

甘肃河西地区文冠果林木良种基地营建技术

——以张掖市文冠果省级林木良种基地为例

刘建海^{1,2}, 赵国生^{1,3}, 王艺林^{1,3}, 范菊萍^{1,2}, 郭彩霞^{1,2}, 赵玉红^{1,3} (1. 甘肃省祁连山水源涵养林研究院, 甘肃张掖 734000; 2. 张掖市文冠果省级林木良种基地, 甘肃张掖 734000; 3. 甘肃张掖生态科学研究院, 甘肃张掖 734000)

摘要 以张掖市文冠果省级林木良种基地营建为例, 通过对文冠果良种基地营建的必要性、基地选址、功能区划、种质资源收集区、种子生产区、良种繁育区、良种示范区的营建和采取的技术措施进行整理归纳, 系统地阐述了良种基地的营建技术和方法。张掖市文冠果林木良种基地的建成不但加速了文冠果在甘肃河西地区良种化进程和大面积的推广, 而且为文冠果良种基地营建及生产良种提供了理论依据和材料。

关键词 河西地区; 文冠果; 良种基地; 营建技术

中图分类号 S 722 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)11-0112-04

doi: 10. 3969/j. issn. 0517-6611. 2021. 11. 031



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

The Construction and Management Technology of the *Xanthoceras sorbifolia* Forest Tree Fine Variety Base in Hexi Area of Gansu Province—Taking the Provincial *Xanthoceras sorbifolia* Forest Tree Fine Variety Base in Zhangye City as an Example

LIU Jian-hai^{1,2}, ZHAO Guo-sheng^{1,3}, WANG Yi-lin^{1,3} et al (1. Academy of Water Resource Conservation Forests of Qilian Mountains in Gansu Province, Zhangye, Gansu 734000; 2. Provincial *Xanthoceras sorbifolia* Forest Tree Fine Variety Base in Zhangye City, Zhangye, Gansu 734000; 3. Academy of Ecology Science of Zhangye, Zhangye, Gansu 734000)

Abstract Taking the construction and management techniques of provincial *Xanthoceras sorbifolia* forest tree fine variety base in Zhangye City as an example, by organizing and summarizing the necessity of construction, base site selection, functional zoning, seed qualification source collection area, seed production area, fine variety area, and fine variety demonstration area and technical measures adopted for the construction of the *Xanthoceras sorbifolia* fine variety base, systematically explained the construction technology and method of the fine variety base. The establishment of the provincial *Xanthoceras sorbifolia* forest tree fine variety base in Zhangye City has not only accelerated the process of improved varieties of *Xanthoceras sorbifolia* and the promotion of large areas in Hexi Area, but also provided theoretical basis and materials for the construction and production of *Xanthoceras sorbifolia* fine variety base.

Key words Hexi Area; *Xanthoceras sorbifolia*; Fine variety base; Construction and management techniques

林木良种基地是优良种质资源收集保存及林木良种选育的场所, 是目前我国林木良种生产供应的主体, 是国家重点投入的林木种苗工程项目之一^[1]。林木良种基地也是为各项生态环境建设和城镇绿化工程提供优良繁殖、种植材料的场所, 其生产能力直接关系到造林绿化的良种使用率。加强林木良种基地的建设, 对提高林木良种生产水平, 促进林地生产增收具有重要意义。

文冠果(*Xanthoceras sorbifolia*)为无患子科文冠果属, 是中国特有的一种珍稀木本油料植物, 根深叶茂, 具有喜光耐旱、耐贫瘠、抗风沙、适应性强等特征, 是适合在河西干旱半干旱区种植的先锋树种之一^[2]。文冠果多分布于我国东北、华北地区, 西北地区仅有零星分布。文冠果具有较高的生态价值、经济价值和药用价值, 作为近年来具有发展潜力的生物能源树种, 受到了人们的广泛关注^[3-5]。随着我国加快木本油料产业发展各项政策的确立, 在甘肃河西地区对文冠果系统性的研究与有效利用已掀起了一个高潮。张掖市文冠果省级林木良种基地科研人员通过 10 多年的引种栽培、科学试验及示范推广, 目前, 文冠果已成为干旱半干旱区重要的木本油料能源树种, 在河西地区已有大面积种植, 仅“十三

五”期间, 张掖市种植文冠果面积就达 2 000 hm², 在张掖市林业产业结构中占有重要的地位。

张掖市大力发展以文冠果为主的木本油料产业, 既可满足林业生态建设的需要, 也可对改善区域生态环境、调整林业产业结构和发展地方经济等具有重要的作用。文冠果栽培中普遍存在种源混杂、良莠不齐, 经营粗放、单位面积产量低、种子品质低下、影响经济效益等问题^[6]。因此, 对文冠果种质资源进行调查、收集与保护, 建立文冠果林木良种基地, 发掘综合性状优异的品系, 用科技手段解决文冠果的良种繁育、提高良种利用率, 是建立高标准文冠果良种繁育基地亟待解决的问题。该研究以甘肃省祁连山水源涵养林研究院 2009 年引种营建的文冠果林木良种繁育基地为对象, 通过对营建基地整个过程应用的技术进行归纳, 系统地论述良种基地的营建技术和方法, 为建园生产良种提供参考, 以期对文冠果良种在河西地区大面积推广应用起到促进作用。

1 研究区概况

张掖市文冠果省级林木良种基地始建于 2010 年, 隶属于甘肃省祁连山水源涵养林研究院红沙窝荒漠化综合防治试验站, 地处张掖市北部荒漠区边缘, 位于甘肃省张掖市北 15 km 处, 地理坐标 100°31'56"E, 39°01'46"N, 海拔 1 450 m, 基地总面积 45 hm², 试验区内年平均气温 8.5 ℃, 1 月平均气温 -10.0 ℃, 7 月平均气温 23.1 ℃, 极端最高气温 39.5 ℃, 极端最低气温 -31.0 ℃, ≥10 ℃的活动积温 2 870 ℃·d。年平

基金项目 甘肃省民生科技计划项目(17CX1FG057); 甘肃省林业和草原局科技计划项目(2015kj008); 2016 年省级财政林业科技推广示范资金项目([2017]323)。

作者简介 刘建海(1969—), 男, 甘肃民乐人, 高级工程师, 从事林木良种繁育及荒漠化综合防治研究。

收稿日期 2020-09-18

均降水量 144.2 mm,年蒸发量 1 123.7 mm,年平均相对湿度 43.4%,全年日照时数为 3 085 h,无霜期 156 d^[7]。至目前,基地已建成文冠果种质资源收集区(引种试验区、采穗圃) 2 hm²、种子生产区 12 hm²、良种繁育区 3 hm²、良种示范区(子代对比试验区) 28 hm²。同时,基地已建成种子检验室、种苗储藏室、晾晒场、农田防护林网(生物隔离带)、水、电、路、通信、森保及农用配套机械辅助工程设施。

2 营建技术与方法

2.1 基地选址

基地初建时,项目组通过对我国文冠果主要分布区资源调查,充分考虑到文冠果的生物学特性以及适生范围,本着有利于长期进行文冠果种质资源收集保存、良

种选育、试验示范、繁育推广,并依托基地可进行科学研究和科技推广等工作的目的开展工作。在选址选择上,项目组最终选择了可代表甘肃河西地区气候、土壤等典型特征的张掖市北部绿洲——荒漠交错带为文冠果林木良种繁育基地。该区域属于典型大陆性干旱荒漠气候,其特点是气候干燥,降水稀少,日照充足,昼夜温差大。土地集中连片,地势平坦,土层深厚,土壤为肥力中等、透气性和排水良好的灰棕壤土,酸碱度要符合树种特性,土壤养分状况见表 1。基地海拔高度适宜于文冠果引种栽培,具备灌溉条件,内有农田防护林网和面积沙枣人工林隔离带,交通方便,劳力充足,具有今后扩建和发展的空间。

表 1 2010 年张掖市文冠果省级林木良种基地土壤养分状况

Table 1 Soil nutrient status of *Xanthoceras sorbifolia* provincial forest tree seed base in Zhangye City of 2010

土层深度 Soil depth cm	pH	有机质 Organic matter g/kg	全氮 Total nitrogen mg/kg	速效磷 Available phosphorus mg/kg	速效钾 Available potassium mg/kg	水溶性盐总量 Total water soluble salt mg/kg
0<h≤20	8.64	9.80	0.66	20.30	146.00	2.03
20<h≤40	8.00	3.00	0.18	9.01	81.35	0.68
40<h≤60	8.41	2.90	0.19	7.72	155.40	5.20

2.2 基地功能区划

按照林木良种繁育基地建设要求,为便于基地经营管理及种子采集,根据经营目的的不同,将基地划分为不同的功能区。其中,以良种培育工程为主要建设内容,基地已建成文冠果种质资源收集区(引种试验区、采穗圃)、种子生产区、子代对比试验区,良种繁育区、良种示范区,并根据每个功能区的面积大小、地形划分成不同的小区。同时,依托基地各类科研、生产建设项目,先后完善了检验室、办公室、档案室、标本室、种子精选室、库房、种子晒场等功能区,以及种子采集、加工、贮藏设备,排灌系统,农用生产设备等基地繁育生产和辅助工程设施。

2.3 种质资源收集区的建立

2.3.1 种质资源收集

张掖市文冠果省级林木良种基地种质资源收集区始建于 2010 年,在基地建设初期,甘肃省祁连山水源涵养林研究院就成立了基地筹建项目组,同时也开始了文冠果种质资源的收集保存工作。为了尽可能全面地收集保存文冠果种质资源,项目组首先按照林木种质资源调查技术规程,对我国文冠果重点分布区的种质资源进行了调查,在资源调查的基础上,按照优树选择标准,先后分赴内蒙古翁牛特旗、辽宁建平、河南灵宝、陕西富县、北京昌平、甘肃白银、甘肃定西人工林种植区和甘肃庆阳子午岭天然林区等地收集文冠果种源,分期从不同种源地进行引种栽培文冠果良种。目前,基地已初步建成了文冠果种质资源收集区(引种试验区、采穗圃) 2 hm²,共收集了 6 个省(市区)的 11 个种源(表 2),涵盖了我国文冠果天然分布及人工种植集中分布的区域。

2.3.2 种质资源收集区的营建

种质资源收集区的营建技术,主要遵循林木种质资源保存原则与方法^[8],采用从不同种源地收集到的种子进行实生苗繁育、直接调运种源地的优

良种苗进行引种栽培或者采用采穗条进行无性繁育 3 种途径,在种质资源收集区内,分区对不同种源地的苗木进行分种源、分区域、编号定位等栽植方式,作为优良种质资源收集保存。在收集区营建后期,可根据优树的表现和生产需要进行间伐或移植等经营管理措施。文冠果苗木培育、苗木定植、抚育管理等技术措施,可参阅近年来基地专业技术人员发表的论文如《张掖市北部荒漠区文冠果大田播种育苗试验》^[7]《黑河中游典型退化沙地文冠果引种栽培试验研究》^[9],以及《干旱荒漠区文冠果扦插繁殖技术研究》^[10]等相关文献资料。

表 2 文冠果种源地地理位置

Table 2 Geographical location of the provenance of *Xanthoceras sorbifolia* fruit

序号 No.	种源地 Provenance	经度 Longitude	纬度 Latitude	年均温度 Annual mean temperature// °C	海拔 Altitude m
1	河南灵宝	110°55'E	34°29'N	13.5	560
2	河南三门峡	111°14'E	34°45'N	13.8	480
3	内蒙赤峰	119°03'E	42°53'N	5.8	670
4	辽宁建平	119°38'E	41°24'N	7.6	410
5	北京昌平	116°13'E	40°13'N	11.8	70
6	陕西富县	109°22'E	35°59'N	8.5	945
7	陕西杨凌	105°05'E	34°16'N	12.9	500
8	甘肃庆阳	107°56'E	35°48'N	8.3	1 280
9	甘肃白银	104°44'E	36°35'N	8.9	1 400
10	甘肃定西	104°37'E	35°34'N	6.7	1 950
11	甘肃张掖	100°29'E	38°55'N	8.5	1 480

2.4 种子生产区的建立

2.4.1 功能及规模

种子生产区是种子园主体工程,是

用优树无性系或家系(种源)按设计要求营建的,实行集约经营,以生产优质种子为目的的特种林。张掖市文冠果省级林木良种基地初建种子生产区规模为 12 hm^2 ,主要功能是生产文冠果良种,采用2年生的I级文冠果实生苗建成。在种子生产区建设初期,项目组就根据种子园建设的规范和要求,在建设区域设置农田防护林及生物隔离带,按照无性系(或家系)的配置原则、方式及定植要求,并实行集约经营管理,使基地生产区的种子在质量与栽培技术、家系配置、抚育管理等方面有了前期保障。

2.4.2 优树选择。文冠果在长期的自然杂交中,形成了较多的地理群体和个体,遗传基因丰富。优树是建立种子园的重要原始材料,优树的良莠与建园质量密切相关^[11]。因此,从优良林分中选择出优质、高产、抗逆性强的文冠果丰产型优良单株,兼顾选择花色独特、观赏价值高、抗病虫害能力强的观赏性优良单株,是选择优良个体作为遗传材料的主要目的。

2.4.2.1 选优标准。

(1)初选标准。丰产型优良单株的初选标准为:树势健壮,长势旺盛;结果枝粗壮,坐果序率高;挂果多,果实饱满;抗性强,无病虫害或病虫害危害程度很轻。观赏型优良单株的初选标准为:树势健壮,长势旺盛;花色美观,花序繁茂;抗性强,无病虫害或病虫害危害程度很轻。

(2)复选标准。丰产型优良单株的复选标准为:果大皮薄,平均单果出种数 ≥ 15 粒,出籽率 $\geq 35\%$;籽粒饱满,平均单果种子出仁率 $\geq 50\%$;出油率高,平均出油率 $\geq 56\%$ 。

(3)决选标准。丰产型优良单株的决选标准为:结果能力强,连续3年结果且稳产丰产;产量高,平均单株产量在 0.5 kg 以上;抗性强,连续3年无病虫害或病虫害危害程度很轻。观赏型优良单株的决选标准为:连续3年开花且花序较多;抗性强,连续3年无病虫害或病虫害危害程度很轻。

2.4.2.2 选优方法。在张掖市文冠果省级林木良种基地种源收集区,采用实地调查的方法,按照不同阶段的选优标准依次进行初选、复选和决选。初选采用目测法,在花期和果期分别进行外业调查,主要调查指标包括生长量,树形,长势,病虫害,花、果、叶、枝的颜色,数量,分布情况和结果量等,并根据生长状况、抗性、树形等指标进行初步的评定,从中筛选出初选优树,并挂牌编号。然后,采集初选优树的花序、枝叶、果实样品,对其性状指标进行室内测定。再根据初选优树外业调查资料和室内测定结果,经综合分析筛选出复选优树。最后,对复选优树至少3年连续开展年度重复产量的调查和抗逆性的观测,进行优良单株的决选。通过3年的预选、初选、复选后,对中选的优树单株进行鉴定与繁育,若后代显示优越,则可采用有性或无性繁殖的方法进行繁育,作为无性系或家系(种源)推广,并逐步建成文冠果丰产型或观赏型优树种子生产区。

2.4.3 种子生产区的营建。

2.4.3.1 家系(种源)配置。为方便经营管理及种子采集,基地按照规划的整体局和面积分布,将生产区分为3个大区,每个大区建设面积为 4 hm^2 ,各区之间用主道及不同分区

隔开,每个大区又划分为10个不同的小区,并用田间作业道进行了分隔划区。为扩大种子的遗传基础,防止近亲繁殖,在种子生产区家系(种源)配置方面主要遵循的原则是:同一家系(种源)的个体间应保持最大间隔距离,尽量避免自交或近交,并力求均匀分布,通过后期疏伐,仍能保持均匀分布。根据基地实际情况,采用我国目前建立初级种子园普遍采用的顺序错位排列方式,即将各个家系(种源)编码,按照号码在一行中顺序排列,但在另一行时错开几位,以另一号码开头。根据大区、小区面积以及家系(种源)数量,每个大区安排11个家系(种源),每个家系(种源)定植1800株,共定植19800株,重复安排在10个小区内,即每个小区也是定植11个家系(种源),每个家系(种源)180株。

2.4.3.2 苗木定植与管理。文冠果种子生产区初建时,项目组严格按照种植设计的要求进行,通过机械和人工整地,按照初级种子生产区建设的要求,考虑到为后期种子生产区去劣疏伐创造条件及文冠果生长较慢的特性,种子生产区初植密度设置相对较大,株行距为 $2\text{ m}\times 3\text{ m}$,为品字形排列,造林密度为 $1650\text{ 株}/\text{hm}^2$ 。生产区初建后,对区内各个家系(种源)进行编号挂牌、作标记,绘制家系(种源)的排列位置图。翌年对未成活的植株按原区号进行了补接或补植,并在配置图上标明。种子生产区内文冠果苗木培育、苗木定植、抚育管理等技术措施,可参照种质资源收集区营建的技术措施进行。

为保证文冠果种子生产区高产、稳产及便于采收,对种子生产区实行集约经营。经营管理工作主要包括土壤管理、水肥管理、树体管理、花粉管理、去劣疏伐、病虫害防治、护林防火等抚育管理措施。同时还定期进行家系(种源)生长状况调查、开花物候调查、结实量调查、种子苗木品种调查及科学观测和研究等。

2.5 良种繁育区的建立良种繁育区是林木良种繁殖和培育的场所。基地良种繁育区面积为 3 hm^2 ,采用基地种子生产区生产的优良品种、优良家系(种源)和无性系良种进行繁育。繁育技术主要采用大田秋播育苗和温室大棚容器育苗技术,通过先进的种苗繁育措施,为林业生产提供良种壮苗。

2.6 良种示范区的建立良种示范区是对选育或引种成功的优良品种、优良家系(种源)或优良无性系在良种示范区进行集中种植展示的林地,主要起示范推广的作用。良种示范区是为营建子代测定林和生产示范林而设立的。基地营建良种示范区(子代对比试验区) 28 hm^2 ,子代测定林的功能主要是对种子生产区的家系(种源)进行子代测定,通过田间对比试验,区分环境因子的影响大小,消除环境误差,评定优树的遗传价值,找出优良的基因型,为基地种子生产区间伐和重建提供科学依据。良种示范区是用优树的繁殖材料或优树的子代,按田间试验设计要求,在相同的立地条件下,栽培技术措施一致,使用生产对照品种,根据参试品系的数量采用合理的配置设计栽植而建立的测定林分。

3 小结与讨论

通过10年的基地营建,张掖市文冠果林木良种基地已

建成种质资源收集区(引种试验区、采穗圃)、种子生产区、良种繁育区、良种示范区(子代对比试验区)等区划功能齐备的良种基地 45 hm²。由于文冠果良种基地是以生产经过遗传改良的优质良种为目的,所以基地营建过程中,首先要做好良种子代测定和多点试验,为种子生产区去劣及建立高级种子生产区提供优质建区材料。其次要大力加强基地林木的抚育管理,营建前期以促进树体的生长,形成良好的树冠为主,后期以加强树体管理、水肥管理、人工辅助授粉、病虫害防治等工作,以提高种子生产区初期的结实量与种子品质,使生产区尽早进入结实期,可持续地生产高产、稳产的丰产型文冠果种苗,为甘肃河西地区文冠果人工林的发展提供更多优质良种。

张掖市文冠果林木良种基地的初步建成,为甘肃河西地区文冠果种质资源收集保存、良种选育、试验示范、繁育推广发挥了平台作用,依托基地进行了生产技术研究、技术试验示范等生产、科研工作。基地通过加强木本油料文冠果的定向培育、新品种选优繁育、基地化建设及产业示范,加快文冠果良种推广及丰产栽培配套技术的应用,大大提高了文冠果的适生性及丰产性,解决了干旱半干旱区、荒山、沙荒地的有

(上接第 111 页)

山森林公园周边环境温度点与公园边界处温度点的温差(ΔT)为因变量,以公园周边环境温度点至公园边界处温度点的距离(L)为自变量,建立拟合趋势线方程,推导出公园温度场对周边环境温度场辐射的最大范围(L_{\max})的计算公式,其计算值基本满足精度要求。

(2)城市公园绿地作为城市中一块“冷源”,对周边环境温度场起到了辐射降温的作用,神山森林公园对周边温度场的平均辐射最大范围为 526.05 m,公园边界与周边环境的平均最大温差(ΔT_{\max})为 2.4 °C。

(3)神山森林公园绿地对周边温度场辐射影响范围从高到低依次为南、北、西、东,对周边温度场辐射影响温差 ΔT 由高到低依次为南、北(西)、东;神山公园内部的场强、周边环境的用地类型以及风向的差异导致公园对 4 个方向辐射范围的差异。其中,公园东边环境的整体温度偏低,热环境状况较好,归结于神山森林公园与东部的中央公园景观带形成了绿色廊道,有效缓解了热岛效应。因此,如何将独立的公园绿地斑块串联组成一个有机绿地廊道系统,使绿地的降温辐射覆盖整个建成区,有效改善城市的热岛效应,是今后需

要深入研究并量化的方向。

参考文献

- [1] 王印肖. 林木良种繁育基地项目建设程序与内容[J]. 河北林业, 2008(5): 19-22.
- [2] 赵国生, 李小燕, 刘建海, 等. 文冠果幼树沙荒地施肥效果试验研究[J]. 林业科技通讯, 2018(8): 65-67.
- [3] 王秉放. 文冠果生物质能源林培育技术[J]. 科技信息, 2013(34): 268-269.
- [4] 董莉莉, 曾凡顺, 刘阳, 等. 文冠果繁殖及栽培技术研究进展[J]. 辽宁林业科技, 2015(2): 54-58.
- [5] 马启慧. 能源树种文冠果的研究现状与发展前景[J]. 北方园艺, 2007(8): 77-78.
- [6] 刘克武, 张海林, 张顺捷, 等. 文冠果优良品系选择[J]. 中国林副特产, 2008, 94(3): 15-18.
- [7] 刘建海. 张掖市北部荒漠区文冠果大田播种育苗试验[J]. 防护林科技, 2012(1): 33-35.
- [8] 国家技术监督局. 林木种质资源保存原则与方法: GB/T 14072—1993[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [9] 边彪, 孟好军, 刘建海, 等. 黑河中游典型退化沙地文冠果引种栽培试验研究[J]. 林业实用技术, 2013(4): 14-16.
- [10] 王艺林, 刘贤德, 边彪, 等. 干旱荒漠区文冠果扦插繁殖技术研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(32): 11363-11365.
- [11] 赵文书, 唐社云, 李蓬芳, 等. 普文试验林场思茅松无性系种子园营建技术[J]. 云南林业科技, 1998(1): 1-10.

要深入研究并量化的方向。

参考文献

- [1] LI Y M, GUO J, FENG J Y. Urban green space and its effect on urban heat island effect[J]. Urban environment and urban ecology, 2004, 17(1): 1-4.
- [2] 赵鹏飞, 王茂军, 张学霞. 北京市植被绿度与城市热岛效应关系研究[J]. 北京农业大学学报, 2009, 31(5): 54-60.
- [3] 薛万蓉, 许辉熙, 但尚铭, 等. 基于遥感的城市温度与植被相关性分析: 以四川省内江市为例[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(8): 4715-4717.
- [4] DECLET-BARRETO J, BRAZEL A J, MARTIN C A, et al. Creating the park cool island in an inner-city neighborhood: Heat mitigation strategy for Phoenix, AZ[J]. Urban ecosystem, 2013, 16: 617-635.
- [5] 梁娟, 蔺银鼎. 城市森林对周边小气候时空格局的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(7): 379-385.
- [6] 佟华, 刘辉志, 李延明, 等. 北京夏季城市热岛现状及楔形绿地规划对缓解城市热岛的作用[J]. 应用气象学报, 2005, 16(3): 357-366.
- [7] 苏泳嫻, 黄光庆, 陈修治, 等. 广州市城区公园对周边环境的降温效应[J]. 生态学报, 2010, 30(18): 4905-4918.
- [8] 尤倩, 罗娅. 喀斯特山区城市绿地对热岛效应的缓解作用: 以贵阳黔灵山公园为例[J]. 贵州科学, 2019, 37(2): 31-33.
- [9] E6 的合肥市城市绿地缓解热岛效应作用研究[EB/OL]. [2020-06-20]. <http://www.docin.com>.
- [10] 伍卉. 基于 GIS 技术的合肥市城市绿地缓解热岛效应作用研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2010.
- [11] 王娟. 城市绿地生态场效应因素分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2008, 28(1): 77-80.
- [12] 覃志豪, LI W J, ZHANG M H, 等. 单窗算法的大气参数估计方法[J]. 国土资源遥感, 2003(2): 37-43.