	42.5	71.8	204.7	231.2	198.6	183.8	161.4	181.3	97.9	33.2	20.6	1448.3	120.7	20.6	231.2
1993	16.1	30.9	73.2	180.7	302.9	256.9	154.1	172.7	165.5	115.1	44.0	19.1	1531.2	127.6	16.1	302.9
1994	18.4	34.3	87.2	249.0	311.0	253.9	183.0	175.9	160.2	107.9	84.9	22.8	1688.5	140.7	18.4	311.0
1995	23.6	42.8	96.1	238.4	288.9	200.0	197.0	158.5	145.9	103.7	72.6	23.7	1591.2	132.6	23.6	288.9
1996	22.3	45.5	85.5	195.8	249.5	255.8	164.2	145.8	164.1	104.4	43.1	31.8	1507.8	125.7	22.3	255.8
1997	21.9	38.1	106.2	173.6	238.6	226.8	244.4	212.4	131.3	137.3	53.7	29.8	1614.1	134.5	21.9	244.4
1998	16.9	38.7	111.5	199.7	249.3	229.6	163.4	148.7	180.2	140.9	57.2	21.9	1558.0	129.8	16.9	249.3
1999	26.4	42.4	75.7	192.1	280.8	239.7	211.7	211.0	165.7	155.7	59.0	21.8	1682.0	140.2	21.8	280.8
2000	11.5	24.6	91.6	193.5	246.8	264.4	313.7	176.6	145.9	113.6	49.8	23.3	1655.3	137.9	11.5	313.7
2001	13.7	31.4	95.6	232.9	350.1	241.7	301.4	196.2	182.0	94.6	59.1	22.6	1821.3	151.8	13.7	350.1
2002	33.8	66.0	146.0	173.0	310.6	196.7	223.6	205.7	185.3	94.8	41.0	23.6	1700.1	141.7	23.6	310.6
2003	15.6	33.0	78.1	188.5	243.9	224.4	198.2	211.0	138.5	103.5	56.3	29.7	1520.7	126.7	15.6	243.9