

# 北京百花山核桃楸华北落叶松混交林空间结构特征<sup>\*</sup>

吕锡芝<sup>1</sup>, 范敏锐<sup>1</sup>, 余新晓<sup>1</sup>, 岳永杰<sup>2</sup>, 王雄宾<sup>1</sup>, 焦雪辉<sup>3</sup>, 周彬<sup>1</sup>, 张灿<sup>1</sup>

(1. 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 内蒙古农业大学 林学院, 呼和浩特 010019; 3. 北京林业大学 园林学院, 北京 100083)

**摘 要:**以百花山自然保护区核桃楸华北落叶松混交林样地的调查数据为基础,利用角尺度、大小比数和混交度 3 个林分空间结构参数,分析了核桃楸华北落叶松混交林的空间结构特征。结果表明:核桃楸种群密度和断面积占有明显优势,是乔木层的优势种和建群种;核桃楸华北落叶松混交林平均混交度为 0.382,林分混交程度低,优势种以零度混交和弱度混交为主,伴生种的混交状况普遍较好;核桃楸和华北落叶松种群在空间结构单元中以优势木、亚优势木和中庸木为主,其他种群的树种优势度不明显;该林分的空间分布格局为聚集分布。

**关键词:**混交度;大小指数;角尺度;百花山自然保护区

中图分类号:S718.45

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)03-0212-05

## Spatial Structure of *Juglans Mandshurica* and *Larix Principis-rupprechtii* Mixed Forest in Beijing Baihua Mountain.

LV Xi-zhi<sup>1</sup>, FAN Min-rui<sup>1</sup>, YU Xin-xiao<sup>1</sup>, YUE Yong-jie<sup>2</sup>,  
WANG Xiong-bin<sup>1</sup>, JIAO Xue-hui<sup>3</sup>, ZHOU Bin<sup>1</sup>, ZHANG Can<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification Combating of Ministry of Education, School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 3. School of Gardening and Horticulture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Based on the survey data of *Juglans mandshurica* and *Larix principis-rupprechtii* mixed forest plot in Baihua Mountain Nature Reserve, and by using the uniform angle index, neighborhood comparison and mingling degree, this paper analyzed the spatial structural characteristics of *J. mandshurica* and *Larix principis-rupprechtii* mixed forest in the reserve. The results showed that *J. mandshurica* had the obvious advantage in population density and basal area, being the dominant and constructive species of the tree layer. The average mingling degree of the forest was 0.382, suggesting the low mingling degree of stands. The dominant species was mainly none-or less-mixed, while the accompanying species were generally well-mixed. In the spatial structural units, *J. mandshurica* and *Larix principis-rupprechtii* populations were mainly of dominant, sub-dominant, and intermediate trees respectively, while the advantages of other populations were not obvious. The spatial pattern of the stands was of aggregative distribution.

**Key words:** mingling degree; uniform angle index; Baihua Mountain Nature Reserve

森林空间结构体现了树木在林地上的分布格局及其属性在空间上的排列方式,即林木之间树种、大小、分布等空间关系,是与林木空间距离有关的林分结构<sup>[1]</sup>,对森林结构的合理描述是制定森林健康经

营方案的有效手段<sup>[2]</sup>。以相邻木关系为基础的现代森林生态和森林经理学方法对结构的描述一般从 3 个主要方面进行<sup>[3]</sup>:树种空间隔离程度(即混交)、林木个体大小分化程度(即竞争)和林木个体在水平面

<sup>\*</sup> 收稿日期:2009-11-20

基金项目:林业公益性行业科研专项经费项目(200804022)

作者简介:吕锡芝(1986-),男,山东省惠民县人,硕士,主要研究方向:林业生态工程、水土保持。E-mail: nihulvxi zhi @163.com

通信作者:余新晓(1961-),男,甘肃省平凉市人,博士,教授,主要研究方向:森林水文、水土保持。E-mail: yuxinxiao111 @126.com

上的分布形式(即林木空间分布格局),分别采用混交度、大小比数和角尺度进行表达<sup>[4-5]</sup>。

核桃楸(*Juglans mandshurica*)是落叶乔木,为强阳性树种,不耐阴,耐寒性强,不耐干旱和瘠薄。核桃楸树冠雄伟,其木材被誉为中国东北三大名贵木材之一。核桃楸由于其资源价值高而遭到大量采伐,1992年曾被列入《国家珍贵树种保护名录》(二级)<sup>[17]</sup>。本研究利用描述林分空间结构的混交度、大小比数和角尺度等空间参数,分析了北京百花山自然保护区内的核桃楸华北落叶松混交林林分的空间结构和分布格局,旨在便于人们对其认识,进而为制定和实施森林健康经营及保护规划提供一定的技术支持。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

百花山自然保护区地处北京市门头沟区清水镇境内,地理坐标为北纬 39°48′ - 40°05′,东经 115°25′ - 115°42′,属于太行山脉北端,在地质构造上位于华北陆台中部的燕山沉降带。该区地处温带大陆性季风气候区,全年平均气温在 2~7℃,0℃年积温 3 800℃左右,全年无霜期 180 d 左右,年平均降水量 450~720 mm。本区属于褐色土分布带。

保护区植被垂直带谱明显,生物多样性丰富,主要的树种有油松、华北落叶松、侧柏、辽东栎、核桃楸;灌木主要种类有毛花绣线菊、六道木、牛迭肚等;草本主要种类有蓝萼香茶菜、大油芒、披针苔草等。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样地调查 在百花山自然保护区核桃楸华北落叶松混交林布设样地,对该群落进行调查。标准地面积为 80 m ×80 m,海拔 1 230 m,坡向为阳坡,坡度 19.5°,郁闭度 0.6。采用相邻网格法,将样地划分为 16 个 20 m ×20 m 小样方,以每个小样方为调查单元,进行乔木层调查,对样地内胸径 > 5 cm 的树木分别用网格进行每株定位,调查指标包括树种、胸径、树高、冠幅和枝下高等。

1.2.2 数据处理 以样地调查数据为基础,利用空间结构分析软件 Winkelmass 1.0 进行数据处理和分析,分别计算核桃楸华北落叶松混交林树种混交度、大小比数和角尺度,计算时为了消除处于林分边缘树木的系统影响,设置了 5 m 缓冲区(样地四边均向内缩进 5 m),核桃楸华北落叶松混交林实际计算面积为 4 900 m<sup>2</sup>。

(1) 树种混交度的计算。树种混交度( $M_i$ )指参照树  $i$  的 4 株最近相邻木中与参照树不属于同种的个体所占的比例,公式为<sup>[4]</sup>

$$M_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_{ij} \tag{1}$$

其中,  $v_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{当参照树 } i \text{ 与第 } j \text{ 株相邻木非同种时} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$

树种混交度( $M_i$ )是描述混交林中树种混交程度的重要空间结构指数, $M_i$ 的 5 种取值,即 0, 0.25, 0.50, 0.75 和 1,对应于混交度的描述为:零度、弱度、中度、强度和极强度混交。林分平均混交度( $\bar{M}$ )计算公式<sup>[4]</sup>:

$$\bar{M} = \frac{1}{N} \sum M_i \tag{2}$$

式中: $\bar{M}$ ——林分平均混交度; $N$ ——林分总株数。

(2) 树木大小比数的计算。大小比数( $R_i$ )指胸径大于参照树的相邻木占 4 株最近相邻木的株数比例,算式为<sup>[9]</sup>:

$$U_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 k_{ij} \tag{3}$$

其中,  $k_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{如果相邻木 } j \text{ 比参照树 } i \text{ 小} \\ 1, & \text{否则} \end{cases}$

大小比数( $U_i$ )的 5 种取值,即 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1,对应于参照树在 4 个相邻木中不同的优势程度,即优势、亚优势、中庸、劣势和绝对劣势。不同树种的大小比数平均值( $\bar{U}$ )算式为<sup>[9]</sup>:

$$\bar{U} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l U_i \tag{4}$$

式中: $l$ ——所观察树种的参照树数量; $U_i$ ——树种的第  $i$  个大小比数值。

(3) 树木角尺度的计算。任意两个邻接最近相邻木的夹角有两个,小角设为  $\alpha$ ,把当最近相邻木均匀分布时的夹角设为标准角  $\alpha_0$ 。角尺度( $W_i$ )被定义为  $\alpha$  角小于标准角  $\alpha_0$  的个数占所考察的 4 个夹角的比例,用公式表示为<sup>[10]</sup>:

$$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 z_{ij} \tag{5}$$

其中:  $z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{当第 } i \text{ 个 } \alpha \text{ 角小于标准角 } \alpha_0 \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$

当  $W_i = 0$ ,  $W_i = 0.25$  时,参照树  $i$  为均匀分布,  $W_i = 0.5$  时,为随机分布,  $W_i = 0.75$ 、 $W_i = 1$  时,为不均匀分布。显然,所有参照树的集合就体现了整个林分的林木水平分布格局。

林木分布格局的判定林分角尺度平均值( $\bar{W}$ )计算公式<sup>[10]</sup>:

$$\bar{W} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i \tag{6}$$

式中: $W_i$ ——第  $i$  株参照树的角尺度; $n$ ——参照树

的总株数。

在角尺度的定义中,标准角的大小和分布格局临界值的判定,将影响到林木分布格局判断的准确性。惠刚盈等<sup>[11]</sup>认为,标准角的可能取值范围为:60°~90°,72°是一个最优的标准角。Gadow 和 Hui<sup>[15]</sup>研究表明:当 0.475< $\tilde{w}$ <0.517 时,为随机分布;当  $\tilde{w}<0.475$  时为均匀分布;当  $\tilde{w}>0.517$  时为团状分布。本文据此判定林分的空间分布格局。

## 2 结果与分析

### 2.1 核桃楸华北落叶松混交林树种组成结构

百花山自然保护区核桃楸华北落叶松混交林林

木结构特征由表 1 可知:林分密度为 606 株/hm<sup>2</sup>,林分胸高断面积为 5.731 m<sup>2</sup>/hm<sup>2</sup>。核桃楸占全林的株数比例为 45.36%,断面积占林分胸高断面积的 60.96%,从树高和胸径来看,核桃楸最大胸径 32.2 cm,平均胸径为 11.78 cm,最大树高为 13.5 m,平均树高为 6.54 m,说明核桃楸在该群落中占有优势,为主要优势种和建群种。华北落叶松人工林株数比例为 18.30%,断面积占林分总断面积的 16.19%,在林分内占有一定优势。从林分每 1 hm<sup>2</sup>面积比例看,该群落的树种组成式为:6 核桃楸 2 华北落叶松+蒙古栎+暴马丁香+大叶白蜡+山杏+青杨-家榆-紫椴-油松-华山松。

表 1 百花山自然保护区核桃楸华北落叶松混交林林木结构特征

树种	株数		断面积		胸径/cm			树高/m		
	(株·hm <sup>-2</sup> )	百分比/%	(m <sup>2</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	百分比/%	最大	最小	平均	最大	最小	平均
核桃楸	275	45.36	3.493	60.96	32.2	5.2	11.78	13.5	3	6.54
华北落叶松	111	18.30	0.928	16.19	21.5	5.1	9.73	11.5	3.4	5.95
暴马丁香	55	9.02	0.219	3.81	11.2	5.2	6.97	7.5	3	4.33
山杏	53	8.76	0.171	2.98	9.5	5	6.26	4.3	2	2.97
大叶白蜡	47	7.73	0.191	3.33	12.8	5.0	6.95	9	3.5	5.58
蒙古栎	27	4.38	0.260	4.53	18	5.84	10.61	9	4.5	6.98
油松	11	1.80	0.076	1.32	14.2	5	8.7	5.3	2.3	3.47
紫椴	11	1.80	0.091	1.59	13.5	5.1	9.67	9	2.8	6.9
家榆	8	1.29	0.111	1.94	19.7	5.4	12.38	9.2	3.5	5.86
华山松	6	1.03	0.039	0.69	10.1	6.2	8.83	7	5.4	6.4
青杨	3	0.52	0.153	2.68	27.1	22.7	24.9	16	15	15.5

### 2.2 树种混交程度

核桃楸华北落叶松混交林空间结构参数分布见图 1。由图 1a 可知:核桃楸华北落叶松混交林树种混交度分布规律明显,混交度从  $M_i=0$  到  $M_i=1$  不同取值范围的比例呈减少的趋势,林分以零度混交为主,零度混交的比例为 36.6%,弱度混交的比例为 19.0%,中度、强度和极强度混交的比例相关不大,林分平均混交度为 0.382,说明核桃楸华北落叶松混交林整体树种混交程度较低。由表 2 可知:核桃楸和华北落叶松以零度、弱度和中度混交为主,核桃楸零度和弱度混交的比例为 82%,说明核桃楸常与同种聚集生长在一起;华北落叶松常与 2 株或 2 株以上的同种伴生,二者的株数比例都较大,说明核桃楸华北落叶松混交林主要树种的混交程度较低。暴马丁香、大叶白蜡、华山松、家榆、蒙古栎、青杨和油松的混交度以强度和极强度为主,山杏和紫椴混交度两极分化现象严重,核桃楸华北落叶松混交林伴生树种株数少,但大部分树种的混交程度较高。

### 2.3 林木大小分化程度

百花山保护区核桃楸华北落叶松混交林大小比数分布见图 1b。由 1b 可知:核桃楸华北落叶松混交林的大小比数分布较均匀,优势木相比而言较少,说明核桃楸华北落叶松混交林林木大小差异明显,在空间结构单元中不同等级的林木分布频率相差不大,林木分化程度高。由表 2 可知:核桃楸华北落叶松混交林不同树种的大小比数差异较大,暴马丁香、大叶白蜡、核桃楸、华北落叶松和山杏的大小比数在不同的取值范围内均有分布,核桃楸和华北落叶松种群在空间结构单元中以优势木、亚优势木和中庸木为主,分别占种群总株数的 65%和 66%。华山松、家榆以劣势或绝对劣势分布为主,林木个体生长势弱,蒙古栎、青杨和紫椴株数少,但树种优势度明显,油松大小比数分布两极分化现象严重。综合分析可知,核桃楸和华北落叶松的树种优势度都较大,核桃楸的株数多,个体分布广,比华北落叶松优势程度高。

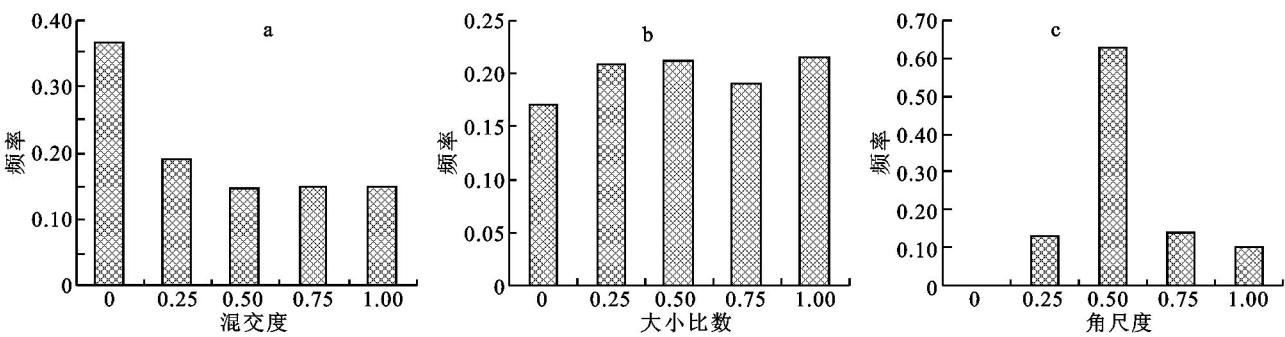


图 1 百花山保护区核桃楸华北落叶松混交林林分混交度、大小比数和角尺度分布

表 2 百花山保护区核桃楸华北落叶松混交林各树种混交度和大小比数

树种	混交度/ $M$						大小比数/ $U$					
	0	0.25	0.5	0.75	1	$\bar{M}$	0	0.25	0.5	0.75	1	$\bar{U}$
暴马丁香	0	0.04	0.33	0.29	0.33	0.73	0.08	0.21	0.21	0.21	0.29	0.60
大叶白蜡	0	0.32	0.16	0.37	0.16	0.59	0.16	0.16	0.21	0.21	0.26	0.57
核桃楸	0.65	0.17	0.07	0.08	0.03	0.17	0.19	0.24	0.22	0.15	0.21	0.49
华北落叶松	0.26	0.26	0.36	0.04	0.09	0.36	0.17	0.26	0.23	0.21	0.13	0.47
华山松	0	0	0	0	1.00	1.00	0	0	0	0	1.00	1.00
家榆	0	0	0	0	1.00	1.00	0.33	0	0	0.33	0.33	0.58
蒙古栎	0	0	0	0.33	0.67	0.92	0.33	0.11	0.11	0.44	0	0.42
青杨	0	0	0	1.00	0	0.75	0.50	0.50	0	0	0	0.13
山杏	0.12	0.31	0.08	0.23	0.27	0.56	0.04	0.12	0.19	0.27	0.39	0.71
油松	0	0	0	0.40	0.60	0.90	0.40	0	0.20	0	0.40	0.50
紫椴	0	0.60	0	0.20	0.20	0.50	0.20	0.20	0.40	0.20	0	0.40

2.4 角尺度分析

百花山保护区核桃楸华北落叶松混交林角尺度分布见图 1c。由图 1c 可知:百花山保护区核桃楸华北落叶松混交林角尺度均以等级  $W_i = 0.5$  分布频率最大,等级  $W_i = 0$  的分布频率为零,说明该林分在空间结构单元中没有分布很均匀的个体,角尺度在其它等级上的比例相差不大。角尺度分布在等级  $W_i = 0.5$  两侧的频率差异较大,右侧明显大于左侧,林分角尺度均值  $\bar{W}$  为 0.553,  $\bar{W} > 0.517$ ,说明核桃楸华北落叶松混交林整体上为聚集分布。

3 讨论与结论

本研究采用树种混交度从单木的角度描述林分树种空间搭配及排列形式<sup>[13-14]</sup>。核桃楸华北落叶松混交林在空间结构单元中主要以零度混交和弱度混交为主,处于中度、强度和极强度混交的林木比例较小,说明核桃楸华北落叶松混交林整体上的混交状况不良,林分中同种林木聚集在一起的情况较多,大多数林木与本种相伴,同种隔离程度低。分析表明,作为优势种群的核桃楸的混交状况最差,伴生树种除华北落叶松种群外,其他种群同种个体聚集程度较低,在空间结构单元中,常与 2 株或 2 株以上不同

树种相邻混生,树种混交度较大,林木混交状况较好。林木大小差异程度常采用林木的直径分布来表达<sup>[6-8]</sup>,但直径分布仅给出了群落内树木个体各径级所占的频率,缺乏空间信息<sup>[12]</sup>。本文采用大小比数( $U_i$ ),分析林分中所有树种在胸径指标上的优劣程度<sup>[18]</sup>。核桃楸华北落叶松混交林在空间结构单元内,处于绝对优势的林木个体数量最少,林分内大部分个体分化程度较高,不同径级林木在空间结构单元内分布均匀。核桃楸种群在空间结构单元中的树种优势度最大,华北落叶松次之,其他种群的树种优势度不明显。

本研究中的核桃楸华北落叶松混交林样地面积为 0.64  $\text{hm}^2$ ,在天然林中,当样地面积 50 m  $\times$  50 m 时,随着样地面积的增大,其对应林木的空间分布格局趋于稳定,所选样地能够满足林分空间结构分析的需要<sup>[16]</sup>。北京山区核桃楸华北落叶松混交林成林方式主要以天然萌生为主,林木主要呈丛状聚集分布,虽然经过自疏或人为干扰,成林后林木聚集程度会有所下降,但林分整体上空间分布型仍呈聚集分布。

参考文献:

[1] 惠刚盈,克劳斯·冯佳多.德国现代森林经营技术

- [M]. 北京:中国科学技术出版社,2001:66-134.
- [2] 惠刚盈,克劳斯·冯佳多.森林空间结构量化分析方法[M].北京:中国科学技术出版社,2003.
- [3] 雷相东,唐守正.林分结构多样性指标研究综述[J].林业科学,2002,38(3):146-141.
- [4] 惠刚盈,胡艳波.混交林树种空间隔离程度表达方式的研究[J].林业科学研究,2001,14(1):177-181.
- [5] 覃林,谭玲,罗应华,等.广西大明山云贵山茉莉林的空间结构[J].中南林业调查规划,2008,2(27):66-69.
- [6] Vongadow K, Fuedner K. Zur methodik derbestandesbeschreibung[R]. Klieken:Vortrag anlaesslich der-Jahrestagung der A G Forsteinrichtung,1992.
- [7] Fuedner K. Strukturbeschreibung von buchen-redel-laubholz-mischwaeldern [M]. Goettingen: Cuvillier Verlag Goettingen,1995.
- [8] Hofgaard A. Structure and regeneration patterns in a virgin Picea Abies forest in northern Sweden [J]. J Veg. Sci., 1993,4(8):601-608.
- [9] 惠刚盈, Gasow K V, Matthias A. 一个新的林分空间结构参数:大小比数[J].林业科学研究,1999,12(1):1-6.
- [10] 惠刚盈, Gasow K V, Matthias A. 角尺度:一个描述林木个体分布格局的结构参数[J].林业科学,1999,35(1):37-42.
- [11] 惠刚盈, Gasow K V, 胡艳波. 林分空间结构参数角尺度的标准角选择[J].林业科学研究,2004,17(6):687-692.
- [12] Stewart G H, Rose A B. The significance of life history strategies in the developmental history of mixed beech forests, New Zealand[J]. Plant Ecology,1990,87(2):101-114.
- [13] 张金屯.植物种群空间分布的点格局分析[J].植物生态学报,1998,22(4):344-349.
- [14] Dungan J L, Perry J N, Dale M R T, et al. A balanced view of scale in spatial statistical analysis[J]. Ecography,2002,25:626-640.
- [15] Gadow K V, Hui G Y. Characterizing forest spatial structure and diversity. "Sustainable Forestry in Temperate Regions" [C]. Sweden:University of Lund,2002.
- [16] 李明辉,何风华,刘云,等.林分空间格局的研究方法[J].生态科学,2003,22(1):77-81.
- [17] 郑万钧.中国树木志[M].2卷.北京:中国林业出版社,1985.
- [18] 岳永杰,余新晓,李钢铁,等.北京松山自然保护区蒙古栎林的空间结构特征[J].应用生态学报,2009,20(8):1811-1816.

## 欢迎订阅 2011 年《水土保持研究》

《水土保持研究》创刊于 1985 年,双月刊,中文版,属地球科学类期刊。主管单位为中国科学院,由中国科学院水利部水土保持研究所主办。入选《中国科技论文统计源期刊》、《中国科学引文数据库统计源期刊》、《中文核心期刊要目总览》。本刊为 A4 开本,272 页/期。刊号为:ISSN 1005 - 3409, CN61 - 1272/P。国内邮发代号:52 - 211,定价:25.0 元/册。

**报道内容:**土壤侵蚀、旱涝、滑坡、泥石流、风蚀等水土流失灾害的现状与发展动态;水土流失规律研究、监测预报技术研发成就与监测预报结果;水土流失治理措施与效益分析;水土流失地区生态环境建设与社会经济可持续发展研究;计算机、遥感工程、生物工程等边缘学科新技术、新理论、新方法在水土保持科研及其实践中的应用;国外水土流失现状及水土保持研究新动态等。

**读者对象:**从事水保科技研究、教学与推广的科教工作者及有关行政管理人员;国内外环境科学、地学、农业、林业、水利等相关学科的科教人员及大专院校师生。

**地址:**陕西省杨凌区西农路 26 号

中国科学院水利部水土保持研究所《水土保持研究》编辑部

**邮编:**712100

**电话:**(029) 87012705

**E-mail:**research @ms.iswc.ac.cn

**http:**// www.iswc.ac.cn