

不同生境条件四合木 (*Tetraena mongolica*) 内源 激素季节变化及种群差异

石松利, 王迎春*, 周健华

(内蒙古大学生命科学学院, 呼和浩特 010021)

摘要: 四合木 (*Tetraena mongolica* Maxim) 是西鄂尔多斯地区特有的单种属古地中海残遗植物。选择了分布区内有代表性的低山、台地、丘陵、高平原、倾斜平原 5 个典型生境的四合木种群为研究对象。对不同生境四合木种群密度、盖度、年龄结构和根际土壤理化性质进行研究, 运用酶联免疫吸附法对四合木叶片内源激素 (ABA、IAA、GA₃、ZT) 季节变化和生境间差异性进行探讨。结果表明: (1) 不同生境四合木种群密度、盖度、年龄结构存在显著差异, 且低山、台地、丘陵种群所处生境有利于幼苗更新, 其密度和盖度均显著大于高平原和倾斜平原种群; (2) 四合木根际土壤有机质含量、土壤含水量、营养元素 (N、P、K)、微量元素 (Fe、Mn、Cu、Zn、Mo、B) 含量均较低, pH 偏高, 体现出贫瘠碱性化的荒漠土壤特点。运用数理统计将 5 个样地土壤理化性质进行聚类分析, 分为两类: 低山、台地、丘陵种群为一类 (A 类), 高平原、倾斜平原为一类 (B 类)。方差分析表明: A 类样地土壤营养元素 (N、P、K) 和微量元素 (全 Fe、Mn、Zn、B、Mo 与有效量)、土壤有机质含量及土壤含水量都显著高于 B 类, 而 pH 值显著低于 B 类。 (3) 5 个四合木种群 ABA 和 GA₃ 含量均表现为: 8 月份 > 6 月份 > 5 月份; IAA 的含量和 ZT 的含量均表现为: 6 月份 > 8 月份 > 5 月份。方差分析表明: 5 月份 IAA 含量表现为在 A 类样地 > B 类样地, 8 月份 ABA 含量和 GA₃ 含量表现为在 A 类样地 > B 类样地。 (4) 四合木分布区存在较大的生境异质性, 在其长期适应过程中, 生境条件差异导致了种群在生理生态方面的分化。四合木种群密度、盖度、年龄结构以及土壤养分、水分和内源激素在生境间存在着差异。

关键词: 不同生境; 四合木种群; 内源激素; 土壤理化性质; 差异

文章编号: 1000-0933 (2009) 05-2252-11 中图分类号: Q142, Q145, Q945, Q948 文献标识码: A

The seasonal change of endogenous phytohormone and differentiation of populations in *Tetraena mongolica* in different habitats

SHI Song-Li, WANG Ying-Chun*, ZHOU Jian-Hua

College of Life Sciences, InnerMongolia University, Huhhot 010021, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2252 ~ 2262.

Abstract: *Tetraena mongolica* Maxim, an ancient specie in its own genus and well-adapted to drought environments, is a xerophytic shrublet in the Western Erdos, Inner Mongolia. Five populations of *T. mongolica* in the habitats of upland, hill tableland, high plain and terrace were selected as our research objects. Through analyze the soil physical and chemical characters, drawing the charts of density, coverage, age-class structures of *T. mongolica* populations in the different habitats, to investigate the change of endogenous phytohormone (ABA, IAA, ZT, GA₃) in the leaf of *T. mongolica* populations with season and habitats by means of Enzyme Linked Immunosorbent Assay (ELISA). The results showed (1) There was a significant difference in density, coverage and age-class structures of *T. mongolica* populations in different habitats. The habitats of Upland, hill and tableland population were fit for seedlings rebirthing, and the density and coverage in these three populations were significantly higher than that of high plain and terrace populations. (2) The content of organic matter, nutritional elements (N、P、K), micro-element (Fe、Mn、Cu、Zn、Mo、B) was very low, but the pH

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30460033); 国家重点基础研究发展计划 973 资助项目 (2006CB708404)

收稿日期: 2008-07-30; 修订日期: 2009-02-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ycwang@imu.edu.cn

was high. This embodied the bad condition of barren soil and alkalization in desert. The physical and chemical index of soil in *T. mongolica* were cluster analyzed and *T. mongolica* population in five habitats were classified into two groups: upland, hill and tableland populations (group A) and high plain and terrace populations (group B). The content of organic matter, pH, nutritional elements (N, P, K), micro-elements (Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B) in the group A was significantly higher than that in group B. (3) The change trend of ABA and GA₃ in the five populations were distinct and regulative in the whole growing season, i. g. August > June > May. Similarly, The content of IAA and ZT embodied distinct regulative changes, i. g. June > August > May. The content of IAA in May, ABA and GA₃ in August in group A were significantly higher than that in group B. (4) There was large heterogeneous habitat in the distribution region of *T. mongolica*, the difference of habitats resulted in the differentiation of population in physio-ecological in the long adaptability process, resulted the differences in density, population coverage, age-class structures, soil-nutrient, soil water content and endogenous phytohormone of *T. mongolica* populations in different habitats.

Key Words: different habitats; *Tetraena mongolica* population; endogenous phytohormone; soil physical and chemical characters; differences researches

四合木(*Tetraena mongolica* Maxim)为荒漠强旱生小灌木,典型的西鄂尔多斯特有单属、种和特有群系,古地中海残遗植物,隶属蒺藜科(Zygophyllaceae)。四合木及其形成的群落,目前在亚洲中部荒漠区只有极为有限的分布区,主要分布在鄂尔多斯高原西北部,库布齐沙漠以南,乌兰布和沙漠以东,亚玛雷克沙漠以北的桌子山(阿拉巴素山)的山麓地带,少量延伸到相邻的乌达低山残丘区^[1],在维持荒漠生态系统的功能方面具有重要作用,是内蒙古高原、亚洲中部荒漠地区特有 60 种单属植物之一,在植物分类、植物区系研究上具有重要的科学意义^[2]。有关四合木的研究已比较深入,已从分布区的自然地理与气候、生物学特性、生理学、植物化学成分、生态学、传粉昆虫和景观破碎化过程到群落、种群、个体、细胞和遗传结构等不同层次,进行了较为系统的研究^[3~13]。近年来由于在四合木分布区过度放牧、过度砍伐现象严重,尤其是在人类采矿、修路、土地开发、及城市化建设等活动干扰下,四合木种群在分布区内破碎化程度逐渐加剧,生境适宜性已明显下降,濒危状况日益严重,因此对该种群的濒危机制及其保护的研究具有重要的意义^[3]。研究生境差异对四合木种群的影响,可以揭示种群建立和发展过程中的一些机理,也可为保护措施的制定提供一定的科学依据。

有关生境差异对四合木种群影响研究主要集中在不同生境条件下四合木种群的结构特征的比较研究、生长和繁殖的种群间变异等方面^[14,15]。研究结果表明生境差异对种群结构变化有重要影响,在以往研究成果的基础上,对不同生境条件下四合木种群密度、盖度以及土壤养分、水分和植物内源激素进行研究,将从更深层次探索生境差异对四合木种群的影响。土壤养分是植物生长、发育和维持所必需的资源,土壤与植物之间相互作用产生了各种复杂和不断变化的空间格局,可以认为土壤资源的空间异质性会促进植物的空间异质性,反之亦然。一些植物个体可以改变其生长及生理特征以适应不同的环境条件^[16~18]。植物内源激素是对植物生长发育产生显著作用的一类生长调节物质,影响植物生长发育的基本规律和代谢过程且与植物抗逆性息息相关。鉴于此本研究选取了分布区内有代表性的低山、台地、丘陵、高平原、倾斜平原 5 个典型生境为研究样地,通过对不同生境四合木种群密度、盖度和根际土壤理化性质研究,并运用酶联免疫吸附法对 5 月、6 月、8 月份四合木叶片 ABA、IAA、GA₃、ZT 的季节变化和生境间差异性进行研究,综合分析了不同生境四合木种群内源激素含量变化以及抗逆生理活性特征,探讨生境差异对四合木种群的影响。

1 研究区域自然概况

研究区域设在内蒙古乌海市及其近郊附近,该区大陆性气候明显,自然环境十分恶劣,冬季寒冷、夏季酷热、干旱少雨、风大沙多、土壤贫瘠,热量丰富。年均降雨 139.8mm,年均蒸发量为 3217.7mm,是降雨的 23 倍,干燥度 4.05;全年日照总时数平均为 2792.2 h,年平均温度为 9.8℃,极端最高气温达 39.4℃,极端最低气温为 -32.6℃,地面最高温度达 63.4℃;湿润系数为 0.13。全年多大风,最大风速达 28m/s,多集中在 4 ~

7 月。

乌海市气象局近两年的降雨资料显示 2005 年和 2006 年的年降雨量分别为 78.7mm 和 90.1mm(其中 2006 年 5 月 25.7 mm、6 月份 2.4 mm、8 月份 25.4mm),与年均降水量 139.8mm 相比分别降低了 43.7% 和 35.6%,说明该地区干旱程度在这两年有进一步加剧的趋势。

2 材料与方法

2.1 样地选择

2006 年多次到野外进行考察,考察路线囊括了四合木分布区的不同地形地貌、土壤类型等生境。为了充分反映分布区内的生境异质性,选择了分布区内比较有代表性的低山、台地、丘陵、高平原、倾斜平原 5 个典型生境为研究样地。每个样地运用 GPS 定位,确定经度、纬度和海拔,记录群落类型和土壤类型(表 1)。

表 1 样地及其特征一览表
Table 1 Characters in research region

样地 Plot(No.)	定位 Orientation	海拔 Altitude	生境特点* Environmental characters
1	N 39°21'57" E 106°53'43"	1212m	低山;土壤为砾石质;优势种为四合木,伴生种以草霸王 <i>Zygophyllum mucronatum</i> ,沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i> ,半日花 <i>Helianthemum soongoricum</i> ,蒙古葱 <i>Allium mongolicum</i> 为主
2	N 39°22'30" E 106°53'52"	1285m	台地;土壤为砾石质;优势种为四合木,伴生种以沙生针茅 <i>Stipa glareosa</i> ,珍珠 <i>Salsola passerina</i> ,狭叶锦鸡儿 <i>Caragana stenophylla</i> ,无芒隐子草 <i>Cleistogenes songarica</i> ,红沙 <i>Reaumuria soongorica</i> 为主,少量霸王 <i>Zygophyllum xanthoxylo</i>
3	N 39°28'53" E 106°53'31"	1216m	丘陵;土壤为砾石质;主要植被为四合木,伴生种以梭梭 <i>Haloxylon ammodendro</i> 和无芒隐子草为主
4	N40°14'58" E 107°05'36"	1150m	高平原;土壤为沙砾质;主要植被为四合木、霸王,伴生种以无芒隐子草、沙生针茅、锦刺 <i>Potania mongolica</i> 和长叶红砂 <i>Reaumuria trigyna</i> 为主
5	N40°09'07" E 106°54'44"	1065m	倾斜平原;土壤为沙砾质;主要植被为四合木、霸王,伴生种以半日花、锦刺 <i>Potania mongolica</i> 、蒙古葱、糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i> 为主

* Upland; soil type is gravel; predominance species is *T. mongolica*. Companion species is *Zygophyllum mucronatu*, *Hippophae rhamnoides*, *Helianthemum soongoricum*, *Allium monglicum*; Tableland; soil type is gravel; predominance species is *T. mongolica*. Companion species is *Stipa glareosa*, *Salsola passerine*, *Caragana stenophylla*, *Cleistogenessongari*, *Reaumuria soongorica* and *Zygophyllum xanthoxylo*; Hill; soil type is gravel; predominance species is *T. mongolica*. Companion species is *Haloxylon ammodendro* and *C. songarica*; high plain; soil type is sandy loams; predominance species is *T. mongolica* and *Z. xanthoxylo*. Companion species is *C. songarica*, *S. glareosa*, *Potania mongolica* and *Reaumuria trigyna*; Terrace; soil type is sandy loams; predominance species is *T. mongolica* and *Z. xanthoxylo*. Companion species is *H. soongoricum*, *P. mongolica*, *A. monglicum*, *Cleistogenes squarrosa*

2.2 植物种群特征调查

采用无样地取样的样线法,在每一种群内部随机设置 50m 长的样线 5 条,记录每条样线四合木出现位置(离样线起始点的距离),测量四合木株高(通过四合木株冠中心点的自然垂直高度)及冠幅(经过株冠中心点的两个直径的平均值)。分别以 50m 样线上四合木植株数目作为其种群密度指标,以植株的投影在样线上的投影盖度作为种群盖度的一个度量指标。根据张云飞等^[19]建立的冠幅、株高与年龄的多元回归研究结果可知,四合木植株的年龄与高度的相关性较小($r=0.35$),与冠幅的相关关系较好($r=0.57$),回归方程为 $\ln(\text{冠幅})=2.73+0.059X$ (X 表示年龄, $n=176$, $P<0.0001$)。据此本文采用所测得的冠幅数据计算出各样地四合木的年龄,以 3a 为一龄级统计各龄级内的株树以确定年龄结构。

2.3 样品的采集与处理

2.3.1 土壤样品的采集

通过野外调查发现,四合木的根量在表土下 0~30cm 分布最为丰富,故 2006 年 8 月中旬,在所选样地内用土壤剖面法采集四合木根际土,采样深度为 0~30cm(去表土)。在每个样地选取 50m×50m 的样方 3 个,在每个样方内按 S 型路线随机取样,每个样地各选点 25 个,将土样混合,分为 3 个重复。

2.3.2 植物样品的采集

2006 年 5 月份、6 月份、8 月份分别在所选样地采集四合木幼苗。在每个样地选取 50m×50m 的样方 3

个,在每个样方内按 S 型路线随机取样,每个样地取样 25 株,将其叶片混合,分为 3 个重复。随即包好,放入液氮速冻带回室内分析。

2.4 室内测定

2.4.1 土壤样品理化性质的测定

(1) 土壤有机质、pH 值和土壤含水量的测定

用重铬酸钾加热法测定土壤有机质;用 Seven easy 酸度计测定 pH 值;烘干称重法测定土壤含水量。

(2) 土壤营养元素的测定

分别测定了不同样地中土壤的 6 种营养元素含量,采用 BÜCHI B-324 定氮仪、UVIKON 810 紫外可见分光光度计和 6400-A 火焰光度计进行测定。土壤样品中全 N 和碱解 N 的测定采用开氏法;全 P 和有效 P 的测定采用分光光度法;全 K 的测定采用火焰光度法。

(3) 土壤微量元素的测定

分别测定了不同样地中土壤的 12 种微量元素含量^[20,21],采用 SpectrAADUO 原子吸收分光光度计、AF-610 原子荧光光谱仪、UVIKON 810 紫外可见分光光度计和 JP303 极谱仪进行测定。

土壤样品中总 Fe、Mn、Cu、Zn 的测定:原子吸收分光光度法;土壤样品中有效 Fe、Mn、Cu、Zn 的测定:DTPA 浸提,原子吸收分光光度法;总 B 和有效 B 的测定:沸水浸提-姜黄素比色法;总 Mo 和有效 Mo 的测定:草酸-草酸铵浸提,极谱法

2.4.2 激素含量的测定

从超低温冰箱(-80℃)中取出试验材料,称取 1g 叶片样品于研钵中,加 5ml 80% 的甲醇冰浴中研磨成匀浆,将匀浆液全部转入离心管中,于 5000 × g 离心 15min,弃去残渣,上清液过 C-18 固相萃取柱,将过柱后的样品转入 5 ml 塑料离心管中,用氮气吹干,除去提取液中的甲醇,用样品稀释液定容。用酶联免疫吸附测定法按照包被→洗板→竞争→洗板→加二抗→洗板→加底物显色→比色过程测定 ABA, IAA, ZT, GA₃ 消光值→分别从 ABA、IAA、ZT、GA₃ 标准曲线上查出样品中各类激素的含量。

2.5 数据处理

实验结果运用 EXCEL2003 和 SPSS13.0 软件进行绘图和数据处理,采用 One-Way ANOVA 方法在 $P < 0.05$ 水平上进行方差分析,对差异显著的指标运用 Duncan 检验进行多重比较。

3 结果分析

3.1 不同生境四合木种群特征

3.1.1 不同生境四合木种群密度和盖度

图 1 所示,研究区不同生境四合木种群密度表现为 1 号(21 株/50m) > 3 号(19.7 株/50m) > 2 号(17.5 株/50m) > 4 号(7.8 株/50m) > 5 号(4.5 株/50m),即低山种群密度最大,丘陵种群密度次之,倾斜平原密度最小。方差分析表明,不同生境间四合木种群密度差异显著($P < 0.05$)。对不同种群间的差异进行 Duncan 检验,发现 1 号、2 号、3 号显著大于 4 号、5 号,而 1 号、2 号、3 号之间差异不显著,4 号、5 号之间差异不显著。不同生境霸王密度表现为 4 号、5 号显著大于 2 号,4 号、5 号之间无显著差异。

图 2 所示,研究区不同生境四合木种群盖度表现为

2 号(2196.25cm/50m) > 1 号(1494.75 cm/50m) > 3 号(1114.5 cm/50m) > 4 号(1010.5 cm/50m) > 5 号(435 cm/50m),即台地种群盖度最大,低山种群次之,倾斜平原种群最小。方差分析表明,不同生境间四合木

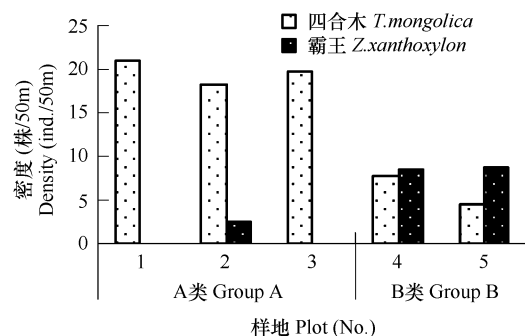


图 1 不同生境四合木、霸王种群密度的变化

Fig. 1 The density change of *T. mongolica* and *Z. xanthoxylon* populations in different habitats

种群盖度差异显著 ($P < 0.05$)。对不同种群间的差异进行 Duncan 检验,发现除 3 号与 1 号、4 号之间差异不显著外,其余样地之间差异均显著。不同生境霸王盖度表现为 4 号、5 号显著大于 2 号,4 号、5 号之间无显著差异。

3.1.2 不同生境四合木种群的年龄结构

从图 3 可以看出:不同生境四合木种群的年龄结构均表现为幼龄个体数目很少的共同特征。幼龄个体的缺少表明种群处于衰退状态。但因所处生境的差异,各种群内不同年龄的四合木个体数量分布存在显著差异,其个体数目出现的峰值亦有差别。其中 1 号低山种群和 3 号丘陵种群的在所有种群中 1 龄级个体比例最大分别为 4.8% 和 10.1%,个体数目峰值均出现于 7 龄级且 10 龄级以上个体均未出现,1~7 龄级个体数分别占 67.9% 和 86.4%;2 号台地种群个体数目峰值出现于 8 龄级,1~7 龄级个体仅占 21.1%,8~12 龄级个体数占 78.9%;4 号高原种群和 5 号倾斜平原种群个体数目峰值均出现于 10 龄级,4 号种群 2~5 龄级个体均未出现,年龄集中在 9~11 龄级所占比例为 69%,而所有种群中仅该种群出现 13 龄级个体,所占比例为 3.5%;5 号种群 2 龄级、3 龄级和 5 龄级未出现,年龄集中在 7~10 龄级所占比例为 76.5%。

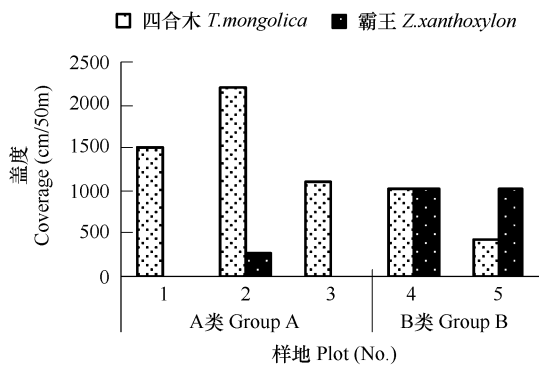


图 2 不同生境四合木、霸王种群盖度的变化

Fig. 2 The coverage change of *T. mongolica* and *Z. xanthoxylon* populations in different habitats

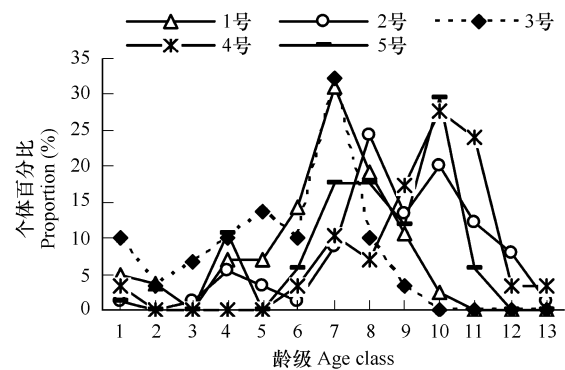


图 3 不同生境四合木种群年龄结构变化

Fig. 3 Age-class structures of *T. mongolica* populations in different habitats

3.2 土壤样品的理化性质

所选样地土壤样品采用风干土样,测定前过 1mm 筛,结果见表 2。

土壤有机质是土壤中各种营养元素特别是氮、磷的重要来源。四合木分布区土壤有机质含量较低 (0.154% ~ 0.630%),除速效钾含量较高外,全 N、P、K 含量、有效 N、P 均很低,甚至某些样地出现了“有效 P 亏缺”现象,出现这一现象的原因还有待于进一步研究。以上说明土壤的肥力极低,可以被植物直接吸收利用的钾的量很高。同时土壤含水量较低 (2.4270% ~ 5.4753%),而土壤 pH 值却相对较高 (8.16 ~ 8.57),体现出该地区土壤贫瘠且碱性化的荒漠化特点。

从四合木分布区植物生长所需的 6 种微量元素含量与世界和我国正常土壤平均含量^[22~24]以及荒漠区土壤微量元素的平均含量比较可见,研究区 Fe、Mn、Cu、Zn、Mo 全量均低于世界土壤、全国土壤和荒漠区土壤的平均含量。全 B 含量均高于世界土壤、全国土壤和荒漠区土壤的平均含量。这一研究结果与智颖颀等^[9]的研究结果相一致,反映出该地区在土壤微量元素含量方面的特殊性。在微量元素的有效量方面,研究区土壤中 Fe、Mn、Cu、Zn、Mo、B 的有效量均低于全国土壤和荒漠区土壤。

将表 2 中的土壤理化指标通过数理统计分析进行聚类,聚为两类:第一类 1 号、2 号、3 号样地(称 A 类);第二类 4 号、5 号样地(称 B 类)。分析发现 A 类样地存在以下共同点:土壤类型均为砾石质;建群植被均为四合木群落;海拔相对较高均在 1212m 以上。B 类样地存在以下共同点:土壤类型为沙砾质;建群植被为四合

木+霸王群落,海拔相对较低均在 1150m 以下。方差分析结果表明,两类样地土壤理化性质相比,呈现出一定规律性即 A 类样地除 pH 值低于 B 类样地外其它指标中均显著高于 B 类样地:有机质含量、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾、总铁、总锰、总铜、总锌、总硼、有效锰、有效铜、有效硼、有效钼、土壤含水量。

表 2 各样地理化性质指标一览表

Table 2 Physical and chemical index of soil in research region

项目 Item	样地 Plot				
	1	2	3	4	5
有机质 Organic matter(%)	0.556	0.630	0.438	0.221	0.154
pH	8.16	8.41	8.22	8.57	8.56
全氮 Total N(%)	0.038	0.045	0.032	0.011	0.012
全磷 Total P(%)	0.027	0.029	0.025	0.016	0.025
全钾 Total K(%)	1.98	2.06	2.18	1.89	1.99
碱解氮 (mg/kg)	16	16	20	6.7	6.4
有效磷 Available P(mg/kg)	—	0.208	0.208	—	—
速效钾 Available K(mg/kg)	97.5	70.0	132	40.0	42.5
总铁 Total Fe(mg/kg)	36.8	26.0	22.6	19.1	21.0
总锰 Total Mn(mg/kg)	360	360	341	231	246
总铜 Total Cu(mg/kg)	14.0	15.1	15.0	8.66	9.13
总锌 Total Zn(mg/kg)	33.2	34.2	34.2	25.2	23.2
总硼 Total b(mg/kg)	56.5	251	171	70.6	133
总钼 Total Mo(mg/kg)	0.18	0.20	0.20	0.17	0.21
有效铁 Available Fe(mg/kg)	1.96	3.73	2.30	1.72	1.32
有效锰 Available Mn(mg/kg)	8.06	12.7	9.48	5.63	3.42
有效铜 Available Cu(mg/kg)	0.770	1.23	1.24	0.235	0.188
有效锌 Available Zn(mg/kg)	0.191	0.226	0.22	0.101	0.158
有效硼 Available B(mg/kg)	0.327	0.502	0.744	0.112	0.207
有效钼 Available Mo(mg/kg)	0.016	0.016	0.018	0.014	0.015
土壤含水量 Soil water content(%)	5.4753	5.2420	4.9283	3.8857	2.4270

* 表中数据为 3 次测定所得平均值 The data in table are averages of three measurements; —表示低于检出限 Notates the results smaller than the detection limit

3.3 四合木内源激素含量的测定

3.3.1 四合木叶片 ABA 含量的变化

不同生境四合木叶片 ABA 含量季节变化具有相同趋势即 8 月份 > 6 月份 > 5 月份(图 4)。5 月份 ABA 含量最低,均在 1000 ng/gFW 左右;6 月份 ABA 含量增加到 2000ng/gFW 左右,特别是 3 号样地该时期其含量增加至 3742.90 ng/gFW 是 5 月份的 7.2 倍,为所有样地中最大值;8 月份,其 ABA 含量急剧增加并达到生长季最大值,此时 3 号样地含量仍然为所有样地中的最高值。

四合木 ABA 含量在不同生境间比较研究结果表明:5 月份四合木 ABA 含量在生境间差异性不显著;6 月份 3 号样地显著高于其余样地,其余各样地之间差异性不显著;8 月份,ABA 含量在不同生境中差异性显著,对不同种群间的差异进行 Duncan 检验,发现 1 号、2 号、3 号样地均显著大于 4 号、5 号样地,1 号、2 号、3 号样地之间差异不显著,4 号、5 号样地之间差异不显著,即 8 月份 ABA 含量表现为 A 类样地 > B 类样地。

3.3.2 四合木体内 IAA 含量的变化

不同生境四合木叶片 IAA 的含量动态变化具有相同趋势即 6 月份 > 8 月份 > 5 月份(图 5)。5 月份生长素含量最低,除 2 号样地外,其它均处于 50ng/gFW 以下,2 号样地显著高于其它样地;6 月份,各个样地生长素含量都有所增加,并均达到生长季最高值;8 月份,四合木生长素含量略有下降。值得注意的是,3 号样地 6 月份和 8 月份 IAA 含量均达到所有样地的最大值。

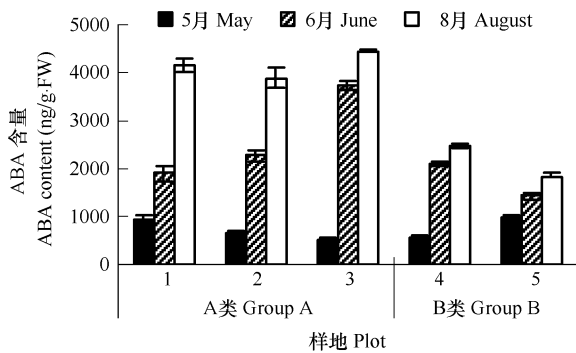


图4 四合木(*T. mongolica*)ABA 含量变化
Fig. 4 Changes of ABA content in *T. mongolica*

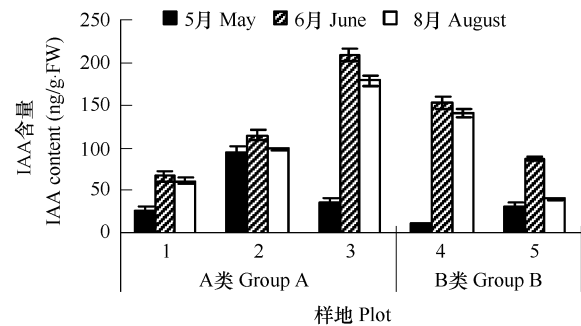


图5 四合木(*T. mongolica*)IAA 含量变化
Fig. 5 Changes of IAA content in *T. mongolica*

四合木 IAA 含量在不同生境间比较研究结果表明:5 月份四合木 IAA 含量在生境间差异性显著,对不同种群间的差异进行 Duncan 检验,发现 2 号显著高于其余各样地,1 号、2 号、3 号显著大于 4 号、5 号,且 1 号和 3 号之间、4 号和 5 号之间差异性均不显著,这说明 5 月份,2 号样地即台地种群 IAA 含量最大,两类样地间存在差异性:A 类显著大于 B 类。6 月份和 8 月份 IAA 含量在不同生境间均表现为 3 号 > 4 号 > 2 号 > 1 号、5 号,差异性显著,而 1 号、5 号样地之间差异性不显著,说明 6 月份和 8 月份 3 号丘陵种群 IAA 含量为所有样地最高值,4 号高平原种群次之。

3.3.3 四合木体内 ZT 含量的变化

不同生境四合木在整个生长发育期叶片 ZT 含量动态变化具有相同趋势即 6 月份 > 8 月份 > 5 月份(图 6)。5 月份含量总体处于最低水平;6 月份,各个样地 ZT 含量都有所增加,并均达到生长季最高值;8 月份,四合木 ZT 含量略有下降。同样,3 号样地在 6 月份 ZT 含量达到所有样地中的最高值。

四合木 ZT 含量在不同生境间比较研究结果表明:5 月份四合木 ZT 含量在生境间差异性未达到显著水平,2 号样地台地种群显著高于其余各样地为最高值,其它样地之间差异性不显著。6 月份 ZT 含量在不同生境间表现为 3 号 > 4 号 > 2 号、1 号、5 号,差异性显著,而 2 号、1 号、5 号样地之间差异性不显著,说明 6 月份丘陵种群 ZT 含量为所有样地最高值。8 月份四合木 ZT 含量在生境间差异未达到显著水平。

3.3.4 四合木体内 GA₃ 含量的变化

不同生境四合木在整个生长发育期叶片 GA₃ 含量动态变化具有相同趋势,即 8 月份 > 6 月份 > 5 月份(图 7)。5 月份四合木叶片内 GA₃ 的含量极低;6 月份 GA₃ 含量稍微有所增加;8 月份,GA₃ 含量显著增加,并均达到生长季最高值。3 号样地在 6 月份和 8 月份 GA₃ 含量均呈现出所有样地中的最高值。

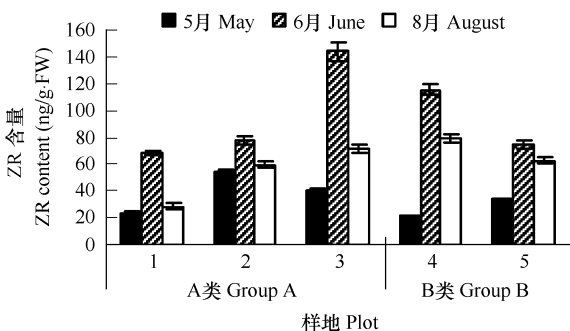


图6 四合木(*T. mongolica*)ZT 含量变化
Fig. 6 Changes of ZT content in *T. mongolica*

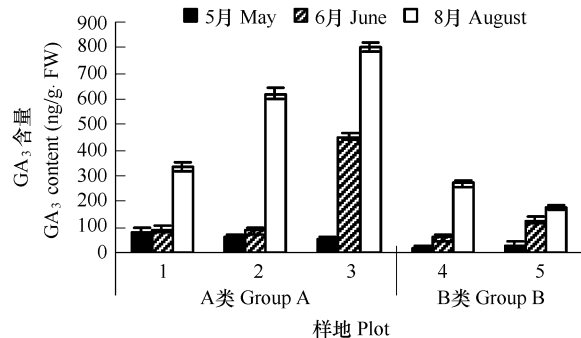


图7 四合木(*T. mongolica*)GA₃ 含量变化
Fig. 7 Changes of GA₃ content in *T. mongolica*

四合木 GA_3 含量在不同生境间比较研究结果表明:5 月份和 6 月份四合木 GA_3 含量在生境间差异性未达到显著水平,6 月份 3 号样地显著高于其余各样地;8 月份, GA_3 含量在生境间差异性显著,表现为 3 号 > 2 号 > 1 号 > 4 号、5 号,除 4 号与 5 号之间不显著外其余均显著。这说明 8 月份 GA_3 含量表现为 A 类样地显著大于 B 类。

4 讨论

4.1 四合木内源激素含量季节变化及抗逆生理活性特征

植物内源激素是一类重要的生长调节物质,与植物的生长发育、抗逆性都息息相关。近年来,ABA 被认为是植物感知逆境的信息物质,可能影响多种生理过程^[25]。研究表明在土壤水分亏缺或过多时,植物内源激素充当信号物质在植物生长和发育过程中起着重要作用,特别是 ABA,一般认为在干旱和水淹情况下含量显著增加^[26,29]。本实验结果表明证实了 ABA 与抗旱性和叶片生长发育的相关性。5 月份四合木分布区雨水较为充足,该月的降雨量达到全年最大值为 25.7 mm,平均气温也相对较低约为 14~15℃,叶片处于初始萌动阶段(生长较快),测得的 ABA 含量处于整个生长发育期的最低值;6 月份降雨量仅为 2.4 mm,气温升高为 20℃左右,叶片生长旺盛,ABA 含量有所增加;8 月份降雨量与 5 月份相近为 25.4mm,但气温迅速上升平均为 35℃,极端温度达 39.5℃,叶片生长趋缓,其体内 ABA 含量急剧增加达生长季最大值,说明大气温度升高所产生的干旱胁迫可能是导致 ABA 含量增加的主要原因。证实在逆境胁迫下,ABA 作为一种逆境信号在植物受到干旱胁迫下发挥重要作用,在一定程度上显示出 ABA 的累积和抗旱性的增加存在显著的正相关。

IAA、ZT 和 GA_3 都是促进植物生长发育的一类物质。5 月份气温相对较低,四合木叶片处于初始萌发阶段,IAA、ZT 和 GA_3 含量均为生长季最低值;6 月份气温升高,正值叶片生长旺盛期,IAA、ZT、 GA_3 含量均有所增加,且 IAA 和 ZT 达生长季最大值;8 月份叶片生长趋缓,气温也急剧升高,植物面临干旱高温的环境胁迫,IAA 和 ZT 含量有所降低,而 GA_3 含量升高达生长季最大值。这与刘瑞香等^[30]在研究沙棘叶片时得出的 IAA 和 ZT 的含量随着干旱程度的增强,其含量随之降低结论相一致,也与目前普遍认为的当植物感受到干旱胁迫时,促进生长的激素在植物体内的含量降低,而抑制生长的激素含量提高,以提高植物抗逆性的特点^[31,33]相一致。但本文得出干旱胁迫下 GA_3 含量升高与上述有不一致之处,而与王霞等^[34]研究怪柳属植物在干旱胁迫下 GA_3 总体表现为上升的特点相似。

4.2 不同生境条件下四合木种群差异性探讨

进化适应是植物在自然界不断完善其生存、繁衍能力的基本过程。不同生境四合木种群密度、盖度、年龄结构以及土壤理化性质和内源激素的差异性与所处地形、土壤类型、海拔高度、气候等生态因子存在密切的关系,生境的异质性造成了土壤理化性质的异质性,从而引起了地上植物建群种的变化。不同立地条件下,光、土壤温度、土壤水分、土壤养分、土壤通透性等状况不同,植物的生长情况也就不同。各种土壤理化特性中,土壤水分和养分对植物的生长影响最大。A 类样地地形为低山、台地和丘陵,海拔虽然相对较高,但其土壤类型均为砾石质,这在干旱少雨、风大沙多、土壤含水量非常低的西鄂尔多斯地区,能够减少水分蒸发,提高土壤保水能力,有利于土壤养分转化与循环,从而有效的被植物吸收。A 类样地四合木具有高的土壤养分和水分,对种群的更新和植物生长非常有利,环境中资源丰富(土壤养分)植株将更多的资源投资给地上部分,高养分小生境更趋向于产生高密度的植被^[35]。因而 A 类样地生境有利于幼苗更新和生长,四合木种群密度、盖度较大,建群种为四合木群落,适于建立核心保护区。而 B 类样地地形为平原,土壤类型均为沙砾质,蒸发快,土壤保水性差,不利于土壤水分和养分的保持。因而该类样地土壤养分、水分相对 A 类样地较低,生境不利于幼苗更新和生长,四合木逐渐被适应性更强的近缘种霸王取代其建群种变为四合木和霸王群落,四合木种群密度、盖度较小,种群更新严重受阻,年龄结构又集中在老龄个体内,因而有趋于消亡的趋势,应该引起关注。已有的研究^[36]采用 MPH 技术提取和区分西鄂尔多斯珍稀植物生存生境的地貌、土壤等相关条件的相关性和其组合特征,通过三维图分析揭示了植物的空间分布规律,认为干旱、半干旱荒漠、半荒漠地区土壤分带性依赖于地形地貌景观类型,所以群落的垂直分带性比较明显,土壤为砾石质土,主要建群植被为四合木群落;沙

砾质为霸王群落;石质残丘为半日花群落。杨持等^[37]通过四合木异地播种生长量比较以及四合木对土壤的适应性和对水热综合因子的适应性分析认为适宜的气候条件加上肥沃的土壤条件是保证四合木生存的环境。

通过对不同生境四合木种群内源激素比较分析发现不同生境条件四合木内源激素存在显著差异,其中 2 号样地和 3 号样地表现出特殊性。2 号样地即台地种群 5 月份叶片 IAA 含量和 ZT 含量显著高于其余样地,种群特征显示 2 号样地盖度最大,生长发育阶段较成熟,地处四合木核心区,在所有样地中长势最好,体现出 IAA 和 ZT 的调控作用可能是该样地四合木生长发育阶段较成熟,长势最好的内在原因之一。王迎春等^[38]对分布区四个不同生态环境四合木群落叶片比较解剖学研究表明生态环境差异对四合木生长发育产生影响,群落Ⅲ即本文的 2 号样地由于所处生态环境独特性使得其叶片与其它 3 个群落叶片结构存在差异结构,使得该群落中四合木叶片比其它群落具更强抗旱性。3 号样地即丘陵种群 4 种内源激素 IAA、ZT、GA₃ 和 ABA 含量在 6 月份叶片生长旺盛期和 8 月份干旱高温环境胁迫下含量均显著高于其余各样地,其种群密度较大,1 龄级个体相对其余样地所占比例最多,由于该样地所处地势为丘陵,海拔较高,风也较大,受到干旱胁迫较为严重,ABA 含量较高,因此该样地四合木要满足其正常生长发育需要较高的 IAA、GA₃、ZT 含量以平衡 ABA 的抑制作用,同时也说明内源激素是综合平衡地对植物生长发育起着调控作用。两类样地四合木内源激素含量的比较分析显示,5 月份 IAA 含量表现为在 A 类样地 > B 类样地,8 月份 ABA 含量和 GA₃ 含量表现为在 A 类样地 > B 类样地,这一方面体现出 IAA 对植物营养生长所起的至关重要的调控作用,也说明内源激素的综合调控作用是 A 类样地四合木种群密度和盖度较大的内在原因之一。

References:

- [1] The Inner mongolica and Ningxie Research Expedition Team of Chinese Academy of sciences. The vegetation in Inner Mongolica. Beijing: Science Press, 1985.
- [2] Ma Y Q, Zhang S Z. The phylogeny status of *Tetraena mongolica* Maxim. Acta Phytotaxonomica Sinica, 1990, 28(2): 89—95.
- [3] Yang C, Wang Y C, Liu Q, et al. Conservation Biology of *Tetraena Mongolica*. Beijing: Science Press, 2002. 52—56, 141—150.
- [4] Wang Y C, Hou Y W, Zhang Y J, Yang C. Reproductive strategies of *Tetraena mongolica* Maxim. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(6): 699—703.
- [5] Li T R, Xu Y Y, Zheng R. The histological observation of the somatic embryogenesis of endangered plant *Tetraena mongolica* Maxim. Acta Univ Neimongol (Sci Nat), 1998, 29(2): 245—249.
- [6] Zhang Y F, Yang C, Chen J K. Spatial-temporal change of landscape structure in the distribution region of *Tetraena mongolica*. J Wuhan Bot Res, 2001, 19(1): 25—30.
- [7] Zhang Y J, Yang C. Population genetic diversity and differentiation of endemic species *Tetraena mongolica* on the Western Erdos. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(3): 506—511.
- [8] Ge X J, Yu Y, et al. Genetic variation in the endangered Inner Mongolia endemic shrub *Tetraena mongolica* (Zygophyllaceae), Biological Conservation, 2003, 111(3): 427—434.
- [9] Zhi Y B, Yang C, Yao Y P. Characteristics analysis of micro-element contents in western Erdos soil and in *Tetraena mongolica* plant. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(3): 396—400.
- [10] Zhi Y B, Yang C, et al. Characteristic Analysis of Amino Acid Contents of *Tetraena mongolica* Maxim. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis NeiMongol, 2005, 36(3): 306—312.
- [11] Li F, Zhong H M, Wang X J. Chemical study of *Tetraena mongolica* Maxim. Nature Production Research Development, 2006, 18: 948—950.
- [12] Li X, Wang Y C, Zheng R. Water parameters of xeric shrubs in West Erdos Region (I). Journal of Desert Research, 2005, 25(4): 581—586.
- [13] Li X, Wang Y C, Zheng R. Water parameters of xeric shrubs in West Erdos Region (II). Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(5): 963—967.
- [14] Zhang Y F, Yang C, Li B, et al. In terpopulation difference in growth and reproduction of endemic species *Tetraena mongolica* in Ordos Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2003, (3): 436—443.
- [15] Zeng J H, Liu G H. Population structure characteristics of *Tetraena mongolica* in different habitats. Acta Ecologica Sinica, 2008, (4): 1829—1841.

- [16] Fransen B, Blijenberg J, de Kroon H. Root morphological physiological plasticity of perennial grass species and the exploitation of spatial and temporal heterogeneous nutrient patches. *Plant and Soil*, 1999, 211, 179—189.
- [17] Sultan S E, Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. *Trends in Plant Science*, 2001, 5, 537—542.
- [18] He W M, Dong M. Plasticity in physiology and growth of *Salix mastudana* in response to simulated atmospheric temperature rise in the Mu Us Sandland. *Photosynthetica*, 2003, 41, 297—300.
- [19] Zhang Y F, Yang C, Li B, *et al.* Interpopulation difference in growth and reproduction of endemic species *Tetraena mongolica* in Ordos Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(3): 436—443.
- [20] Bao S D. Analysis of agricultural chemistry in soil. Beijing: Press of Chinese Agriculture, 2005. 115—151.
- [21] Lu R K. Analysis Methods of Soil Agricultural Chemistry. Beijing: Chinese Agriculture Science and Technology Press, 2000. 205—227.
- [22] Aubert H, Pinta M. Trace-elements in Soils. Amsterdam-Oxford-New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1977. 6—67, 106—112.
- [23] Xia Z L. Background Number of the Soil Element and Research Method. Beijing: Meteorological Press, 1987. 289—308.
- [24] Wei F S. Background Number of the Soil Element on China. Beijing: China Environment Science Press, 1990. 87—249.
- [25] Davies W J, Zhang J. Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1991, 42: 55—102.
- [26] Bano A, Dorffling K, Bettin D, Hahn H. Abscissic acid and cytokinins as possible root-to-shoot signals in xylem sap of rice plants in drying soils. *Aust. J. Plant Physiol.*, 1993, 20: 109—115. Press, San Diego, 499—517.
- [27] Davies W J, Metcalfe J, Lodge T A, Costa A R. Plant growth substances and the regulation of growth under drought. *Aust. J. Plant Physiol*, 1986, 13: 105—125.
- [28] Hein M B, Brenner M L, Brun W A. Accumulation of ¹⁴C-radiolabel in leaves and fruits after injection of ¹⁴Cryptophan into seed of soybean. *Plant Physiol*, 1986, 82: 454—456.
- [29] Jackson M B, Young S F, Hall K C. Are roots a source of abscissic acid for the shoots of flooded pea plants. *J. Exp. Bot.*, 1988, 39: 1631—1637.
- [30] Liu R X, Yang J, Gao L. Changes in contents of proline, soluble saccharin and endogenous hormone in Leaves chinese seabuckthorn and russian seabuckthorn under different soil water content. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(6): 148—151.
- [31] Xu X D. ABA *et al* endogenous plant hormone and plant drought stresses. *Plant Physiology Communications*, 1988, (1): 1—8.
- [32] Chen L S, Liu X H. Effect of water stress on endogenous hormone content in Litchi leaves. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 1999, 20(3): 31—35.
- [33] Shu H R. Fruit farming physiology. Beijing: China Agriculture Press, 1993. 111—137.
- [34] Wang X, Hou P, Yin L K, *et al.* Change of hormone of *Tamarix* under Slow Soil Water Stress. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2000, 23(4): 41—43.
- [35] Stuefer J F, Hutchings M J. Environmental heterogeneity and clonal growth: a study of the capacity for reciprocal translocation in *Glechoma hederacea* L. *Oecologia*, 1994, 100, 302—308.
- [36] Han X Z, Ma J W, BaoBuheasier, *et al.* The Application of ETM and sample siets statistic data to study the distribution pattern of endangered rare plants in West Ordos Plateau. *Journal of Remote Sensing*, Mar, 2002, 6(2): 136—141.
- [37] Yang C, Zhi Y B, Zheng R. An analysis of ecological adaptability on *Tetraena mongolica Maxim* populations. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1): 91—96.
- [38] Wang Y C, Yang C. Comparative Anatomy Study on Leaves of *Tetraena mongolica Maxim*. *Acta Univ Neimongo l(Sci Nat)*, 1997, 28(1): 117—121.

参考文献:

- [1] 中国科学院内蒙古宁夏综合考察队. 内蒙古植被. 北京: 科学出版社, 1985.
- [2] 马毓泉, 张寿洲. 四合木系统地位的研究. *植物分类学报*, 1990, 28(2): 89—95.
- [3] 杨持, 王迎春, 刘强, 等. 四合木保护生物学. 北京: 科学出版社, 2002. 52—56, 141—150.
- [4] 王迎春, 侯艳伟, 杨持. 四合木种群生殖对策的研究. *植物生态学报*, 2001, 25(6): 699—703
- [5] 李天然, 许月英, 征荣, 等. 珍稀濒危植物四合木体细胞胚胎发生的组织学观察. *内蒙古大学学报(自然科学版)*, 1998, 29(2): 245—249.
- [6] 张云飞, 杨持, 陈家宽. 四合木分布区景观结构时空变化分析. *武汉植物学研究*, 2001, 19(1): 25—30.
- [7] 张颖娟, 杨持. 西鄂尔多斯特有种四合木种群遗传多样性及遗传分化研究. *生态学报*, 2001, 21(3): 506—511.
- [9] 智颖颀, 杨持, 姚一萍, 高天云, 黄洁. 西鄂尔多斯地区土壤与四合木微量元素含量特征分析. *应用生态学报*, 2004, 15(3): 396—400.
- [10] 智颖颀, 杨持, 王再岚等. 四合木氨基酸含量特征分析. *内蒙古大学学报(自然科学版)*, 2005, 36(3): 306—312
- [12] 李骁 王迎春, 征荣. 西鄂尔多斯地区强旱生小灌木水分关系参数的研究[I]. *中国沙漠*, 2005, 25(4): 581—586
- [13] 李骁 王迎春, 征荣. 西鄂尔多斯地区强旱生小灌木水分关系参数的研究[II]. *应用生态学报*, 2007, 18(5): 963—967.

- [14] 张云飞, 杨持, 李博, 等. 鄂尔多斯高原特有种四合木生长和繁殖间的种群间变异与濒危机制. 生态学报, 2003, 23(3): 436 ~ 443.
- [15] 甌江红, 刘果厚. 不同生境条件下四合木种群结构特征. 生态学报, 2008, 28(4): 1829 ~ 1841.
- [19] 张云飞, 杨持, 李博等. 鄂尔多斯高原特有种四合木生长河繁殖的种群间变异与濒危机制. 生态学报, 2003, 23(3): 436 ~ 443.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2005. 115 ~ 151.
- [21] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 205 ~ 227.
- [23] 夏增禄. 土壤元素背景值及研究方法. 北京: 气象出版社, 1987. 289 ~ 308.
- [24] 魏复盛. 中国土壤元素背景值. 北京: 中国环境科学出版社, 1990. 87 ~ 249
- [30] 刘瑞香, 杨吉力, 高丽. 中国沙棘和俄罗斯沙棘叶片在不同土壤水分条件下脯氨酸、可溶性糖及内源激素含量的变化, 水土保持学报, 2005, 19(6): 148 ~ 151.
- [31] 许旭旦, ABA 等内源激素与植物的抗旱性. 植物生理学通讯, 1988, 24(1): 1 ~ 8
- [32] 陈立松, 刘星辉, 水分胁迫对荔枝叶片内源激素含量的影响. 热带作物学报, 1999, (3): 31 ~ 35
- [33] 束怀瑞. 果树栽培生理学. 北京: 中国农业出版社, 1993. 111 ~ 137.
- [34] 王霞, 候平, 尹林克, 等. 土壤缓慢水分胁迫下柽柳植物内源激素的变化. 新疆农业大学学报, 2000, 23(4): 41 ~ 43.
- [36] 韩秀珍, 马建文, 布和敖斯尔, 等. 利用卫星 ETM 与样方统计数据研究西鄂尔多斯珍稀濒危植物种群分布规律. 遥感学报, 2002, 6(2): 136 ~ 141.
- [37] 杨持, 智颖飙, 征荣. 四合木种群的生态适应性. 生态学报, 2006, 26(1): 91 ~ 96.
- [38] 王迎春, 杨持. 四合木叶片的比较解剖学研究. 内蒙古大学学报, 1997, 28(1): 117 ~ 121.