

内蒙古大学

硕士学位论文

东阿拉善、西鄂尔多斯地区主要荒漠植物水分生态适应性研究

姓名：王琼

申请学位级别：硕士

专业：生态学

指导教师：梁存柱

20080610

东阿拉善、西鄂尔多斯地区主要荒漠植物 水分生态适应性研究

摘 要

东阿拉善和西鄂尔多斯荒漠位于全球最大的荒漠——亚非荒漠的东段，是我国乃至世界的一个独特荒漠区。近年来，随着社会经济的发展及资源的过度开发与利用，东阿拉善、西鄂尔多斯地区生态环境恶化，植被退化严重，沙尘暴频发。通过研究该地区主要建群与优势植物对水分的生态适应机制以及不同类型的植物对水分需求量和依赖度，有助于深入认识荒漠草原生态系统的退化与恢复演替机理与过程，将为该地区植被保育、生态恢复与建设的实践提供重要理论基础。

本文于2007年5~10月随季节的变化测定了东阿拉善、西鄂尔多斯地区主要荒漠植物蒸腾速率、水势变化等生理特征，同时结合土壤水分状况、植物叶片生态类型等分析了荒漠植物蒸腾速率、水势基本特征与动态，水势种间差异、区域差异及其对降水的敏感性，在此基础上分析和探讨了荒漠植物对水分的生态适应性。主要研究结论如下：

1. 荒漠植物蒸腾速率一般要低于草原植物，呈单峰或双峰曲线。并受温度与降水共同控制。
2. 荒漠植物水势日变化规律基本呈现出早晚高、中午低的“U”型曲线，并有明显的季节动态。物种在5、7、8月份测定时随着季节的推进水势值逐渐降低，到10月份测定时，水势值大部分与8月相比持平，个别略有上升。
3. 荒漠植物水势种间差异明显，红砂、绵刺、霸王、梭梭、盐爪爪等水势

种间差异一般较稳定。

4. 不同的荒漠植物水势对水分的敏感程度不同，绵刺水势对水分的反应异常敏感，红砂、长叶红砂反应最不敏感。

5. 通过不同叶生态类型植物叶片水势与蒸腾速率特征的分析发现，荒漠区肉质叶植物更适应干旱，其次是革质叶植物和旱生叶植物。肉质叶、革质叶植物属低水势忍耐脱水耐旱的植物，旱生叶植物应属高水势延迟脱水耐旱的植物。

关键词：主要荒漠植物，水分生态适应性，荒漠地区，土壤与植物水势

STUDIES ON WATER ECOLOGICAL ADAPTABILITY
OF DOMINANT DESERT PLANTS ON THE
EASTERN ALASHAN WESTERN ERDOS AREA

ABSTRACT

Eastern Alashan Western Erdos deserts are located in the East part of the largest desert—Asia-Africa desert, which can be announced to the a very special desert region not only in China but also among the globe. In recent years, the ecological environment in these regions is worsening with vegetation degradation, and frequent sand storms, along with the economic development and resource exploitation. Through the studies of the Ecological Adaptive Mechanism of main constructive plants on water, demand amount and dependency of the plants in these regions, a deeper look into the mechanisms and process of degradation and recovery of desert ecology is achieved, which would surly contribute to the protection and recovery of these regions both theoretically and practically.

Biological character of transpiration rate and water quantity of plants in the desert of District called Donglaershan and West Eerduosi was surveyed with the change of climate from May to Oct in 2007. The transpiration rate, character and dynamic trend of water quantity, area difference and sensibility to the precipitation were analyzed according to the soil conditions, leaf ecological types of the plants and so on. What's more, the ecological suitability to water is discussed and researched based on the former results. The main conclusion of the research is as follows:

1. Transpiration rate of Desert plant is generally lower than that of grassland

plants, which shows a single or bimodal curve, and is jointly controlled by temperature and precipitation.

2.The daily variation of desert plant water potential emerges as a U-shaped curve and shows obviously seasonal differences. In May, July and August, the species water potential goes down gradually, while in October stays stable as that in August though some may rise appreciably.

3.Water potential of desert plants has obviously interspecific difference, while *Reaumria soongorica*、*Potaninia mongolica*、*Zygophyllum xanthoxylon*、*Haloxylon ammodendron*、*Kalidium gracile* etc have relatively stable water potential interspecific differences.

4.Water potentials of different desert plants have different sensitivity of water, while water potential of *Potaninia mongolica* is more sensitive of water, while *Reaumria soongorica* and *Reaumuria trigyna* are the least.

5.Through the analysis of leaf water potentials and transpiration rates of plants of different leaf ecological types, it is discovered that fleshy leaf plants in desert regions are more adaptive to arid situations, and next come leathery type and xerophytes type. Plants of fleshy and leathery leaves fall into the category of low water potential, drought and dehydration tolerant plants, while the plants xerophytes type fall into that of drought tolerance of dehydration postponement with high tissue water potential.

KEYWORD: dominant desert plant, water ecological adaptability, desert area, soil and leaf water potential

原创性声明

本人声明：所呈交的学位论文是本人在导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。除本文已经注明引用的内容外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得内蒙古大学及其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名： 王涛 指导教师签名： 梁存柱
日 期： 2008.6.10 日 期： 2008.6.10

在学期间研究成果使用承诺书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，即：内蒙古大学有权将学位论文的全部内容或部分保留并向国家有关机构、部门送交学位论文的复印件和磁盘，允许编入有关数据库进行检索，也可以采用影印、缩印或其他复制手段保存、汇编学位论文。为保护学院和导师的知识产权，作者在学期间取得的研究成果属于内蒙古大学。作者今后使用涉及在学期间主要研究内容或研究成果，须征得内蒙古大学就读期间导师的同意；若用于发表论文，版权单位必须署名为内蒙古大学方可投稿或公开发表。

学位论文作者签名： 王涛 指导教师签名： 梁存柱
日 期： 2008.6.10 日 期： 2008.6.10

前 言

1. 立题依据与研究意义

生态适应是当前生态学研究热点之一。在荒漠生态系统中,环境条件非常严酷,水是影响植物生长的主要限制因子,荒漠植物的生长与发育几乎都围绕水分而展开。观察发现,虽然处于缺水环境,荒漠植物仍有很高多样性,并有极丰富的适应干旱缺水环境的途径。但荒漠植物多样化的适应方式,仍存在许多未解之谜。本文试图通过对东阿拉善与西鄂尔多斯荒漠植物水势研究,探索不同类型荒漠植物对水分的生态适应对策与机制。

东阿拉善和西鄂尔多斯荒漠位于全球最大的荒漠——亚非荒漠的东段,是我国乃至世界的一个独特荒漠区,为典型的夏雨型荒漠。本区地质历史古老,气候条件恶劣,环境严酷,是中国北方重要的沙尘源地之一。东阿拉善和西鄂尔多斯荒漠虽然环境严酷,但生境条件复杂多样,形成了肉质叶植物、旱生叶植物、革质叶植物及退化叶植物等多种生态类型,并由此产生了植物的多种适应途径,是研究生态适应的理想场所。因此,本文的研究工作,对促进生态适应性研究这一现代生态学热点学科的发展有所补益。

东阿拉善和西鄂尔多斯荒漠是中国 8 个生物多样性中心之一的南蒙古中心^[1]的核心区,也是中国北方(秦岭、淮河以北)仅有的 2 个生物多样性中心之一^[2]。也是亚洲大陆中部干旱荒漠区特有植物集中分布区之一,具有四合木(*Tetraena mongolica*)、绵刺(*Potania mongolica*)、沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)、长叶红砂(*Reaumuria trigyna*)等多种珍稀濒危植物及梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、霸王(*Zygophyllum xanthoxylon*)等古老植物,多为非常珍稀的第三纪古地中海干旱植物的后裔,因此,就该地区的荒漠植物的生态适应进行系统研究,对于揭示亚洲中部荒漠区植物与植被演化及环境演变都具有重要的意义,同时,对这些濒危保护植物也有重要作用。

近年来,随着社会经济的发展及资源的过渡开发与利用,东阿拉善、西鄂尔多斯地区生态环境恶化,植被退化严重,沙尘暴频发。通过研究该地区主要建群与优势植物对水分的生态适应机制以及不同类型的植物对水分需求量和依赖度,有助于深入认识荒漠草原生态系统的退化与恢复演替机理与过程,将为该地区植被保育、生态恢复与建设的实践提供重要理论基础。

2. 国内外研究进展

在荒漠生态系统当中，水分胁迫是限制荒漠植物生长的主要因子^[3]。当植物对水分的需求超过水分供应时，植物必须对有限的水分采取更有效的利用方式来减小水分胁迫，满足植物基本的生理代谢^[4]。植物对于干旱的耐受程度对荒漠生态系统的稳定具有极其重要的意义^[5]。荒漠植物为了适应其特定的生境条件，在长期的进化过程中形成了一套完备的耐旱机制，包括形态构造、水分生理生态特征、生理生化反应、光合器官及原生质结构特点等^[6]，其主要目的是减少蒸腾，保持水分^[7-8]。

旱生植物由于长期适应干旱环境，在形态结构上发生了一系列的适应性变化。国外学者在形态解剖学上的研究多见于 20 世纪 80 年代以前的报道。目前主要集中在对植物一些特化结构的研究上，如 Fahh 等^[9]研究了 12 种旱生植物叶毛状体的结构和功能，Sandquist 等^[10]研究了 *Encelia farinosa* 种间叶绒毛适应干旱的多样性。我国学者在这方面的研究起步较晚，主要反映在 80 年代以后，在荒漠植物叶或同化枝的形态解剖结构、旱生结构叶特征以及旱生植物的结构和功能的演化和分类方面开展了大量工作^[11]。近年来，主要集中于对不同生态型或亲缘植物形态结构的比较研究^[12-13]，认为随着生境旱化，植物的旱生结构特征得到加强。

2.1 水势研究进展

水分不仅是植物的重要组成部分，同时也是植物体内物质的溶剂和一些生理生化反应的原料^[14]，因此植物的水分特征是旱生植物抗逆性的一个重要组成部分。近 20 年来，对于植物水分特征的研究主要集中在植物水势、持水力、水分相对亏缺和束缚水含量等方面。一般认为，旱生植物具有束缚水含量较高，束缚水/自由水值高，持水力强和水势极低等特征^[15-20]。近年来，对植物水势研究的报道较多，认为植物的低水势是其适应干旱的一种重要形式^[15-16,21]，我国学者在旱生植物根系的分布方面做过一些工作^[18-19]，但对于其生理生态方面的研究却不多见。国内外许多学者对不同荒漠植物水分状况的研究都表明，抗旱性强的植物，一般具有水势低的特点，有利于吸收外界的水分^[22-24,15]。

2.2 蒸腾速率和气孔导度研究

对植物水分利用效率的研究表明，蒸腾和气孔导度是影响植物水分利用效率的主要因素，旱生植物一方面通过自身的低水势和强大根系从外界获取水分，一方面又能在干旱环境通过一定的机制来防止体内水分散失，因此，对于旱生植物蒸腾和气孔运动机制的研究受到普遍关注。Walter 等^[25]对旱生植物怪柳的蒸腾进行研究发现，在良好的水分条件下，蒸腾速率较

高,在中午出现峰值;而在水分亏缺时,植物的蒸腾曲线会出现两个峰值;邓雄等^[26]的报道与此类似。但董学军等^[27]对几种沙生植物的水分生理生态特征进行的研究却认为极适应干旱的植物如中间锦鸡儿(*Caragana intermedia*),其蒸腾曲线为单峰型,在水分亏缺条件下,气孔从中午一直关闭到傍晚。邓雄等^[28]对4种荒漠旱生植物的气体交换特征进行研究时发现,不仅不同植物种日蒸腾曲线不同,而且同种植物不同时期的蒸腾曲线也不一样。如怪柳9月蒸腾曲线为单峰,6和8月为双峰,这表明旱生植物在水分生理方面对干旱环境可能存在多种适应方式,蒸腾和气孔运动受到多种环境因子的影响。王根轩等^[29]研究胀果甘草(*Glycyrrhiza inflata*)叶片蒸腾日变化时发现,在相对湿度低于30%时,其气孔有振荡现象,由此认为荒漠植物要能在荒漠生存,除了能够耐受干旱以外,还必须能够耐受营养不良(饥饿),这样,一方面要发展出某种机制以减少水分的丧失,同时又需要维持高效能的光合作用,气孔振荡不仅能降低蒸腾、提高水分利用效率,而且可使光合速率几乎不受影响。所以,从生理机制方面进一步探讨气孔运动与蒸腾变化的关系可能是阐明植物生态适应的重要途径。植物组织含水量是反映植物水分状况的重要指标,组织含水量因植物种类、环境条件、年龄和器官组织的不同而有巨大差异^[30]。植物组织含水量的多少是其长期适应环境的产物,与蒸腾速率的大小没有关系或关系甚微^[31]。

2.3 荒漠植物生态适应研究

在荒漠植物的耐旱性方面,根据^[32]的观点,可以分为高水势下耐旱和低水势下耐旱两种,高水势下耐旱是指干旱环境中的植物,能通过增加吸水或减少失水的方式,来保持植物自身水势,以此推迟植物组织脱水过程的发生。低水势下耐旱是指植物要耐受脱水还需要在低水势下保持一定的膨压和正常的代谢功能,这就需要植物具备渗透调节、细胞体积变小和组织弹性的增加等功能。

环境因素和植物因素的共同作用决定着蒸腾速率的变化,它受光照、气温、相对湿度、土壤水分和气孔阻力等因子的综合控制,而各种气候因子都是通过影响驱动力对蒸腾起作用^[24]。根据植物蒸腾速率的日变化规律及叶片水分平衡的差异,旱生植物可划分为三种水分生态类型,即非蒸腾午休型、轻蒸腾午休型和强蒸腾午休型^[27]。植物以不同的方式适应干旱胁迫,少浆旱生植物以增强吸水来补偿高蒸腾耗水,多浆旱生植物以低蒸腾来降低水分的消耗^[33]。不同生态类型的植物发展了不同的抗旱模式,但是在漫长的干旱季节里,包括耗水型在内的所有荒漠植物都无一例外的降低蒸腾速率,使耗水减小到最低限度,同时尽可能加速吸水,来维持体内相对的水分平衡^[34]。

气孔导度的调节作用是有一定限度的，其作用与植物自身的生理特性有关，也受环境条件的影响，尤其是干旱环境条件^[35]。随着干旱程度的增加，气孔导度减小，光合速率下降。同时气孔阻力的增加也减少叶片水分散失，在一定程度上抑制水分亏缺的发展，减轻干旱胁迫对光合器官的伤害^[36]。

植物水分利用效率是植物抗旱特性的一个客观评价指标^[37]。一般以光合速率和蒸腾速率的比值来表示^[36]。植物水分利用效率与植物的抗旱性有关，但两者不是同一概念，抗旱植物的水分利用效率不一定高。但是适度水分胁迫能使植物水分利用效率显著提高^[38]，植物水分利用效率的提高，是以降低光合作用的同时通过更大程度地降低蒸腾作用而实现的^[39]。

蒸腾耗水是植物被动吸水的主要动力，它的存在对于水分的吸收，矿质营养的运输和植物自身体温的调节等方面有积极的意义。水势是反映叶片水分状况的一个指标，植物各个部分的水势差是植物体内水分移动的动力。在土壤植株交界面，植物与土壤的水势差使得植株从土壤中吸水。在植株大气交界面，叶水势与大气的水势差引起了植物蒸腾失水^[40]。通常土壤的水势>植物根的水势>茎木质部水势>叶片的水势>大气的水势，使根系吸收的水分可以源源不断地向地上部分输送。土壤的水势-植物的水势-大气降水的变化都对水分运移有着直接的影响。进而影响荒漠植物的水分协调机制。长期以来，人们通过各种途径致力于研究土壤与水、水与植物以及土壤、植物与水之间的相互关系，并取得较大进展^[41]。

为了降低蒸腾，适应干旱的环境，荒漠植物叶片一般具有：叶片变小、栅栏组织发达、角质层厚、叶面和气孔前室中质的沉积、气孔下陷等形态、结构特征^[30]。为了减少失水，荒漠植物的蒸腾器官普遍趋于缩小。旱生植物叶子往往非常退化，或只有基生叶，光合作用已部分或全部为幼小的绿色同化枝条所替代^[42]。为了适应干旱，叶子也表现出多种生态型，根据植物的叶质可将植物分为旱生叶植物、肉质叶植物、革质叶植物等类型。三种叶型在减少水分蒸发、吸收水分、储存水分的功能上各有不同，这对荒漠植物适应干旱机制具有重要的意义。总之，荒漠植物叶片在长期的进化过程中形成了一系列适应干旱胁迫的形态特点，采取了多种对策来适应环境。

3 主要科学问题

陆地生态系统中的水分条件是限制植物生长发育的关键因素之一，特别是在水分匮乏的荒漠区。在没有河流补给的荒漠地区，降水是植物生长的重要环境因子，很大程度上决定着地区的土壤水分状况。而水分的变化也影响植物水分代谢的各个生理、生态环节。土壤有效水分情况决定着植物群落的结构、功能以及用水策略。在荒漠地区，降水量有限而蒸发量巨

大, 长期的干旱使荒漠区植物在生理和形态上形成了一系列对水分匮乏的适应特性和调节能力, 但是, 荒漠区植物的生理活动仍然受到水分有效性的制约。分布区的水分状况、地域分布、土壤类型决定了可利用有效水份的不同, 并影响区域内的植物生理活动和适应策略。通过研究不同地域植物在生理生态方面表现的不同, 有利于揭示荒漠草原生态系统植物对水分的生理生态调节规律以及生态适应机制。因此, 本文试图回答如下科学问题:

1) 东阿拉善-西鄂尔多斯荒漠主要植物建群与优势植物蒸腾速率特征及其动态如何? 及影响蒸腾速率的主要因子是什么?

2) 东阿拉善-西鄂尔多斯荒漠主要植物建群与优势植物水势特征及其动态如何? 植物水势对水分的敏感性如何? 均为适应干旱环境的荒漠植物, 是否存在种间差异?

3) 肉质叶、旱生叶、革质叶等生态类型植物其蒸腾速率与水势特征与动态如何? 对水分的生态适应途径如何? 怎样通过植物水势与蒸腾速率的调节适应干旱环境?

第一章 研究区域与样地概况

1.1 研究区域位置

东阿拉善、西鄂尔多斯地区的地理范围大致是以贺兰山-阿尔巴斯山-狼山构成的三角核心区为中心，并包括其周边的阿拉善左旗、乌海市、鄂托克旗、磴口县、杭锦旗等地区。整个区域跨越荒漠化草原、草原化荒漠和荒漠几个植被地带。气候从干旱过渡到极端干旱，环境条件相对严酷。是内蒙古高原特有属和亚洲中部（中亚东部）植物特有属的分布中心^[43-44]。该区既是一个十分脆弱和敏感的生态地区，也是重要的濒危物种分布区之一，地理意义十分重要。

1.2 研究区域自然概括

1.2.1 地貌

该地区地形条件复杂，地貌类型多样。除波状起伏的砂质、砂砾质高平原以外，还有库布齐沙漠、乌兰布和沙漠、腾格里沙漠等三大沙漠以及狼山、桌子山、雅不赖山、龙首山和贺兰山西坡等干燥剥蚀山地。岗德尔山、桌子山在黄河与鄂尔多斯高原之间呈南北纵向排列，形成山谷相间的地貌格局^[45]。

1.2.2 气候特征

西鄂尔多斯-东阿拉善地区处于中纬度位置，受副热带高压带与西风带气候交替控制，属典型的温带大陆性季风气候，具有高原寒暑剧变、昼夜温差大的特点，春季降水少、蒸发量大、辐射强、多风沙天气，春旱突出；夏秋两季降水集中，日照长、温差大；冬季漫长寒冷，多寒潮天气。年平均气温 6.0~9.2℃，一月平均气温-9.7℃，七月平均气温 22~25.4℃，极端最高气温 39.4℃，极端最低气温-32.6℃，年较差 35.1℃。沙面最高温度可达 67℃，≥10℃有效积温达 3500℃以上，无霜期 128~177d。年平均降水 150mm 以下，年蒸发量高达 3000mm 以上，为降水量的 15~20 倍。年内降水分配不均匀，7、8 月份降水量最大，占全年降水量的 60%以上。干燥度达 4 以上。年平均相对湿度 43%，3~6 月极为干燥达 35% 以下。年平均风速为 3.2m/s，最大风速 24.2m/s，4~11 月以东南风为主，11~3 月以西北风为主，主风向偏西北。年平均沙暴 25.6 次。植物返青期在 4 月上、中旬枯草期在 11 月

5 日以后^[45]。

1.2.3 土壤

在气候条件的综合作用下，特别是水分条件的制约使得该地区土壤的成土作用微弱，土层浅薄、土质粗糙、养分贫瘠、腐殖质含量低等成为该地区土壤共有的特性。地带性土壤为棕钙土，非地带性土壤为风沙土、草甸土、盐碱土。该地区分布着范围较广的风沙土，主要为流动风沙土，土壤风化过程明显。棕钙土的剖面主要由粘沙土和卵石土或砾沙土等组成。粘沙土为棕黄色、厚 30-50cm 有少量植物根，腐殖质层不明显。下层为明显的钙积层，棕黄或白色，碳酸盐多呈子核状分散于粒间，结构力紧，PH 值 7.68~10。钙积层下一般为洪积的卵石、砾沙土。干沙层厚度一般平沙地为 10~20cm，沙丘顶为 20~30cm。表层 20cm 范围内的天然含水量变化较大，至 40cm 深左右，天然含水量比较稳定^[45]。

1.2.4 植被特征

西鄂尔多斯-东阿拉善在植物区系上属于泛北极植物区、亚洲荒漠植物亚区、中亚东部地区的西南内蒙古地区^[46]。该区地处草原向荒漠的过渡带上，因此，既有荒漠草原一些典型成份和特点，又有荒漠地区的一些代表类型，由于边缘效应及古地理等原因，这里生长着非常丰富的古地中海残遗植物、亚洲中部荒漠植物及本地区特有植物，如四合木群系、半日花群系、沙冬青群系、红砂群系、霸王柴群系、猪毛菜群系、短叶假木贼群系、驼绒藜群系等 17 个重要的荒漠群系。据初步统计在这里，共有高等植物 335 种，分属 65 科，188 属，其中，单种属 128 属，占总属数的 64.3%；特有种、残遗种和其它珍稀濒危植物 72 种，占总种数的 21.7%，珍稀植物成为本地区植被的主要建造者^[45]。

1.2.5 样地设置

本研究以水分梯度以及土壤类型设置上述五个样地。（表 1-1，图 1-1）。

其中巴拉贡样地、巴彦浩特样地、和屯池样地按水分热量梯度设定，而南寺样地与金三角样地的设定是由于它的土壤类型的不同。

表 1-1 样地位置

Tab.1-1 The position of the plots

| 样地 | 样地代 码 Plot | 纬度 (N) | 经度 (E) | 海拔 (m) | 研究物种 |
|------------|---------------|-----------|-----------|-----------|--|
| 巴拉贡 样地 | BYD | 40°08' | 107°09' | 1197 | 绵刺 (<i>Potaninia mongolica</i>)、红砂 (<i>Reaumria soongorica</i>)、长叶红砂 (<i>Reaumuria trigyna</i>)、四合木 (<i>Tetraena mongolica</i>)、霸王 (<i>Zygophyllum xanthoxylon</i>)、沙冬青 (<i>Ammopiptanthus mongolicus</i>) |
| 巴彦浩 特样地 | ZYD | 39°08' | 105°36' | 1385 | 霸王 (<i>Zygophyllum xanthoxylon</i>)、猫头刺 (<i>Oxytropis aciphylla</i>)、短脚锦鸡儿 (<i>Caragana brachypoda</i>) |
| 南寺样地 | NYD | 38°40' | 105°43' | 1707 | 红砂 (<i>Reaumria soongorica</i>)、珍珠 (<i>Salsola passerina</i>) |
| 和屯池 样地 | MYD | 39°33' | 105°24' | 1100 | 绵刺 (<i>Potaninia mongolica</i>)、霸王 (<i>Zygophyllum xanthoxylon</i>)、红砂 (<i>Reaumria soongorica</i>) |
| 金三角 样地 | SYD | 39°30' | 105°33' | 1088 | 梭梭 (<i>Haloxylon ammodendron</i>)、盐爪爪 (<i>Kalidium gracile</i>) |



图 1-1 样地位置

Fig.1-1 The position of the plots

1.2.6 样地概况

本研究以水分梯度以及土壤类型在大研究区内设置样地，共设置五个样地，分别位于草原化荒漠区以及典型荒漠区。样地概况如下。

1) 巴拉贡样地

该样地位于鄂尔多斯市巴拉贡镇东南部约 10km 处，取样点地理坐标为 40°08' N, 107°09' E, 海拔 1197 m。属于温带大陆性气候，年平均气温 7.7~8.3℃， $\geq 10^\circ\text{C}$ 的积温 2800~3200℃，年日照时数 3040~3300 h，无霜期 138~144 d，年平均降雨量 130~180 mm，降水条件对植物生长需水保证率低，在植被-气候区上属于草原化荒漠区。该区属黄河冲积平原，地势平坦。主要由黄河的阶地组成，地表为第四季冲积和风积物，且有少量碎石分布，侵蚀较严重。土壤从质地上看为沙壤土^[47]。植被为绵刺 (*Potaninia mongolica*) + 霸王 (*Zygophyllum xanthoxylum*) + 四合木 (*Tetraena mongolica*) 群落，伴生长叶红砂 (*Reaumuria trigyna*)、短脚锦鸡儿 (*Caragana brachypoda*)、沙冬青 (*Ammopiptanthus mongolicus*)、红砂 (*Reaumuria soongorica*)、驼绒藜 (*Ceratoides latens*) 等灌木，及沙生针茅 (*Stipa glareos*)、无芒隐子草 (*Cleistogenes songorica*)、蒙古葱 (*Allium mongolicum*) 等多年生草本植物。

2) 巴彦浩特样地

该样地位于阿左旗巴彦浩特镇西北部约 32 km 处，取样点地理坐标为 39°08' N, 105°36' E, 海拔 1385 m。为温带干旱荒漠气候，年均温 8℃ 左右，极端最低气温 -33.2℃，最高可达 38.6℃， $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温为 3200~3600℃。年均降水量 80~150 mm，主要集中在 7、8、9 三个月，占全年降水量的 59%~75%。年蒸发量 3000~3600mm， >7.8 级的大风日数达 47d^[48]。植被为霸王+短脚锦鸡儿群落，伴生红砂、猫头刺 (*Oxytropis aciphylla*)、驼绒藜等灌木和半灌木，及细叶鸢尾 (*Iris tenuifolia*)、蒙古葱、沙生针茅和无芒隐子草等多年生草本，形成草原化荒漠植被。

3) 南寺样地

该样地位于距巴彦浩特镇西南部约 30km 处，样地坐标为 38°40' N, 105°43' E, 海拔 1707m。典型的大陆性气候，干旱少雨，风大沙多，冬寒夏热，四季气候特征明显，昼夜温差大。年均气温摄氏 6~8.5℃。由于受东南季风影响，雨季多集中在 7、8、9 月份。建群种为珍珠 (*Salsola passerina*)、红砂。

4) 和屯池样地

该样地选在阿拉善左旗巴彦浩特镇西北部约 110km 处的绵刺典型荒漠地带，样地坐标为 39°33' N, 105°24' E, 海拔 1100m。年均温 7.7~8.8℃， $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 3200~3800℃，极端最高气温 39.5℃，极端最低气温 -32.6℃，而地面最高温度达 68.5℃。年平均日均温 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的日期为

177d, 无霜期平均 156d, 年平均降水量 60~150mm, 且大多集中在 6~8 月, 年均蒸发量 3000~4000mm。为降水量的 25 倍左右, 干燥度 4.05。冬季寒冷, 夏季酷热, 干旱少雨, 风大沙多, 热量丰富是本地区的主要气候特点。此区域为典型的温带干旱荒漠气候, 地貌上属于风蚀洼地, 土壤为覆沙的灰棕荒漠土。群落类型为绵刺半灌木荒漠, 建群植物为绵刺、霸王、红沙等, 其它植物主要为喜雨型的一年生小禾草。

5) 金三角样地

该样地选在阿拉善左旗西北部约 80km 处的金三角样地典型荒漠地带, 样地坐标为 39°30' N, 105°33' E, 海拔 1088m。无霜期 150~170d, 降水量 40~250mm, 年蒸发量 3000~4500mm, 干燥度在 4.0 以上, 平均风速 3.1m/s, 年大风日数 20~50d, 沙暴频繁^[49]。此区域为典型的荒漠气候。群落类型为梭梭灌木荒漠, 建群植物为梭梭 (*Haloxylon ammodendron*)、盐爪爪 (*Kalidium gracile*) 等。

第二章 研究方法 with 数据处理

具体实验方案如下：

2.1 水势的测定

本试验所用仪器为美国 Wescor 公司生产的 Psypro 型露点水势仪。其中植物水势的测定用仪器配套的 C-52 型样品室，土壤水势的测定用仪器配套的 PST (PCT) -55-SF 探头。

该仪器本质上是一个较精密的电位计，其工作原理为通过准确测定热电偶两 endpoint 因温度差异而产生的细微的电位变化来换算出样品的水势。操作测定时将叶片或组织汁液密闭在体积很小的样品室内，经一定时间后，样品室内的空气和植物样品将达到温度和水势的平衡状态。此时，气体的水势（以蒸气压表示）与叶片的水势（或组织汁液的渗透势）相等。因此，只要测出样品室内空气的蒸气压，便可得知植物组织的水势（或汁液的渗透势）。由于空气的蒸气压与其露点温度具有严格的定量关系，本仪器便通过测定样品室内空气的露点温度而得知其蒸气压。该仪器装有高分辨能力的热电偶，热电偶的一个结点便安装在样品室的上部。测量时，首先给热电偶施加反向电流，使样品室内的热电偶结点降温，当结点温度降至露点温度以下时，将有少量液态水凝结在结点表面，此时切断反向电流，并根据热电偶的输出电位记录结点温度变化。开始时，结点温度因热交换平衡而很快上升；随后，则因表面水分蒸发带走热量，而使其温度保持在露点温度，呈现短时间的稳衡状态；待结点表面水分蒸发完毕后，其温度将再次上升，直至恢复原来的温度平衡。记录下稳衡状态的温度，便可将其换算成待测样品的水势或渗透势。

2.1.1 植物水势的测定

在表 1-1 所示的各个样地中，测定样地相应的研究植物种。分别于 2007 年 5 月初、7 月初、8 月末、10 月初测定四期植物水势。测定的物种采取定株测定，即每种植物在每一期测定中均为同一株。

根据太阳出升时间，为了测定植物凌晨水势点，测定从早晨 4:30 开始，测量时取同方向新鲜成熟的植物叶片放入 C—52 样品室中，密封稳定 30 min，测定植物水势 Ψ_{30} ，每隔 5 min 测定一次 Ψ_{35} 、 Ψ_{40} ，由于样品室数量原因，做两个平行。每种植物用露点水势仪每隔两小时测量一次，一直到下午 18:30 结束，共八个点，获取植物水势在一天中的动态变化。样品

水势值:

$$\Psi=(\Psi_{30}+\Psi_{35}+\Psi_{40})/3$$

2.1.2 浇水后的植物水势测定

在 2007 年 7 月初这一期的测定中, 考虑此时的气候已经较为炎热, 在测定植物正常水势的同时人工模拟降雨, 进行浇水后植物的水势测定实验, 由于野外取水不便, 只在巴拉贡样地 (BYD) 和和屯池样地 (MYD) 进行浇水后植物水势测定实验。同一个样地第一天不浇水进行水势测定结束后, 于当晚 20:30-21:30 进行人工模拟降雨。为降低人工模拟降雨产生的边缘效应和降雨不均的影响, 以定株植物为中心, 每株植物周围划出 $1\times 1\text{m}^2$ 的方格 16 个, 这一范围内都要进行模拟降雨, 1m^2 洒水量为 8000 ml。在浇水过程中, 要求缓慢, 并将 $1\times 1\text{m}^2$ 的方格分两次进行浇水, 以尽量避免不均。然后于次日早 4:30 至晚 18:30 再次测定植物水势的日变化。

2.1.3 土壤水势的测定

于测定植物定株的附近同时测定土壤 10 cm、20 cm、30 cm、40 cm、50 cm、60 cm 深处的水势。在要测定土壤水势的区域一侧挖一 $50\text{cm}\times 50\text{cm}\times 70\text{cm}$ 坑, 尽量减少拟测水势区域土壤的扰动。为确保测定深度的准确, 尽可能将土壤剖面修平、直, 在所测定深度处用一与土壤探头粗细相当的铁钉, 水平插入土壤, 尽可能减少土壤结构的影响, 慢慢拔出铁钉, 将探头放入孔中, 一边下放一边用旁边同一深度土壤填埋, 尽可能将其它因素的影响降至最低。将土壤探头放好后, 将坑填埋、踏平。待土壤探头稳定一小时后, 开始测定。

2.2 植物蒸腾速率的测定

表 1 所示的各个样地中, 测定样地相应的研究植物种。分别于 2007 年 7 月初、8 月末测定两期植物蒸腾速率。测定从早晨 4:30 开始, 一直到下午 18:30 结束, 共八个点, 获取植物蒸腾速率在一天中的动态变化。

采用美国产 Li-1600 稳态气孔计测定正常生长的植物叶片的蒸腾速率, 同时测定气孔阻力、光量子密度、大气相对湿度、叶片温度、叶室温度等主要环境因子。选择测定叶片时选取相同方向的叶片。每个日进程测定完毕后, 将被测叶片取下, 室内烘箱烘干称重(65°C , 24h), 用于换算蒸腾速率, 本文蒸腾速率单位采用 $\mu\text{gH}_2\text{O}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 即单位干重叶片单位时间的蒸腾耗水量。测定三个重复。

2.3 土壤含水量的测定

在表 1-1 所示的各个样地中, 测定植物水势日动态的同时于每日下午 16: 00 测定土壤含水量。分别取 0-10cm、10-20cm、20-30cm、30-40cm、40-50cm、50-60cm 各层土壤。由于土质的关系, 无法用土钻取土。在定株植物附近挖一 50 cm×50 cm×70 cm 坑, 用标尺标定尺度后, 将表土刮去, 迅速均匀的将每层土放入铝盒中, 并马上称鲜重。称重后的铝盒固定好带回实验室烘干称干重 (105℃, 24h)。

2.4 植物叶片含水量、相对含水量与水分饱和亏的测定

在表 1 所示的各个样地中, 测定样地相应的研究植物种。于 2007 年 7 月初测定植物叶片含水量、相对含水量与水分饱和亏。测定从早晨 4:30 开始, 一直到下午 18:30 结束, 共八个点, 获取植物叶片水分参数在一天中的动态变化。测定时参照植物水势测定, 同一天同时测定相对的植物种。

剪取新鲜植物叶片后称鲜重, 之后将叶片浸入蒸馏水中, 置于阴凉处, 待其恒重后称饱和水重, 之后带回实验室, 烘干称干重 (65℃, 24h) [50]。

2.5 群落特征的测定

在表 1 所示的各个样地中, 用样方法测定群落地上生物量, 灌木样方于 2007 年 5 月初做一期测定, 分别记录每一植株高度、盖度。草本样方于 2007 年 5 月初、7 月初、8 月末、10 月初测定四期, 分别记录植株高度、株丛数和生物量 (65℃, 24h)。

2.6 数据统计与处理方法

在 Excel、Spss 统计软件下, 做基本的数据输入、计算与作图。利用 Origin 统计绘图软件, 对蒸腾速率进行拟合作图。

第三章 荒漠植物蒸腾速率及其动态变化

植物生长过程中，必须和周围的环境发生气体交换，在气体交换的同时，又会引起植物丢失大量水分。植物在长期进化中，对这种生理过程形成了一定的适应性，来调节蒸腾水量。但是另一方面蒸腾有重要的生理意义，它既是植物水分吸收和运输的主要动力，又帮助植物吸收营养物质，还可以降低叶片的温度，防止太阳的灼烧^[51]。在高温缺水的干旱荒漠地区，植物面临高温情况下需要加大蒸腾与水量有限需要抑制蒸腾这一矛盾。研究植物的蒸腾特征，对于了解植物生态适应有重要的意义。

本文分别于2007年7月初、8月末测定两期植物水势。测定从早晨4:30开始，一直到下午18:30结束，共八个点，获取植物蒸腾速率、气孔导度在一天中的动态变化。

3.1 荒漠植物蒸腾速率及其动态变化

3.1.1 蒸腾速率日动态

植物蒸腾速率具有一定的规律性，一般呈现单峰或双峰曲线。单峰曲线早晚蒸腾速率低，中午蒸腾速率高，双峰曲线中午气温高时会出现一个谷值。如图3-1。并且总体来说荒漠植物的蒸腾速率要低于草原植物。如王振杰^[52]的研究中7月份三种立地类型的差巴嘎蒿 (*Artemisia halodendron*) 的蒸腾速率日均值为 1477.06、1128.86、1703.88 $\mu\text{gH}_2\text{O}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 。而本文研究中，7月份巴拉贡样地每一种植物蒸腾速率日均值都不大于 900 $\mu\text{gH}_2\text{O}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (表3-1)。

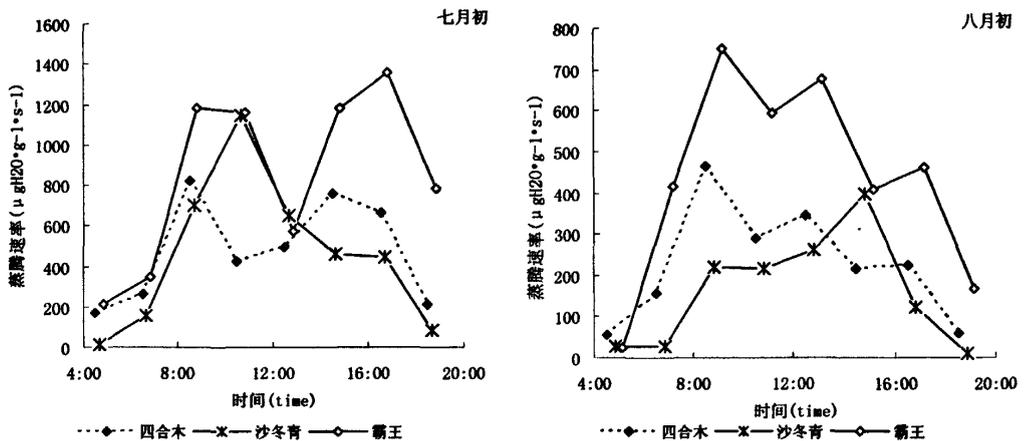


图 3-1 BYD-7、8 月份蒸腾速率日变化

Fig.3-1 Diurnal changes of transpiration rate in July and August

3.1.2 蒸腾速率种间差异与季节动态

位于草原化荒漠区的巴拉贡样地 (BYD), 六种植物的 7 月份蒸腾速率平均值大小依次为: 霸王) 绵刺) 四合木) 沙冬青) 长叶红砂) 红砂; 9 月初平均值为: 霸王) 长叶红砂) 四合木) 红砂) 沙冬青) 绵刺。六种植物最大值 7 月为: 霸王) 沙冬青) 绵刺) 四合木) 长叶红砂) 红砂; 9 月初为: 霸王) 长叶红砂) 四合木) 沙冬青) 红砂) 绵刺。六种植物最小值 7 月为: 四合木) 霸王) 红砂) 长叶红砂) 绵刺) 沙冬青; 9 月初为红砂) 四合木) 长叶红砂) 霸王) 绵刺) 沙冬青。其中, 2 次测定均霸王表现出较大的蒸腾速率。7 月红砂的日变化幅度最小为 $524.44 \mu \text{gH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 而霸王日变化幅度最大为 $1148.20 \mu \text{gH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$; 9 月初, 四合木的日变化幅度最小为 $272.62 \mu \text{gH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 而沙冬青日变化幅度最大为 $726.45 \mu \text{gH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ (表 3-1)。

位于贺兰山西麓的珍珠+红砂草原化荒漠群落中的南寺样地(NYD), 7、8 月两种植物蒸腾速率平均值、最大值和最小值均为: 红砂) 珍珠, 红砂比珍珠表现出较大的蒸腾速率。但日变化幅度 2 次测定结果不同, 7 月红砂日变化幅度为 $426.27 \mu \text{gH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 而珍珠日变化幅度为 $546.93 \mu \text{gH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 珍珠) 红砂; 8 月底, 红砂日变化幅度为 $253.71 \mu \text{gH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 而珍珠日变化幅度为 $198.19 \mu \text{gH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 红砂) 珍珠 (表 3-1)。

位于草原化荒漠西缘, 接近典型荒漠区的巴彦浩特样地(ZYD), 7 月初三种植物的蒸腾速率平均值为: 短脚锦鸡儿) 猫头刺) 霸王; 8 月底为猫头刺) 霸王) 驼绒藜 (短脚锦鸡儿因干旱而落叶)。最大值 7 月初为: 短脚锦鸡儿) 猫头刺) 霸王; 8 月底为驼绒藜) 猫头刺) 霸王; 最小值 7 月初为: 霸王) 短脚锦鸡儿) 猫头刺; 8 月底为: 霸王) 猫头刺) 驼绒藜。7 月初, 短脚锦鸡儿与猫头刺的日变化幅度比较接近, 分别为: $2575.48 \mu \text{gH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $2585.83 \mu \text{gH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 霸王则远小于二者, 为 $1525.37 \mu \text{gH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$; 8 月底, 驼绒藜日变化幅度最大为: $322.20 \mu \text{gH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 霸王则最小, 为 $156.24 \mu \text{gH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ (表 3-1)。

位于典型荒漠区的和屯池样地(MYD), 7 月份三种植物的蒸腾速率平均值、最大值、最小值均为: 霸王) 红砂) 绵刺; 其中霸王日变化幅度最大, 绵刺日变化幅度最小。8 月底雨前测定的两天中, 绵刺正处于落叶的假死状态, 所以没有测定绵刺。这一期中另两种植物的蒸腾速率平均值、最大值为: 霸王) 红砂; 最小值为: 红砂) 霸王 (表 3-1)。

位于典型荒漠区金三角样地(SYD), 两种植物 7、8 月份测定的蒸腾速率平均值、最大值、最小值均为: 梭梭) 盐爪爪。而日变化幅度也是梭梭) 盐爪爪 (表 3-1)。

表 3-1 7、8月蒸腾速率日均值变化

Tab.3-1 Diurnal average change of transpiration rate of each plot in July and August

| 样地 Plot | 物种 Species | 日期 Date | 平均值 Average | 最大值 Maximum | 出现时间 Apperance time | 最小值 Minimum | 出现时间 Apperance time | 日变化 Diurnal change |
|-----------------------|---------------|------------|----------------|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|--------------------------|
| 巴拉 贡样 地 BYD | 绵刺 | 2007-6-30 | 526.52 | 1023.28 | 8:30 | 36.30 | 4:30 | 986.97 |
| | | 2007-9-5 | 141.99 | 344.67 | 16:40 | 15.60 | 18:40 | 410.35 |
| | 长叶红砂 | 2007-6-30 | 412.13 | 741.52 | 14:40 | 82.09 | 4:40 | 659.43 |
| | | 2007-9-5 | 360.91 | 750.09 | 15:20 | 45.62 | 5:20 | 329.07 |
| | 红砂 | 2007-6-30 | 384.79 | 664.58 | 14:50 | 140.14 | 4:50 | 524.44 |
| | | 2007-9-5 | 198.40 | 358.60 | 9:00 | 85.98 | 5:00 | 386.35 |
| | 四合木 | 2007-7-1 | 476.61 | 820.07 | 8:30 | 214.57 | 18:30 | 605.51 |
| | | 2007-9-5 | 226.88 | 465.78 | 8:30 | 55.42 | 4:30 | 272.62 |
| | 沙冬青 | 2007-7-1 | 457.00 | 1147.69 | 10:40 | 12.77 | 4:40 | 1134.91 |
| | | 2007-9-5 | 161.24 | 397.88 | 14:50 | 11.53 | 18:50 | 726.45 |
| 霸王 | 2007-7-1 | 851.04 | 1361.32 | 16:50 | 213.11 | 4:50 | 1148.20 | |
| | 2007-9-5 | 437.65 | 750.52 | 9:10 | 24.07 | 5:10 | 704.47 | |
| 南寺 样地 NYD | 红砂 | 2007-7-6 | 424.55 | 594.38 | 10:30 | 168.10 | 6:30 | 426.27 |
| | | 2007-8-30 | 131.73 | 288.39 | 6:40 | 34.68 | 4:40 | 253.71 |
| 巴彦 浩特 样地 ZYD | 珍珠 | 2007-7-6 | 288.23 | 568.06 | 16:40 | 21.13 | 4:40 | 546.93 |
| | | 2007-8-30 | 102.26 | 239.80 | 14:30 | 41.61 | 6:30 | 198.19 |
| 霸王 | 2007-7-7 | 1356.86 | 2083.19 | 10:30 | 557.82 | 4:30 | 1525.37 | |
| | 2007-8-23 | 107.71 | 202.05 | 12:30 | 45.81 | 6:30 | 156.24 | |
| 猫头刺 | 2007-7-7 | 1513.65 | 2840.83 | 10:40 | 255.00 | 4:40 | 2585.83 | |
| | 2007-8-23 | 141.34 | 262.10 | 8:50 | 39.63 | 6:50 | 222.47 | |
| 短脚锦鸡 | 2007-7-7 | 1701.33 | 3013.45 | 12:50 | 437.97 | 4:50 | 2575.48 | |
| | 2007-8-23 | | | 因干旱而落叶 | | | | |
| 驼绒藜 | 2007-8-23 | 99.44 | 330.91 | 10:40 | 8.71 | 6:40 | 322.20 | |
| 和屯 池样 地 MYD | 绵刺 | 2007-7-8 | 230.40 | 495.53 | 12:30 | 43.30 | 4:30 | 452.24 |
| | | 2007-7-8 | 699.07 | 1605.98 | 12:40 | 68.61 | 4:40 | 1537.37 |
| 霸王 | 2007-8-24 | 227.23 | 390.94 | 10:30 | 35.85 | 6:30 | 355.09 | |
| | 2007-8-27 | 265.27 | 430.79 | 10:30 | 80.42 | 18:30 | 350.37 | |
| 红砂 | 2007-7-8 | 278.23 | 615.21 | 16:50 | 61.64 | 4:50 | 553.57 | |
| | 2007-8-24 | 216.69 | 264.30 | 6:40 | 116.75 | 18:40 | 147.55 | |
| 梭梭 | 2007-8-27 | 190.52 | 356.95 | 12:40 | 78.05 | 18:40 | 278.91 | |
| | 2007-7-10 | 395.59 | 640.83 | 10:30 | 172.41 | 6:30 | 468.42 | |
| 金三 角样 地 SYD | 盐爪爪 | 2007-8-31 | 253.84 | 635.86 | 12:30 | 230.44 | 10:30 | 405.42 |
| | | 2007-7-10 | 313.34 | 483.48 | 8:40 | 45.09 | 4:40 | 438.40 |
| | | 2007-8-31 | 185.17 | 471.85 | 8:40 | 33.22 | 18:40 | 438.63 |

由上可知，霸王的蒸腾速率总体最大而绵刺总体最小，其中，这四个样地的总体水分梯度为从东到西逐渐减小，这从一个方面反应了相对于其它植物，如红砂，绵刺在水分条件相对较好的地区保持较大的蒸腾，而在水分条件相对较小的地方又保持较小的蒸腾，以此来适应水分的变化。

从表 3-1 可以看出，7 月份各样地的蒸腾速率平均值要大于 8 月份蒸腾速率，同时 7 月份巴彦浩特样地(ZYD)的蒸腾速率远大于其它几个样地。另外巴拉贡样地(BYD)蒸腾速率值在 7、8 月份基本都是大于其它几个样地的。

从表 3-1 可以看出，7 月份的各样地的蒸腾速率平均值要大于 8 月份蒸腾速率，同时 7 月份巴彦浩特样地(ZYD)的蒸腾速率远大于其它几个样地。另外巴拉贡样地(BYD)蒸腾速率值在 7、8 月份基本都是大于其它几个样地的。通过对比 7、8 月份各样地各植物叶温的平均值（图 3-2）可以很容易看出，温度较高的样地其蒸腾速率也较高。

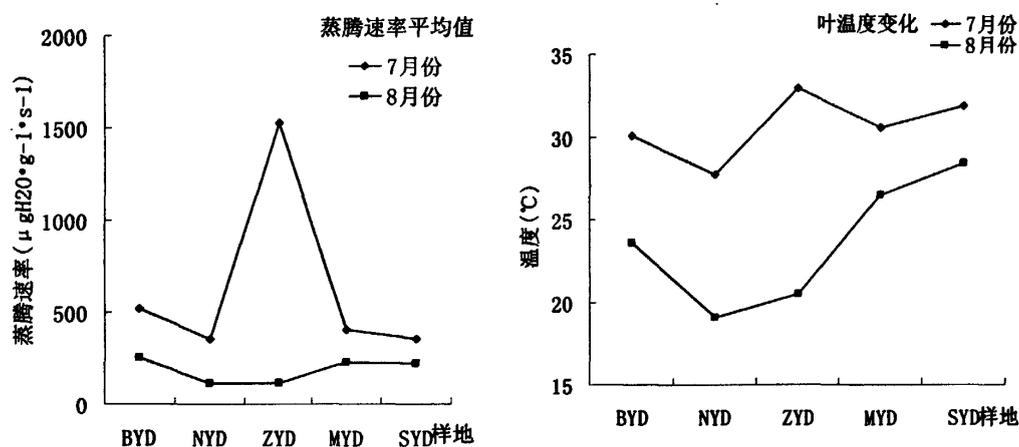


图 3-2 7、8 月份各样地植物蒸腾速率与叶温平均值

Fig.3-2 The average of transpiration rate and leaf temperature of each plot in July and August

3.1.3 浇水与自然降水前后蒸腾速率变化

本研究于 7 月份试验期间在巴拉贡样地(BYD)、和屯池样地(MYD)进行人工浇水，并对浇水前后进行测定。8 月份试验期间在和屯池样地(MYD)进行测定后恰巧遇到该样地自然降水，于是在降水后又进行了一天的雨后测定。测定结果如图 3-3，可以看出，在浇水和自然降水之后，各个样地各个时期其蒸腾速率都出现了极大的提高。

7 月份的两个样地同样为 8mm 模拟降水，但是巴拉贡样地蒸腾速率增加值大于和屯池样

地，一方面是因为两地的温度存在一定的不同，另一方面可能由于两样地的土壤类型不甚相同，和屯池样地是明显的沙土，其地表蒸发比较大。

对比和屯池样地 7、8 月份降水前后蒸腾速率变化（图 3-3）可以知道，8 月份降水前蒸腾速率比 7 月份明显较低，但降水后，蒸腾速率增长值 8 月份又显著高于 7 月份，这从一个方面说明，植物水分条件好时，荒漠植物的蒸腾速率会显著提高。同时各物种在浇水前后变化也很大。

7 月份巴拉贡样地绵刺浇水后蒸腾速率明显大于浇水前，长叶红砂浇水前后变化不大，其峰型与极值都相似，红砂浇水后极值增大，四合木、沙冬青以及霸王都由浇水前的双峰曲线变为浇水后的单峰曲线。7 月份和屯池样地绵刺浇水后最大值大于浇水前，霸王浇水后出现了蒸腾速率的降低。

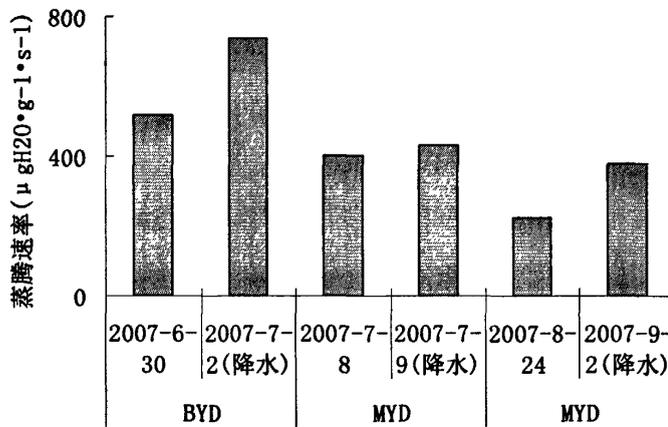


图 3-3 7 月份模拟降水、8 月份自然降水前后蒸腾速率平均值变化

Fig.3-3 The average changes of transpiration average rate before and after precipitation in July and August

综上所述，浇水或降水后植物蒸腾速率都有所增加，但是蒸腾速率的增加值和屯池样地小于巴拉贡样地。和屯池样地蒸腾速率增加值 8 月份大于 7 月份。水分增加植物的蒸腾速率都有所增加，且植物越干旱、水分增加程度越大，则植物蒸腾速率增加越大。

3.1.4 同种植物蒸腾速率的区域变化

霸王分别分布于巴拉贡样地、巴彦浩特样地与和屯池样地，7 月份在三个样地中不包括降水处理时，其平均值以及最大值最大的样地均为巴彦浩特样地。其中霸王在和屯池样地的值最小，甚至其降水后的平均值与最大值都小于其它几个样地（图 3-4）。

8 月份霸王在最西部得和屯池样地有较大的蒸腾速率，7 月份蒸腾速率最大的巴彦浩特样

地在 8 月份变为最小。并且整个 8 月份各样地的蒸腾速率的平均值与最大值都远小于 7 月份 (图 3-4)。

绵刺分布于巴拉贡样地和和屯池样地, 7 月份在两个样地中可以看出, 绵刺在巴拉贡样地的平均值与最大值均要大于和屯池样地, 降水处理后的趋势也是如此。并且同样的相当于 8mm 降水的浇水量引起的蒸腾速率变化, 显然巴拉贡样地要远远大于和屯池样地 (图 3-5)。

8 月份和屯池样地的绵刺处于假死状态, 在雨后不到一周的时间里长出新叶, 新长出的绵刺蒸腾速率明显大于巴拉贡样地的绵刺。但是 8 月份的绵刺蒸腾速率还是要远小于 7 月份 (图 3-5)。

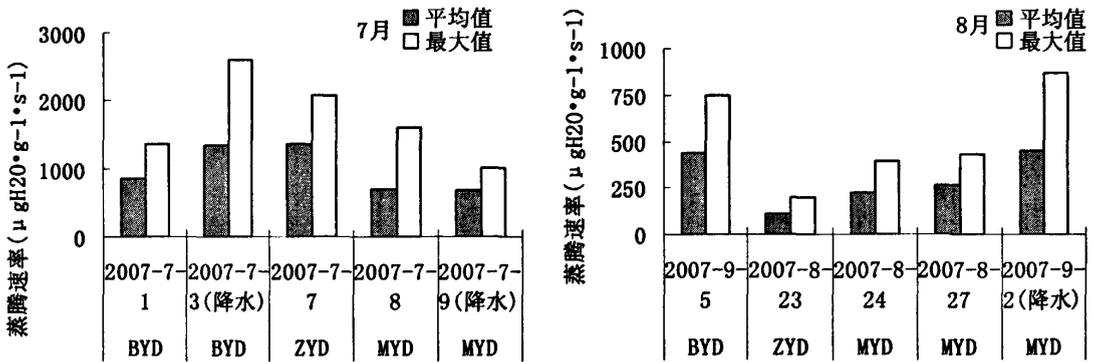


图 3-4 7、8 月份霸王各样地蒸腾速率平均值与最大值

Fig.3-4 Average and maximum transpiration rate of *Zygophyllum xanthoxylon* in each plot in July and August

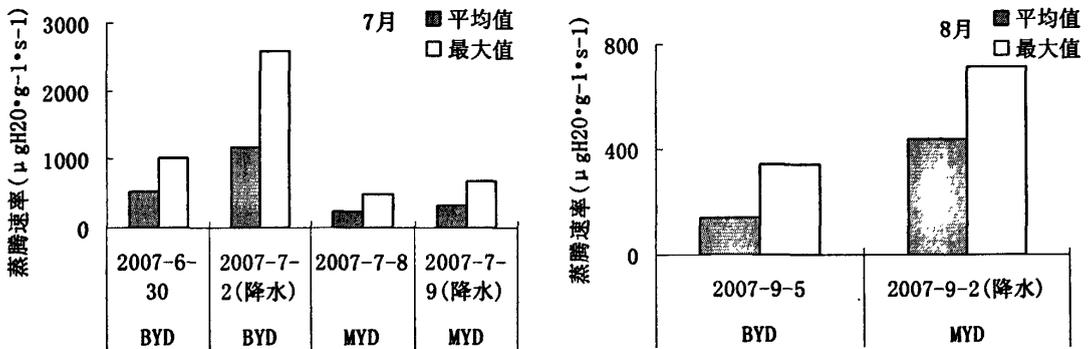


图 3-5 7、8 月份绵刺各样地蒸腾速率平均值与最大值

Fig.3-5 Average and maximum transpiration rate of *Potaninia mongolica* in each plot in July and August

红砂分布于巴拉贡样地、南寺样地以及和屯池样地, 红砂在三个样地不包括降水处理的情况下, 其蒸腾速率的均值与最大值基本随着三个样地从东到西的分布依次降低。从降水处

理的前后状态看，巴拉贡样地的变化要大于和屯池样地。但是红砂对降水的反应强度远不如绵刺与霸王。8月份红砂的蒸腾速率相对于7月份也有明显的降低，并且几个样地内的变化差异也比较小（图3-6）。蒸腾速率变化与气候因子关系很大，各个样地的差异比较大。

可见，同一荒漠植物蒸腾速率区域差异较明显，一般随水分梯度的递增而增加。

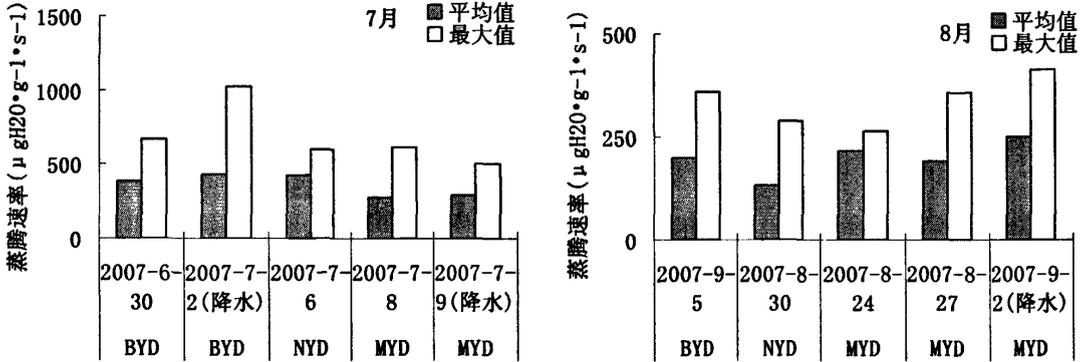


图 3-6 7、8 月份红砂各样地蒸腾速率平均值与最大值

Fig.3-6 Average and maximum transpiration rate of *Reaumria soongorica* in each plot in July and August

3.2 荒漠植物蒸腾速率拟合特征

植物蒸腾速率日变化呈现 Gauss 曲线或者双峰 Gauss 曲线，曲线符合方程：

$$y=y_0+(A_1/(w_1*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-x_{c1})/w_1)^2)+(A_2/(w_2*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-x_{c2})/w_2)^2)$$

其中：x，时间(min); y，瞬时蒸腾速率($\mu\text{gH}_2\text{O}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)；其它参数取值见表 3-2 与表 3-3。

方程中参数的生物学含义为：

y_0 表示蒸散速率无限趋近的最小值；

x_{c1} 表示蒸散速率最大值出现时的 x 的值；

x_{c2} 表示蒸散速率次大值出现时的 x 的值；

若 A_2 、 w_2 、 x_{c2} 均为零，表明曲线为单峰 Gauss 型，否则为双峰 Gauss 型。通常群落蒸散速率都大于零，7 月份巴拉贡样地模拟降水后的四合木、沙冬青、霸王，和屯池样地模拟降水前后的绵刺以及金三角样地的梭梭为单峰曲线，其它物种的蒸腾速率随时间的变化都呈双峰曲线。8 月份巴彦浩特样地的霸王，和屯池样地自然降水前的霸王与红砂呈现单峰曲线外，其它物种的蒸腾速率都呈现双峰曲线。分析发现大多数方程的 x_{c1} 介于 480-720 之间，而下 x_{c2} 介于 840-1020 之间，也就是说，植物蒸散速率两峰之间的低谷值多出现在中午 12 点到 14 点之间。

表 3-2 7 月份各物种蒸腾速率日变化拟合曲线方程参数
 Tab.3-2 The parameters of of transpiration rate equations in July

| 样地 Plot | 时间 Date | 物种 Species | y_0 | x_{c1} | w_1 | A_1 | x_{c2} | w_2 | A_2 | 曲线峰型 Peak model |
|-------------|------------|---------------|---------|----------|--------|-----------|----------|--------|-----------|--------------------|
| BYD | 2007-6-30 | 绵刺 | 0.00 | 462.19 | 74.88 | 199021.08 | 1085.50 | 532.36 | 559920.25 | 双峰 |
| | 2007-6-30 | 长叶红砂 | 118.08 | 550.88 | 159.51 | 104826.91 | 917.70 | 254.94 | 184222.90 | 双峰 |
| | 2007-6-30 | 红砂 | 195.85 | 653.19 | 144.69 | 45614.31 | 891.60 | 232.91 | 136204.10 | 双峰 |
| | 2007-7-1 | 四合木 | 147.09 | 523.13 | 142.04 | 121024.53 | 892.06 | 240.01 | 196671.67 | 双峰 |
| | 2007-7-1 | 沙冬青 | 0.00 | 632.57 | 228.91 | 328733.68 | 955.07 | 172.35 | 109301.31 | 双峰 |
| | 2007-7-1 | 霸王 | 224.20 | 586.09 | 158.26 | 245523.13 | 976.72 | 246.05 | 369417.05 | 双峰 |
| BYD (雨后) | 2007-7-2 | 绵刺 | 0.00 | 516.38 | 118.97 | 311587.78 | 800.42 | 372.09 | 816163.58 | 双峰 |
| | 2007-7-2 | 长红 | 81.57 | 926.81 | 153.38 | 158026.77 | 570.69 | 133.46 | 152783.57 | 双峰 |
| | 2007-7-2 | 红 | 155.36 | 684.22 | 141.83 | 186312.60 | 940.39 | 134.04 | 78764.32 | 双峰 |
| | 2007-7-3 | 四合木 | 185.93 | 868.39 | 320.56 | 383109.91 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 单峰 |
| | 2007-7-3 | 沙冬青 | 0.00 | 803.79 | 412.49 | 508400.38 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 单峰 |
| | 2007-7-3 | 霸王 | 103.56 | 833.30 | 437.34 | 1248534 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 单峰 |
| NYD | 2007-7-6 | 红砂 | -149.43 | 602.31 | 326.59 | 302610.30 | 1017.49 | 282.22 | 231342.59 | 双峰 |
| | 2007-7-6 | 珍珠 | 0.00 | 619.71 | 133.25 | 88447.43 | 956.99 | 240.99 | 183456.25 | 双峰 |
| ZYD | 2007-7-7 | 霸王 | 730.70 | 676.65 | 212.24 | 390794.57 | 985.03 | 164.55 | 211751.08 | 双峰 |
| | 2007-7-7 | 猫头刺 | 417.25 | 604.75 | 212.46 | 640584.52 | 960.96 | 153.69 | 412467.64 | 双峰 |
| | 2007-7-7 | 短脚锦鸡 | 471.11 | 492.03 | 78.89 | 263919.16 | 824.91 | 362.63 | 960451.13 | 双峰 |
| MYD | 2007-7-8 | 绵刺 | 89.57 | 726.21 | 257.83 | 135221.85 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 单峰 |
| | 2007-7-8 | 霸王 | 0.00 | 472.02 | 88.21 | 173588.83 | 758.96 | 254.85 | 611313.22 | 双峰 |
| | 2007-7-8 | 红砂 | -109.74 | 649.44 | 513.60 | 301942.38 | 1056.06 | 82.27 | 106054.22 | 双峰 |
| | 2007-7-9 | 绵刺 | 34.90 | 760.53 | 348.47 | 281298.98 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 单峰 |
| | 2007-7-9 | 霸王 | -231.59 | 693.95 | 561.02 | 808248.41 | 1114.34 | 178.51 | 167942.85 | 双峰 |
| | 2007-7-9 | 红砂 | -122.73 | 432.61 | 64.19 | 61995.41 | 899.07 | 868.85 | 659429.17 | 双峰 |
| SYD | 2007-7-10 | 梭梭 | 214.44 | 728.13 | 320.44 | 174165.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 单峰 |
| | 2007-7-10 | 盐爪爪 | 37.67 | 488.33 | 162.48 | 75181.05 | 826.23 | 367.32 | 194395.06 | 双峰 |

表 3-3 8 月份各物种蒸腾速率日变化拟合曲线方程参数
Tab.3-3 The parameters of of transpiration rate equations in August

| 样地 Plot | 时间 Date | 物种 Species | y0 | xcl | w1 | A1 | xc2 | w2 | A2 | 曲线峰型 Peak model |
|-------------|------------|---------------|---------|---------|--------|-----------|---------|---------|-------------|--------------------|
| BYD | 2007-9-5 | 四合木 | -187.46 | 471.83 | 51.13 | 42951.10 | 706.00 | 718.43 | 451458.00 | 双峰 |
| | 2007-9-5 | 绵刺 | 0.00 | 946.94 | 86.86 | 66430.72 | 647.21 | 545.80 | 87236.60 | 双峰 |
| | 2007-9-5 | 沙冬青 | 0.00 | 865.67 | 185.59 | 95666.13 | 581.49 | 165.09 | 55373.54 | 双峰 |
| | 2007-9-5 | 红砂 | -276.23 | 535.82 | 445.03 | 358362.85 | 1065.87 | 267.73 | 152298.89 | 双峰 |
| | 2007-9-5 | 霸王 | 0.00 | 525.24 | 173.20 | 93145.02 | 802.45 | 462.11 | 345301.44 | 双峰 |
| | 2007-9-5 | 长红 | 67.58 | 665.24 | 329.00 | 173518.30 | 950.03 | 146.17 | 108711.98 | 双峰 |
| NYD | 2007-8-30 | 红砂 | 75.89 | 439.76 | 48.42 | 49550.91 | 935.44 | 113.25 | 27933.09 | 双峰 |
| | 2007-8-30 | 珍珠 | 65.14 | 846.61 | 112.16 | 26628.58 | 114.89 | 150.58 | 113506.02 | 双峰 |
| ZYD | 2007-8-23 | 霸王 | 77.35 | 694.75 | 80.64 | 32218.85 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 单峰 |
| | 2007-8-23 | 猫头刺 | 39.14 | 831.57 | 174.11 | 35135.73 | 577.84 | 96.06 | 55366.48 | 双峰 |
| | 2007-8-23 | 驼绒藜 | 0.00 | 616.75 | 58.90 | 41836.26 | 5019.36 | 2395.14 | 70385862.84 | 双峰 |
| MYD | 2007-8-24 | 霸王 | 87.92 | 704.70 | 257.14 | 103715.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 单峰 |
| | 2007-8-24 | 红砂 | 116.52 | 161.70 | 282.21 | 204564.98 | 686.96 | 240.19 | 46168.58 | 双峰 |
| | 2007-8-27 | 霸王 | -94.94 | 701.17 | 568.00 | 379524.19 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 单峰 |
| | 2007-8-27 | 红砂 | 112.99 | 710.96 | 251.72 | 74437.67 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 单峰 |
| MYD (雨后) | 2007-9-2 | 绵刺 | 94.13 | 525.55 | 123.65 | 78731.01 | 871.47 | 437.17 | 276846.37 | 双峰 |
| | 2007-9-2 | 霸王 | 0.00 | 1025.07 | 120.73 | 130554.52 | 654.25 | 330.02 | 304513.35 | 双峰 |
| | 2007-9-2 | 红砂 | 61.93 | 702.62 | 243.64 | 116184.85 | 1049.04 | 197.24 | 67431.26 | 双峰 |
| SYD | 2007-8-31 | 梭梭 | 113.25 | 516.33 | 7.74 | 7725.49 | 759.96 | 145.29 | 120764.47 | 双峰 |
| | 2007-8-31 | 盐爪爪 | 60.10 | 550.22 | 162.94 | 89810.78 | 830.96 | 195.84 | 30261.93 | 双峰 |

3.3 小结与讨论

通过上述分析，本章得出如下结论：

1. 荒漠植物蒸腾速率一般要低于草原植物，呈现单峰或双峰曲线，单峰曲线早晚蒸腾速率低，中午蒸腾速率高，双峰曲线中午气温高时会出现一个谷值。

2. 荒漠植物的蒸腾速率种间存在一定的稳定性，但变幅较大。霸王的蒸腾速率一般较高，而绵刺一般较小，而梭梭与盐爪爪之间的差异也较稳定。

3. 温度较高的样地其蒸腾速率也较高, 7 月份的蒸腾速率平均值与极值均大于 8 月份, 并且 7 月份植物叶温明显高于 8 月份。

4. 浇水或降水后荒漠植物蒸腾速率都有所增加, 植物所处样地越干旱、水分增加程度越大, 则植物蒸腾速率增加越大。

5. 同一荒漠植物蒸腾速率区域差异较明显, 一般随水分梯度的递增而增加。

讨论:

1、对比浇水、自然降水前后的变化, 7 月份测定时浇水前巴拉贡样地大于和屯池样地, 浇水后同为 8mm 降水的情况下, 巴拉贡蒸腾速率的增加值大于和屯池样地蒸腾速率的增加值。但是, 和屯池样地 8 月份自然降水后的蒸腾速率增加值大于 7 月份浇水后的增加值, 这与自然降雨量有关。

2、各个物种在降水前后蒸腾速率的变化有所不同。7 月份巴拉贡样地, 四合木由浇水前的双峰曲线变为雨后的单峰曲线, 并且峰值有大幅度提高; 沙冬青浇水前后蒸腾速率增加值并不大, 但是峰值出现时间延后了四个小时; 霸王由浇水前的双峰曲线变为浇水后的单峰曲线, 蒸腾速率有大幅提高; 绵刺浇水前后蒸腾速率均为双峰曲线, 但是浇水后的蒸腾速率有大幅提高; 红砂、长叶红砂降水前后都是双峰曲线, 浇水后蒸腾速率有小幅度提高。7 月份和屯池样地霸王浇水前后蒸腾速率有所增加, 但是没有绵刺增加的幅度大。红砂浇水后出现峰值的时间有所提前。8 月份和屯池样地的三种植物蒸腾速率的增加值都大于 7 月份。

3、在测定中, 霸王、红砂、绵刺分布于多个样地。其变化各不相同。但是浇水后蒸腾速率有不同程度的提高是一定的。

4、从 7 月份蒸腾速率变化可以看出, 巴拉贡样地红砂、长叶红砂蒸腾速率最小且日变化幅度也很小, 很显然植物蒸发速率小有利于抵抗干旱。而与之相反的是霸王和绵刺蒸腾速率都很高, 这样的话他们就必然要通过其他的途径来抵御干旱, 如根系保持高效吸收水分, 或者通过其他的方式来逃避干旱。沙冬青日变化幅度仅次于霸王, 在这种高蒸腾下, 若叶片有很好的适应机制的话很容易由于失水而造成叶片受损, 沙东青为革质叶, 其发达的角质层为支撑叶片起到了重要的作用。南寺样地的红砂的蒸腾速率均值大于珍珠, 而变化幅度又小于珍珠, 并且其均值要大于巴拉贡样地的红砂, 巴彦浩特样地的霸王均值与变化幅度远小于其他两种植物, 同样的物种, 与不同样地植物作比较, 在巴拉贡样地, 霸王均值与变化幅度最大, 在巴彦浩特样地则要小于猫头刺和短脚锦鸡儿, 在和屯池样地, 霸王依然是蒸腾速率平均值与变化幅度最大的物种, 而绵刺与红砂相对比巴拉贡样地则相差不大。

5、到了 8 月份各样地蒸腾速率明显下降, 一方面随着时间的推移蒸发加大引起失水, 另

一方面,气温比7月份测定时有所降低。为了避免蒸腾失水引起的生理损坏,各植物都开始降低蒸腾。巴拉贡样地的霸王蒸腾速率还是最大,但是绵刺在本月则降为最小,这可能是因,肉质叶植物对水分以及环境因子的变化有一定的缓冲作用,但是绵刺的结构决定其对环境反应巨大,当环境不适应大量蒸腾时,它会迅速作出反应。而在和屯池样地的绵刺,初期测定时则因为不适宜的环境条件而出现假死状态,在遇到降水重新长叶时,发现其蒸腾速率迅速提高到7月份模拟降水后的水平。金三角样地植物的蒸腾速率平均值与变化幅度均为梭梭大于盐爪爪,这可能与两种植物的用水机制不同,梭梭属于深根系植物,可利用地下水,所以其蒸腾速率也比较大。

第四章 荒漠植物水势特征及其动态变化

植物水势是植物水分状况的反映，也是植物水分状况的基本度量，体现了植物体内水分的能量状态^[53]。植物水势也是植物水分胁迫的反映，通过叶水势的测定，可以掌握植物的缺水程度。荒漠植物是高度适应干旱环境的植物类群，通过测定其植物水势，可以了解荒漠植物水分利用特征及其对于干旱环境的适应。本章将对西鄂尔多斯—东阿拉善荒漠主要建群和优势种（11种）叶片水势特征及其动态变化进行分析。

4.1 荒漠植物水势的基本特征

4.1.1 荒漠植物叶片水势日变化

巴拉贡样地植物种类较丰富，同时含有四合木、霸王、红砂、沙冬青、绵刺、长叶红砂6种研究区的建群和优势植物，占整个研究区测定植物的55%，其它样地一般仅含2~3个种。因此用该样地植物进行荒漠植物水势基本特征分析，具有一定的代表性。

如图4-1，图4-2、图4-3与图4-4所示，该样地4个时期6种植物的水势日变化，均呈现出凌晨水势最高，随着时间的推移水势值不断降低，并且一般过正午后，随着太阳辐射的降低，叶水势又开始回升。植物叶片水势变化有一定的规律。一般来说，叶片经过一夜的吸水，日出前气温低，空气湿度大，这时叶水势最高，随着太阳辐射的增加，气温升高，空气湿度下降，蒸腾作用加快，叶水势开始下降，到光照强度最大时，气温最高，空气湿度最低，蒸腾作用最大，此时叶水势最低。当太阳辐射降低，温度下降，湿度上升，叶水势回升。由于根系吸水滞后于蒸腾失水，叶片气孔会减小或关闭，产生午睡现象。当太阳辐射降低，温度下降，湿度上升，叶水势回升。叶水势的这种日变化是由于植物蒸腾作用消耗水分的速率与根系供水能力的差异造成的，不同物种叶水势日变化不同同样是由于各自对水分的蒸腾消耗及根系供水能力不同造成的。

同时对比10月份巴拉贡样地土壤水势图（图4-5）可以看出，各层土壤水势，在一天中的变化非常小，完全不像10月份巴拉贡样地植物水势变化那样的幅度。从它们的不同步性可以知道，虽然土壤的供水能力会影响植物的生理现象，但这显然这是个长期的过程，影响的是植物生长发育的整个过程，是植物多年的生态适应性，不是一天之内就会带来巨大改变的。而植物叶片水势一天的动态变化更多的是对现实环境状态、特别是大气环境因子的反应，如

当天的太阳辐射、气温的变化。因为这些因素日变化剧烈，且直接作用于植物的叶片，所以，土壤水势日动态不与植物叶片水势的日动态变化相一致。

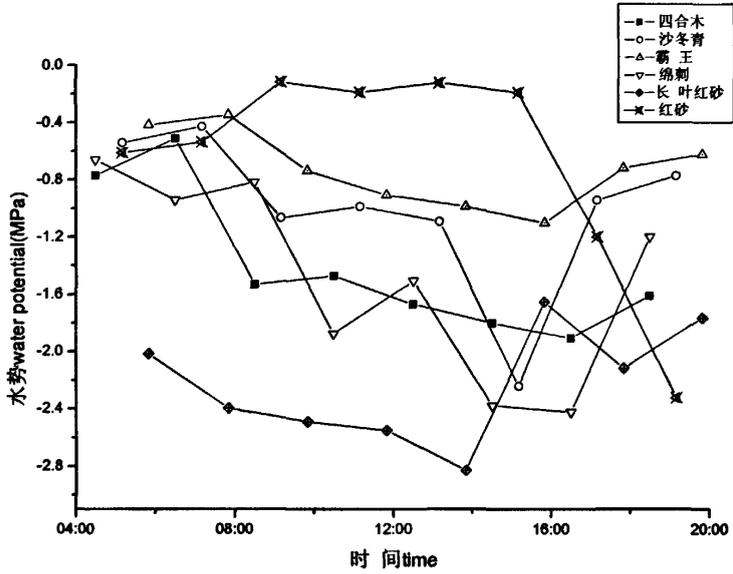


图 4-1 BYD-2007-05-06 水势日动态

Fig.4-1 Diurnal variation of water potential in BYD on 07-05-06

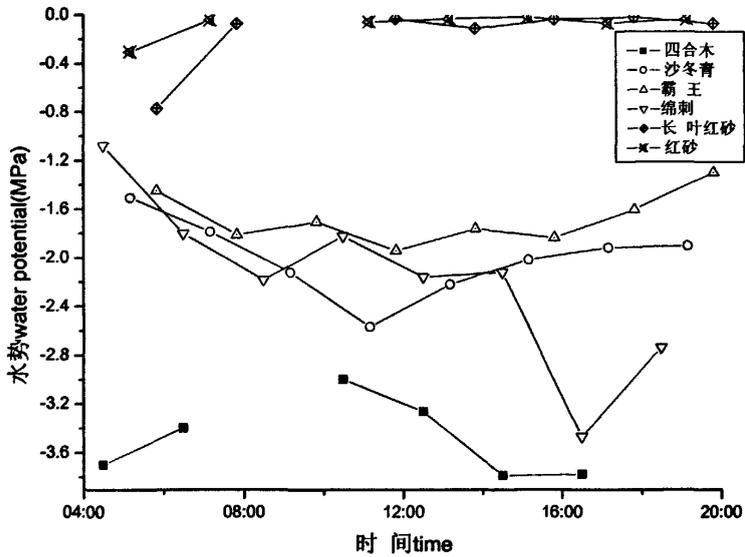


图 4-2 BYD-2007-07-01 水势日动态

Fig.4-2 Diurnal variation of water potential in BYD on 07-07-01

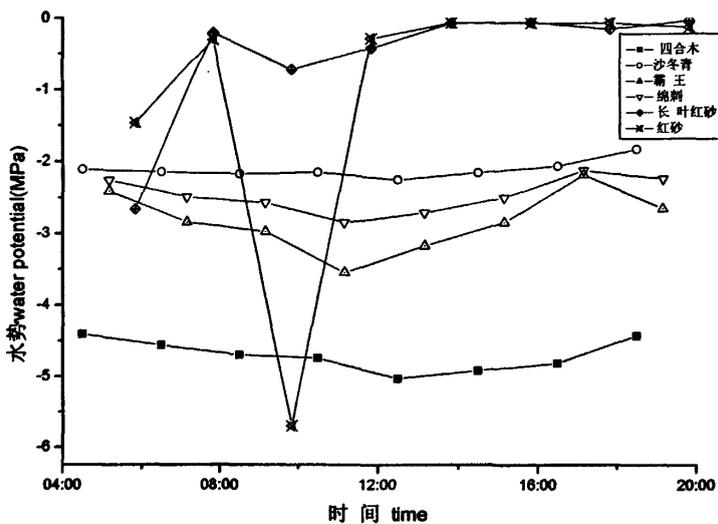


图 4-3 BYD-2007-09-05 水势日动态

Fig.4-3 Diurnal variation of water potential in BYD on 07-09-05

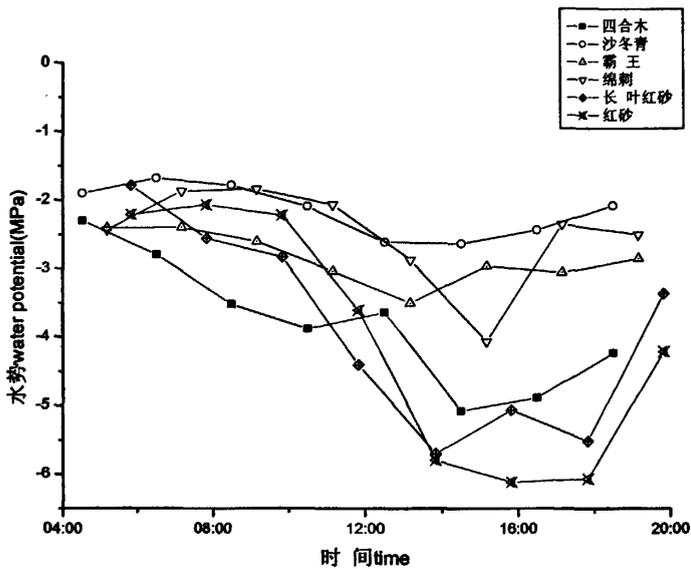


图 4-4 BYD-2007-10-01 水势日动态

Fig.4-4 Diurnal variation of water potential in BYD on 07-10-01

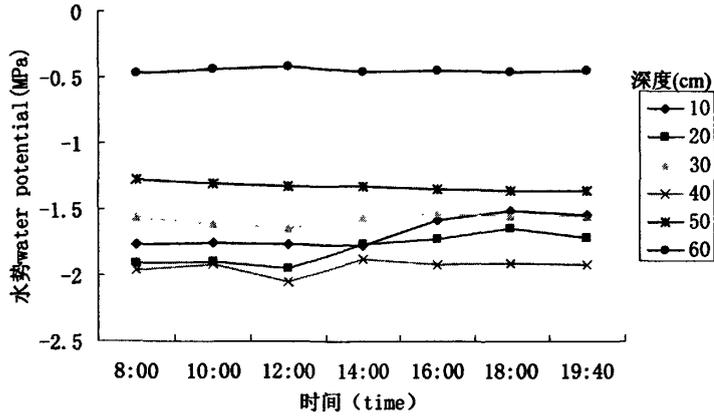


图 4-5 BYD-2007-10-01 土壤水势动态

Fig.4-5 Diurnal variation of soil water potential in BYD on 2007-10-01

4.1.2 荒漠与草原植物叶片水势比较

图 4-6 为 2006 年 8 月初，典型草原建群种大针茅和克氏针茅叶水势日变化。

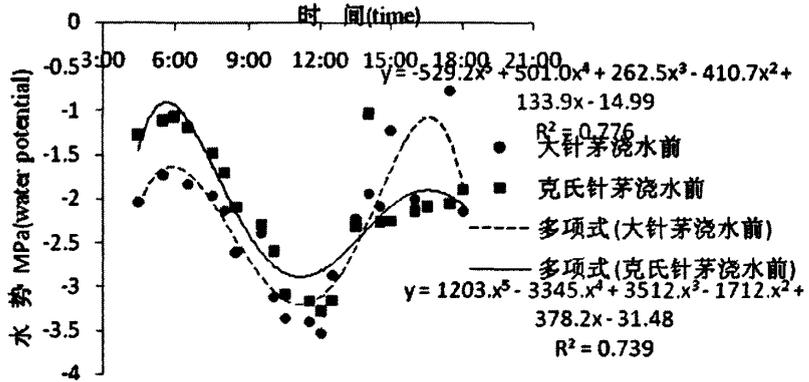


图 4-6 大针茅和克氏针茅叶水势日变化

Fig.4-6 Diurnal change of plant water potential of *Stipa grandis* and *Stipa krylovii*

从图中可以看出，草原建群种大针茅和克氏针茅与荒漠区植物水势趋势大致相同，均表现为早晚高，中午低。大针茅的叶水势的平均值为-2.31MPa，最低值为-3.53，出现在中午12点；最高值为-0.77，出现在下午5点半。克氏针茅叶水势平均值为-2.08MPa，最低值出现在中午12点，为-3.29MPa。最高值为-1.04MPa，出现在下午2点半。

对比荒漠与草原植物叶片水势日动态可以明显看出，荒漠区植物与草原区植物叶片水势

日动态趋势是一致的,均为早晚水势高,正午水势低。草原区植物水势测定时间约为8月末期,对比同期荒漠植物水势可以看出,草原区植物叶片水势高于荒漠区叶片水势。这是因为草原区土壤水分优于荒漠区土壤水分,并且显然荒漠区气温和干燥程度都要高于草原区。

4.2 荒漠植物叶片水势的种间差异

4.2.1 五月份各样地植物水势日变化(表4-1)

本期测定在4月30日~5月7日,这段时间本地区太阳日出时间约为6:00,日落时间约为19:48分,正午时刻为13:00左右。

表4-1 5月初植物水势平均值
Tab.4-1 The average change of water potential in May

| 样地 Plot | 日 期 Date | 物 种 Species | 平均值 (MPa) Average | 最大值 (MPa) Maximum | 出现时间 Apperance time | 最小值 (MPa) Minimum | 出现时间 Apperance time | 日变化 (MPa) Diurnal change |
|-----------------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| 巴拉 贡样 地 BYD | 2007 5-6 | 四合木 | -1.408 | -0.510 | 6:30 | -1.905 | 16:30 | 1.40 |
| | | 沙冬青 | -1.007 | -0.425 | 6:30 | -2.240 | 14:30 | 1.82 |
| | | 霸王 | -0.727 | -0.345 | 6:30 | -1.095 | 14:30 | 0.75 |
| | | 绵刺 | -1.473 | -0.660 | 4:30 | -2.420 | 16:30 | 1.76 |
| | | 长叶红砂 | -2.226 | -1.650 | 14:30 | -2.830 | 12:30 | 1.18 |
| | | 红砂 | -0.658 | -0.115 | 8:30 | -2.320 | 18:30 | 2.21 |
| 南寺 样地 NYD | 2007 4-30 | 珍珠 | -1.784 | -1.353 | 4:30 | -2.260 | 14:30 | 0.91 |
| | | 红砂 | -0.499 | -0.018 | 12:30 | -1.773 | 4:30 | 1.76 |
| 巴彦 浩特 样地 ZYD | 2007 5-2 | 霸王 | -0.593 | -0.438 | 12:30 | -0.783 | 4:30 | 0.35 |
| | | 猫头刺 | -0.466 | -0.313 | 18:30 | -0.530 | 4:30 | 0.22 |
| | | 短脚锦鸡 儿 | -0.855 | -0.518 | 18:30 | -1.108 | 8:30 | 0.59 |
| 绵刺 样地 MYD | 2007 5-3 | 绵刺 | -2.145 | -1.040 | 10:30 | -3.080 | 14:30 | 2.04 |
| | | 霸王 | -1.188 | -0.730 | 4:30 | -2.535 | 10:30 | 1.81 |
| | | 红砂 | -0.931 | -0.020 | 8:30 | -3.305 | 18:30 | 3.29 |
| 梭梭 样地 SYD | 2007 5-4 | 梭梭 | -1.338 | -0.850 | 8:30 | -1.745 | 14:30 | 0.90 |
| | | 盐爪爪 | -1.933 | -1.650 | 10:30 | -2.220 | 16:30 | 0.57 |

5 月份巴拉贡样地六种植物水势的平均值为：红砂)霸王)沙冬青)四合木)绵刺)长叶红砂，最小值为：霸王)四合木)沙冬青)红砂)绵刺)长叶红砂，日变化幅度为：红砂 (2.21 MPa)) 沙冬青 (1.82 MPa)) 绵刺 (1.76 MPa)) 四合木 (1.40 MPa)) 长叶红砂 (1.18 MPa)) 霸王 (0.75 MPa)。最大值出现时间多为早晨日出前，最小值出现时间多为 14: 30，为午后，符合植物水势通常的日变化趋势。

贺兰山西麓的南寺样地 (NYD) 两种植物水势的平均值、最小值、日变化幅度均为：红砂 (1.76 MPa)) 珍珠 (0.91 MPa)。珍珠最大值出现时间为 4: 30、最小值出现时间为 14: 30；红砂分别为 12: 30，4: 30，表现出与其它样地植物不同的趋势。

草原化荒漠西缘的巴彦浩特样地 (ZYD)，三种植物水势的平均值为：猫头刺)霸王)短脚锦鸡儿，最小值为：猫头刺)霸王)短脚锦鸡儿，日变化幅度为：短脚锦鸡儿 (0.59 MPa)) 霸王 (0.35 MPa)) 猫头刺 (0.22 MPa)，最大值霸王出现在 12: 30，其它 2 种植物出现在 18: 30；最小值出现在早晨。这与一般趋势水势日变化趋势相反，且变幅均较小。

典型荒漠区的和屯池样地 (MYD) 三种植物水势的平均值为：红砂)霸王)绵刺，最小值为：霸王)绵刺)红砂，日变化幅度为：红砂 (3.29 MPa)) 绵刺 (2.04 MPa)) 霸王 (1.81 MPa)。最大值多出现在早晨以及上午，最小值出现时间多为下午，符合植物水势通常的日变化趋势。与位于草原化荒漠区的巴拉贡样地红砂、霸王、绵刺水势变化趋势相同。

典型荒漠区的金三角样地 (SYD) 两种植物水势的平均值、最小值、变化幅度均为：梭梭 (0.90 MPa)) 盐爪爪 (0.57 MPa)。两种植物的最小值出现在上午，最大值出现在下午，基本符合植物水势通常的日变化趋势，但盐爪爪最大值出现时间较晚。

4.2.2 七月初水势日变化 (表 4-2)

本期测定在 6 月 30 日~7 月 10 日，这段时间本地区太阳日出时间约为 5: 00，日落时间约为 19: 30 分，正午时刻约为 12: 00。

7 月份巴拉贡样地六种植物的平均值分别为：红砂)长叶红砂)霸王)沙冬青)绵刺)四合木，最小值分别为：红砂)长叶红砂)霸王)沙冬青)绵刺)四合木，日变化幅度为：绵刺 (2.39 MPa)) 沙冬青 (1.06 MPa)) 四合木 (0.79 MPa)) 长叶红砂 (0.76 MPa)) 霸王 (0.65 MPa)) 红砂 (0.30 MPa)。除个别种外，趋势大致与 5 月份一致。最大值出现时间基本都为一早一晚，最小值多为 10: 30~14: 30。明显比 5 月份延后，这是由于太阳日出时间提前，正午时刻提前约一小时引起的。

南寺样地两种植物水势的平均值、最小值、日变化幅度均为：红砂 (4.28 MPa)) 珍珠

(1.17 MPa)。珍珠最大值出现时间为 4: 30、红砂为 18: 30, 珍珠最小值出现时间为 16: 30、红砂为 4: 30。趋势与 5 月初的测定相同。

表 4-2 7 月初植物水势平均值

Tab.4-2 The average change of water potential in July

| 样地 Plot | 日期 Date | 物种 Species | 平均值 (MPa) Average | 最大值 (MPa) Maximum | 出现时间 Apperance time | 最小值 (MPa) Minimum | 出现时间 Apperance time | 日变化 (MPa) Diurnal change |
|-----------------------|--------------|---------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| 巴拉 贡样 地 BYD | 2007 7-1 | 四合木 | -3.484 | -2.995 | 10:30 | -3.785 | 14:30 | 0.79 |
| | | 沙冬青 | -2.001 | -1.505 | 4:30 | -2.565 | 10:30 | 1.06 |
| | | 霸王 | -1.673 | -1.290 | 18:30 | -1.940 | 10:30 | 0.65 |
| | | 绵刺 | -2.168 | -1.075 | 4:30 | -3.465 | 16:30 | 2.39 |
| | | 长叶红砂 | -0.156 | -0.015 | 16:30 | -0.770 | 4:30 | 0.76 |
| | | 红砂 | -0.076 | -0.010 | 14:30 | -0.305 | 4:30 | 0.30 |
| 南寺 样地 NYD | 2007 7-6 | 珍珠 | -3.714 | -3.125 | 4:30 | -4.295 | 16:30 | 1.17 |
| | | 红砂 | -1.127 | -0.010 | 18:30 | -4.290 | 4:30 | 4.28 |
| 巴彦 浩特 样地 ZYD | 2007 7-7 | 霸王 | -1.813 | -0.875 | 18:30 | -2.210 | 12:30 | 1.34 |
| | | 猫头刺 | -1.138 | -0.830 | 4:30 | -1.350 | 10:30 | 0.52 |
| | | 短角锦鸡儿 | -1.464 | -1.230 | 4:30 | -1.825 | 12:30 | 0.60 |
| 绵刺 样地 MYD | 2007 7-8 | 绵刺 | -2.696 | -1.780 | 18:30 | -3.260 | 10:30 | 1.48 |
| | | 霸王 | -1.910 | -1.375 | 16:30 | -2.385 | 10:30 | 1.01 |
| | | 红砂 | -0.069 | -0.025 | 18:30 | -0.235 | 12:30 | 0.21 |
| 梭梭 样地 SYD | 2007 7-10 | 梭梭 | -2.963 | -2.790 | 6:30 | -3.325 | 4:30 | 0.54 |
| | | 盐爪爪 | -3.648 | -1.545 | 4:30 | -4.180 | 10:30 | 2.64 |

巴彦浩特样地三种植物水势的平均值为：猫头刺〉短脚锦鸡儿〉霸王，最小值为：猫头刺〉短脚锦鸡儿〉霸王，日变化幅度为：霸王（1.34 MPa）〉短脚锦鸡儿（0.60 MPa）〉猫头刺（0.52 MPa）。趋势与 5 月初的测定略有差异。

和屯池样地三种植物水势的平均值、最小值均为：红砂〉霸王〉绵刺，与 5 月趋势相同；日变化幅度为：绵刺（1.48 MPa）〉霸王（1.01 MPa）〉红砂（0.21 MPa），与 5 月趋势略有差异，与位于草原化荒漠区的巴拉贡样地红砂、霸王、绵刺水势变化趋势相同。

金三角样地两种植物水势的平均值、最小值均为：梭梭) 盐爪爪，变化幅度为盐爪爪 (2.64 MPa)) 梭梭 (0.54 MPa)。两种植物的最小值出现在凌晨，最大值出现在上午。趋势与 5 月相同。

4.2.3 八月末水势日变化 (表 4-3)

本期测定在 8 月 23 日~9 月 5 日，这段时间本地区太阳日出时间约为 6: 20，日落时间约为 19: 10 分，正午时刻约为 12: 30。

表 4-3 8 月末水势平均值
Tab.4-3 The average change of water potential in August

| 样地 Plot | 日期 Date | 物种 Species | 平均值 (MPa) Average | 最大值 (MPa) Maximum | 出现时间 Apperance time | 最小值 (MPa) Minimum | 出现时间 Apperance time | 日变化 (MPa) Diurnal change |
|----------------------|--------------|---------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| 巴拉 贡样 地 BYD | 2007 9-5 | 四合木 | -4.705 | -4.413 | 4:30 | -5.033 | 12:30 | 0.62 |
| | | 沙冬青 | -2.113 | -1.832 | 18:30 | -2.256 | 12:30 | 0.42 |
| | | 霸王 | -2.833 | -2.185 | 16:30 | -3.553 | 10:30 | 1.37 |
| | | 绵刺 | -2.473 | -2.125 | 16:30 | -2.855 | 10:30 | 0.73 |
| | | 红沙 | -1.013 | -0.065 | 16:30 | -5.705 | 8:30 | 5.64 |
| | | 长叶红沙 | -0.543 | -0.033 | 18:30 | -2.665 | 4:30 | 2.63 |
| 南寺 样地 NYD | 2007 8-30 | 珍珠 | -4.518 | -3.798 | 10:30 | -5.535 | 18:30 | 1.74 |
| | | 红沙 | -3.794 | -2.415 | 6:30 | -4.913 | 18:30 | 2.50 |
| 巴彦 浩特 ZYD | 2007 8-23 | 霸王 | -2.856 | -2.680 | 8:30 | -3.120 | 16:30 | 0.44 |
| | | 猫头刺 | -1.777 | -1.560 | 8:30 | -2.018 | 16:30 | 0.46 |
| 绵刺 样地 MYD | 2007 8-24 | 霸王 | -3.648 | -2.898 | 4:30 | -4.160 | 6:30 | 1.26 |
| | | 红沙 | -1.438 | -0.025 | 10:30 | -4.625 | 4:30 | 4.60 |
| 绵刺 样地 MYD | 2007 8-27 | 霸王 | -3.346 | -2.925 | 4:30 | -3.605 | 14:30 | 0.68 |
| | | 红沙 | -3.534 | -0.168 | 18:30 | -6.310 | 8:30 | 6.14 |
| 绵刺 样地 MYD | 2007 9-1 | 绵刺 | -1.131 | -0.648 | 4:30 | -1.623 | 12:30 | 0.98 |
| | | 红沙 | -3.985 | -2.950 | 10:30 | -4.855 | 6:30 | 1.91 |
| | | 霸王 | -2.517 | -2.210 | 6:30 | -2.743 | 12:30 | 0.53 |
| 梭梭 样地 SYD | 2007 8-31 | 梭梭 | -3.386 | -2.835 | 4:30 | -3.968 | 14:30 | 1.13 |
| | | 盐爪爪 | -5.644 | -4.880 | 4:30 | -6.168 | 12:30 | 1.29 |

8月份巴拉贡样地六种植物水势的平均值分别为：长叶红砂)红砂)沙冬青)绵刺)霸王)四合木，最小值分别为：沙冬青)长叶红砂)绵刺)霸王)四合木)红砂，日变化幅度为：红砂(5.64MPa))长叶红砂(2.63MPa))霸王(1.37MPa))绵刺(0.73MPa))四合木(0.62MPa))沙冬青(0.42MPa)，与5月、7月均有差异。最大值出现时间为日出和傍晚，最小值出现时间多为正午。

南寺样地两种植物的平均值、最小值、日变化幅度均为：红砂(2.50MPa))珍珠(1.74MPa)。珍珠最大值出现时间为10:30、红砂为6:30，珍珠最小值出现时间为16:30、红砂为4:30。趋势与5月初、7月的测定相同。

巴彦浩特样地三种植物水势的平均值为：猫头刺)霸王，最小值为：猫头刺)霸王，日变化幅度为：猫头刺(0.46MPa))霸王(0.44MPa)。短脚锦鸡儿因干旱而落叶，无法测定。猫头刺、霸王其趋势与5月和7月相同。

金三角样地两种植物水势的平均值、最小值均为：梭梭)盐爪爪，变化幅度为：盐爪爪(1.29MPa))梭梭(1.13MPa)。两种植物的最小值出现在凌晨，最大值出现在12:30—14:30。趋势与5月7月趋势相同。

4.2.4 十月初水势日变化(表4-4)

本期测定在10月1日~10月7日，这段时间本地区太阳日出时间约为6:48，日落时间约为18:34分，正午时刻约为12:40。

巴拉贡样地六种植物的平均值分别为：沙冬青)绵刺)霸王)四合木)长叶红砂)红砂，最小值分别为：沙冬青)霸王)绵刺)四合木)长叶红砂)红砂，日变化幅度为：红砂(4.05MPa))长叶红砂(3.91MPa))四合木(2.78MPa))绵刺(2.23MPa))霸王(1.11MPa))沙冬青(0.95MPa)，植物的最大值出现时间为早晚，最小值出现时间为12:30~14:30。除长叶红砂与红砂外，各指标趋势与8月基本相同。

南寺样地两种植物的平均值、最小值均为：红砂)珍珠，日变化幅度为：珍珠(1.54MPa))红砂(0.71MPa)。珍珠最大值出现时间为10:30、红砂为12:30，珍珠、红砂最小值出现时间为14:30。趋势与5月初、7月和8月相同。

巴彦浩特样地三种植物的平均值为：猫头刺)短脚锦鸡儿)霸王，趋势与7、8月相同；最小值为：霸王)猫头刺)短脚锦鸡儿，日变化幅度为：短脚锦鸡儿(1.10MPa))猫头刺(1.00MPa))霸王(0.73MPa)。与5、7、8月趋势相同。

和屯池样地2007年10月5日三个植物的平均值为：绵刺)霸王)红砂，最小值为：绵

刺)霸王)红砂,日变化幅度为:红砂(2.07MPa)绵刺(1.44MPa)霸王(0.92MPa)。最大值多基本出现在下午,最小值出现时间多为上午。各指标与5月、7月略有差别,与本月巴拉贡样地的红砂、霸王、绵刺水势变化趋势相同

金三角样地两种植物的平均值、最小值均为:梭梭)盐爪爪,变化幅度为:盐爪爪(1.33MPa)梭梭(1.08MPa)。两种植物的最大值出现在早晨,最小值出现在12:30-14:30。与其它月份趋势相同

表 4-4 10月初水势平均值
Tab. 4-4 The average change of water potential in October

| 样地 Plot | 日期 Date | 物种 Species | 平均值 (MPa) Average | 最大值 (MPa) Maximum | 出现时间 Apperance time | 最小值 (MPa) Minimum | 出现时间 Apperance time | 日变化 (MPa) Diurnal change |
|---------------|--------------|---------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| 巴拉贡样地 BYD | 2007 10-1 | 四合木 | -3.791 | -2.295 | 4:30 | -5.078 | 14:30 | 2.78 |
| | | 沙冬青 | -2.151 | -1.683 | 6:30 | -2.630 | 14:30 | 0.95 |
| | | 霸王 | -2.850 | -2.398 | 6:30 | -3.503 | 12:30 | 1.11 |
| | | 绵刺 | -2.498 | -1.835 | 6:30 | -4.063 | 14:30 | 2.23 |
| | | 红砂 | -4.036 | -2.068 | 6:30 | -6.118 | 14:30 | 4.05 |
| | | 长叶红砂 | -3.903 | -1.785 | 4:30 | -5.698 | 12:30 | 3.91 |
| 南寺样地 NYD | 2007 10-3 | 珍珠 | -5.357 | -4.750 | 10:30 | -6.285 | 14:30 | 1.54 |
| | | 红砂 | -2.418 | -2.130 | 12:30 | -2.840 | 14:30 | 0.71 |
| 巴彦浩特样地 ZYD | 2007 10-4 | 霸王 | -1.956 | -1.653 | 6:30 | -2.378 | 16:30 | 0.73 |
| | | 短脚锦鸡儿 | -1.838 | -1.420 | 18:30 | -2.515 | 14:30 | 1.10 |
| | | 猫头刺 | -1.813 | -1.413 | 6:30 | -2.413 | 16:30 | 1.00 |
| 绵刺样地 MYD | 2007 10-5 | 绵刺 | -1.248 | -0.800 | 16:30 | -2.238 | 10:30 | 1.44 |
| | | 红砂 | -3.182 | -2.353 | 16:30 | -4.423 | 10:30 | 2.07 |
| | | 霸王 | -1.962 | -1.483 | 10:30 | -2.400 | 12:30 | 0.92 |
| 绵刺样地 MYD | 2007-10-7 | 绵刺 | -1.317 | -1.048 | 6:30 | -1.625 | 14:30 | 0.58 |
| | | 红砂 | -3.760 | -0.223 | 16:30 | -6.513 | 12:30 | 6.29 |
| | | 霸王 | -2.356 | -1.985 | 18:30 | -2.718 | 14:30 | 0.73 |
| 梭梭样地 SYD | 2007 10-6 | 梭梭 | -3.075 | -2.420 | 6:30 | -3.495 | 12:30 | 1.08 |
| | | 盐爪爪 | -5.313 | -4.465 | 8:30 | -5.798 | 14:30 | 1.33 |

4.2.4 植物叶片水势种间差异的分析与讨论

由上面分析可知,荒漠植物水势变幅较大,既有较稳定种间差异,但有时一些种也表现出不确定性。

红砂、绵刺、霸王是位于草原化荒漠区的巴拉贡样地和位于典型荒漠区的和屯池样地共有种,在这2个样地其水势平均值,日变幅基本每个月份大小排序相同,同时,在同一样地不同月份间也基本相同,可见,这3个种植物水势的种间差异具有较高的稳定性,种间差异明显。金三角样地的两种植物,其水势平均值各月大小排序相同,为梭梭)盐爪爪;日变化幅度也相同,为盐爪爪)梭梭,表现出极高的种间差异。猫头刺与短脚锦鸡儿也类似,也有较明显的种间差异。

但是,一些植物水势种间差异往往不稳定,主要表现在同一样地的植物在不同季节其水势各项指标排序不一致。这可能与荒漠区降水节律变幅较大,植物对水分的反应不同,且植物水势受测定时的环境条件,影响较有关,一些物种的特殊性质也影响水势的稳定性。

如巴彦浩特样地5月份测定的当天遇到了特大的沙尘暴,并遇到少量降雨。这种异常天气会引起植物叶片气孔的关闭,影响植物的气体交换,因此三个物种最低值最高值出现了异常甚至相反的趋势变化。日变化幅度都很小,这是因为测定日的异常使得气温没有大的变化,在不是很缺水的5月份,叶片的水势日变化不会很大。

红砂与长叶红砂它们属于泌盐植物,当太阳出升后,温度开始升高,叶片往往析出盐粒,导致仪器测定的植物水势非常高,这可能是由于,叶表盐粒堵塞气孔降低蒸腾,所以表现出较高的、或者非正常的水势值。但是在测定中遇到气温低或自然降水后通过对叶片的洗刷与降温,红砂、长叶红砂会推迟泌出盐粒,水势异常值的出现会推迟。如10月份的测定中,由于植物没有析出盐粒,红砂与长叶红砂表现出较低的水势值与较大的变化幅度。7月份红砂与长叶红砂的变化幅度变小,这是因为太阳升起时间较早,从测定开始红砂与长叶红砂就开始析出盐粒,表现出异常值。

金三角样地中,梭梭的日变化幅度与季节变化幅度都小于盐爪爪。同时梭梭的水势值还大于盐爪爪,在许皓^[54]等的研究中知道,梭梭是高大灌木,其根系属于深根系存在利用地下水的情况,所以梭梭有较大的蒸腾速率以及较高的水势。

4.3 荒漠植物水势的季节动态

4.3.1 巴拉贡样地

从图 4-7 中可以看出,四合木 5 月份水势明显高于其它月份,并且在 8:30 之后水势值开始降低。从 7 月份开始,水势值开始降低,并且都明显低于 5 月份。8 月份霸王的水势值达到最低。但 10 月份水势值高于 8 月份。霸王在四期测定中的平均值分别为: -1.408 MP、-3.484 MP、-4.705 MP、-3.791 MP。季节变化幅度为: 3.297MP。

从图 4-8 可以看出,沙冬青 5 月份水势明显高于其它月份,但是随后的 7、8、10 月份水势相差不大。沙冬青在四期测定中的平均值分别为: -1.007 MP、-2.001 MP、-2.113 MP、-2.151 MP。季节变化幅度为: 1.144MP。

巴拉贡样地的霸王在季节动态中(图 4-9),其 5 月份表现出较大的水势值,明显高于其它月份。并且在 14:30 出现最小值。7 月份水势值均低于 5 月份但是高于 8、10 月份。8 月份与 10 月份水势值相差不大,但是最低值出现时间由 8 月份的 10:30,推迟到 10 月份的 12:30。霸王在四期测定中的平均值分别为: -0.727 MP、-1.673 MP、-2.833 MP、-2.850 MP。季节变化幅度为: 2.123MP。

绵刺在四期测定中水势值表现不同于上述三种植物(图 4-10),虽然绵刺水势平均值随月份得增加而降低,但是其各个月份间没有明显的分界线,四期水势值相互交叉重合。相对而言,绵刺 5 月份水势值相对较大,但在中午以后与其它月份水势有交叉。绵刺在四期测定中水势平均值分别为: -1.473 MP、-2.168 MP、-2.473 MP、-2.498 MP。季节动态变化幅度为: 1.025MP。

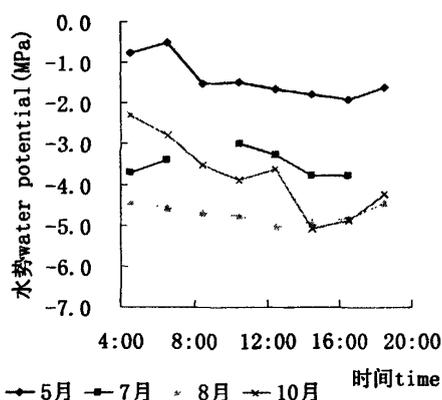


图 4-7 BYD-四合木水势季节动态

Fig.4-7 Diurnal change of plant water potential in different months of *Tetraena mongolica* in BYD

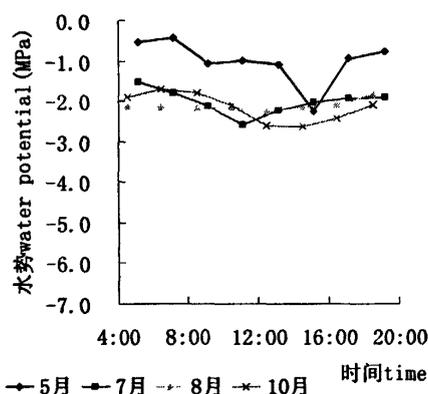


图 4-8 BYD-沙冬青水势季节动态

Fig.4-8 Diurnal change of plant water potential in different months of *Potaninia mongolica* in BYD

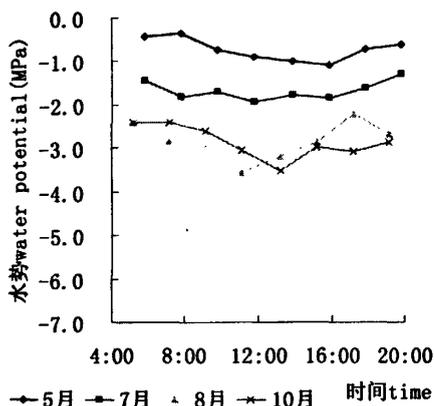


图 4-9 BYD 霸王不同月份水势日变化
Fig.4-9 Diurnal change of plant water potential in different months of *Zygophyllum xanthoxylon* in BYD

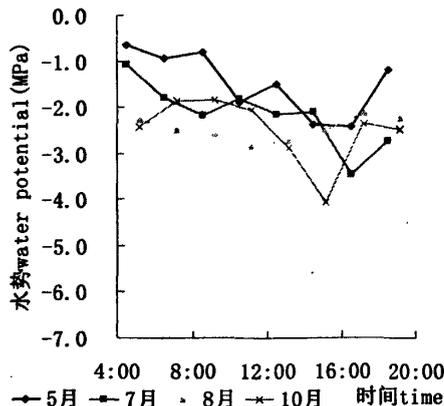


图 4-10 绵刺不同月份水势日变化
Fig.4-10 Diurnal change of plant water potential in different months of *Potaninia mongolica* in BYD

红砂 (图 4-11) 与长叶红砂 (图 4-12) 在测定中总体表现出异常, 在实验中有所发现。红砂和长叶红砂属于泌盐植物, 当太阳出升后, 温度开始升高, 红砂会迅速在叶片上析出盐粒, 所以日出后测定的水势值明显偏高, 表现出异常。但是在实验中遇到自然降水后通过对叶片的洗刷与降温, 红砂会推迟泌出盐粒, 水势值会推迟表现异常。

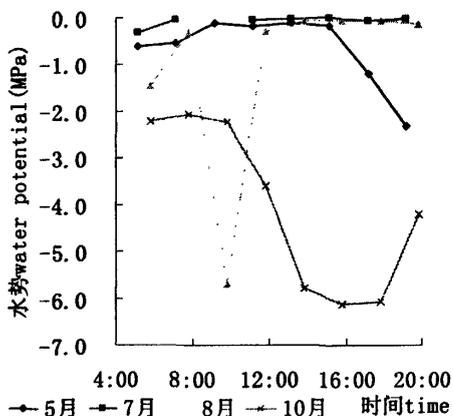


图 4-11 BYD 红砂不同月份水势日变化
Fig.4-11 Diurnal change of plant water potential in different months of *Reaumria soongorica* in BYD

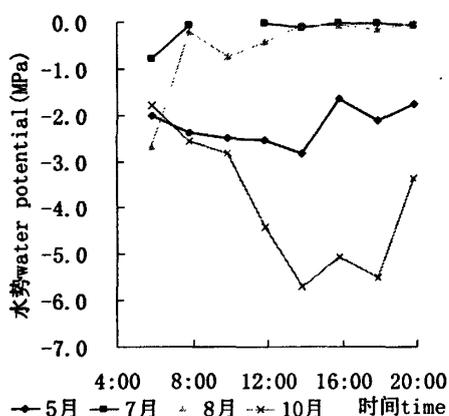


图 4-12 BYD 长叶红砂不同月份水势日变化
Fig.4-12 Diurnal change of plant water potential in different months of *Reaumria trigyna* in BYD

通过巴拉贡样地红砂的水势季节动态值可以知道, 5、7 月份红砂水势基本在 0 附近。8 月份红砂 4: 30 有相对低的值, 这可能是由于太阳出升时间推后, 其尚未析出盐粒所致。10

月份测定前有雨，测定时通过观察发现，红砂一天都没有析出盐粒，在该期测定中，红砂表现出相当低的水势值，并且其最低值出现时间在 14:30，最低值为-6.118。红砂四期测定的平均值分别为：-0.658MP、-0.076MP、-1.013MP、-4.036MP。季节动态变化幅度为：3.96MP。

4.3.2 南寺样地

南寺样地共测定两种植物，分别为珍珠和红砂。

从图中（图 4-13）可以看出，珍珠在四期测定中随着月份的增加水势值逐渐降低。5 月份水势均为最高并在 12:30 出现最低值。7 月份开始随着气温的升高植物叶片水势开始降低，并且最低值出现的时间开始向后延迟。珍珠叶片水势四期测定的日均值分别为：-1.748 MP、-3.714 MP、-4.518 MP、-5.357 MP。季节动态幅度为：3.609MP。

南寺样地红砂（图 4-14）在每个月份的凌晨点都有一个正常值，但随着时间的推移 5、7 月份出现异常。9 月份的植物水势值要低于 10 月份的植物水势值。其四期测定的平均值分别为：-0.499MP、-1.127MP、-3.794MP、-2.418MP。季节动态变化幅度为：1.919MP。

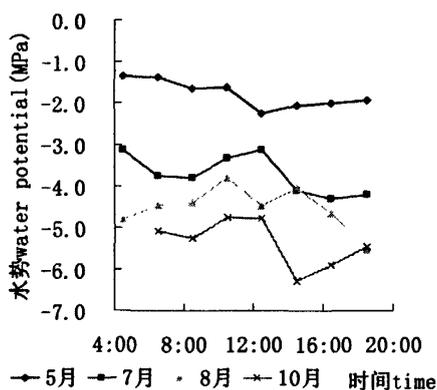


图 4-13 NYD 珍珠不同月份水势日变化

Fig.4-13 Diurnal change of plant water potential in different months of *Salsola passerina* in NYD

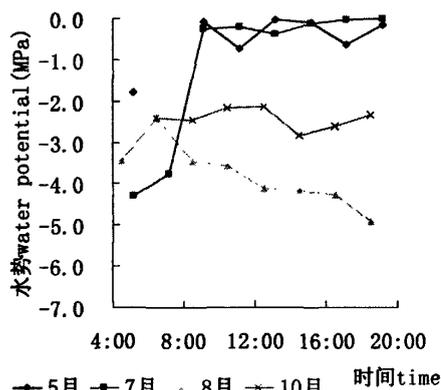


图 4-14 NYD 红砂不同月份水势日变化

Fig.4-14 Diurnal change of plant water potential in different months of *Reaumria soongorica* in NYD

4.3.3 巴彦浩特样地

巴彦浩特样地共测定三种植物，分别是霸王、猫头刺、短脚锦鸡儿。

巴彦浩特样地的霸王 5 月份水势值最高，随着月份的推移水势逐渐降低，到 10 月份后水势开始升高，并达到与 7 月份相似的水平。霸王四期测定中的日动态平均值分别为：-0.593MP、-1.813MP、-2.856MP、-1.956MP。季节动态变化幅度为：2.263MP（图 4-15）。

猫头刺 5 月份水势值最高，并且基本没有什么起伏变化。7、8 月水势依次变小，10 月份水势值有所回升。猫头刺四期测定中的日动态平均值分别为：-0.466MP、-1.138MP、-1.777MP、-1.813MP。季节动态变化幅度为：1.347MP（图 4-16）。

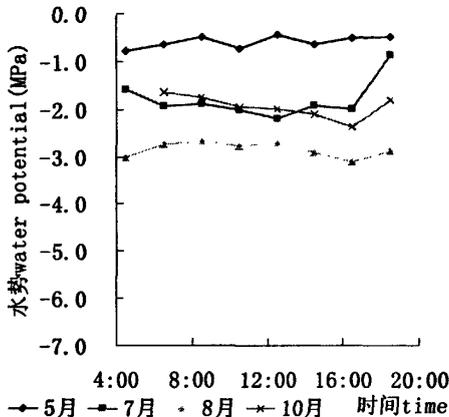


图 4-15 ZYD 霸王不同月份水势日变化

Fig.4-15 Diurnal change of plant water potential in different months of *Zygophyllum xanthoxylon* in ZYD

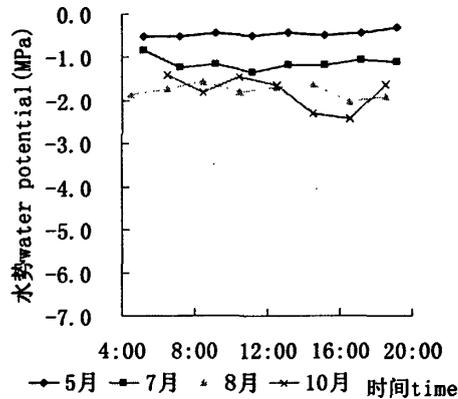


图 4-16 ZYD 猫头刺不同月份水势日变化

Fig.4-16 Diurnal change of plant water potential in different months of *Oxytropis aciphylla* in ZYD

短脚锦鸡儿随着月份的推移水势值逐渐降低。其最小值出现的时间也在逐渐推迟。短脚锦鸡儿四期测定中的日动态平均值分别为：-0.855MP、-1.464MP、-1.838MP。季节动态变化幅度为：0.983MP（图 4-17）。

4.3.4 和屯池样地

和屯池样地测定了三种植物，分别是绵刺、霸王、红砂。8 月份在测定时遇到绵刺假死，所以没有绵刺雨前的水势值。绵刺 10 月份水势偏高，最低值出现在 10: 30。5 月份水势值高于 7 月份水势值。绵刺在三期测定中的日平均值分别为：-2.145MP、-2.696MP、-1.248MP。季节动态变化幅度为：1.448MP（图 4-18）。

霸王 5 月份水势值相对较高，随着月份的增加水势值降低，但是 10 月份的水势值又开始回升，高于 8 月份水势值。霸王在四期测定中的日平均值分别为：-1.188MP、-1.910MP、-3.648MP、-1.962MP。季节动态变化幅度为：2.46MP（图 4-19）。

红砂 5 月份水势值上午的水势值都接近 0，12: 30 开始水势值开始降低。7 月份水势值一天都接近 0。8 月份水势值 10: 30 之前水势值都接近正常，且其凌晨点水势值最低，为-4.625MP，此后开始逐渐上升，到 10: 30 后开始接近 0。10 月份，通过观察发现由于温度不高，红砂叶

片一天之中都没有析出盐粒，该日测定的水势值如图（图 4-20），在 6: 30、8: 30 两个测定点，红砂的值都相对较高，10: 30、12: 30 两个点，红砂的水势值明显降低，并在其后逐渐上升。红砂在四期测定中的日平均值分别为：-0.931MP、-0.069 MP、-1.438 MP、-3.182 MP。季节动态变化幅度为：3.113MP。

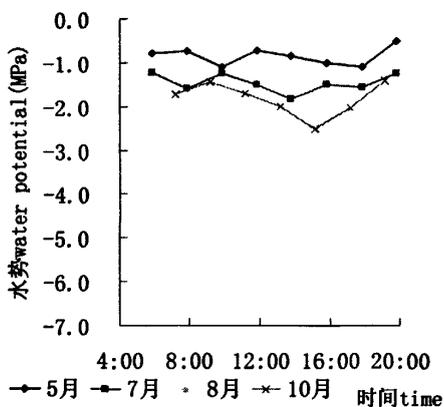


图 4-17 ZYD 短脚锦鸡不同月份水势日变化

Fig.4-17 Diurnal change of plant water potential in different months of *Caragana brachypoda* in ZYD

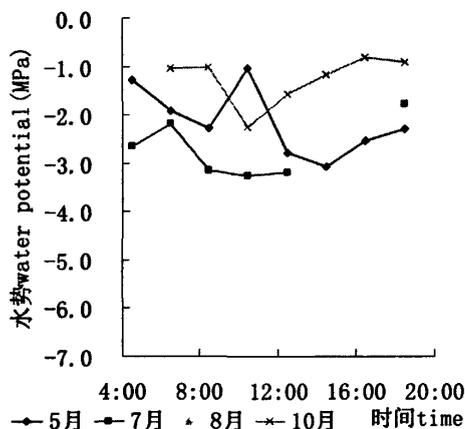


图 4-18 MYD 绵刺不同月份水势日变化

Fig.4-18 Diurnal change of plant water potential in different months of *Potaninia mongolica* in MYD

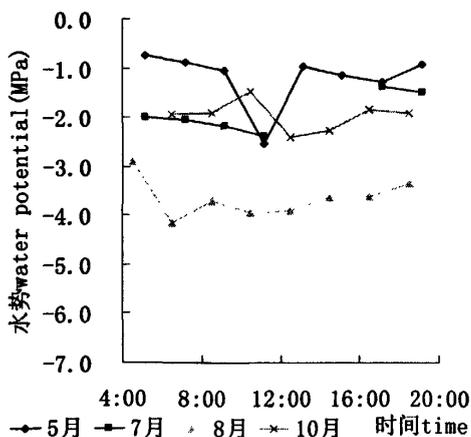


图 4-19 MYD 霸王不同月份水势日变化

Fig.4-19 Diurnal change of plant water potential in different months of *Zygophyllum xanthoxylon* in MYD

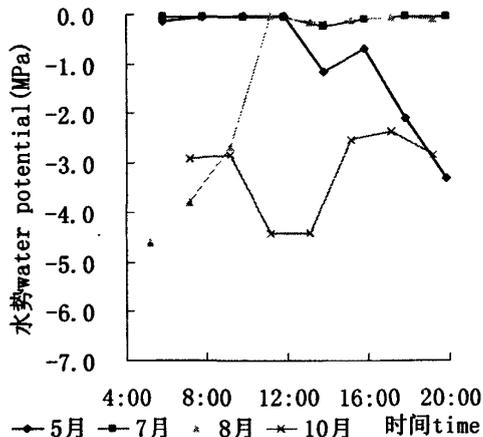


图 4-20 MYD 红砂不同月份水势日变化

Fig.4-20 Diurnal change of plant water potential in different months of *Reaunria soongorica* in MYD

一般植物的叶水势值应该在日出前达到最大值，太阳出升后随着温度上升水势值下降。但是 8 月份的红砂却表现出相反的趋势，这可能是由于日出后温度上升，红砂逐渐析出

盐粒引起水势值逐渐异常。有可能红砂的凌晨点水势值应该为一天中最大值，其它点的正常值或许应该比凌晨点更低。若是这样红砂基本是所测定植物中水势值最低的植物。在某种情况下，水势值偏低意味着更耐旱，红砂的可分布范围更广，事实上红砂的确是所测定植物中分布范围更广的物种。

4.3.5 金三角样地

金三角样地共测定两种植物，分别是梭梭、盐爪爪。梭梭 5 月份叶片水势值明显高于其它月份。并且随着月份的增加水势值有所降低，直到 10 月份水势值开始小幅度回升，高于 8 月份水势。梭梭在四期测定中日平均值分别为：-1.338 MP、-2.963 MP、-3.386 MP、-3.075 MP。季节动态变化幅度为：2.048MP（图 4-21）。

盐爪爪四期月份测定水势值为：5) 7) 10) 8。与梭梭变化趋势一致。并且表现出凌晨水势较高的特点。盐爪爪在四期测定中日平均值分别为：-1.933 MP、-3.648 MP、-5.644 MP、-5.313MP。季节动态变化幅度为：3.711MP（图 4-22）。

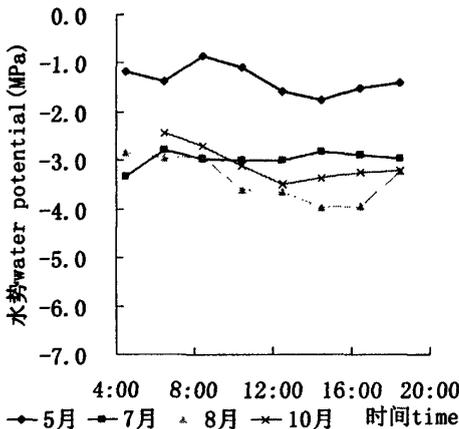


图 4-21 SYD 梭梭不同月份水势日变化

Fig.4-21 Diurnal change of plant water potential in different months of *Haloxylon ammodendron* in SYD

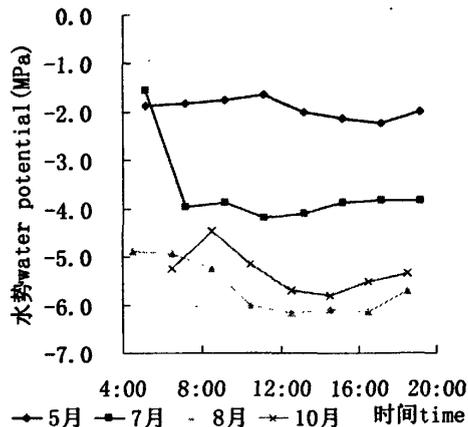


图 4-22 SYD 盐爪爪不同月份水势日变化

Fig.4-22 Diurnal change of plant water potential in different months of *Kalidium gracile* in SYD

4.3.6 荒漠植物水势季节动态特征

由上述分析可知，物种在 5、7、8 月份测定时随着季节的推进水势值逐渐降低，到 10 月份测定时，水势值除红砂、长叶红砂和珍珠外，其它大部分植物水势与 8 月相比持平，个别略有上升（图 4-23），表现出明显的季节动态。其中，红砂、长叶红砂的表现不同与其它物

种是因为 7、8 月份温度较高，盐粒析出较多，红砂、长叶红砂表现异常，10 月份气温降低后水势变为正常。

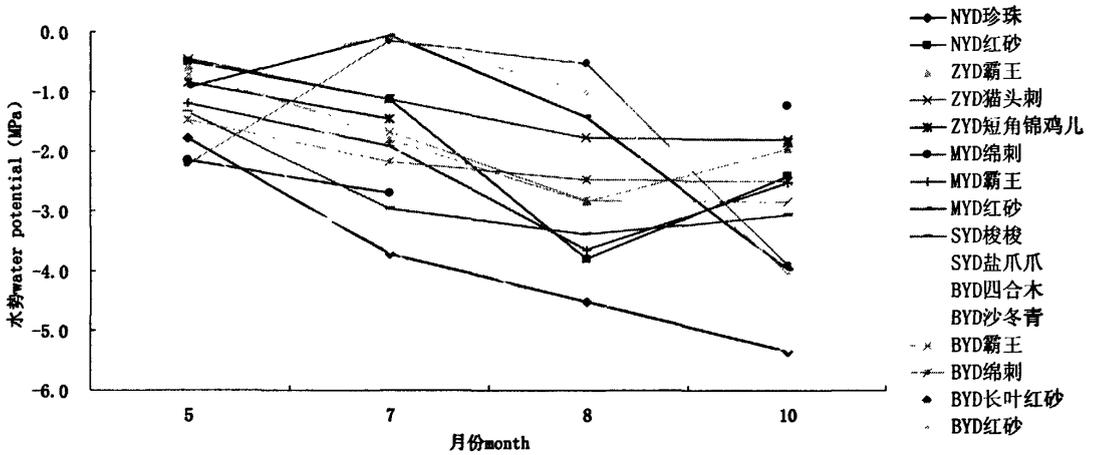
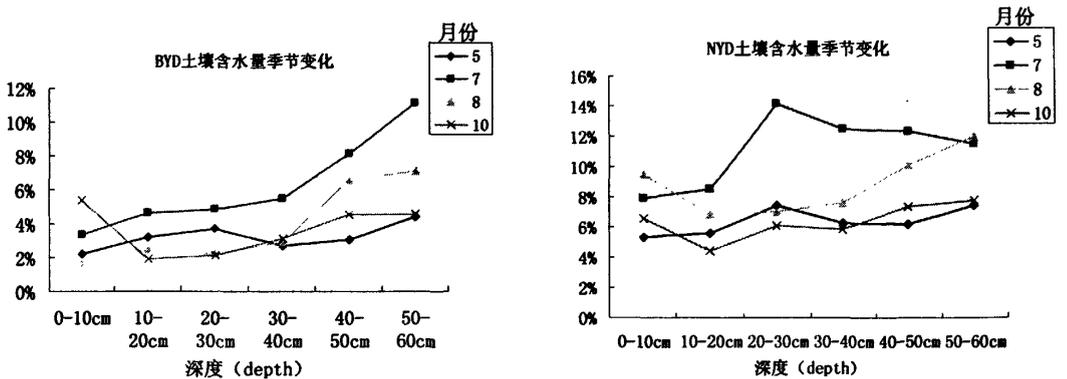


图 4-23 各样地植物日均水势值季节变化

Fig. 4-23 daily average of plant water potential changes with the seasons in each sample plot

由图 4-24 可知，7 月各样地土壤含水量较高，特别是比 5 月份高，但植物水势值都低于 5 月份。植物的水势是由植物吸收水分和植物蒸腾失水共同作用的结果，蒸腾失水与气温有关，气温越高，空气越干燥，则蒸腾越大。7 月份土壤含水量最高，但同时气温也最高，蒸腾明显高于 8 月份，所以 7 月份的水势低于 5 月份。8 月末土壤含水量低于 7 月份，但气温低于 7 月份，蒸腾低于 7 月份，它们共同作用的结果使 8 月份水势低于 7 月份。可见，荒漠区植物水势主要受降水 and 气温控制。



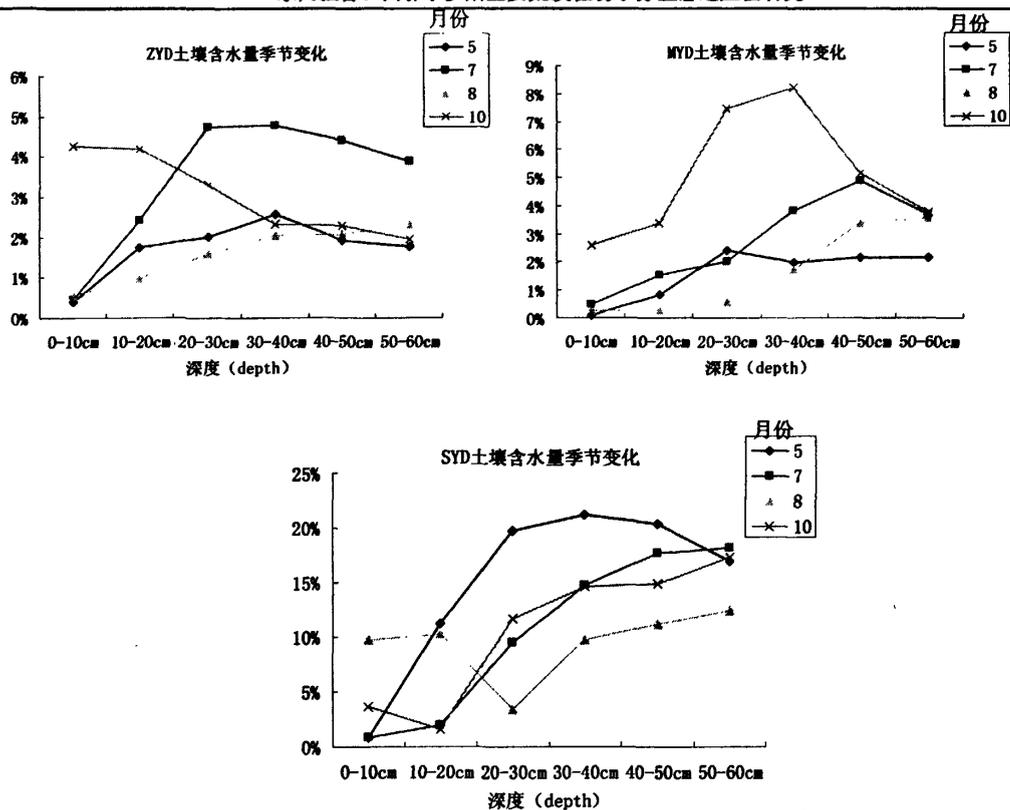


图 4-24 各样地土壤含水量季节变化

Fig. 4-24 Soil moisture content changes with the seasons in every sample plots

4.4 同一荒漠植物水势的区域差异分析与讨论

4.4.1 霸王 (图 4-25)

由于生长的环境不同，同样的植物生长在不同地区生理表现会有不同。霸王分布于巴拉贡、巴彦浩特、绵刺三个样地，从霸王的水势动态图中可以看出霸王在相同月份的测定中有相似的趋势，且 5、7、月水势值较为接近。说明，霸王在测定前期区域差异不明显。这与霸王的肉质叶在一定程度上可以缓冲干旱引起的缺水，消除不同于旱环境下的差异，在植物水势上表现出区域间的一致性 or 稳定性。但 8 月末、特别是 10 月初区域间有一定差异。8 月末以后，各个样地降雨都增多，在一定程度上，缺水的现象得到缓解，但是 10 月初位于草原化荒漠区的巴拉贡样地基本进入生长末期，水势值相对 8 月份没有增加，而巴彦浩特、和屯池样地植物生长仍相对旺盛。

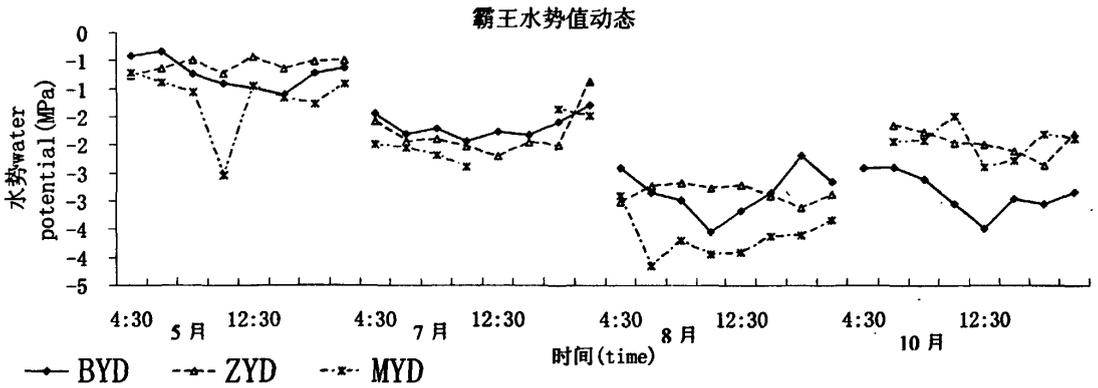


图 4-25 霸王在不同样地水势值动态

Fig.4-25 The dynamic change trends of water potential in different sample plots of *Zygophyllum xanthoxylon*

4.4.2 红砂 (图 4-26)

红砂分布于巴拉贡、南寺、绵刺三个样地，从红砂的水势动态图中可以看出红砂在 8 月前三期测定中都存在接近 0 的水势值。有一部分是凌晨点有一个相对低的水势值，之后上升到接近 0，有一部分几个测定时间点都是接近 0 的水势值。10 月初测定时通过观察发现红砂叶表面没有盐粒析出，数值基本呈 U 字分布，早晚水势值高，中午水势值低，是红砂较正常的水势值，表现出一定的区域差异。

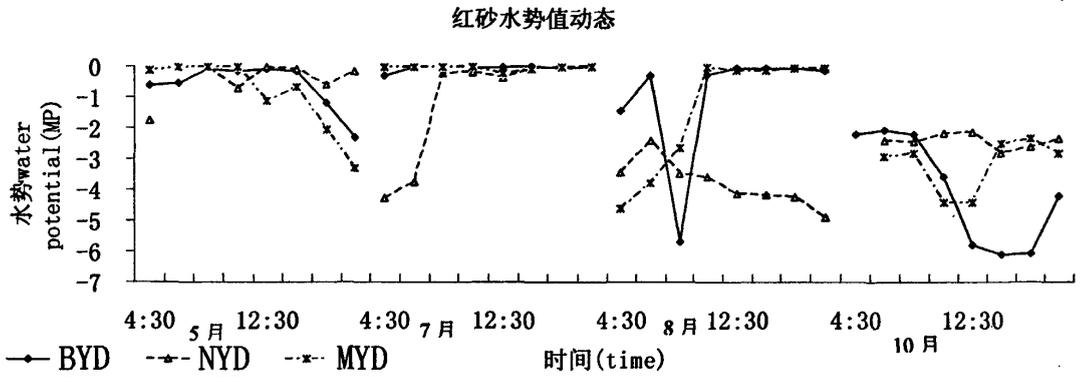


图 4-26 红砂在不同样地水势值动态

Fig.4-26 the dynamic change trends of water potential in different sample plots of *Reaunria soongorica*

5 月份，巴拉贡样地的红砂在 14:30 后水势值开始下降，最低值降到-2.320MP，和屯池样地的红砂在 14:30 后水势值也开始下降，最低降到-3.305，在同期测定的所有物种中，这个水势值是最低的。这从一方面证明了，红砂的正常水势值应该会很低。7 月份测定中，南

寺样地的红砂在开始的两个点水势值非常低，之后开始升高到接近 0 水势。

8 月份测定中，巴拉贡样地红砂在 8:30 出现了一个最低值为-5.705MP，南寺样地水势值都比较低，最低值为-4.913MP。10 月份的测定中巴拉贡样地红砂的水势明显要低于其它样地，南寺样地的最大，介于中间的是和屯池样地。从样地的分布区来看，几个样地的降雨量是：BYD> NYD> MYD。但是植物的水势值却表现出相反的迹象，这可能是由于 10 月份植物的生长面临结束，但是由于三个样地的热量有所不同，和屯池样地处于典型荒漠，温度高于其它两个样地，巴拉贡样地的热量应该最小，因此来说，绵刺地区植物的生长其要更长于其它样地，因此和屯池样地的红砂水势要高于其它样地红砂水势。

4.4.3 绵刺 (图 4-27)

绵刺分布于巴拉贡、绵刺两个样地，从绵刺的水势动态图中可以看出绵刺在四期测定中不同的样地都表现出不同的水势。并且 5、7 月份，巴拉贡样地水势值要高于和屯池样地水势值。8 月份测定时，和屯池样地的绵刺处于假死状态。10 月份，巴拉贡样地水势值低于和屯池样地。并且总体来说，绵刺的水势值呈现 U 字分布，早晚水势值高，中午水势值低。

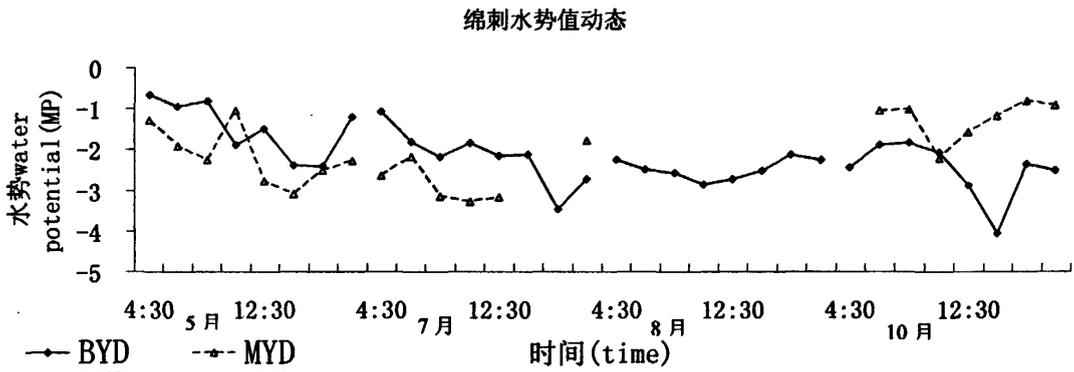


图 4-27 绵刺在不同样地水势值动态

Fig.4-27 the dynamic change trends of water potential in different sample plots of *Potaninia mongolica*

在 5、7 月份的测定中，绵刺的变化规律与霸王、红砂不同，霸王、红砂在 5、7 月份的水势值分布范围相对一致。但是绵刺在每一期的测定中变化较大，不同样地水势表现出较大的差异。前三期测定中，巴拉贡样地的绵刺水势都高于和屯池样地的，但是 10 月份测定时和屯池样地水势高于巴拉贡样地，并且通过观察生长形态发现和屯池样地的绵刺生长状态优于巴拉贡样地。这表明，绵刺对水分的反应非常敏感。

4.5 荒漠植物水势对降水的反应

浇水或降雨前后对土壤的表层含水量影响是巨大的，在土壤-植物-大气连续体中，土壤含水量的变化必然会引起植物的变化，但是变化的程度又各不相同，这与植物对水分反应的敏感性有关。7月份在巴拉贡样地、和屯池样地进行了浇水试验。8月末在和屯池样地正好遇到了连续的降雨，测定了降水前后植物水势的变化。

4.5.1 四合木

四合木在浇水前后水势变化如图 4-28，浇水后四合木的凌晨点水势值明显高于浇水前，最大值也有大幅度的增大。但是过了正午后，浇水后的水势值开始下降并低于浇水前的水势值，16:30后，浇水后的水势值开始增加，并超过浇水前的水势值。浇水后四合木的水势日变化幅度要大于浇水前。一方面，凌晨点水势浇水前后变化幅度的增大说明四合木浇水前的水分亏缺较大，另一方面，四合木日变化幅度大，意味着四合木对水分反映的敏感性。

正常生长的苗木，一天当中随气温的升高及蒸腾的加强，苗木组织失水加快，叶水势明显降低^[55]。这就是说植物叶片水势和蒸腾速率有一定的联系。给干旱胁迫下的植物一定的水分，植物的蒸腾速率和水势会做出相应的响应。对比同时刻四合木蒸腾速率（表3-1）可以看到，四合木在浇水前蒸腾速率呈双峰曲线，但浇水后蒸腾速率呈单峰曲线，且蒸腾速率变大。对应的植物叶片水势有所增加，且变化幅度加大，浇水后植物叶片水势趋势与蒸腾速率曲线相对一致。

4.5.2 沙冬青

沙冬青在浇水前后的变化幅度没有四合木大（图4-29），浇水后其凌晨点水势高于浇水前，但是最低值出现的时间比浇水前推迟了2个小时。对比沙冬青浇水前后蒸腾速率（表3-1），可以看出沙冬青浇水前后的蒸腾速率大小并没有特别巨大的变化，但是出现峰值的时间从10:30推迟到14:30。这与沙冬青浇水前后的水势变化趋势相对一致。可见，沙冬青对浇水或降水敏感性弱于四合木。

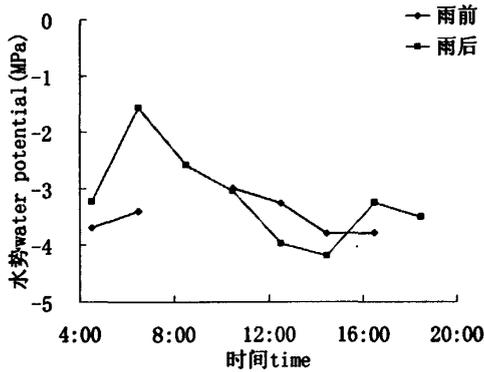


图 4-28 降水前后 BYD-7-四合木水势日动态
Fig.4-28 Diurnal change of plant water potential before and after precipitation of *Tetraena mongolica* in BYD

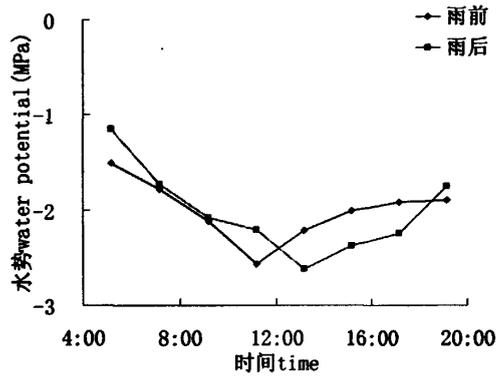


图 4-29 降水前后 BYD-7-沙冬青水势日动态
Fig.4-29 Diurnal change of plant water potential before and after precipitation of *Ammopiptanthus mongolicus* in BYD

4.5.3 霸王

草原化荒漠区的巴拉贡样地霸王在浇水前后变化幅度不大，浇水后其凌晨值水势略升高，浇水后的最低值略低于浇水前，并且最低值出现时间有所延迟（图4-30）。可见，霸王对相当于8 mm 的浇水敏感性也弱于四合木。霸王的蒸腾速率在浇水后由双峰曲线变为单峰曲线，并且大幅度增加。霸王浇水后水势最低值出现的时间与蒸腾速率最大值出现的时间基本一致。

但在典型荒漠区的和屯池样地7月霸王浇水后水势值变幅较大（图4-31），此时该样地气温很高，但降水较少。8月份的连续降雨也对其有显著的影响（图4-32）。8月24日测定时绵刺处于假死状态，样地严重干旱，霸王水势值很低。但测定后有较大降雨，8月27，9月1，9月2日水势连续升高。可见，在缺水严重时，霸王对水分的反应也较敏感。就霸王而言，在草原化荒漠区由于水分条件较好，因此，对降水反应敏感性弱。

4.5.4 绵刺

巴拉贡样地绵刺浇水前后的水势值升高（图 4-33），凌晨点水势有较明显的增高，并且最低值出现的时间为 10: 30，提前于浇水前的 16: 30。水势变幅是该样地所有植物中最大的，说明其对水分的反应非常敏感。

7 月份典型荒漠区和屯池样地的绵刺浇水前后其水势变化幅度是更大的（图 4-34），且大于霸王。8 月 24 日测定时绵刺落叶，处于假死状态，此后有较大降雨，至 9 月 1 日，绵刺已经开始放叶，生长速度非常快。9 月 1 日（午后有雨，放弃测定）、2 日测定其水势后发现（图 4-35），绵刺叶水势相当高，高于其它任何月份，一天中的变化幅度不大，说明此时绵刺正处于比较旺盛的生长。没有受到任何干旱的影响，这也说明绵刺对水分反应迅速敏感。

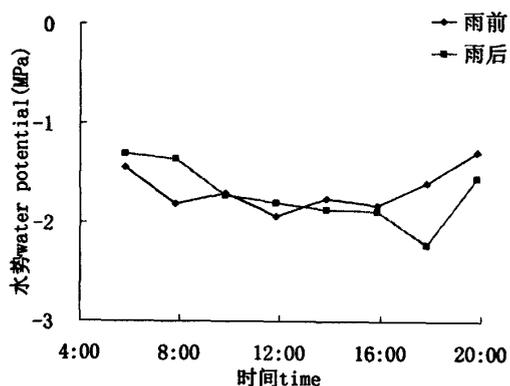


图 4-30 降水前后 BYD-7-霸王水势日动态
Fig.4-30 Diurnal change of plant water potential before and after precipitation of *Zygophyllum xanthoxylon* in BYD

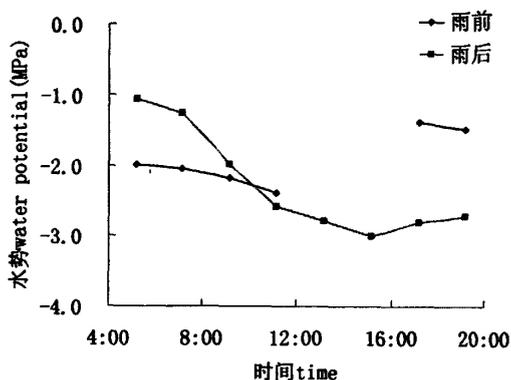


图 4-31 降水前后 MYD-7-霸王水势日动态
Fig.4-31 Diurnal change of plant water potential before and after precipitation of *Zygophyllum xanthoxylon* in MYD

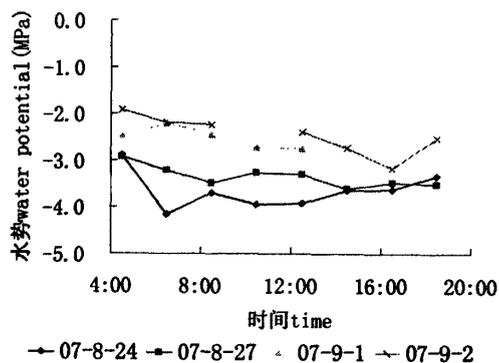
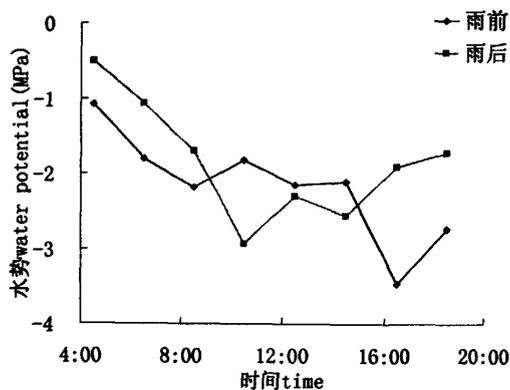


图 4-32 降水前后 MYD-8-霸王水势日动态图
Fig.4-32 Diurnal change of plant water potential before and after precipitation of *Zygophyllum xanthoxylon* in MYD



4-33 降水前后 BYD-7-绵刺水势日动态
Fig.4-33 Diurnal change of plant water potential before and after precipitation of *Potaninia mongolica* in BYD

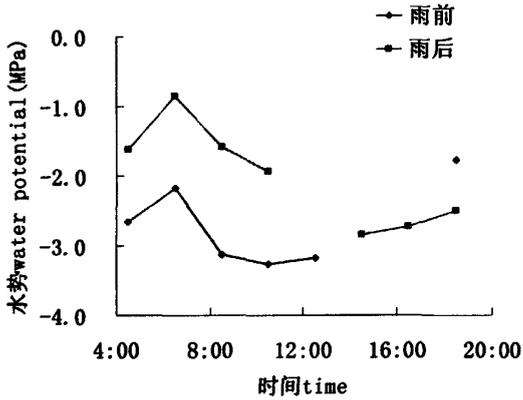


图 4-34 降水前后 MYD-7-绵刺水势日动态
Fig.4-34 Diurnal change of plant water potential before and after precipitation of *Potaninia mongolica* in MYD

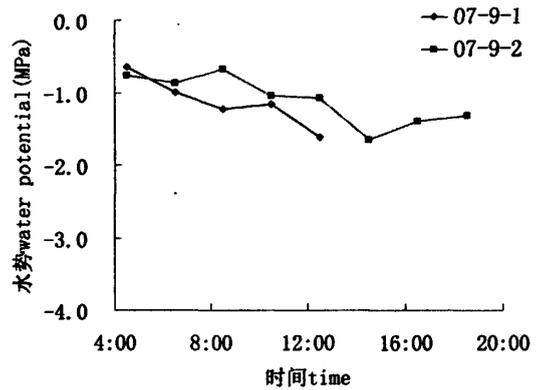


图 4-35 降水前后 MYD-8-绵刺水势日动态
Fig.4-35 Diurnal change of plant water potential before and after precipitation of *Potaninia mongolica* in MYD

4.5.5 红砂与长叶红砂

7 月份巴拉贡样地红砂与长叶红砂以及和屯池样地的红砂在浇水前后的水势值基本都维持在接近 0 水势 (图 4-36, 图 4-37, 图 4-38)。这和前面分析的有盐粒析出的原因有关。对比红砂与长叶红砂的蒸腾速率日变化图可以知道, 红砂浇水后蒸腾速率有所增加。长叶红砂在浇水前后均为双峰曲线, 只不过两个峰值在浇水后略有增加而已。可以说红砂与长叶红砂对水分变化的敏感性最弱。这种情况也说明红砂与长叶红砂并不过分依赖于少量的浇水。

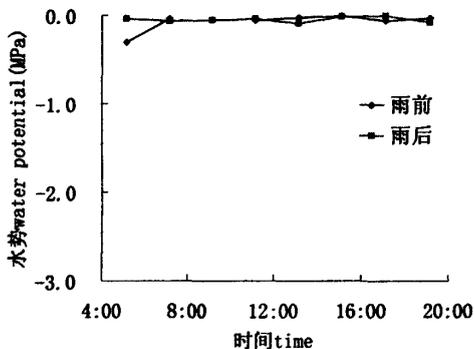


图 4-36 降水前后 BYD-7-红砂水势日动态
Fig.4-36 Diurnal change of plant water potential before and after precipitation of *Reaumria soongorica* in BYD

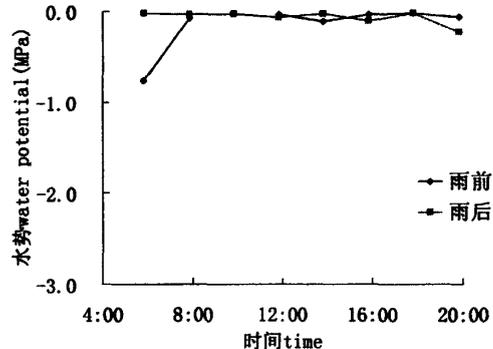


图 4-37 降水前后 BYD-7-长叶红砂水势日动态
Fig.4-37 Diurnal change of plant water potential before and after precipitation of *Reaumria trigyna* in BYD

8 月份和屯池样地自然降水前后红砂水势如图 4-39 所示。除 8 月 24 日没有降水外, 其它

天次测定前或测定中均有不等的降水，很明显，24日从10:30开始红砂的水势值开始接近0水势，通过观察记录知道，此时的红砂叶片开始析出盐粒。但是其它天次的测定，红砂似乎表现出来它的正常值。从图中可以看出，红砂正常的水势值非常低，远低于其它样地的其它物种，通过几天的降水影响可以看出红砂在8月27日和9月2日的测定中，最低值相差不大，但是出现的时候向后延迟。表明红砂对水分变化的敏感性较弱。

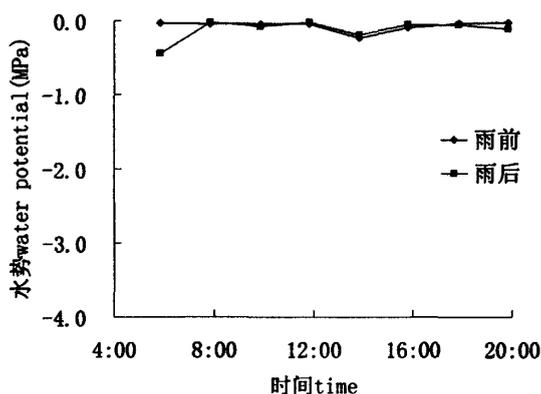


图 4-38 降水前后 MYD-7-红砂水势日动态

Fig.4-38 Diurnal change of plant water potential before and after precipitation of *Reaumria soongorica* in MYD

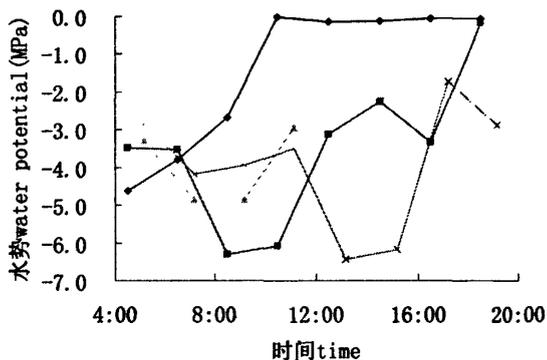


图 4-39 降水前后 MYD-8-红砂水势日动态

Fig.4-39 Diurnal change of plant water potential before and after precipitation of *Reaumria soongorica* in MYD

总之，不同的荒漠植物水势对水分的敏感程度不同，绵刺水势对水分的反应异常敏感，四合木水势对水分变化也较敏感，沙冬青、霸王反应较弱，红砂、长叶红砂反应最不敏感。但是，从霸王可看出，在水份亏缺严重时，水势对水份的反应的敏感性增加。

4.6 小结

综上所述，本章研究结果如下：

1. 植物水势一天的变化规律基本是呈现早晚高、中午低的“U”型曲线，且凌晨日出前水势值基本为一天中的最高值。
2. 荒漠植物水势变幅较大，既有较稳定种间差异，红砂、绵刺、霸王、梭梭、盐爪爪等水势种间差异一般较稳定。但有时也表现出不确定性。主要表现在同一样地的植物在不同季节其水势各项指标排序不一致。
3. 物种在5、7、8月份测定时随着季节的推进水势值逐渐降低，到10月份测定时，水

势值除红砂、长叶红砂和珍珠外，其它大部分植物水势与 8 月相比持平，个别略有上升，表现出明显的季节动态。

4. 通过同一植物在不同区域的水势测定发现，霸王在测定前期区域差异不明显，测定后期特别是 10 月初测定有一定的区域差异；由于红砂的泌盐特性，当析出盐粒时数值异常。在 10 月份未析出盐粒的测定中，红砂表现出非常低的水势值，这与宋耀选等^[56]的研究结果一致。同时 10 月初测定的红砂表现出一定的区域差异；绵刺区域差异也非常明显。

5、不同的荒漠植物水势对水分的敏感程度不同，绵刺水势对水分的反应异常敏感，四合木水势对水分变化也较敏感，沙冬青、霸王反应较弱，红砂、长叶红砂反应最不敏感。但是，从霸王可看出，在水份亏缺严重时，水势对水份的反应的敏感性增加。

第五章 荒漠植物水分生态适应性机制分析

在土壤-植物-大气连续体中,土壤水势-植物水势-大气降水的变化都对水分运移有着直接的影响。进而影响荒漠植物的水分协调机制。另外,不同植物的不同结构也影响植物水分利用的方式。测定植物生理变化的同时也检测相应的土壤物理结构、水分变化过程以及叶片的物理性质,对于理解荒漠植物水分利用机制的探讨有积极的作用。

5.1 荒漠植物叶片生态类型对植物水势的影响

叶是植物主要的光合与蒸腾器官,为了完成这些生理功能,在长期的自然选择中,植物叶形成了与其功能相适应的形态和解剖学特征^[57]。由于叶片和外界环境的接触面积最大,因此,外界环境条件对叶片的形态结构有明显的影响,植物在进化过程中适应不同的生态环境,形成了多种生态类型的叶。有效水分、光照条件、盐碱地等特殊土壤理化性质等都与叶片结构密切相关。

为了适应干旱,荒漠植物叶表现出多种生态型,根据植物的叶质可分为肉质(多汁)叶、革质叶、旱生叶和退化叶4个生态型。旱生叶一般叶体较小,叶的表皮细胞小,外壁高度角质化,有很厚的角质层,角质层外还有厚的蜡层,表皮上常有浓密表皮毛等特征,可减小蒸腾;肉质叶有贮水组织,能大量贮水,增加对干旱的抵抗,是植物适应干旱的另一种途径;革质叶的解剖结构中角质层异常发达,有利于减少植物的蒸腾蒸发,还有利于植物在干旱失水的情况下不受机械损伤,对于抵御干旱有着重要的作用。研究区11种植物叶生态类型如表5-1。

表 5-1 植物叶生态类型
Tab.5-1 Ecological type of leaves

| 生态型 Ecological type | 物种 Species |
|---------------------|---|
| 肉质(多汁)叶 | 霸王 (<i>Zygophyllum xanthoxylon</i>)、红砂 (<i>Reaumria soongorica</i>)、长叶红砂 (<i>Reaumuria trigyna</i>)、四合木 (<i>Tetraena mongolica</i>)、珍珠 (<i>Salsola passerina</i>) |
| 革质叶 | 沙冬青 (<i>Ammopiptanthus mongolicus</i>) |
| 旱生叶 | 绵刺 (<i>Potania mongolica</i>)、短脚锦鸡儿 (<i>Caragana brachypoda</i>)、猫头刺 (<i>Oxytropis aciphylla</i>) |
| 退化叶 | 梭梭 (<i>Haloxylon ammodendron</i>)、细枝盐爪爪 (<i>Kalidium gracile</i>) (叶不发达) |

5.1.1 不同叶片生态类型植物水势特征

巴拉贡样地测定植物中包括：肉质叶、革质叶和旱生叶三种叶质，其水势特征如图 5-1 所示。在按叶质统计物种水势的时候，由于红砂与长叶红砂水势值受析出盐粒影响，测定值极不稳定，不是这两种植物的真实水势值，因此，统计未考虑在内。

由图 5-1 可知，肉质叶植物叶片水势普遍较低，其次是旱生叶植物，革质叶植物水势最高。这也表明，荒漠区肉质叶植物更适应干旱，其次是旱生叶植物和革质叶。一般来说，水势越低，越适应干旱。水分从高水势流向低水势，低水势更利于植物从土壤中吸收水分，并且避免叶片向空气失水，对干旱的抵抗能力更强。肉质叶虽然含水量大，但是水势最低，这是因为其自身的渗透调节，细胞质浓度较高，导致水势较低。

红砂也是肉质叶植物，虽然该样地统计时因数值不稳定未考虑，但在 10 月份未析出盐粒时，水势值非常低，可达 -6.12MPa 。说明，红砂能更适应干旱。事实上，在阿拉善极旱荒漠区只有红砂和泡泡刺 (*Nitraria sphaerocarpa Maxim.*) 2 种肉质叶植物能够成为优势种，肉质叶一年生植物盐生草 (*Halogeton glomeratus*) 为主要一年生层片。而在荒漠区盐碱地中，特别是极旱荒漠区，也仅有碱蓬 (*Suaeda glauca*)、盐爪爪等肉质叶植物。这进一步说明肉质叶植物更适应干旱。

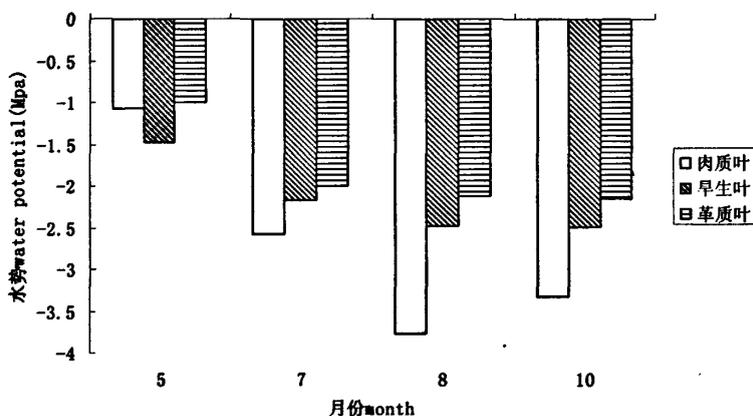


图 5-1 BYD 各叶生态类型植物水势日均值

Fig5-1 Diurnal average change of water potential of each ecological types in BYD

将各个样地植物，打乱样地按叶质进行分类平均，可以看出不同叶质植物的变化规律与巴拉贡样地不同叶质植物水势分析呈现一致规律（图 5-2）。

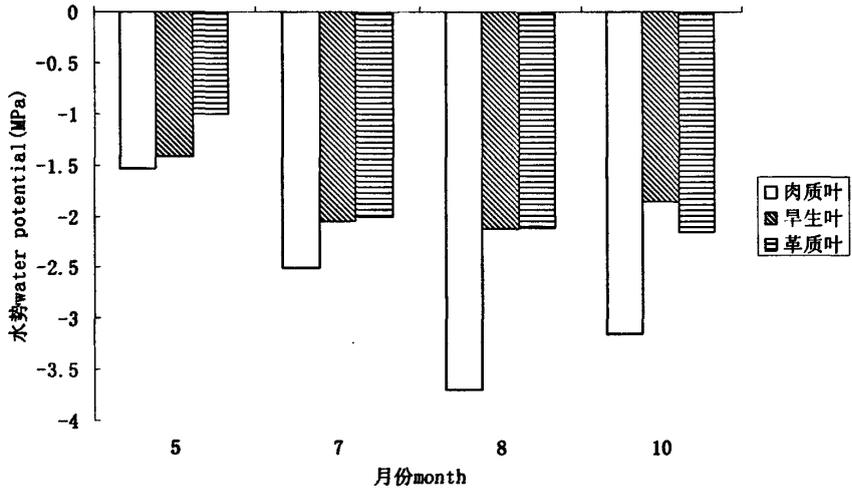


图 5-2 各叶质水势日均值季节变化

Fig.5-2 Diurnal average change of water potential of each ecological types in different seasons

5.1.2 浇水前后不同叶片生态类型植物水势变化

对比各样地不同叶质降水前后水势值变化，可以看出巴拉贡样地肉质叶植物、旱生叶植物水势雨后有所升高，肉质叶升高了 0.136MP，旱生叶升高了 0.332MP，革质叶升高了 0.018MP。由此可见，对水分最不敏感的是革质叶植物，其次是肉质叶植物，最后是旱生叶植物。从这个意义上来说，对水分变化不敏感是更抗旱的一种表现（图 5-3）。

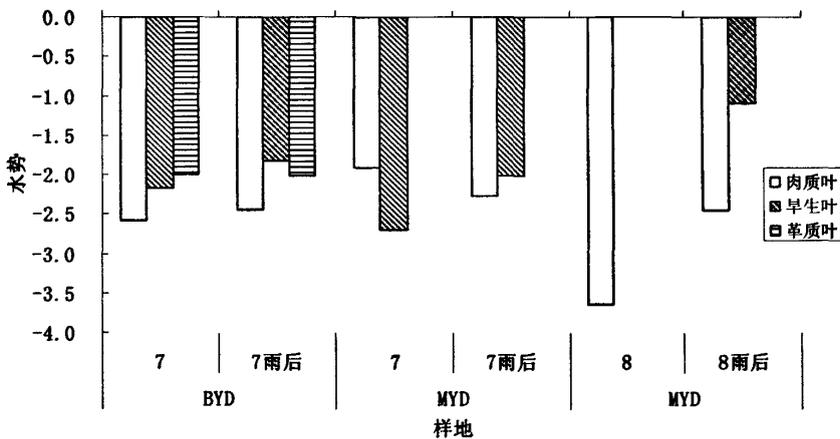


图 5-3 各叶质降水前后水势季节变化

Fig.5-3 The change of water potential before and after precipitation of each ecological types in different seasons

5.2 荒漠植物叶片生态类型对植物蒸腾的影响

由图 5-4 可知, 7 月份各叶质植物蒸腾速率浇水前后平均值为: 早生叶 > 肉质叶 > 革质叶, 8 月末雨后的变化趋势基本与 7 月份是一致的。由此可见, 肉质叶和革质叶蒸腾速率接近, 且较低, 属低蒸腾植物; 早生叶蒸腾速率较大, 属高蒸腾植物。

但是 8 月雨前的变化却出现了不同, 为: 肉质叶 > 革质叶 > 早生叶。8 月份测定时各样地土壤都非常干旱, 巴彦浩特样地的短脚锦鸡儿和和屯池样地的绵刺都因干旱而落叶, 不能进行测定。这表明在极干旱的条件下, 早生叶必须减小蒸腾, 甚至落叶, 以维持存活, 毕竟, 生存是第一位的。一旦得到降水, 早生叶植物蒸腾会迅速升高。

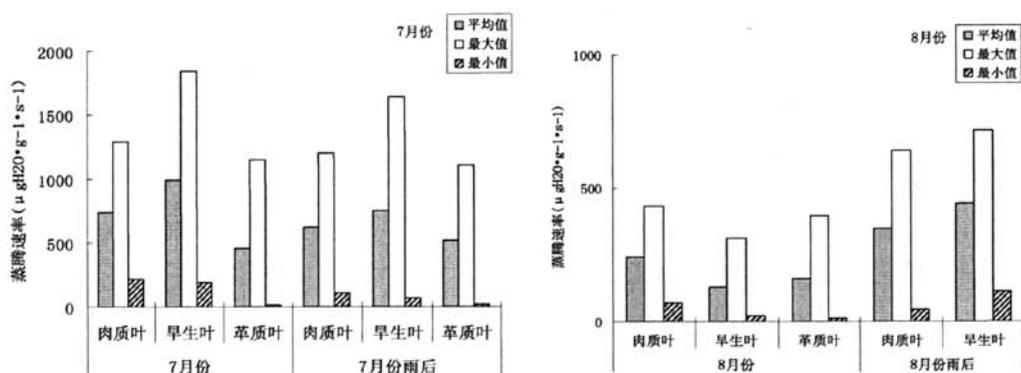


图 5-4 7、8 月份各叶质降水前后蒸腾速率的变化

Fig.5-4 The change of transpiration rate before and after precipitation of each ecological types in July and August

5.3 植物叶片水分饱和和亏对植物抗旱的影响

叶的形态解剖结构决定了植物生理生态方面的适应形式。肉质叶植物无论蒸腾速率还是植物叶片水势, 大部分都表现出相对较小的日变化幅度。而早生叶与革质叶的日变化幅度要大于肉质叶。如在巴拉贡样地, 肉质叶植物的叶片水势日变化幅度很小, 而早生叶的绵刺和革质叶的沙冬青则变化剧烈, 蒸腾速率的日变化中, 除霸王外, 其它肉质叶植物变化幅度也小于早生叶的绵刺和革质叶的沙冬青 (表 5-2)。

然而对应的植物叶片水分饱和和亏规律则略不一致 (表 5-2) 霸王的水分饱和和亏日变化幅度最小, 其它三种肉质叶植物的日变化幅度则较大, 这可能是因为霸王的贮水性能略优于其它植物所致, 一方面霸王的蒸腾速率日变化最大, 水势变化幅度小, 水分饱和和亏变化幅度小, 所以其贮水组织调解能力更强一些, 在保持较大蒸腾速率的同时又能保证植物其它生理过程的稳定。

表 5-2 各样地物种三种生理指标平均值

Tab. 5-2 Three major types of physiological indexes average in every plots

| 样地 Plot | 时间 Date | 物种 Species | 水分饱和亏 | | 水势 | | 蒸腾速率 | |
|------------|------------|---------------|--------|--------|-----------------|------|--------------------|---------|
| | | | WSD | | Water potential | | Transpiration rate | |
| | | | 平均值 | 日变化 | 平均值 | 日变化 | 平均值 | 日变化 |
| BYD | 2007-6-30 | 绵刺 | 26.63% | 17.12% | -2.168 | 2.39 | 526.52 | 986.97 |
| | | 长叶红砂 | 26.08% | 21.51% | -0.156 | 0.76 | 412.13 | 659.43 |
| | | 红砂 | 26.23% | 21.81% | -0.076 | 0.30 | 384.79 | 524.44 |
| | | 四合木 | 23.16% | 20.00% | -3.484 | 0.79 | 476.61 | 605.51 |
| | | 沙冬青 | 21.16% | 11.63% | -2.001 | 1.06 | 457.00 | 1134.91 |
| | | 霸王 | 19.94% | 8.78% | -1.673 | 0.65 | 851.04 | 1148.20 |
| NYD | 2007-7-6 | 红砂 | 25.56% | 34.52% | -3.714 | 1.17 | 424.55 | 426.27 |
| | | 珍珠 | 29.17% | 69.31% | -1.127 | 4.28 | 288.23 | 546.93 |
| ZYD | 2007-7-7 | 霸王 | 29.76% | 17.23% | -1.813 | 1.34 | 1356.86 | 1525.37 |
| | | 猫头刺 | 25.48% | 15.74% | -1.138 | 0.52 | 1513.65 | 2585.83 |
| | | 短脚锦鸡 | 24.07% | 14.78% | -1.464 | 0.60 | 1701.33 | 2575.48 |
| MYD | 2007-7-8 | 绵刺 | 48.83% | 10.27% | -2.696 | 1.48 | 230.40 | 452.24 |
| | | 霸王 | 25.79% | 17.60% | -1.910 | 1.01 | 699.07 | 1537.37 |
| | | 红砂 | 33.85% | 22.95% | -0.069 | 0.21 | 278.23 | 553.57 |
| SYD | 2007-7-10 | 梭梭 | 21.44% | 18.55% | -2.963 | 0.54 | 395.59 | 468.42 |
| | | 盐爪爪 | 33.97% | 20.18% | -3.648 | 2.64 | 313.34 | 438.40 |

从表 5-2 可以看出,几个样地,随着水分条件变差,植物的水分饱和亏逐渐变大。特别是和屯池样地的绵刺,水分饱和亏日均值高达 48.83%,这是由于叶暴露于空气中,受环境影响巨大,绵刺叶没有贮水组织,所以在蒸腾与植物体自身补水的共同作用下,绵刺叶片的水分饱和亏非常高。这样不利于植物的抗旱。所以当这种状态达到一定程度时,植物就要寻求其它解决途径来适应干旱了,如假死。

叶片水分饱和亏反应的是植物组织实际相对含水量距饱和相对含水量(100%)的差值的大小^[50]。水分饱和亏越大,说明叶片的缺水程度越高。植物叶片水分饱和亏的日动态规律为随着时间的推移逐渐加大。这与植物蒸腾速率与水势的变化规律不同。植物蒸腾速率日动态呈现双峰或单峰曲线,水势日动态呈现“U”型。这说明随着植物水分饱和亏的增加,叶片相对含水量变小。

5.4 植物抗旱类型分析

由于长期适应所生长的自然环境的结果,植物发展了一套最适宜自身生长发育的生理生态特点,并采取各种不同的途径来抵御或忍耐干旱胁迫的影响。这就是植物的耐旱性,即植物经受住干旱时期的能力^[58]。这种能力是一种复合性状,是一种从植物的形态解剖构造、水分生理生态特征、及生理生化反应到组织细胞、光合器官乃至原生质结构特点的综合反应。李吉跃^[58]等根据植物耐旱性机理将抗旱植物划分为两类,分别是高水势延迟脱水耐旱和低水势忍耐脱水耐旱。

高水势延迟脱水耐旱的植物通过水分吸收或者限制水分丧失来延迟脱水发生;低水势忍耐脱水耐旱的植物不但有很强水分吸收和减少水分丧失的能力,更重要的通过维持膨压以及严重脱水的时候不伤害或轻伤害原生质和主要器官来忍耐脱水。

通过植物水势与蒸腾速率变化的比较,研究区内肉质叶、革质叶植物显然属低水势忍耐脱水耐旱的植物,旱生叶植物应属高水势延迟脱水耐旱的植物。

5.5 小结

1. 一般来说,植物水势越低,越适应干旱。肉质叶植物叶片水势普遍较低,其次是旱生叶植物,革质叶植物水势最高。这也表明,荒漠区肉质叶植物更适应干旱,其次是旱生叶植物和革质叶。同时旱生叶植物对水分最敏感的是革质叶植物,对水分变化敏感是不抗旱的一种表现。

2. 肉质叶和革质叶蒸腾速率接近,且较低,属低蒸腾植物;旱生叶蒸腾速率较大,属高蒸腾植物。肉质叶植物无论蒸腾速率还是植物叶片水势,大部分都表现出相对较小的日变化幅度。而旱生叶与革质叶的日变化幅度要大于肉质叶。

3. 植物叶片水分饱和和亏的日动态规律为随着时间的推移逐渐加大。植物叶片的水分饱和和亏越大,越不利于植物抵抗干旱。

4. 肉质叶、革质叶植物属低水势忍耐脱水耐旱的植物,旱生叶植物应属高水势延迟脱水耐旱的植物。

第六章 结论与讨论

本文通过对东阿拉善-西鄂尔多斯荒漠区 5 个样地 11 种植物蒸腾速率与水势日动态和月动态的系统测定,分析了荒漠植物蒸腾速率、水势基本特征与动态,水势种间差异、区域差异及其对降水的敏感性,在此基础上分析和探讨了荒漠植物对水分的生态适应性。主要研究结论如下:

1. 荒漠植物的蒸腾速率

荒漠植物蒸腾速率一般要低于草原植物,日变化呈单峰或双峰曲线。并受温度与降水共同控制,一般温度、土壤水分越高,蒸腾速率越大,浇水或降水后蒸腾速率明显增加。

荒漠植物蒸腾速率种间差异有一定的稳定性,但变幅较大。同一荒漠植物蒸腾速率区域差异较明显,一般随水分梯度的递增而增加。

2. 荒漠植物水势基本特征与动态

荒漠植物水势日变化规律基本是呈现早晚高、中午低的“U”型曲线,并有明显的季节动态。物种在 5、7、8 月份测定时随着季节的推进水势值逐渐降低,到 10 月份测定时,水势值大部分与 8 月相比持平,个别略有上升。

3. 荒漠植物水势的种间与区域差异

荒漠植物水势种间差异明显,红砂、绵刺、霸王、梭梭、盐爪爪等水势种间差异一般较稳定。但水势变幅也较大,有不确定性,主要表现在同一样地的植物在不同季节其水势各项指标排序不一致。

通过同一植物在不同区域的水势测定发现,霸王在测定前期区域差异不明显,测定后期特别是 10 月初测定有一定的区域差异;10 月初测定的红砂表现出一定的区域差异;绵刺的区域差异也非常明显。

4. 荒漠植物水势对水分的敏感性

不同的荒漠植物水势对水分的敏感程度不同,绵刺水势对水分的反应异常敏感,四合木水势对水分变化也较敏感,沙冬青、霸王反应较弱,红砂、长叶红砂反应最不敏感。

5. 不同叶生态类型植物水势与蒸腾速率特征与适应性

肉质叶植物叶片水势普遍较低,其次是旱生叶植物,革质叶植物水势最高。肉质叶和革质叶植物属低蒸腾植物,旱生叶植物属高蒸腾植物;肉质叶植物无论蒸腾速率还是植物叶片水势,大部分都表现出相对较小的日变化幅度,而旱生叶与革质叶的日变化幅度要大于肉质

叶；早生叶植物对水分的反应最敏感，革质叶与肉质叶相对较弱。

6. 不同叶生态类型植物对水分的生态适应性

通过不同叶生态类型植物叶片水势与蒸腾速率特征的分析发现，荒漠区肉质叶植物更适应干旱，其次是革质叶植物和早生叶植物。肉质叶、革质叶植物属低水势忍耐脱水耐旱的植物，早生叶植物应属高水势延迟脱水耐旱的植物。

参考文献

- [1]王荷生, 张镜铨. 中国种子植物特有属的生物多样性和特征. 云南植物研究, 1994, 16(3): 209~220.
- [2] 朱宗元, 马毓泉, 刘钟龄, 赵一之. 阿拉善—鄂尔多斯生物多样性中心的特有植物和植物区系的性质. 干旱区资源与环境, 1999, 13 (2): 1~15
- [3]郭忠升, 邵明安. 半干旱区人工林草地土壤旱化与土壤水分植被承载力[J]. 生态学报, 2003, 23 (8): 1640-1647
- [4]Dawson T E. Hydraulic lift and water use by plants: implications for water balance, performance, and plant interactions[J]. *Oecologia*, 1993, 95: 565-574
- [5]杨瑞丽. 植物抗旱机制研究进展[J]. 内蒙古科技与经济, 2003, 4: 107-108
- [6]Larcher W. *Physiological Plant Ecology*[M]. 2nded. Berlin New York : Springer-Verlag, 1980, 302-303
- [7]Meyer W S, Walker S. Leaflet orientation in water-stressed soybeans[J]. *Agronomy Journal*, 1981, 73: 1071-1078
- [8]Pitman W D, Holt E C, Conral B E. Histological differences in moisture stressed and non-stressed kleigrass forage. *Crop Science*, 1983, 23: 793-795
- [9]Abraham Fahn. Structural and functional properties of trichomes of xeromorphic leaves[J]. *Annals of Botany*, 1986, 57: 631-637
- [10]Sandquist D R, Ehleringer J R. Intraspecific variation of drought adaptation in brittlebush: leaf pubescence and timing of leaf loss vary with rainfall[J]. 1998, 13: 162-169
- [11]周智彬, 李培军. 我国旱生植物的形态解剖学研究[J]. 干旱区研究, 2002, 19(1) : 35-40
- [12]张道远, 张娟, 谭敦炎, 等. 国产怪柳科 3 属 6 种植物营养枝的解剖观察[J]. 西北植物学报, 2003, 23(3): 382-388
- [13]燕玲, 李红, 刘艳. 13 种锦鸡儿属植物叶的解剖生态学研究[J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16 (1): 100-106
- [14]Kramer P J. *Water relations among plants*[M]. New York: Academic Press, 1982, 6-9
- [15]Jay EA. Factors controlling transpiration and photosynthesis in *Tamarix chinensis* Lour[J]. *Ecology*, 1982, 63(1): 46-50
- [16]Liu M Z, Jiang G M, Li Y G, *et al.* Leaf osmotic potential of 104 plant species in relation to habitats and plant functional types in Hunshandak Sandland, Inner Mongolia, China[J]. *Trees*, 2003, 17: 554-560

- [17]Scholander P F, Hammel H T. Sap pressure in vascular plants[J]. *Science*, 1965, 148: 339-346
- [18]何维明. 不同生境中沙地柏根面积分布特征[J]. *林业科学*, 2000, 36(5): 17-21
- [19]易津, 王学敏, 乌仁其木格. 驼绒藜属植物生物学特性研究进展[J]. *草地学报*, 2003, 11(2): 87-94
- [20]董学军. 九种沙生灌木水分关系参数的实验测定及生态意义[J]. *植物学报*, 1998, 40(7): 657-664
- [21]曾凡江, 张希明, 李小明. 柽柳的水分生理特性研究进展[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(5): 611-614
- [22]刘家琼, 蒲锦春, 刘新民. 我国沙漠中部地区主要不同生态类型植物的水分关系和旱生结构比较研究[J]. *植物学报*, 1987, 29(6): 662-673
- [23]蒋志荣. 沙冬青抗旱机理的探讨[J]. *中国沙漠*, 2000, 20(1): 71-74
- [24]龚吉蕊, 赵爱芬, 张新时. 多浆荒漠植物与中生植物对干旱胁迫反应的比较研究[J]. *北京师范大学学报*, 2005, 41(2): 194-198
- [25]Walter H, Box E O. *The desert of central Asia*[M]. Elsevier, 1982, 193-236
- [26]Deng X, Li X M, Zhang X M. The studies about the photosynthetic response of the four desert plants[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(3): 598-605
- [27]董学军, 杨宝珍, 郭柯, 等. 几种沙生植物水分生理生态的研究[J]. *植物生态学报*, 1994, 18(1): 86-94
- [28]邓雄, 李小明, 张希明. 4种荒漠植物气体交换特征的研究[J]. *植物生态学报*, 2002, 26(5): 605-612
- [29]王根轩, 廖建雄, 吴冬秀. 荒漠条件下甘草气孔振荡的水被动证据[J]. *植物学报*, 2001, 43(1): 41-45
- [30]王沙生, 高荣孚, 吴贯明. *植物生理学*[M]. 北京: 中国林业出版社, 1991, 368
- [31]何兴东, 丛培芳, 段争虎等. 荒漠植物蒸腾速率的变化与组织含水量的关系[J]. *干旱区资源与环境*, 2001, 15(3): 68-70
- [32]Turner, N C Aust J. *Plant Physiology*[M], 1986, 13: 175-190
- [33]黄子琛. 荒漠植物的水分关系与抗旱性[J]. 1992, 14(2): 1-7
- [34]杨鑫光. 霸王对干旱胁迫的响应及根系提水研究, 兰州大学研究生学位论文, 2004
- [35]冯金朝, 周宜君, 周海燕等. 沙冬青对土壤水分变化的生理响应[J]. *中国沙漠*, 2001, 21(3): 223-226
- [36]Guar Y X, Dai J Y, Lin Y. The photosynthetic stomatal and nonstomatal limitation of plant leaves under water stress[J]. *Plant Physiology Communications*, 1995, 31: 293-297
- [37]Guicherd P, Peltier J P, Gout E. Osmotic adjustment in *Fraxinus excelsior* L: malate and mannitol accumulation in leaves under drought conditions[J]. *Trees*, 1997, 11: 155-161
- [38]Heitholt J J. Water use efficiency and dry matter distribution in nitrogen-and water-stressed winter wheat[J]. *Agron. J.*, 1989, 81: 464-469
- [39]郭卫华, 李波, 黄永梅, 张新时. 不同程度的水分胁迫对中间锦鸡儿幼苗气体交换特征的影响[J]. 生

- 态学报, 2004, 24 (12): 2716-2722
- [40]王兴鹏, 文卿林, 张维江. 毛乌素沙地南缘赖草蒸腾速率与叶水势关系的初步研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14 (1): 135-140
- [41]任杰. 典型荒漠化草地 GSPAC 系统水分动态模拟与生态需水研究. 内蒙古农业大学硕士学位论文, 2006, 2-5
- [42] Lyshede. O. B. Xeromorphic features of three stem assimilating in relation to their ecology[J]. *Botanica Journal of the Linnean Society*, 1979, 78: 85-98
- [43]张韬, 安慧君, 王炜. 东阿拉善—西鄂尔多斯地区特有濒危植物空间分布图的编制[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 1: 187-193
- [44]马毓泉等. 《内蒙古植物志》(2版)第1—5卷[M], 内蒙古人民出版社. 1988-1998
- [45]庞立东. 西鄂尔多斯-东阿拉善荒漠灌木优势种群生态位研究. 内蒙古农大硕士论文, 2006.05
- [46]吴征镒. 论中国植物区系的分区问题[J]. 云南植物研究, 1979, 1 (1): 1-22
- [47]陈丽. 西鄂尔多斯地区四种狭域特有种分布区边界形成机理的探讨. 内蒙古大学硕士论文, 2007
- [48]傅华, 陈亚明, 周志宇等. 阿拉善荒漠草地恢复初期植被与土壤环境的变化. 中国沙漠, 2003, 23(6): 661-664
- [49]敖腾岱, 包根晓, 桑国海, 巴图吉日嘎拉. 阿拉善左旗天然草地退化、沙化原因及治理思路[J]. 内蒙古草业, 2007 (9)
- [50]邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [51]潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社. 1979
- [52]王振杰. 科尔沁沙地差巴嘎蒿种群生境适宜性分析, 内蒙古大学年硕士论文, 2006
- [53]汤章城主编. 1999. 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 55~56
- [54]许皓, 李彦. 3种荒漠灌木的用水策略及相关的叶片生理表现[J]. 西北植物学报, 2005.25(7), 1305-1316
- [55]沈繁宜, 刘覃. 植物叶水势与蒸腾强度关系的理论探讨[J]. 植物生理学通讯, 1991, (3): 227~229
- [56]宋耀选, 周茂先, 张小由, 肖洪浪. 额济纳绿洲主要植物的水势与环境因子的关系[J]. 2005, 25(4): 496~499
- [57]贺学礼, 植物学[M], 北京: 高等教育出版社, 2004
- [58]李吉跃, 植物耐旱及其机理[J], 北京林业大学学报, 1991, 13 (3): 92~100

附录 I 各样地物种蒸腾速率日动态拟合曲线及方程

| 样地 | 时间 | 物种 | 方程 | R ² |
|-----|-----------|------|---|----------------|
| BYD | 2007-6-30 | 绵刺 | $y=(199021.08168/(74.87769*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-462.18677)/74.87769)^2)+(559920.25235/(532.36312*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-1085.49645)/532.36312)^2)$ | 0.99624 |
| BYD | 2007-6-30 | 长叶红砂 | $y=118.07855+(104826.90614/(159.51158*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-550.87977)/159.51158)^2)+(184222.89633/(254.94075*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-917.70149)/254.94075)^2)$ | 0.86907 |
| BYD | 2007-6-30 | 红砂 | $y=195.84607+(45614.30782/(144.69258*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-653.19361)/144.69258)^2)+(136204.10429/(232.90702*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-891.59741)/232.90702)^2)$ | 0.97269 |
| BYD | 2007-7-1 | 四合木 | $y=147.09018+(121024.53477/(142.04107*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-523.13471)/142.04107)^2)+(196671.67494/(240.01466*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-892.05805)/240.01466)^2)$ | 0.98196 |
| BYD | 2007-7-1 | 沙冬青 | $y=(328733.67808/(228.90899*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-632.57376)/228.90899)^2)+(109301.311/(172.34738*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-955.07412)/172.34738)^2)$ | 0.99987 |
| BYD | 2007-7-1 | 霸王 | $y=224.20136+(245523.12665/(158.25988*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-586.08776)/158.25988)^2)+(369417.0526/(246.05322*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-976.72278)/246.05322)^2)$ | 0.99827 |
| BYD | 2007-7-2 | 绵刺 | $y=(311587.78455/(118.9725*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-516.37902)/118.9725)^2)+(816163.57957/(372.09005*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-800.41533)/372.09005)^2)$ | 0.98678 |
| BYD | 2007-7-2 | 长叶红砂 | $y=81.57343+(158026.76671/(153.38394*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-926.80688)/153.38394)^2)+(152783.57339/(133.45787*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-570.6899)/133.45787)^2)$ | 0.99758 |
| BYD | 2007-7-2 | 红砂 | $y=155.35898+(186312.60338/(141.82729*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-684.21716)/141.82729)^2)+(78764.31504/(134.04017*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-940.39492)/134.04017)^2)$ | 0.99081 |
| BYD | 2007-7-3 | 四合木 | $y=185.93498+(383109.91377/(320.55629*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-868.38692)/320.55629)^2)$ | 0.92551 |
| BYD | 2007-7-3 | 沙冬青 | $y=(508400.37781/(412.49328*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-803.78796)/412.49328)^2)$ | 0.92053 |
| BYD | 2007-7-3 | 霸王 | $y=103.55925+(867.03807/(0.30371*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-0.57868)/w)^2)$ | 0.95193 |

附录 I 各样地物种蒸腾速率日动态拟合曲线及方程

| | | | | |
|-----|-----------|------------|---|---------|
| NYD | 2007-7-6 | 红砂 | $y = -149.43285 + (302610.3011 / (326.59405 * \sqrt{\pi/2})) * e^{-2 * ((x - 602.31317) / 326.59405)^2} + (231342.58502$ | 1 |
| NYD | 2007-7-6 | 珍珠 | $y = (88447.42763 / (133.25135 * \sqrt{\pi/2})) * \exp(-2 * ((x - 619.71359) / 133.25135)^2) + 183456.25252 / (240.99116 * \sqrt{\pi/2}) * \exp(-2 * ((x - 956.98817) / 240.99116)^2)$ | 0.98723 |
| ZYD | 2007-7-7 | 霸王 | $y = 730.70062 + (390794.56717 / (212.24429 * \sqrt{\pi/2})) * e^{-2 * ((x - 676.65179) / 212.24429)^2} + (211751.08054 / (164.54962 * \sqrt{\pi/2})) * \exp(-2 * ((x - 985.03401) / 164.54962)^2)$ | 0.95746 |
| ZYD | 2007-7-7 | 猫头刺 | $y = 417.25184 + (640584.51881 / (212.45894 * \sqrt{\pi/2})) * e^{-2 * ((x - 604.74951) / 212.45894)^2} + (412467.63672 / (153.68945 * \sqrt{\pi/2})) * \exp(-2 * ((x - 960.96142) / 153.68945)^2)$ | 0.95736 |
| ZYD | 2007-7-7 | 短脚锦 鸡儿 | $y = 471.10781 + (263919.16469 / (78.89405 * \sqrt{\pi/2})) * \exp(-2 * ((x - 492.02578) / 78.89405)^2) + (960451.1318 / (362.62759 * \sqrt{\pi/2})) * \exp(-2 * ((x - 824.91032) / 362.62759)^2)$ | 0.89199 |
| MYD | 2007-7-8 | 绵刺 | $y = 89.56951 + (135221.85027 / (257.82779 * \sqrt{\pi/2})) * \exp(-2 * ((x - 726.20703) / 257.82779)^2)$ | 0.96215 |
| MYD | 2007-7-8 | 霸王 | $y = (2 * 173588.83257 / \pi) * (88.20663 / (4 * (x - 472.01593)^2 + 88.20663^2)) + (2 * 611313.22417 / \pi) * (254.84751 / (4 * (x - 758.95914)^2 + 254.84751^2))$ | 0.90827 |
| MYD | 2007-7-8 | 红砂 | $y = -109.74319 + (301942.38168 / (513.60202 * \sqrt{\pi/2})) * \exp(-2 * ((x - 649.43758) / 513.60202)^2) + (106054.21844 / (82.27273 * \sqrt{\pi/2})) * \exp(-2 * ((x - 1056.05649$ | 0.99029 |
| MYD | 2007-7-9 | 绵刺 | $y = 34.89718 + (281298.97868 / (348.47243 * \sqrt{\pi/2})) * \exp(-2 * ((x - 760.52938) / 348.47243)^2)$ | 0.95127 |
| MYD | 2007-7-9 | 霸王 | $y = -231.59349 + (808248.41154 / (561.01763 * \sqrt{\pi/2})) * \exp(-2 * ((x - 693.95392) / 561.01763)^2) + (167942.84703 / (178.50732 * \sqrt{\pi/2})) * \exp(-2 * ((x - 1114.33553) / 178.50732)^2)$ | 0.92621 |
| MYD | 2007-7-9 | 红砂 | $y = -122.72591 + (2 * 61995.40798 / \pi) * (64.187 / (4 * (x - 432.61193)^2 + 4.187^2)) + (2 * 659429.17356 / \pi) * (868.85127 / (4 * (x - 899.07469)^2 + 868.85127^2))$ | 0.93703 |
| SYD | 2007-7-10 | 梭梭 | $y = 214.43662 + (174164.99833 / (320.44241 * \sqrt{\pi/2})) * e^{-2 * ((x - 728.12699) / 320.44241)^2}$ | 0.85022 |
| SYD | 2007-7-10 | 盐爪爪 | $y = 37.6731 + (75181.04721 / (162.48018 * \sqrt{\pi/2})) * \exp(-2 * ((x - 488.33296) / 162.48018)^2) + (194395.0598 / (367.31841 * \sqrt{\pi/2})) * \exp(-2 * ((x - 826.23132) / 367.31841)^2)$ | 0.97108 |
| BYD | 2007-9-5 | TR 四合 木 | $y = -187.45603 + (42951.09528 / (51.1299 * \sqrt{\pi/2})) * \exp(-2 * ((x - 471.82833) / 51.1299)^2) + (451457.9955 / (718.42595 * \sqrt{\pi/2})) * \exp(-2 * ((x - 706.00129) / 718.42595)^2)$ | 0.95544 |
| BYD | 2007-9-5 | 绵刺 | $y = (66430.72037 / (86.86305 * \sqrt{\pi/2})) * \exp(-2 * ((x - 946.$ | 0.94578 |

| | | | | |
|-----|-----------|------|--|---------|
| | | | $93789/86.86305)^2+(87236.60244/(545.8004*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-647.21284)/545.8004)^2)$ | |
| BYD | 2007-9-5 | 沙冬青 | $y=(95666.13152/(185.58561*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-865.6739)/185.58561)^2)+(55373.53673/(165.0885*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-581.49473)/165.0885)^2)$ | 0.99348 |
| BYD | 2007-9-5 | 红砂 | $y=-276.22525+(358362.85324/(445.0318*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-535.81965)/445.0318)^2)+(152298.89147/(267.73257*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-1065.8704)/267.73257)^2)$ | 0.99749 |
| BYD | 2007-9-5 | 霸王 | $y=(93145.02325/(173.19974*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-525.23665)/173.19974)^2)+(345301.44091/(462.10565*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-802.44612)/462.10565)^2)$ | 0.91629 |
| BYD | 2007-9-5 | 长叶红砂 | $y=67.57504+(173518.29502/(329.00052*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-665.23596)/329.00052)^2)+(108711.97921/(146.1737*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-950.03424)/146.1737)^2)$ | 0.97333 |
| NYD | 2007-8-30 | 红砂 | $y=75.88687+(49550.9074/(48.42263*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-439.75977)/48.42263)^2)+(27933.08828/(113.24733*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-935.43998)/113.24733)^2)$ | 0.88789 |
| NYD | 2007-8-30 | 珍珠 | $y=65.1399+(26628.58175/(112.16198*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-846.60549)/112.16198)^2)+(113506.01831/(150.58376*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-114.89289)/150.58376)^2)$ | 0.94079 |
| ZYD | 2007-8-23 | 霸王 | $y=77.35322+(32218.84739/(80.63519*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-694.75341)/80.63519)^2)$ | 0.83586 |
| ZYD | 2007-8-23 | 猫头刺 | $y=39.14453+(35135.7326/(174.10585*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-831.57272)/174.10585)^2)+(55366.4838/(96.06056*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-577.84338)/96.06056)^2)$ | 1 |
| ZYD | 2007-8-23 | 驼绒藜 | $y=(41836.25729/(58.89886*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-616.75447)/58.89886)^2)+(70385862.84185/(2395.13721*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-5019.35794)/2395.13721)^2)$ | 0.95494 |
| MYD | 2007-8-24 | 霸王 | $y=87.91828+(103715.02427/(257.13954*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-704.69854)/257.13954)^2)$ | 0.8885 |
| MYD | 2007-8-24 | 红砂 | $y=116.51966+(204564.98261/(282.20978*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-161.69679)/282.20978)^2)+(46168.58416/(240.19084*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-686.95616)/240.19084)^2)$ | 1 |
| MYD | 2007-8-27 | 霸王 | $y=-94.94449+(379524.18582/(567.99853*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-701.17104)/567.99853)^2)$ | 0.96091 |
| MYD | 2007-8-27 | 红砂 | $y=112.98838+(74437.67257/(251.71989*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-710.95674)/251.71989)^2)$ | 0.9232 |
| MYD | 2007-9-2 | 绵刺 | $y=94.13152+(78731.00973/(123.64727*\sqrt{\pi/2})))*\exp(-2*((x-525.54778)/123.64727)^2)+(276846.36626/(437$ | 0.92509 |

附录 I 各样地物种蒸腾速率日动态拟合曲线及方程

| | | | | |
|-----|-----------|-----|---|---------|
| | | | $.16673*\sqrt{\pi/2}))*\exp(-2*((x-871.4727)/437.16673)^2)$ | |
| MYD | 2007-9-2 | 霸王 | $y=(130554.52303/(120.72758*\sqrt{\pi/2}))*\exp(-2*((x-1025.07167)/120.72758)^2)+(304513.347/(330.01883*\sqrt{\pi/2}))*\exp(-2*((x-654.25214)/330.01883)^2)$ | 0.98403 |
| MYD | 2007-9-2 | 红砂 | $y=61.92592+(116184.8493/(243.64125*\sqrt{\pi/2}))*\exp(-2*((x-702.61535)/243.64125)^2)+(67431.26395/(197.23688*\sqrt{\pi/2}))*\exp(-2*((x-1049.04116)/197.23688)^2)$ | 0.99554 |
| SYD | 2007-8-31 | 梭梭 | $y=113.253+(2*7725.48829/\pi)*(7.73773/(4*(x-516.33462)^2+7.73773^2))+(2*120764.47248/\pi)*(145.286/(4*(x-759.95733)^2+145.286^2))$ | 0.84489 |
| SYD | 2007-8-31 | 盐爪爪 | $y=60.1032+(89810.78499/(162.94261*\sqrt{\pi/2}))*\exp(-2*((x-550.21813)/162.94261)^2)+(30261.93147/(195.84448*\sqrt{\pi/2}))*\exp(-2*((x-830.95575)/195.84448)^2)$ | 0.98942 |

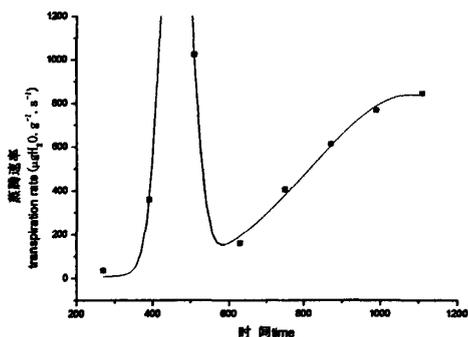


图 I -1 BYD 绵刺日蒸腾速率 07-06-30
Fig. I -1 Diurnal variation of transpiration rate of *Potaninia mongolica* in BYD on 07-06-30

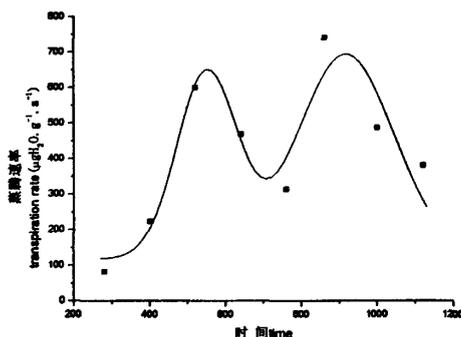


图 I -2 BYD 长叶红砂日蒸腾速率 07-06-30
Fig. I -2 Diurnal variation of transpiration rate of *Reaumuria trigyna* in BYD on 07-06-30

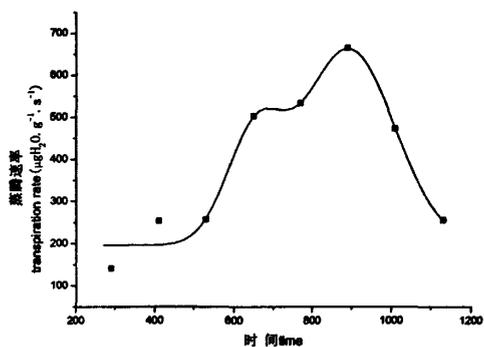


图 I -3 BYD 红砂日蒸腾速率 07-06-30
Fig. I -3 Diurnal variation of transpiration rate of *Reaumuria soongorica* in BYD on 07-06-30

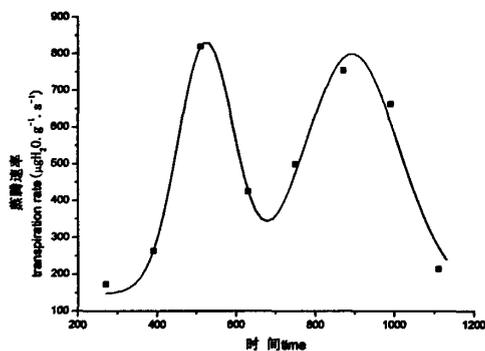


图 I -4 BYD 四合木日蒸腾速率 07-07-01
Fig. I -4 Diurnal variation of transpiration rate of *Tetraena mongolica* in BYD on 07-07-01

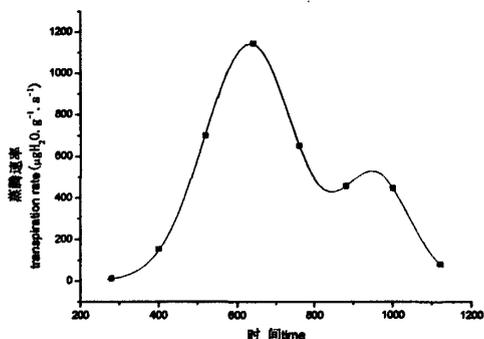


图 I -5 BYD 沙冬青日蒸腾速率 07-07-01
Fig. I -5 Diurnal variation of transpiration rate of *Ammopiptanthus mongolicus* in BYD on 07-07-01

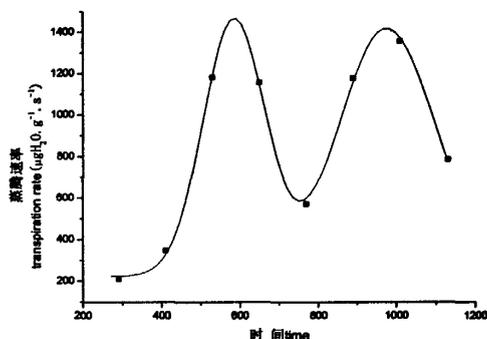


图 I -6 BYD 霸王日蒸腾速率 07-07-01
Fig. I -6 Diurnal variation of transpiration rate of *Zygophyllum xanthoxylon* in BYD on 07-07-01

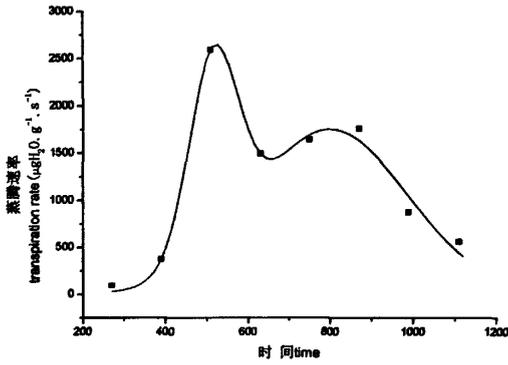


图 I -7 BYD 绵刺日蒸腾速率 07-07-02
Fig. I -7 Diurnal variation of transpiration rate of *Potaninia mongolica* in BYD on 07-07-02

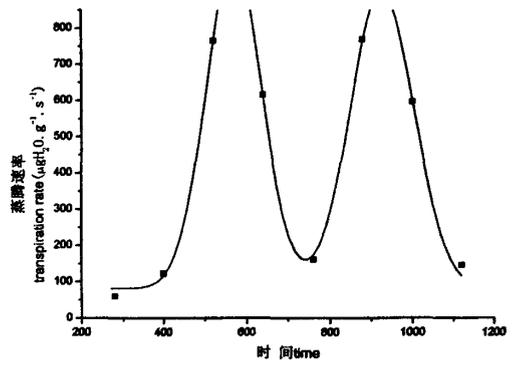


图 I -8 BYD 长叶红砂日蒸腾速率 07-07-02
Fig. I -8 Diurnal variation of transpiration rate of *Reaumuria trigyna* in BYD on 07-07-02

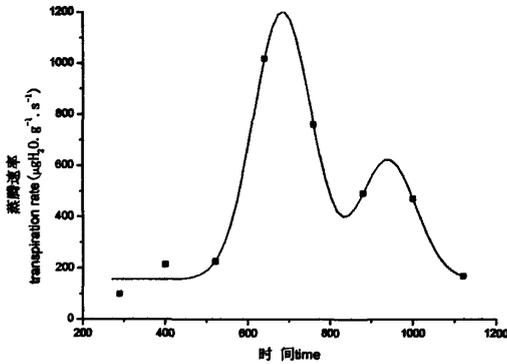


图 I -9 BYD 红砂日蒸腾速率 07-07-02
Fig. I -9 Diurnal variation of transpiration rate of *Reaumria soongorica* in BYD on 07-07-02

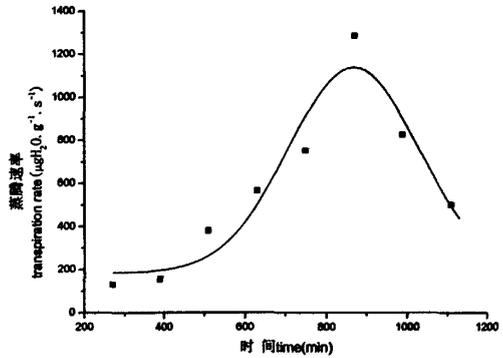


图 I -10 BYD 四合木日蒸腾速率 07-07-03
Fig. I -10 Diurnal variation of transpiration rate of *Tetraena mongolica* in BYD on 07-07-03

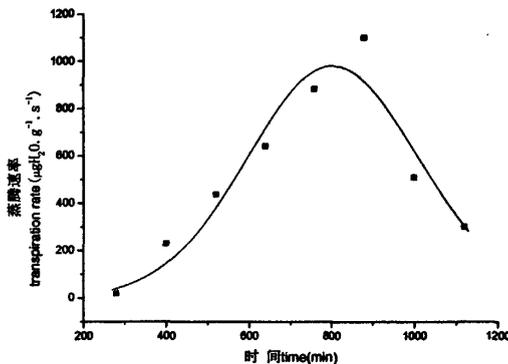


图 I -11 BYD 沙冬青日蒸腾速率 07-07-03
Fig. I -11 Diurnal variation of transpiration rate of *Ammopiptanthus mongolicus* in BYD on 07-07-03

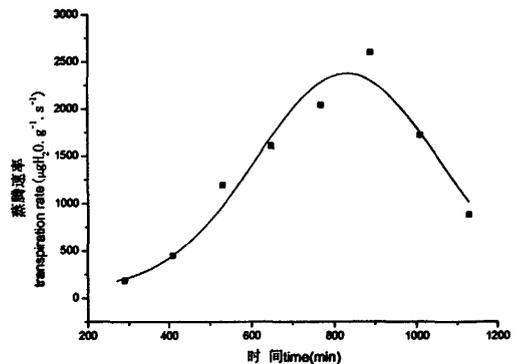


图 I -12 BYD 霸王日蒸腾速率 07-07-03
Fig. I -12 Diurnal variation of transpiration rate of *Zygophyllum xanthoxylon* in BYD on 07-07-03

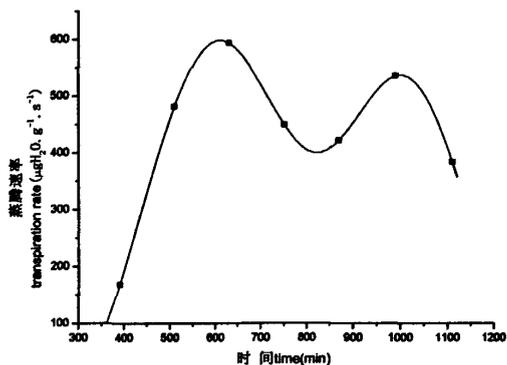


图 I -13 NYD 红砂日蒸腾速率 07-07-06
Fig. I -13 Diurnal variation of transpiration rate of *Reaumria soongorica* in NYD on 07-07-06

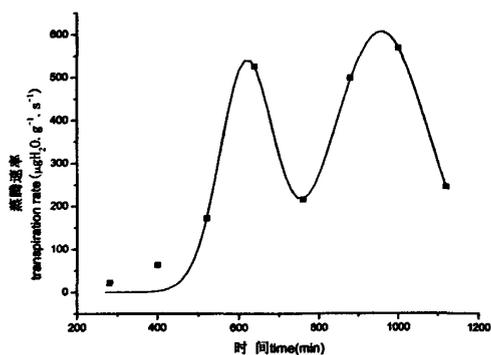


图 I -14 NYD 珍珠日蒸腾速率 07-07-06
Fig. I -14 Diurnal variation of transpiration rate of *Salsola passerina* in NYD on 07-07-06

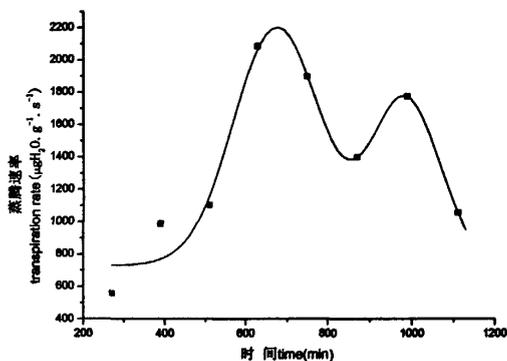


图 I -15 ZYD 霸王日蒸腾速率 07-07-07
Fig. I -15 Diurnal variation of transpiration rate of *Zygophyllum xanthoxylon* in ZYD on 07-07-07

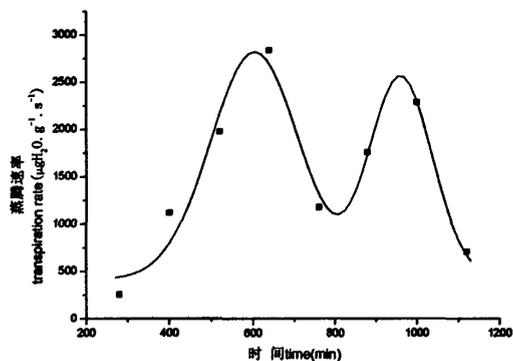


图 I -16 ZYD 猫头刺日蒸腾速率 07-07-06
Fig. I -16 Diurnal variation of transpiration rate of *Oxytropis aciphylla* in ZYD on 07-07-06

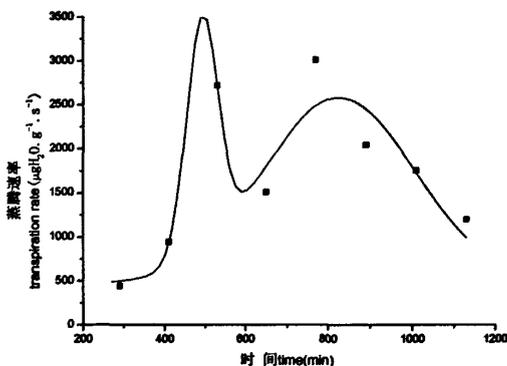


图 I -17 ZYD 短脚锦鸡儿日蒸腾速率 07-07-07
Fig. I -17 Diurnal variation of transpiration rate of *Caragana brachypoda* in ZYD on 07-07-07

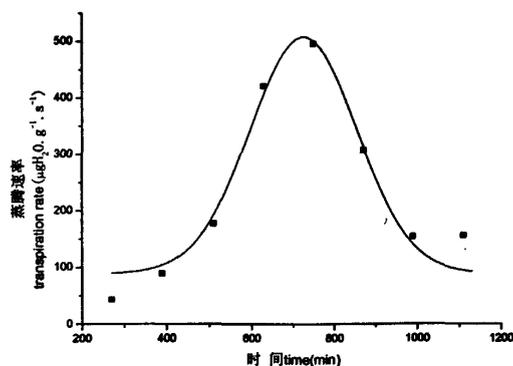


图 I -18 MYD 锦刺日蒸腾速率 07-07-08
Fig. I -18 Diurnal variation of transpiration rate of *Potaninia mongolica* in MYD on 07-07-08

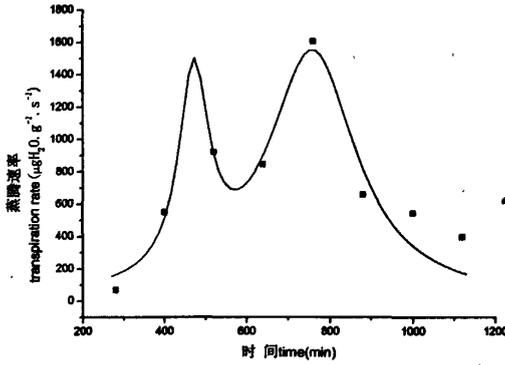


图 I -19 MYD 霸王日蒸腾速率 07-07-08
Fig. I -19 Diurnal variation of transpiration rate of *Zygophyllum xanthoxylon* in MYD on 07-07-08

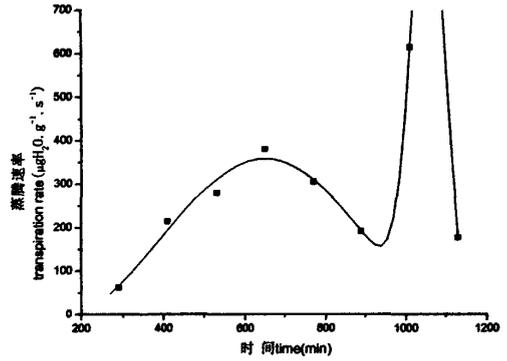


图 I -20 MYD 红砂日蒸腾速率 07-07-08
Fig. I -20 Diurnal variation of transpiration rate of *Reaumria soongorica* in MYD on 07-07-08

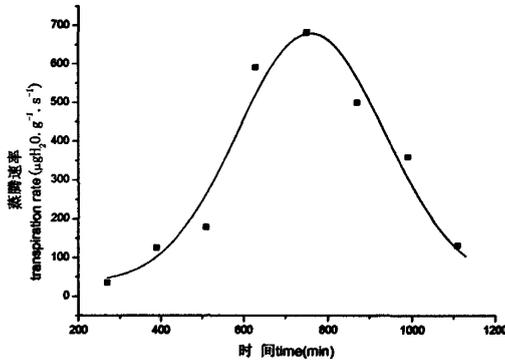


图 I -21 MYD 绵刺日蒸腾速率 07-07-09
Fig. I -21 Diurnal variation of transpiration rate of *Potaninia mongolica* in MYD on 07-07-09

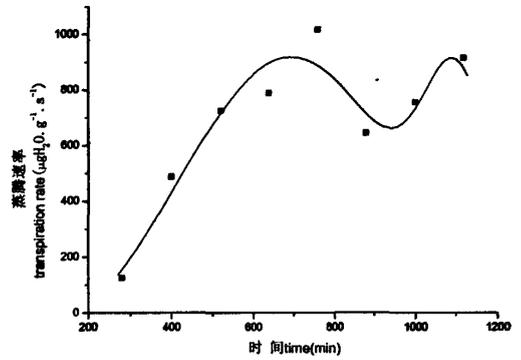


图 I -22 MYD 霸王日蒸腾速率 07-07-09
Fig. I -22 Diurnal variation of transpiration rate of *Zygophyllum xanthoxylon* in MYD on 07-07-09

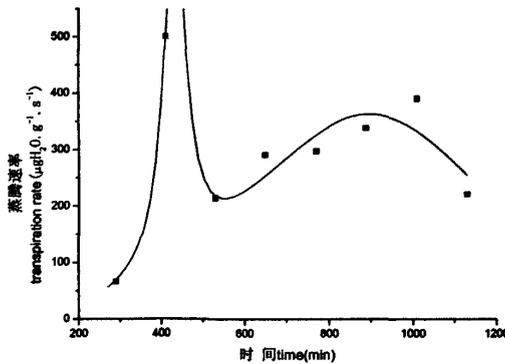


图 I -23 MYD 红砂日蒸腾速率 07-07-09
Fig. I -23 Diurnal variation of transpiration rate of *Reaumria soongorica* in MYD on 07-07-09

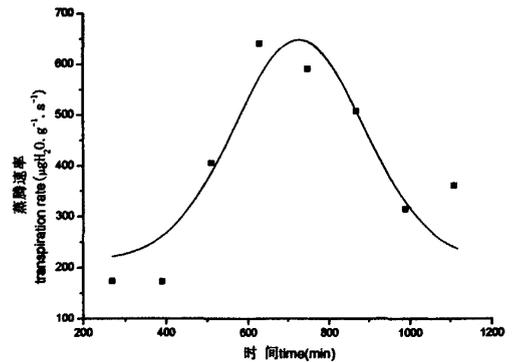


图 I -24 SYD 梭梭日蒸腾速率 07-07-10
Fig. I -24 Diurnal variation of transpiration rate of *Haloxylon ammodendron* in SYD on 07-07-10

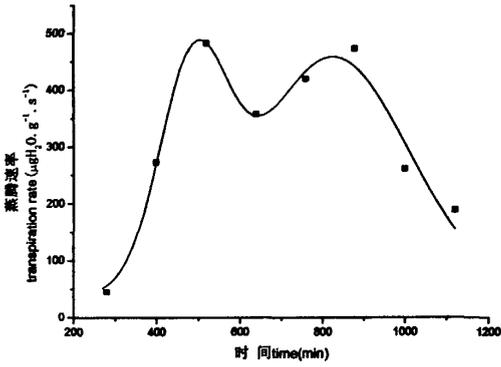


图 I -25 SYD 盐爪爪日蒸腾速率 07-07-10

Fig. I -25 Diurnal variation of transpiration rate of *Kalidium gracile* in SYD on 07-07-10

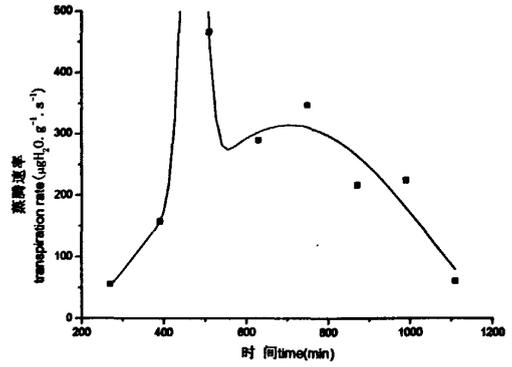


图 I -26 BYD 四合木日蒸腾速率 07-09-05

Fig. I -26 Diurnal variation of transpiration rate of *Tetraena mongolica* in BYD on 07-09-05

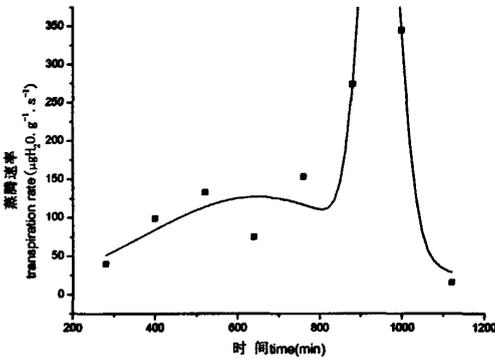


图 I -27 BYD 绵刺蒸腾速率 07-09-05

Fig. I -27 Diurnal variation of transpiration rate of *Potaninia mongolica* in BYD on 07-09-05

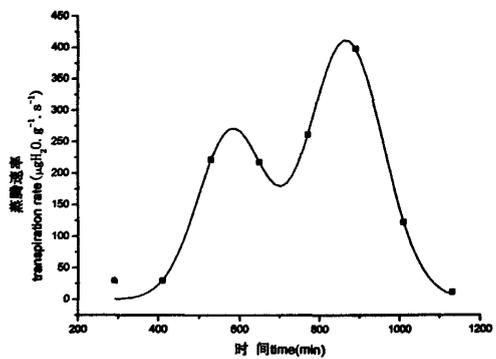


图 I -28 BYD 沙冬青蒸腾速率 07-09-05

Fig. I -28 Diurnal variation of transpiration rate of *Ammopiptanthus mongolicus* in BYD on 07-09-05

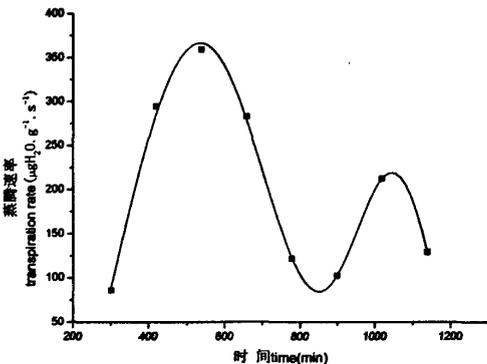


图 I -29 BYD 红砂蒸腾速率 07-09-05

Fig. I -29 Diurnal variation of transpiration rate of *Reaumria soongorica* in BYD on 07-09-05

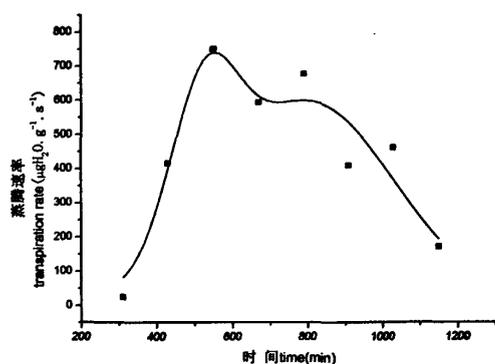


图 I -30 BYD 霸王蒸腾速率 07-09-05

Fig. I -30 Diurnal variation of transpiration rate of *Zygophyllum xanthoxylon* in BYD on 07-09-05

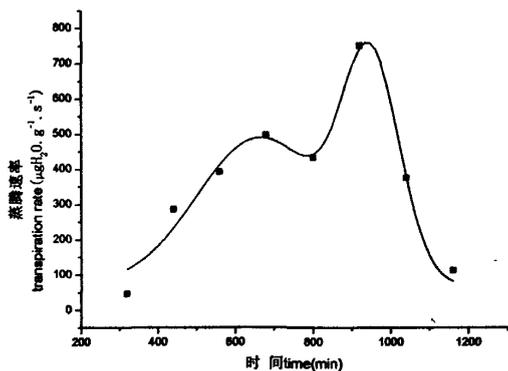


图 I -31 BYD 长叶红砂蒸腾速率 07-09-05
Fig. I -31 Diurnal variation of transpiration rate of *Reaumria trigyna* in BYD on 07-09-05

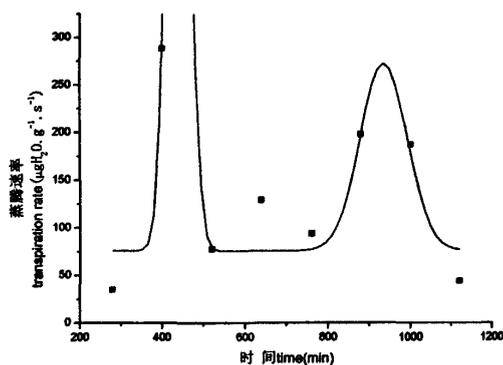


图 I -32 NYD 红砂蒸腾速率 07-08-30
Fig. I -32 Diurnal variation of transpiration rate of *Reaumria soongorica* in NYD on 07-08-30

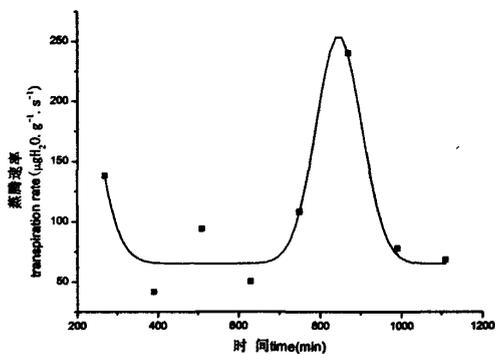


图 I -33 NYD 珍珠蒸腾速率 07-08-30
Fig. I -33 Diurnal variation of transpiration rate of *Salsola passerina* in NYD on 07-08-30

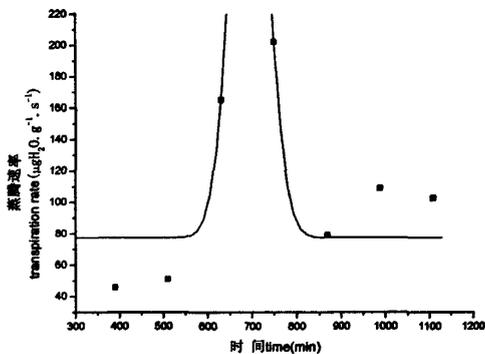


图 I -34 ZYD 霸王蒸腾速率 07-08-23
Fig. I -34 Diurnal variation of transpiration rate of *Zygophyllum xanthoxylon* in ZYD on 07-08-23

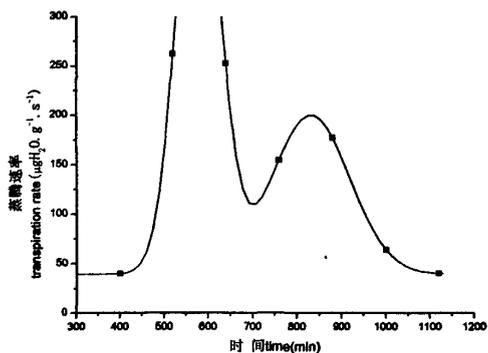


图 I -35 ZYD 猫头刺蒸腾速率 07-08-23
Fig. I -35 Diurnal variation of transpiration rate of *Oxytropis aciphylla* in ZYD on 07-08-23

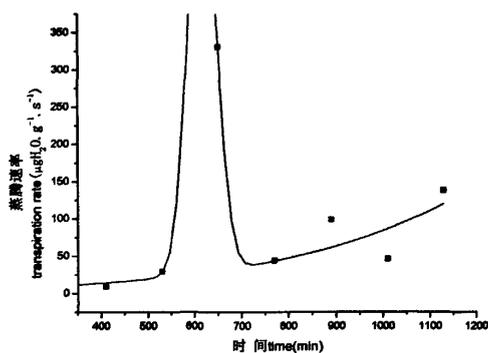


图 I -36 ZYD 驼绒藜蒸腾速率 07-08-23
Fig. I -36 Diurnal variation of transpiration rate of *Ceratoides lateens* in ZYD on 07-08-23

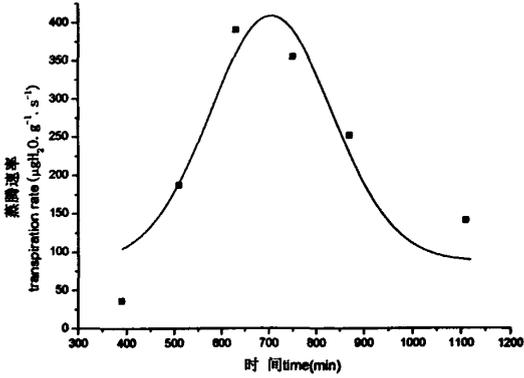


图 I -37 MYD 霸王蒸腾速率 07-08-24
Fig. I -37 Diurnal variation of transpiration rate of *Zygophyllum xanthoxylon* in MYD on 07-08-24

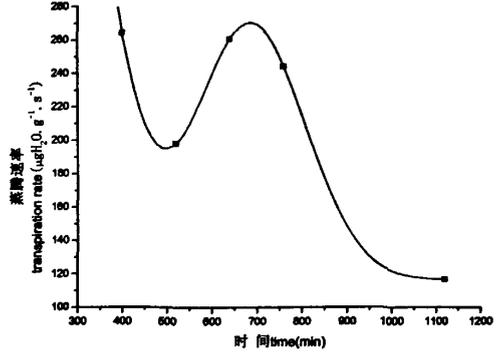


图 I -38 MYD 红砂蒸腾速率 07-08-24
Fig. I -38 Diurnal variation of transpiration rate of *Reaumria soongorica* in MYD on 07-08-24

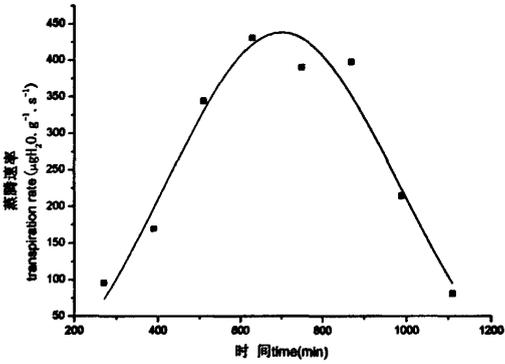


图 I -39 MYD 霸王蒸腾速率 07-08-27
Fig. I -39 Diurnal variation of transpiration rate of *Zygophyllum xanthoxylon* in MYD on 07-08-27

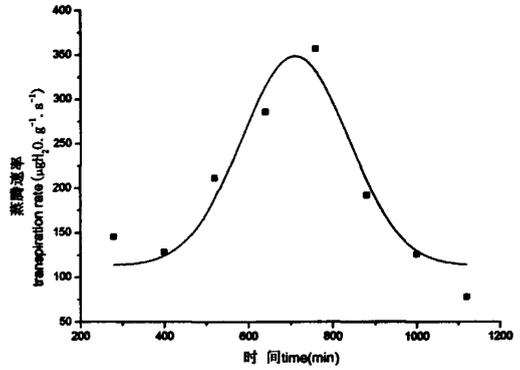


图 I -40 MYD 红砂蒸腾速率 07-08-27
Fig. I -40 Diurnal variation of transpiration rate of *Reaumria soongorica* in MYD on 07-08-27

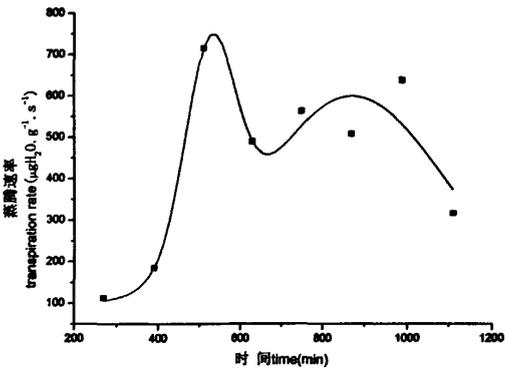


图 I -41 MYD 绵刺蒸腾速率 07-09-02
Fig. I -41 Diurnal variation of transpiration rate of *Potaninia mongolica* in MYD on 07-09-02

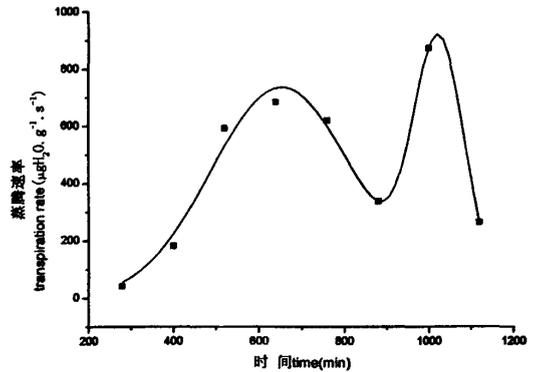


图 I -42 MYD 霸王蒸腾速率 07-09-02
Fig. I -42 Diurnal variation of transpiration rate of *Zygophyllum xanthoxylon* in MYD on 07-09-02

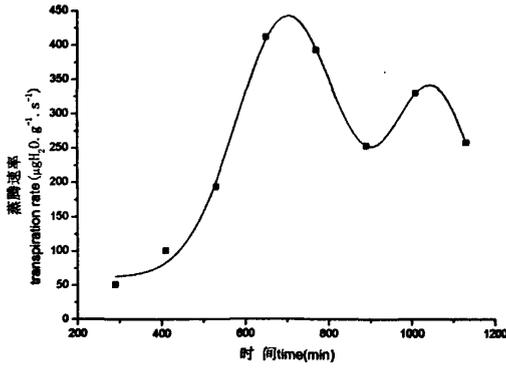


图 I -43 MYD 红砂蒸腾速率 07-09-02
Fig. I -43 Diurnal variation of transpiration rate of *Reaumria soongorica* in MYD on 07-09-02

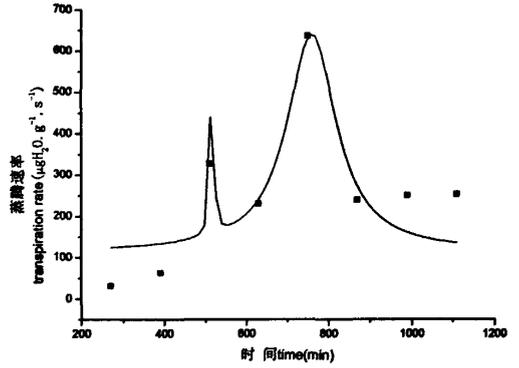


图 I -44 SYD 梭梭蒸腾速率 07-08-31
Fig. I -44 Diurnal variation of transpiration rate of *Haloxylon ammodendron* in SYD on 07-08-31

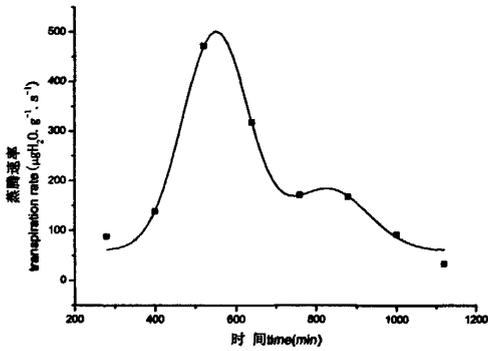


图 I -45 SYD 盐爪爪蒸腾速率 07-08-31
Fig. I -45 Diurnal variation of transpiration rate of *Kalidium gracile* in SYD on 07-08-31

附录 II 各样地水势变化曲线图

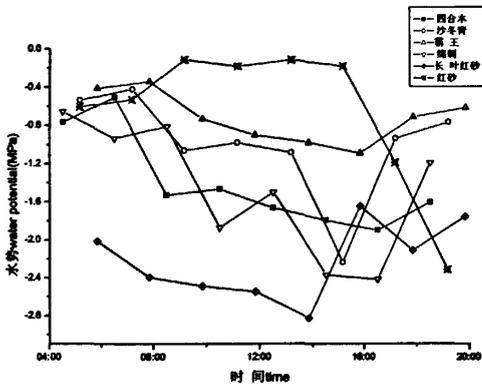


图 II-1 BYD-07-05-06 水势日动态
Fig. II -1 Diurnal variation of water potential in BYD on 07-05-06

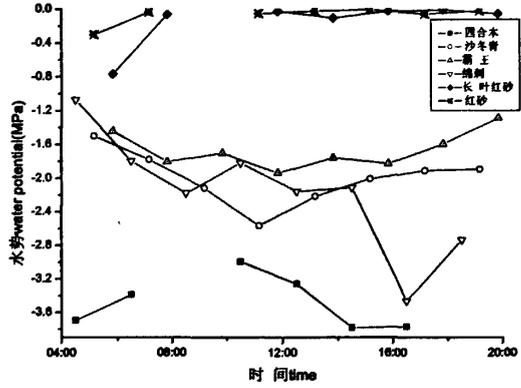


图 II-2 BYD-07-07-01 水势日动态
Fig. II -1 Diurnal variation of water potential in BYD on 07-07-01

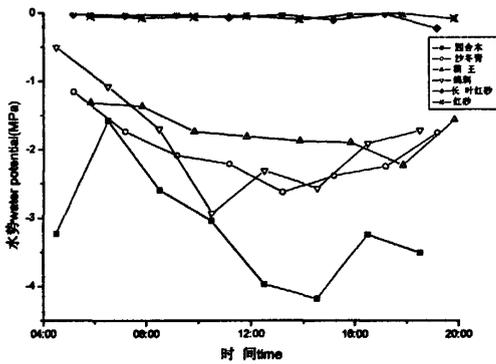


图 II-3 BYD-07-07-03 水势日动态
Fig. II -3 Diurnal variation of water potential in BYD on 07-07-03

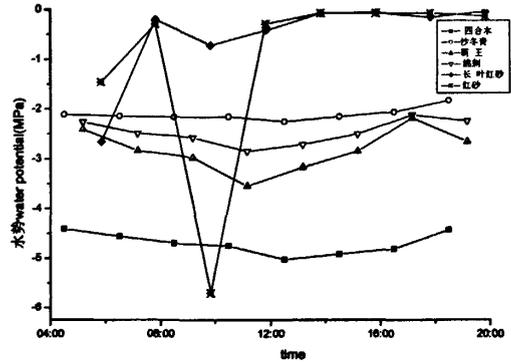


图 II-4 BYD-07-09-05 水势日动态
Fig. II -4 Diurnal variation of water potential in BYD on 07-09-05

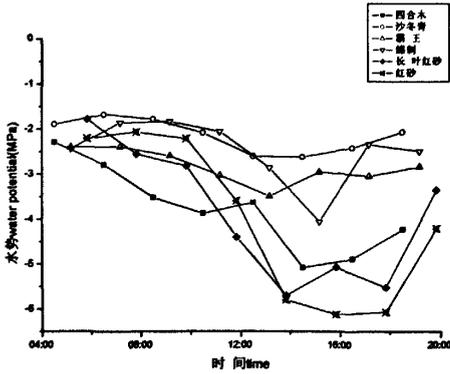


图 II-5 BYD-07-10-01 水势日动态
Fig. II-5 Diurnal variation of water potential in BYD on 07-10-01

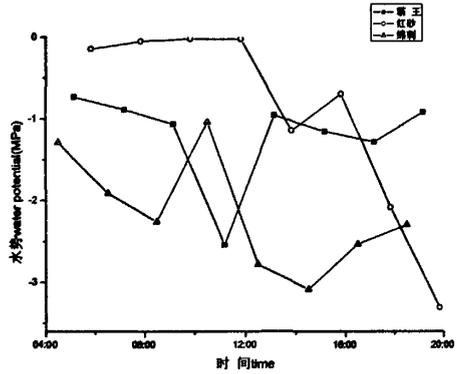


图 II-6 MYD-07-05-03 水势日动态
Fig. II-6 Diurnal variation of water potential in MYD on 07-05-03

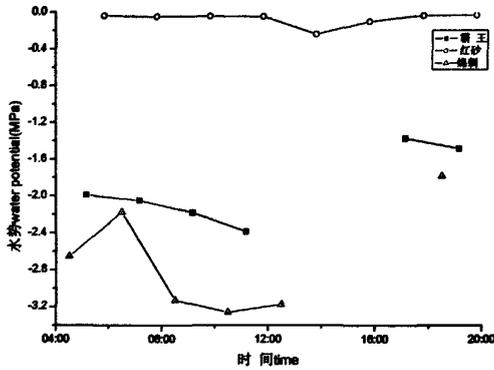


图 II-7 MYD-07-07-08 水势日动态
Fig. II-7 Diurnal variation of water potential in MYD on 07-07-08

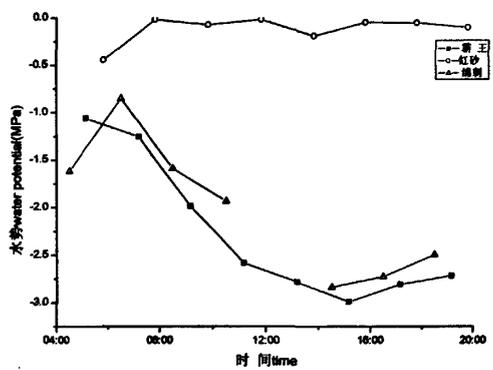


图 II-8 MYD-07-07-09 水势日动态
Fig. II-8 Diurnal variation of water potential in MYD on 07-07-09

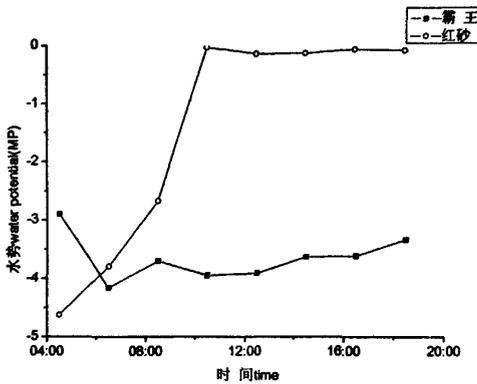


图 II-9 MYD-07-08-24 水势日动态
Fig. II-9 Diurnal variation of water potential in MYD on 07-08-24

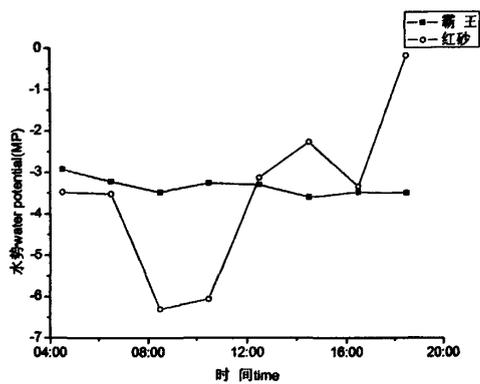


图 II-10 MYD-07-08-27 水势日动态
Fig. II-10 Diurnal variation of water potential in MYD on 07-08-27

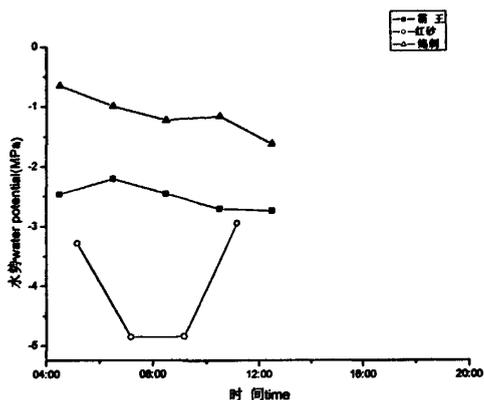


图 II-11 MYD-07-09-01 水势日动态
Fig. II-11 Diurnal variation of water potential in MYD on 07-09-01

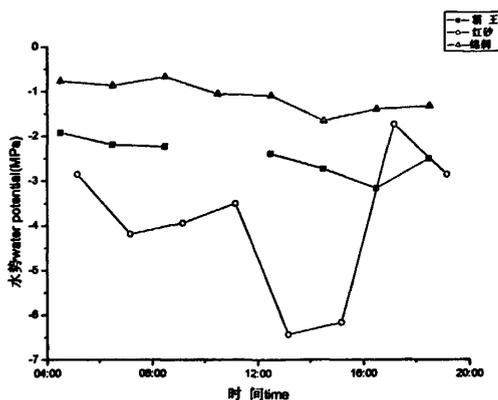


图 II-12 MYD-07-09-02 水势日动态
Fig. II-12 Diurnal variation of water potential in MYD on 07-09-02

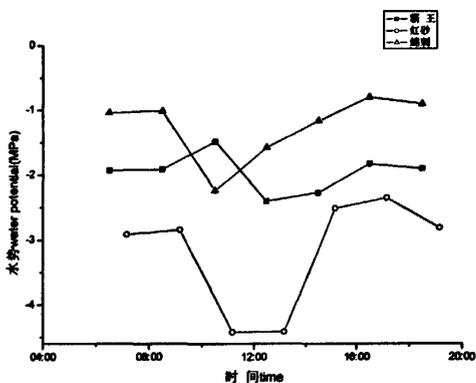


图 II-13 MYD-07-10-05 水势日动态
Fig. II-13 Diurnal variation of water potential in MYD on 07-10-05

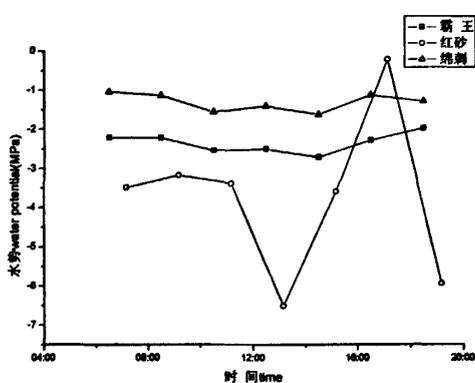


图 II-14 MYD-07-10-07 水势日动态
Fig. II-14 Diurnal variation of water potential in MYD on 07-10-07

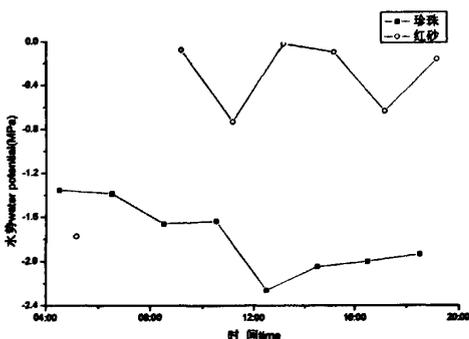


图 II-15 NYD-07-04-30 水势日动态
Fig. II-15 Diurnal variation of water potential in NYD on 07-04-30

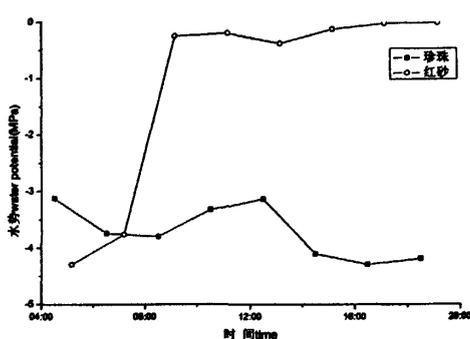


图 II-16 NYD-07-07-06 水势日动态
Fig. II-16 Diurnal variation of water potential in NYD on 07-07-06

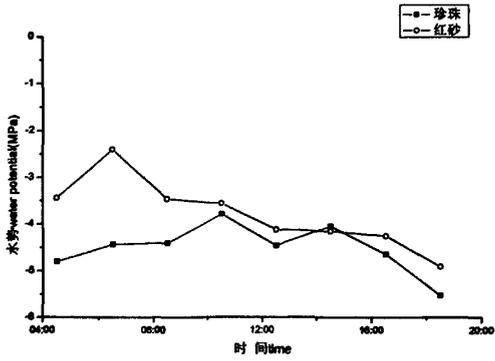


图 II-17 NYD-07-08-30 水势日动态

Fig. II-17 Diurnal variation of water potential in NYD on 07-08-30

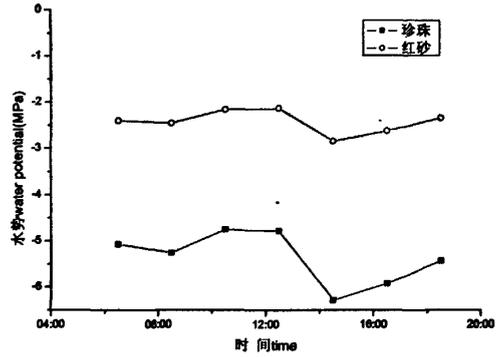


图 II-18 NYD-07-10-03 水势日动态

Fig. II-18 Diurnal variation of water potential in NYD on 07-10-03

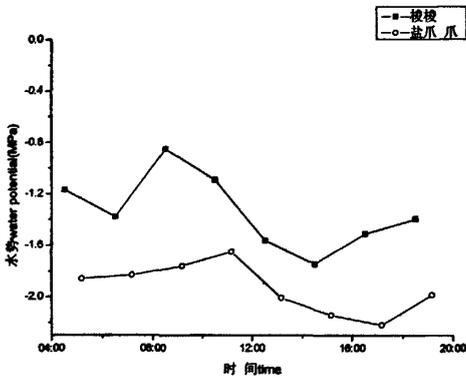


图 II-19 SYD-07-05-04 水势日动态

Fig. II-19 Diurnal variation of water potential in SYD on 07-05-04

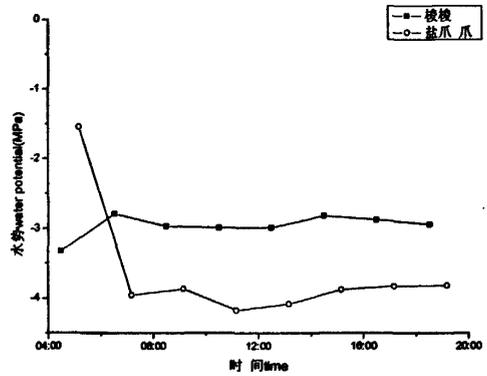


图 II-20 SYD-07-07-10 水势日动态

Fig. II-20 Diurnal variation of water potential in SYD on 07-07-10

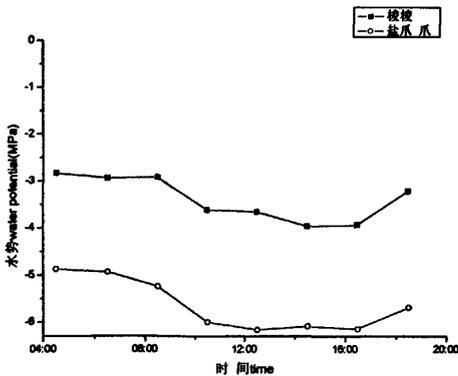


图 II-21 SYD-07-08-31 水势日动态

Fig. II-21 Diurnal variation of water potential in SYD on 07-08-31

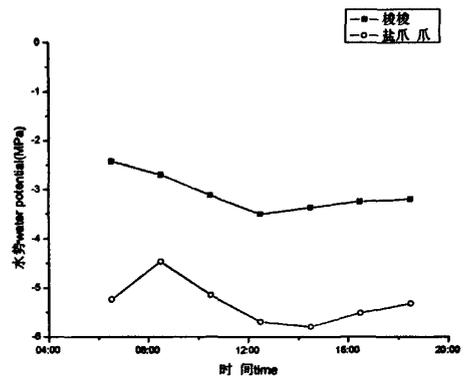


图 II-22 SYD-07-10-06 水势日动态

Fig. II-22 Diurnal variation of water potential in SYD on 07-10-06

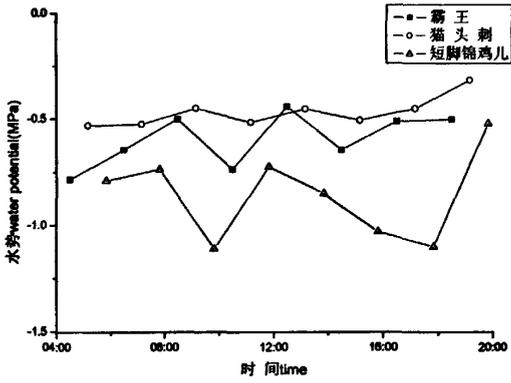


图 II-23 ZYD-07-05-02 水势日动态
Fig. II-23 Diurnal variation of water potential in ZYD on 07-05-02

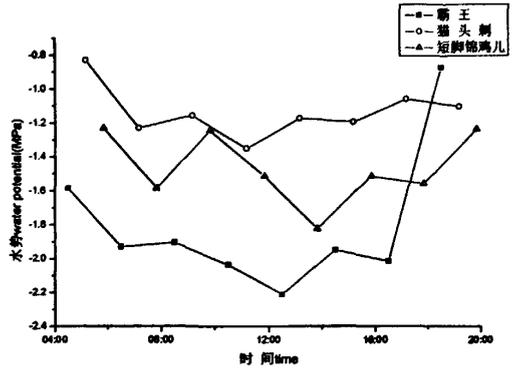


图 II-24 ZYD-07-07-07 水势日动态
Fig. II-24 Diurnal variation of water potential in ZYD on 07-07-07

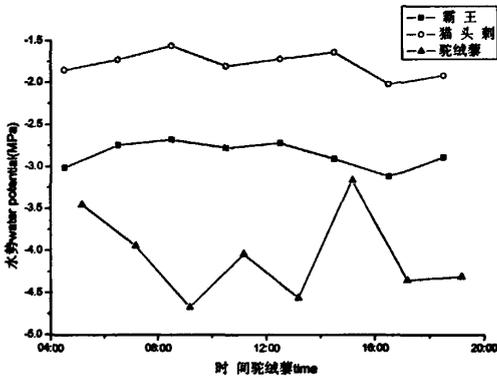


图 II-25 ZYD-07-08-23 水势日动态
Fig. II-25 Diurnal variation of water potential in ZYD on 07-08-23

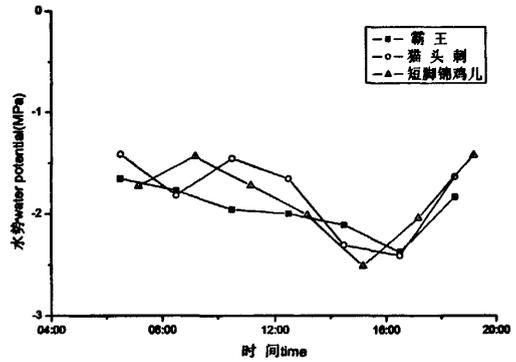


图 II-26 ZYD-07-10-04 水势日动态
Fig. II-26 Diurnal variation of water potential in ZYD on 07-10-04

致谢

三年紧张而充实的研究生生活即将结束，在硕士学位论文完成之际，我在这里向所有支持、关心和帮助过我的人们表示最诚挚的谢意！

首先要感谢导师梁存柱教授，论文是在导师亲切关怀和悉心指导下完成的。在此，向我的导师表示衷心的感谢！本文不论是从实验设计、方法、数据采集，还是数据的处理以及论文的撰写，无不包含着导师的心血；在跟随导师学习的三年时间里，导师不仅传授了做学问的秘诀，还传授了做人的准则，这些都将使我受益终身。我的每一点进步都与导师的谆谆教诲分不开的。在论文完成、即将毕业之际，向辛勤培育我的梁老师致以我诚挚的谢意和崇高的敬意！

王伟教授对论文的立题、野外工作计划等多次提出重要的修改意见。王老师在我三年硕士学习生活中传授我知识，激励我思考，引导我学习，其言传身教使我受益匪浅。并且王伟老师做学问和做人的态度将对我以后的学习和生活产生深刻的影响。

感谢项目组的王立新副教授三年来对我的指导和帮助，以及对实验生活上无微不至的照顾。我觉得很幸运、很自豪也很感激来到这个课题组，这三年的生活将是我人生最宝贵的财富。

感谢苗百岭师兄、马保连师姐、姜超师兄、迟延燕师姐、陈丽师姐等师兄师姐在我野外工作与实验中给予的帮助与鼓励；感谢研究生刘小平、银晓瑞、朱晓梅、刘丹辉、欧文雅、宋振宏、于洪波、谢文波、李璐、侯建等人野外实验过程中给我的帮助和鼓励；感谢本科生付晓玥、闫建成的帮助；还要感谢姜艳丰、邵阳、李丹、德力格尔、杨跃文、王慧清、娄菊花、高伟、王常顺、安东妮、赵登亮等 206 同门给予的帮助，在此对他们表示衷心的感谢，同窗之谊和手足之情，我将终生难忘！感谢我的好友田莹对我的支持和鼓励。

感谢宋炳煜老师、邢万金老师、候鑫老师给予的大力帮助和指导。

最后，特别感谢我的父母家人对我的付出，他们的关爱与支持是我完成学业的保障！

王琼

2008-6-10