

四合木种群的生态适应性

杨 持, 智颖斌, 征 荣

(内蒙古大学生命科学学院生态与环境科学系, 呼和浩特市 010021)

摘要: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,得到如下结果:(1) 四合木生长量高低的顺序为乌海区的东胜土(12.12g) > 乌海区的乌海土(10.62g) > 东胜区的乌海土(3.10g) > 东胜区的东胜土(2.59g)。同一地区不同土壤间四合木生长量之间没有差异($p \geq 0.05$),不同地区相同土壤间的生长量之间却有十分显著的差异,说明了土壤条件对四合木的生存影响是次要的,气候条件是保证四合木生存的最重要的条件。(2) 四合木分布区与异地保护区之间9种土壤微量元素具有差异,但由于四合木植株中的微量元素含量均高于土壤中的有效量,说明四合木对微量元素具有富集作用,土壤微量元素含量不是四合木成活与生长的限制因子。(3) 四合木分布区与异地保护区之间各月平均温度差异显著;全年气温日较差以及温暖指数、寒冷指数、湿润指数和水热综合因子指数差异显著;生长季地表地温昼夜温差具有特殊性,这可能是异地保护不易成功的限制因子之一。

关键词:四合木;生态适应性;生境适宜性

文章编号:1000-0933(2006)01-0091-06 中图分类号:Q143, Q948 文献标识码:A

An analysis of ecological adaptability on *Tetraena mongolica* Maxim populations

YANG Chi, ZHI Ying-Biao, ZHENG Rong (The Department of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia University, Hohhot, 010021, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1): 91 ~ 96.

Abstract: This study was conducted from May, 2002 to September, 2003 by comparing the growth of *Tetraena mongolica* Maxim in ex situ seeding area and analyzing the adaptabilities of *T. mongolica* to soil and climate factors. Some results were shown below: Firstly rank of *T. mongolica* growth was Dongsheng soil in Wuhai area (12.17g), local soil in Wuhai area (10.57g), Wuhai soil in Dongsheng area (3.10g), and local soil in Dongsheng area (2.59g). There was no significant difference among soil derived from the same area in terms of the amount of growth ($p \geq 0.05$). However, the growth of *T. mongolica* showed more significant difference in the same soil from different areas. Consequently, the survival of *T. mongolica* was most likely to be determined by climate other than by soil. Secondly content of available N, P, and K showed significant differences between *T. mongolica* distribution area and their ex situ conservation area. However it contributed little to the growth of *T. mongolica*. The amount of 9 kinds of trace elements was higher in *T. mongolica* than in soil, which suggested that this plant had the ability to accumulate trace elements. Therefore the content of 9 trace elements although they showed significant differences. Impacted little on the survival and growth of *T. mongolica*. There were significant differences between *T. mongolica* distribution area and their ex situ conservation area in annual mean precipitation ($157.89 < 381.48\text{mm}$, $p \leq 0.05$), monthly mean precipitation ($p \leq 0.05$), annual mean temperature ($9.84 > 6.16^\circ\text{C}$, $p \leq 0.05$), monthly mean temperature ($p \leq 0.05$), warm index ($97.6467 > 68.2267$, $p \leq 0.05$), cold index ($-39.5200 < -53.1200$, $p \leq 0.05$), humidity index ($1.6151 < 5.6610$, $p \leq 0.05$), and integrated index of precipitation and temperature ($13.6031 < 32.6013$, $p \leq 0.05$). In the distribution area of *T. mongolica*, the mean day-to-night difference in surface atmosphere temperature is around 12°C . However, this difference for surface soil

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30160020);省部共建国家重点实验室培育基地——内蒙古草地生态学重点实验室资助项目

收稿日期:2005-03-24; **修订日期:**2005-10-24

作者简介:杨 持(1939~),男,北京人,教授,主要从事植物种群生态学研究。

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 30160020) and The Cultivation Base For The State Key Laboratory——Inner Mongolia Grassland Ecology Laboratory

Received date: 2005-03-24; **Accepted date:** 2005-10-24

Biography: YANG Chi, Professor, mainly engaged in plant population ecology. E-mail: Yangchi@mail.imu.edu.cn

temperature reaches to about 35℃ due to large amount of middle-fine sand and coarse sand in soil profile. In ex situ conservation area the prevalent soil is chestnut soil containing some clay. The difference in surface soil temperature is very low. Therefore although the day-to-night difference in surface atmosphere temperature is around 10℃ which is almost the same as that in *T. mongolica* distribution area.

Key words: *Tetraena mongolica* populations; ecological adaptability; habitat fitness

生物多样性研究的重点已经转移到对生物多样性的价值研究和生境保护的研究。而且生境保护是最根本的保护,这已经成为共识^[1]。

西鄂尔多斯地区是我国西部草原化荒漠区的一个特殊区域,因集中分布着(四合木 *Tetraena mongolica* Maxim, 沙冬青 *Ammopiptanthus mongolicus*, 棉刺 *Potania mongolica* Maxim, 半日花 *Helianthemum soongoricum* Schrenk, 长叶红砂 *Reaumuria trigyna* Maxim, 草苞菊 *Tugarinovia mongolica* Lijin 等)数种珍稀濒危植物而受到关注^[2]。

由于四合木分布区的不断缩小和数量的不断减少^[3],因此,对四合木的保护已经成为不可忽视的问题。近年来的就地保护实验已表明是成功的^[4],但多次的迁地保护实验均未取得理想的结果,原因何在?一直是研究者追寻探索的问题。为了能够阐明实施保护的理論依据,研究西鄂尔多斯地区的生境适宜性和物种对生境的适应性就有着十分明显的必要性。生境对物种的适宜性和物种对生境的适应性这是一个问题的两个方面,本文将四合木为例,通过对四合木的生态适应性分析来看西鄂尔多斯地区的生境适宜性的特征。

1 研究方法

1.1 异地播种

于2002年将四合木分布区之一的千里山区的表层土(0~40cm)搬运到位于鄂尔多斯市东胜区东约400km的塔拉壕,再将异地保护区塔拉壕的表层土(0~40cm)搬运到千里山区。分别在两地布置小区实验,每地4个小区,小区面积为4×6m²,重复2次。于2002年5月播种四合木种子,在出苗前后的一段时间里,灌溉2~3次,以保证幼苗的成活,从幼苗期以后,主要依赖自然降水,两地的降水量有差别,乌海市年平均157.89mm,东胜区年平均381.48mm。到2002年10月观察,生长状况良好,并顺利越冬。2003年9月初分别取样测定,比较不同地区、不同土壤上的四合木生长量。

1.2 四合木种群分布区与异地保护区的野外考察取样

土壤样品采自四合木种群分布区的乌海市四合木核心区和鄂尔多斯市的千里山区、乌家庙区、棋盘井区;异地保护区的东胜区。每个区用土钻随机的采取5钻,分别装袋带回实验室。采样深度为0~10、10~20、20~30、30~40cm和40~50cm。

植物样品于2002年采自乌海市的四合木核心区和鄂尔多斯市的千里山区、乌家庙区、棋盘井区,分别采集8年生~10年生四合木成株和当年生幼苗(其中在棋盘井未采到幼苗),将挖起的植株装袋带回实验室。

1.3 室内测定方法

仪器采用WFX-1F₂B₂原子吸收分光光度计、AF-610A原子荧光光谱仪、UVIKON810紫外-可见分光光度计和JP303极谱仪。

土壤样品中有效铜、铁、锰、锌测定:DTPA浸提,原子吸收分光光度法(WFX-1F2B2原子吸收分光光度计);有效硼测定:沸水浸提-姜黄素比色法(NY/T149-1990);有效钼测定:草酸-草酸铵浸提,极谱法(JP303极谱仪);硒的测定:原子荧光光谱法(AF-610A原子荧光光谱仪);钴的测定:原子吸收分光光度法(GB/T13884-92);氯离子测定:硝酸银滴定法。分别测定了不同生境下4个四合木分布区和一个迁地实验区5个层次土壤的九种微量元素含量。每个样品测定3个重复。

植物样品的测定方法同上。分别测定了不同生境下四合木的成株和幼苗根、茎、叶的9种微量元素含量。每个样品测定3个重复。

1.4 气象数据的收集与相关指标的计算

相关研究区(乌海、东胜)的气象资料来自于国家气象局气象台站(以县为单位)1971~2000年的记录。所记录的指标为:年及各月平均气温、地面温度与昼夜温差、地温与昼夜温差(5cm、10cm、15cm、20cm、40cm、80cm)、降水量、日照时数等。计算了 Kira 的温暖指数^[5]、寒冷指数^[6]、年较差、湿润指数、水热综合因子指数^[7]:

$$(1) \text{ 温暖指数 (WI)} \quad WI = \sum (t_i - 5)$$

式中, t_i 为大于 5℃ 的月均温。

$$(2) \text{ 寒冷指数 (CI)} \quad CI = \sum (5 - t_j)$$

式中, t_j 为小于 5℃ 的月均温。

$$(3) \text{ 年较差 (ART)} \quad ART = (MTWM - MTCM)$$

式中, MTWM 为最暖月平均温度, MTCM 为最冷月平均温度。

$$(4) \text{ 湿润指数 (HI)} \quad HI = P/WI$$

式中, P 为年降水量(mm), WI 为温暖指数。

$$(5) \text{ 水热综合因子指数 (S)} \quad S = \sum 0.18 r_i / 1.045^t$$

式中, r_i 为月降水量(mm), t 为月平均温度。

2 研究结果分析

2.1 异地播种和异地移栽实验

从表 1 中可以看出^[8], 同一地区不同土壤间四合木生长量之间没有差异($p \geq 0.05$), 而不同地区相同土壤间的生长量之间却有十分显著的差异($p \leq 0.01$)。四合木生长量高低的顺序为乌海区的东胜土(12.12g) > 乌海区的乌海土(10.62g) > 东胜区的乌海土(3.10g) > 东胜区的东胜土(2.59g)。

从表 2 中可以看出^[8], 东胜区和乌海区的土壤养分状况是, 土壤有机质、全 N、全 P 没有显著差异($p \geq 0.05$), 而速效 N、速效 P、速效 K 却有显著差异($p \leq 0.05$), 以上说明适宜的气候条件是保证四合木生存的最重要的条件。

表 1 乌海区与东胜区四合木生长量(干重 g/株)

Table 1 The growth of individual *T. mongolica* in Wuhai and Dongsheng area (DW, g/ind.)

项目 Item	东胜区 Dongsheng area		乌海区 Wuhai area	
	东胜土 Dongsheng soil	乌海土 Wuhai soil	乌海土 Wuhai soil	东胜土 Dongsheng soil
平均数 ± 标准差 Mean ± SD	2.5892 ± 2.4022a	3.1032 ± 2.6734a	10.6225 ± 9.1509c	12.1175 ± 5.2186c

表 2 乌海区与东胜区两地的土壤养分状况^[8]

Table 2 Soil attributes in Wuhai and Dongsheng area^[8]

项目 Item	土壤类型 Soil	植被类型 Vegetation	有机质 SOM (%)	全 N Total N (× 10 ⁻⁶)	速效 N Available N (%)	全 P Total P (× 10 ⁻⁶)	速效 p Available P (%)	全 K Total K (× 10 ⁻⁶)	速效 K Available K (%)
东胜区 Dongsheng	栗钙土 Chestnut soil	典型草原 Typical steppe	0.6111a	0.0325a	36.3a	0.0615a	2.8a	1.7579	59.1a
乌海区 Wuhai	淡棕钙土 Light brown soil	荒漠草原 Desert steppe	0.6288a	0.0421a	51.3b	0.0734a	3.9b		116.1b

2.2 四合木的生态适宜性分析

2.2.1 对土壤的适应 从表 2 中可以看出, 四合木分布区和迁地实验区土壤的有机质、全 N、全 P 没有显著差异, 而速效 N、速效 P、速效 K 却有显著差异, 无论是看同一地区不同土壤间四合木生长量之间没有差异, 还

是看不同地区相同土壤间的生长量之间却有十分显著的差异,都共同说明了一个问题,那就是土壤条件对四合木的生存影响是次要的,气候条件是保证四合木生存的最重要的条件。

再从四合木分布区和迁地实验区土壤 9 种微量元素含量与世界和我国平均含量的比较看^[9-12],四合木分布区土壤中 Cu、Mn、Zn、和 Mo 的有效含量远小于我国土壤微量元素有效含量的平均值。B 的有效含量低于荒漠区土壤;而 Fe 含量仅为全国土壤平均含量的 16.1%,荒漠区土壤的 66.8%,略高于有效含量临界值;Se 的全量为全国土壤的 41.4%,荒漠区土壤的 121.2%,草甸草原土壤的 51.7%;Co 的全量高于我国黄土高原土壤以及草甸草原土壤的平均含量水平。即西鄂尔多斯地区四合木分布区土壤中 Cu、Fe、Mn、Zn、B、Mo、Se、Co、Cl 等 9 种微量元素中,除 B 的含量不仅明显高于国内土壤平均含量水平,而且高于荒漠区土壤平均含量水平外,其它元素都低于国内土壤的平均含量,不同生境下四合木四个分布区土壤 Mo 的有效含量低于土壤微量元素有效含量临界值。

表 3 不同地区土壤中微量元素含量比较

Table 3 The content of trace elements in different soils (mg/kg)

元素 Trace element	草甸草原 Meadow steppe		荒漠区土壤 Desert soils		有效含量 Available content 临界值 Critical value	四合木分布区 <i>T. mongolica</i> distribution area				异地保护区 Ex situ conservation area	
						核心区 Core area		千里山 Mount Qianli			
	A	B	A	B		A	B	A	B	A	B
Cu	26.00	0.98	20.00	1.13	0.20	20.4	1.01	13.80	0.60	13.30	0.75
Fe	2.87	28.4	6.78	6.71	4.50	2.12	6.99	1.78	3.57	1.96	13.68
Mu	940.0	10.9	580.0	9.40	3.00	283.0	5.09	257.0	3.68	299.0	8.55
Zn	87.0	0.73	57.0	0.62	0.5	52.9	0.83	54.1	0.51	46.2	0.89
B	54.0	0.62	33.4	1.11	0.5	157.3	0.65	128.9	0.71	138.5	1.46
Mo	2.40	0.16	0.70	0.13	0.15	0.38	0.11	0.56	0.05	0.34	0.19
Se		0.23		0.10			0.16		0.07		0.05
Co	11.8					16.3		11.84		13.94	
Cl						121.0		136.80		72.04	

A 全量 Total; B 有效量 Available

四合木分布区与异地保护区之间 9 种土壤微量元素具有差异,但由于四合木植株中的微量元素含量均高于土壤中的有效量,说明四合木对微量元素具有富集作用,土壤微量元素含量不是四合木成活与生长的限制因子。

从表 4 可以看出四合木植株九种微量元素含量的特征:四合木植株中的 Fe 含量远高于草甸草原植物,却低于荒漠草原植物。Cu 的含量高于各种类型草原植物,而 Mn 的含量低于各种类型草原植物,Zn 的含量高于一般植物和荒漠草原植物;B 含量远高于草甸草原植物和典型草原植物;Se 和 Co 的含量远高于荒漠草原植物;而 Mo 含量却低于荒漠草原植物。

就不同生境条件下四合木植株微量元素含量而言,除 Mn 低于植物生存的必须浓度外,Fe、Zn 和 Cu 均高于植物生存的必须浓度,且 Fe、Cu 的含量高于陆生植物化学元素的平均含量;幼苗 Fe、Cu、Mn、Se、Mo 和 Cl 的含量均高于成株,只有 Zn、B、Co 的含量低于成株。

四合木与相邻荒漠地带(阿拉善左旗、鄂托克旗)近缘种蒺藜科植物霸王植株的微量元素含量相比,微量元素 Cu、Zn 的含量很高;而元素 Fe、Mn 的含量较低;元素 Mo、Se 的含量基本一致。

四合木分布区土壤与成株、幼苗 9 种微量元素相关性不显著,而且植物体中 9 种元素的含量都远远大于土壤中的有效量。无论从四合木植株中各元素含量与各类型草原植物(包括荒漠草原植物)比较,还是与土壤中的含量比较,都表现出四合木在生长过程中对各种元素的富集特征,由此也可以推测,不能认为土壤微量元素的含量是四合木生长的制约因子。

2.2.2 对水热综合因子的适应 热量和水分的综合作用是植物生活和分布最主要的限制因子。从表 5 看,四合木分布区和异地保护区的水、热差异主要表现为四合木分布区与异地保护区之间年平均降水 157.89mm < 381.48mm 差异明显($p \leq 0.05$),各月平均降水差异显著($p \leq 0.05$),各月平均温度差异显著;全年气温日较

差以及温暖指数、寒冷指数、湿润指数和水热综合因子指数差异显著;四合木分布区生长季地表地温昼夜温差有特殊性,虽然分布区和异地保护区生长季地表气温昼夜温差都在 11℃左右,但由于分布区地表土壤的颗粒组成中一般以中细砂和粗砂占绝对优势(砾质漠钙土),而异地保护区是栗钙土,有一定比例的粘粒含量,所以分布区生长季地表地温昼夜温差明显的大于异地保护区的地表地温昼夜温差。

表 4 不同类型草原植物与四合木植株微量元素含量比较

Table 4 The comparison of trace element content between different grassland plants and *T. mongolica* (mg/kg)

类型 Type	元素 Element							
	Fe	Cu	Mn	Zn	B	Se	Co	Mo
草甸草原植物 Meadow steppe plant	158	7.65	37.03	38.56	14.27			1.36
典型草原植物 Typical steppe plant	249	7.18	34.90	42.14	15.01			0.79
荒漠草原植物 Desert steppe plant	871.68	11.23	56.50	16.48		0.17		0.66
阿拉善荒漠植物 Alashan Desert plant	707.93	21.22	67.38	37.23		0.09	0.37	0.56
四合木幼苗 <i>T. mongolica</i> seedling	414.22	29.98	30.01	25.83	42.32	0.35	0.97	0.52
四合木成株 <i>T. mongolica</i> plant	379.76	25.93	28.99	26.94	43.93	0.23	1.17	0.35
东胜地区牧草 Forages in Dongsheng	405.84	10.32	39.03	13.79	0.12	0.39		

表 5 四合木分布区与异地保护区的降水、热量、地表气温昼夜温差指标

Table 5 The list of precipitation, temperature, and day-and-night difference in temperature of surface atmosphere in areas of *T. mongolica* distribution and of ex situ conservation

	降水指标(mm)		热量指标(℃)		昼夜温差指标(℃)	
	Precipitation		Temperature		Day-and-night difference in temperature	
	乌海 Wuhai	东胜 Dongsheng	乌海 Wuhai	东胜 Dongsheng	乌海 Wuhai	东胜 Dongsheng
年平均 Annual mean	157.89 ± 41.84a	381.48 ± 103.21b	9.84 ± 0.84a	6.16 ± 0.79b	12.64 ± 0.49a	10.71 ± 0.41b
1 月平均 Jan. mean	1.44 ± 2.24a	2.08 ± 2.98a	-8.39 ± 1.91a	-10.49 ± 1.69b	12.78 ± 1.19a	9.84 ± 0.65b
2 月平均 Feb. mean	2.76 ± 2.99a	4.68 ± 5.12b	-4.00 ± 2.21a	-7.17 ± 2.71b	13.04 ± 1.43a	10.16 ± 1.04b
3 月平均 Mar. mean	3.88 ± 7.10a	10.76 ± 11.29b	3.64 ± 2.17a	-0.54 ± 1.18b	12.91 ± 1.20a	10.61 ± 1.06b
4 月平均 Apr. mean	4.47 ± 6.09a	11.43 ± 12.99b	12.01 ± 1.59a	7.74 ± 1.64b	13.60 ± 0.81a	12.21 ± 0.93a
5 月平均 May mean	11.96 ± 12.45a	25.84 ± 23.24b	18.84 ± 1.11a	14.57 ± 1.08b	13.32 ± 0.96a	12.37 ± 0.90a
6 月平均 Jun. mean	19.26 ± 14.00a	44.94 ± 30.22b	23.71 ± 0.89a	19.12 ± 0.94b	12.84 ± 0.87a	11.97 ± 0.80a
7 月平均 Jul. mean	41.59 ± 30.79a	105.69 ± 50.96b	25.75 ± 1.15a	21.05 ± 0.01b	12.12 ± 0.80a	10.83 ± 0.85a
8 月平均 Aug. mean	41.66 ± 23.68a	105.56 ± 63.61b	23.79 ± 1.09a	19.12 ± 1.23b	11.69 ± 0.62a	10.17 ± 0.99a
9 月平均 Sep. mean	21.63 ± 15.31a	44.76 ± 22.94b	18.10 ± 1.19a	13.78 ± 1.31b	12.35 ± 1.10a	10.62 ± 0.93b
10 月平均 Oct. mean	8.50 ± 6.59a	19.40 ± 16.33	10.02 ± 1.38a	6.76 ± 1.36b	12.87 ± 1.14a	10.47 ± 0.89b
11 月平均 Nov. mean	2.50 ± 4.03a	5.55 ± 6.82b	1.39 ± 3.47a	-1.69 ± 1.79b	12.28 ± 0.96a	9.80 ± 0.76b
12 月平均 Dec. mean	1.32 ± 2.36a	1.29 ± 1.52a	-5.96 ± 2.41a	-8.30 ± 2.05b	11.63 ± 1.10a	9.41 ± 0.62b
湿润指数 Humidity index	1.6151 ± 0.4471b	5.6610 ± 1.6473a				
温暖指数 Warm index		97.6467 ± 5.2156a		68.2267 ± 5.7526b		
寒冷指数 Cold index		-39.5200 ± 6.6391b		-53.1200 ± 5.8915a		
水热综合因子指数 Integrated index		13.6031 ± 3.3982b		32.6013 ± 7.7350a		

在西鄂尔多斯地区具备适合四合木生长的砾质漠钙土、150mm 左右的降水和较大的地表地温昼夜温差。在离开四合木分布区较远的区域,由于四合木适应不了较好的水分条件和缺乏了较大的地表地温昼夜温差,因此,四合木生长和存活都会受到影响。

为此,今后的异地保护实验应该以原来的四合木分布区为中心向东、南、北逐步扩展,但距离要保持在砾质漠钙土地带。

3 结论

3.1 两地、两种土壤上播种的 2 年生的四合木生长量的顺序为乌海区的东胜土(12.12g/株) > 乌海区的乌海土(10.62g/株) > 东胜区的乌海土(3.10g/株) > 东胜区的东胜土(2.59g/株),且在有机质含量相对较高的乌海

区的东胜土的生长量为最大。说明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,而首要的条件是气候条件。

3.2 四合木分布区与异地保护区之间 9 种土壤微量元素具有差异,但由于四合木植株中的微量元素含量均高于土壤中的有效量,说明四合木对微量元素具有富集作用,土壤微量元素含量不是四合木成活与生长的限制因子。

3.3 四合木分布区与异地保护区之间各月平均温度差异显著;全年气温日较差以及温暖指数、寒冷指数、湿润指数和水热综合因子指数差异显著;生长季地表地温昼夜温差具有特殊性,这可能是异地保护不易成功的限制因子之一。

References:

- [1] Qian Y Q, Ma K P. Principles and Methodologies of Biodiversity Studies. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1994. 1 ~ 13
- [2] Yang C, Wang Y C, Liu Q, et al. Conservation Biology of *Tetraena mongolica* Maxim, Beijing: Science Press, 2002. 52 ~ 56, 141 ~ 150
- [3] 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.
- [4] Wang F, Yang C. A study on the Natural renewal and on-site Conservation of *Tetraena mongolica* Maxim. Acta Univ Neimongol, 2003, 34(2): 196 ~ 202.
- [5] Kira T. A new classification of climate in eastern Asia as the basis for agricultural geography, Kyoto: Horticultural Institute Kyoto University, 1994, 5: 23.
- [6] Kira T. On the altitudinal arrangement of climatic zone in Japan, Kanti-Nougaku, 1948, 2: 143 ~ 173.
- [7] Bailey H P. Se mi-arid climates: their definition and distribution, Ecol Study, 1973, 34: 73 ~ 97.
- [8] Xue W L. The soil of Yikezhao League on Inner Mongolia. Huhehaote: Inner Mongolia People Press, 1989.
- [9] Wei F S. Background Number of the Soil Element on China. Beijing: China Environment Science Press, 1990. 87 ~ 249.
- [10] Team of Synthetic Research on Loess Plateau, The Chinese Academy of Sciences, eds. The Soil Geography of Inner Mongolia and Western Region in East-North China. Beijing: Science Press, 1978. 186 ~ 194.
- [11] Huang Y T. Mineral Element of Natural Grassland in Inner Mongolia, Huhehaote: Inner Mongolia University Press, 1996. 57 ~ 185.
- [12] Fu H, Zhou Z Y, Zhuang G H. Study on Characteristic of Trace element content in Desert Grassland of Alxa, J Desert Res., 2000, 20(4): 426 ~ 429.

参考文献:

- [1] 钱迎倩, 马克平主编. 生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1 ~ 13.
- [2] 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.
- [3] 张云飞, 杨持, 陈家宽. 四合木分布区景观结构时空变化分析, 武汉植物研究, 2001, 19(1): 25 ~ 30.
- [4] 王峰, 杨持. 四合木(*Tetraena mongolica* Maxim)自然更新及就地保护途径的研究. 内蒙古大学学报, 2003, 34(2): 196 ~ 202.
- [8] 薛文林. 内蒙古伊克昭盟土壤. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1989.
- [9] 魏复盛主编. 中国土壤元素背景值. 北京: 中国环境科学出版社, 1990. 87 ~ 249.
- [10] 中国科学院黄土高原综合科学考察队, 中国科学院南京土壤研究所. 内蒙古自治区与东北西部地区土壤地理, 北京: 科学出版社, 1978. 186 ~ 194.
- [11] 黄友庭主编. 内蒙古天然草地的矿物质元素, 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 1996. 57 ~ 185.