

北京山区农业气候资源系统的模糊综合评判

田志会^{1,2}, 郭文利³, 赵新平³, 王志华³, 郑大玮^{1*}

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094; 2. 北京农学院园林系, 北京 102206; 3. 北京市气候中心, 北京 100089)

摘 要: 为了定量分析北京山区农业气候资源, 利用山区 1 km² 小网格的气候资料, 应用农业气候适宜度理论、模糊数学和因子分析等方法, 通过 5 项农业气候指标与山区栽培植物生长发育条件之间隶属函数的建立及其权重的确定, 分别计算山区各网格点的农业气候资源指数、效能指数和利用系数, 并在 GIS 的支持下建立了它们的栅格图。结果表明: 北京山区以平谷、密云、怀柔南部等东北部地区的农业气候资源系统较为优良, 无论是气候资源总量还是其匹配状况以及利用率都是本地区最高的; 与之相反, 西北部和海拔较高的山区, 不仅农业气候资源总量贫乏, 而且光、热、水资源的匹配程度较差, 导致农作物对资源的利用率较低; 此外, 房山东南部和昌平南部等地区气候资源总量较为丰富, 但受水资源的限制, 光、热、水资源的匹配程度较差, 致使当地气候资源利用率较低。

关键词: 农业气候适宜度; GIS; 小网格; 模糊综合评判; 山区

中图分类号: S162

文献标识码: A

生态系统是环境系统和生物系统在特定空间的组合, 而气候因子是环境系统的重要构成因子, 光、热、水的时空组合决定了环境的性质和特征, 从而影响着各类自然和人工生态系统; 农业植物是生物系统的重要组成部分, 不同植物类型都有其特定的适生范围。

从系统科学的观点出发, 以研究不同气候环境与各类农业植物系统之间的相互作用与适应关系为目标的农业气候系统, 处于气候与农业两大系统的界面上, 兼有自然和人文因素的复合影响, 是一个具有复杂生物物理机制和生物化学变化的动态系统。农业气候系统功能的优劣主要表现在资源的总体状况、协调程度及资源潜力的发挥。对农业气候系统功能的定量评价是农业生产合理规划的基础, 因此, 许多学者^[1- 8, 11, 12] 针对于不同区域尺度以及不同植物种类的农业气候资源系统进行评价, 并取得了对于农业生产具有重要指导意义的研究成果及可供后人借鉴的研究方法。但纵观前人的研究, 大

多采用气象台、站的气候资料评价某一区域气候资源的优劣。针对地形复杂、水平、垂直方向上气候条件差异悬殊的山区, 仅采用气象站点的气候资料对气候资源进行评价则略显粗略。鉴于此, 本文在前人工作的基础上, 利用小网格气候资料, 试图对占北京 62% 面积的山区农业气候资源系统进行定量评价。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

北京市位于华北平原的西北隅, 地处 39° 28' ~ 41° 05' N、115° 25' ~ 117° 30' E, 为山地与平原的过渡带, 东北、北、西三面群山耸立, 东南部是平原, 山地约占总面积的 62% (图 1)。气候属暖温带半湿润半干旱季风气候, 但受地形影响, 具有明显的垂直分异规律。与之相应, 植被类型具有明显的分界: 平原及山地沟谷主要为栽培植被; 丘岗台

收稿日期 (Received date): 2004- 10- 13; 改回日期 (Accepted): 2004- 12- 31。

基金项目 (Foundation item): 北京市自然科学基金重点项目 (6031001)。[Supported by the Beijing Natural Science Foundation 6031001]

作者简介 (Biography): 田志会 (1968-), 女, 副教授, 博士生, 研究方向: 生态学、农业气象学。[Tian Zhihui, female, bom in 1968, associate professor, Ph. D candidate for ecology and agrometeorology.]

* 通讯作者 (correspondent author): 郑大玮, 中国农业大学资源与环境学院。[College of Resource and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094; zhengdawei44@263.net.]

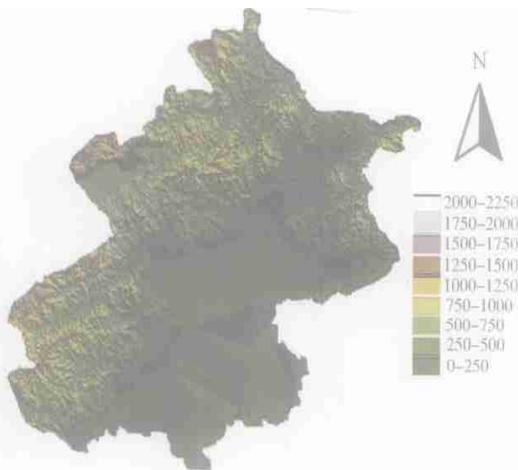
地为果林或果粮间作, 自然植被为灌草丛; 低山区除果林外, 天然植被为灌草丛、草丛, 很少有天然林; 中山下部为松栎林, 上部为桦树林带, 1 900 m 以上山顶为杂草草甸。本文以北京市的 7 个山区县区(平谷、密云、怀柔、延庆、昌平、门头沟、房山) 作为研究对象。

1.2 研究方法及资料

目前, 分布在北京山区的常规气象站只有 6 个, 且大多设在地势较平缓的地方, 而山区由于受地形条件的影响, 气候要素不论在水平方向还是垂直方向上都有显著的差异, 6 个常规站测得的气候资料很难代表山区总体的气候状况。针对于此, 本文利用北京市气象局气候中心提供的 1 km² 小网格的气候资料, 应用农业气候适宜度原理, 采用模糊数学的方法定量评价山区农业气候系统的功能。在指标权重的确定上采用因子分析法, 利用 spss12 统计软件计算。由于计算的数据文本容量巨大, 为 180 行 175 列, 难以直观表现各气候资源指数的空间分布, 因此采用美国环境系统研究所 (ESRI) 开发的地理信息系统软件 ArcGis 与 ArcView 将网格数据进行了可视化处理。网格坐标系采用北京地方坐标系, 县界底图由北京市气象局气候中心提供。

2. 农业气候资源系统评判模型的确定

2.1 指标的选取



(图片来源于北京农业资源与产业调查报告 After the report of the Resources and Industries of Beijing Agriculture)

图 1 北京市地势图

Fig. 1 Hypsography of Beijing

根据北京山区主要栽培植物的生长发育对气象条件的要求, 参考北京市农业气候区划指标, 选择涉及光、热、水三方面的 5 个农业气候指标^[12-15]: 年平均气温 (x_1)、 $\geq 0^\circ\text{C}$ 活动积温 (x_2)、负积温 (x_3)、年降水量 (x_4)、年日照时数 (x_5)。其中 x_1 , x_2 可大致反映某一区域的热量资源, x_3 反映了冬季寒冷的强度和持续的时间, x_4 是衡量农业气候水资源多寡的主要因素, x_5 表示了某一区域光资源状况。

2.2 农业气候适宜度

农作物(果树、牧草、林木)的正常生长受到多种气候条件的影响, 且这种影响是一种综合作用而非简单的叠加。采用模糊数学的分析方法, 可将不同气候要素的影响统一到单一的量化指标——适宜度, 其定义域为 $[0, 1]$, 即最不宜为 0, 最适宜为 1, 从而对这种影响进行数学描述和定量分析。根据北京地区农业植物生长发育的农业气候指标及受农业气候要素影响变化的柯西分布模式^[9], 确定各要素的隶属函数如公式 (1) ~ (5) 所示

$$\mu_{x_1} \begin{cases} 1 & x_1 \geq 12 \\ \frac{1}{1 + 0.0625 (x_1 - 12)^2} & 12 > x_1 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{x_2} \begin{cases} 1 & x_2 \geq 4600 \\ \frac{1}{1 + 0.007 \left(\frac{x_2}{100} - 46\right)^2} & 4600 > x_2 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{x_3} \begin{cases} 1 & x_3 \geq 300 \\ \frac{1}{1 + 0.05 \left(\frac{x_3}{100} + 3\right)^2} & -300 > x_3 \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_{x_4} \begin{cases} 1 & x_4 \geq 700 \\ \frac{1}{1 + 0.25 \left(\frac{x_4}{100} - 7\right)^2} & 700 > x_4 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{x_5} \begin{cases} 1 & x_5 \geq 2650 \\ \frac{1}{1 + 0.25 \left(\frac{x_5}{100} - 26.5\right)^2} & 2650 > x_5 \end{cases} \quad (5)$$

式中有关参数的确定是根据多种农业植物生长发育状况综合配置的。

3 山区农业气候系统功能的综合评判

3.1 因素权重和指标权重的确定

光、热、水各指标的适宜度体现了单因素的评价, 要进行多因素的综合评价, 客观地确定各指标、各因素的权重尤为重要。目前权重的确定方法

主要有专家咨询法、因子分析法和相关系数法等, 其中因子分析法具有严格的数学基础, 可通过各主成分原有指标的载荷值和公因子方差值反映其对主成分贡献的大小。采用因子分析法, 以北京市 17 个气象站点作为背景样本, 对 5 个原始指标进行农业气候资源的主成分分析, 以特征值 $\lambda_a \geq 1$ 作为入选标准, 由此入选前两个主成分: $\lambda_1 = 3.405$, $\lambda_2 = 1.004$, 它们的累积方差已代表了全部信息的

88.18%, 其载荷及公因子方差值见表 1。

主成分载荷反映了所取主成分与各原始指标间的相关关系, 公因子方差反映了各原始指标对选出的两个主成分所起的作用, 即反映了各原始指标的重要程度。指标权重的确定是将公因子方差按照热量 3 因子、水分 1 因子、光照 1 因子及热量、水分、光照三因素分别进行归一化, 即得所需权重 (表 2)。

表 1 两个主成分载荷及公因子方差

Table 1 Communalities and loadings of two main components

原始指标 original index	第一主成分载荷 loading of the first main component	第二主成分载荷 loading of the second main component	公因子方差 communalities
年均温 (x_1) (annual average temperature)	0.966	0.160	0.959
> 0℃积温 (x_2) (accumulated temperature up 0℃)	0.965	0.166	0.958
负积温 (x_3) (accumulated temperature down)	0.920	0.031	0.847
年平均降水量 (x_4) (annual precipitation)	0.802	-0.152	0.666
年日照时数 (x_5) (annual sunlight hours)	-0.230	0.963	0.980

表 2 各因子权重分配

Table 2 Weight of factors

因素 factors		热量 quantity of heat	水分 precipitation	光照 sunlight hours
第一层次 first level	因素权重 (A weight of factors)	0.627	0.151	0.222
第二层次 second level	原始指标 (x_i original index)	x_1	x_2	x_3
	指标权重 (a weight of original index)	0.347	0.347	0.306
			1	1

3.2 农业气候指数

农业气候指数的确定是按下述 2 个步骤进行的: 利用多年的平均气候资料以及各因素和指标的权重, 根据农业气候适宜度模型, 将农业气候适宜度与第二层次指标权重 a_i 加权合成热量、水分、光照三项单项资源指数, 计算公式分别为公式 (6) ~ (8):

$$S_{\text{热}} = \sum_{i=1}^3 \mu_{x_i} \cdot a_i \quad (6)$$

$$s_{\text{水}} = \mu_{x_4} \cdot a_4 \quad (7)$$

$$s_{\text{光}} = \mu_{x_5} \cdot a_5 \quad (8)$$

这三项资源指数分别表明了某一区域热量、水分和光照资源的优劣程度, 评判标准为: ≥ 0.85 表示资源丰富, $0.7 \sim 0.85$ 表示资源较丰富, 0.7

~ 0.5 表示资源状况一般, < 0.5 表示资源贫乏。

以此为基础, 进一步估算某一区域资源指数、效能指数和利用系数^[4], 并依此描述该区域农业气候资源的优劣程度, 光、热、水三项资源的配合程度以及天然条件下为大多数农作物利用的实际效率。

资源指数各单项资源指数 S_i 与第一层次因素权重 A_i 加权合成所得, 表示公式

$$C_r = s_{\text{热}} \cdot A_1 + s_{\text{水}} \cdot A_2 + s_{\text{光}} \cdot A_3 \quad (9)$$

C_r 表明某一区域潜在的农业生态气候资源的优劣程度, C_r 的值越大, 表明这一地区农业气候潜力越大, 农业气候资源越丰富。

效能指数 表示公式

$$C_e = S_{\text{热}} \wedge S_{\text{水}} \wedge S_{\text{光}} \quad (10)$$

效能指数反映的是某一区域光、热、水资源的配合程度， C_e 值越大表明该地区光、热、水资源的配合越好，越有利于农业植物的生长。

利用系数反映某一区域在天然条件下，农业气候资源为大多数农业植物生长所利用的效率，表示公式

$$K = \frac{C_e}{C_r} \quad (11)$$

K 值越大，气候资源的利用率越高；反之，则气候资源的利用率越小。

4 结果分析

利用公式 1~ 11，可由北京山区 1 km^2 网格点的原始指标 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 计算出北京山区各网格点的资源指数 C_r 、效能指数 C_e 和利用系数 K 。以 C_r 、 C_e 、 K 值 ≥ 0.85 ， $0.70 \sim 0.85$ ， $0.50 \sim 0.70$ ， < 0.50 四个取值范围作为光热水资源的评

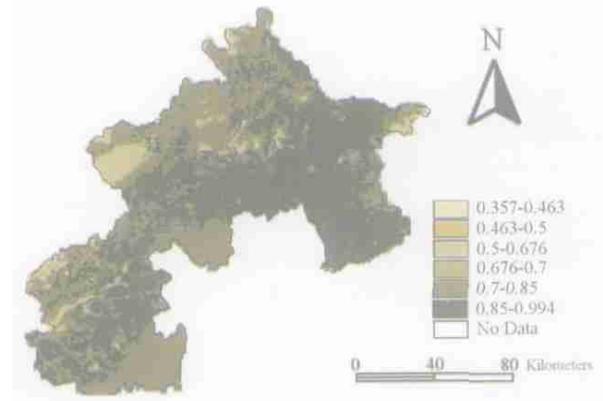


图 4 利用系数分布图

Fig. 4 Map of utilizing coefficient distribution

价标准，分别表示光、热、水资源丰富、配合状况最好、资源利用效率最高；光热水资源较丰富、配合状况较好、资源利用效率较高；光热水资源状况一般、配合状况一般、资源利用效率一般和光热水资源贫乏、配合状况较差、资源利用效率较低。根据这一标准，各网格点 C_r 、 C_e 、 K 值经可视化处理后如图 2~ 4 所示。

由图 2~ 4 可以发现，大部分北京山区农业气候资源指数、效能指数、利用系数的总体分布趋势基本一致，其中高值区位于东北部的平谷、密云、怀柔南部，其 C_r 、 C_e 、 K 值均处于 $0.85 \sim 0.994$ 的范围内，表明这些地区不论是农业气候资源的总量分布，还是光热水资源的匹配状况，以及农业植物对气候资源的利用率都是最高的；而西北部山区以及海拔较高的地区均为 C_r 、 C_e 、 K 的低值区，这些区域不仅农业气候资源总量贫乏，而且光、热、水资源的匹配程度也较差，导致农业植物对资源的利用率较低。这一评判结果与山区自然植被景观的变化趋势基本吻合。以林木覆盖率情况来看，据北京市第五次森林资源二类调查报告，平谷、密云和怀柔正是林木覆盖率最高的地区，且以乔木林为主。而西部山区多为灌木林，且覆盖率较低。

此外，有少数地区由于光、热、水资源匹配程度的原因，导致 C_r 、 C_e 、 K 值表现不一致。如昌平南部和房山东南部，其 C_r 值 > 0.85 ，属于农业气候资源丰富的地区（见图 2），但这两个地区的 C_e 、 K 值均低于 0.85 ，在 $0.7 \sim 0.85$ 间，表明该区光、热、水资源的匹配程度以及资源的利用效率较低（见图 3、图 4）。主要是两个地区水资源相对缺乏。如房山东南部，总的资源指数及单项光、热

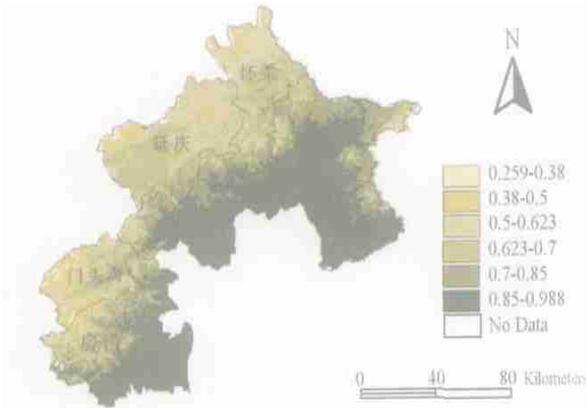


图 2 资源指数分布图

Fig. 2 Map of resources index distribution

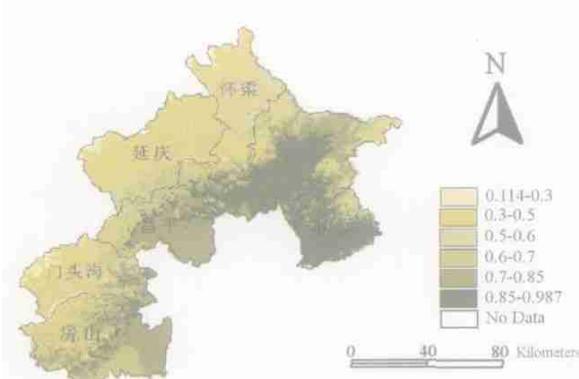


图 3 效能指数分布图

Fig. 3 Map of efficiency index distribution

资源指数均 > 0.85 , 但是水资源指数 < 0.7 , 水资源相对短缺限制了光、热资源的充分利用。这一情况在延庆盆地表现得更加明显。延庆盆地的 C_r 值在 $0.6 \sim 0.7$ 间, C_e 值却只有 $0.3 \sim 0.5$, 光、热、水资源匹配程度较差; 单项资源指数中, 水资源指数低于 0.4 、热量资源指数在 $0.6 \sim 0.7$ 间、光资源指数 > 0.9 , 因为水、热资源的短缺, 限制了该区光资源的充分发挥, 农业植物对资源的利用率 < 0.6 , 资源利用潜力未能充分发挥。上述情况说明某一区域内气候资源总量一定的前提下, 光、热、水资源的匹配程度是农业气候资源潜力发挥的保证和基础。

由图 1~ 4 还可看出, 资源指数、效能指数、利用系数都有随海拔高度的升高而减少的趋势。

5 讨论

农业气候资源从宏观上决定了某一地区适宜的作物类型、产量高低、品质优劣等重要因素, 因此农业气候资源系统评判长期以来一直是农业研究的重要领域, 受到多个学科研究者的重视^[10]。传统的评价方法主要依据气候参数的数量而忽略作物生长生理需求, 不可避免具有其局限性, 而应用农业气候适宜度理论和模糊数学方法进行气候资源的定量分析, 把气候条件和作物生长有机的联系起来, 使农业气候资源评价客观化、模糊定量化, 可以在一定程度上克服传统方法的局限性, 许多学者^[1-4, 6, 11]已在这方面作了大量的研究工作。

本文有关农业气候适宜度所给出的隶属函数是在考虑北京山区大多数栽培植物(包括农作物和干鲜果树)的基础上的建立, 但是对于不同的植物种类或当植物处于不同的生长发育期所需要的气候条件是有差异的, 所以本文的方法只适宜进行大尺度的区域性农业气候系统评判。若要进行小尺度的区域性农业气候系统评判, 需要建立相应的不同植物种类或不同生育期的隶属函数, 如罗怀良等^[5]、赵峰等^[8]、李湘阁等^[7]在此领域已作了大量研究工作, 提供了一些可供后人借鉴的研究方法和对农业生产有重要指导意义的研究成果。

在地理信息系统(GIS)的支持下, 进行区域任意网格点的农业气候资源推算和分析, 可以详细地描述气候资源在不同地形地貌条件下的空间分布特征, 为农业生产的合理布局和规划提供科学的决策

手段。本文利用更加精确的山区 1 km^2 网格的气候资料, 在 GIS 的支持下, 建立了北京山区 1 km^2 网格的农业气候指数的栅格图, 克服了由于山区常规气象站点短缺而使评判结果缺乏代表性且准确性差的缺点, 同时, 利用农业气候指数栅格图, 可方便快捷的对北京山区任意网格点农业气候资源的优劣进行定量评判, 对指导山区农业生产的合理布局和规划有重要意义。

参考文献 (References):

- [1] Yan Luming. The fuzzy comprehensive evaluation on the function of a groclimatic system [J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2001, (2): 133~ 137 [宴路明. 农业气候系统功能的模糊综合评判. 系统工程理论与实践 [J], 2001, (2): 133~ 137]
- [2] Bai Yongping. Systematic analysis of agrometeorological resources in Gansu Province [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11 (6): 827~ 832 [白永平. 甘肃农业生态气候资源系统分析 [J]. 应用生态学报, 2000, 11 (6): 827~ 832]
- [3] Wang Jiangshan, Yan Liangdong, Li Fengxia, et al. Quantitative analysis and classified evaluation of agrometeorological resources in Qinghai province [J]. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2003, 23 (1): 78~ 83 [王江山, 颜亮东, 李凤霞, 等. 青海省农业生态气候资源的量化分析和分类评价 [J]. 气象科学, 2003, 23 (1): 78~ 83]
- [4] Gu Hengyue, Ai Nanshan, Li Youqin. The research of ecoclimatic theory and its application [J]. *Geography and territorial research*, 1985, 1 (1): 36~ 34 [顾恒岳, 艾南山, 李友琴. 生态气候理论及其应用研究 [J]. 地理学与国土研究, 1985, 1 (1): 36~ 34]
- [5] Luo Huailiang, Chen Guojie. Assessment of agroclimate suitability degree in Hongya county of Sichuan province [J]. *Research of Agricultural Modernization*. 2001, 22 (5): 179~ 282 [罗怀良, 陈国阶. 四川洪雅县农业气候适宜度评价 [J]. 农业现代化研究, 2001, 22 (5): 179~ 282]
- [6] Bai Yongping. Quantitative analysis and classified appraisal of agrometeorological resources in Northwest China (Gansu, Ningxia and Qinghai) [J]. *Journal of Natural Resources*, 2000, 15 (3): 218~ 224 [白永平. 西北地区(甘宁青)农业生态气候资源的量化与评价 [J]. 自然资源学报, 2000, 15 (3): 218~ 224]
- [7] Li Xiangge, Min Qingwen, Yu Weidong. Study of climatic adaptability of tea plant in Nanjing area [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*. 1995, 18 (4): 572~ 577 [李湘阁, 闵庆文, 余卫东. 南京地区茶树生长气候适应性研究 [J]. 南京农业大学学报, 1995, 18 (4): 572~ 577]
- [8] Zhao Feng, Qian Huaisui, Jiao Tuxing. The climatic suitability model of crop: A case study of winter wheat in Henan province [J]. *Resources Science*. 2003, 25 (6): 78~ 82 [赵峰, 千怀遂, 焦士兴. 农作物气候适宜度模型研究——以河南省冬小麦为例 [J]. 资源科学, 2003, 25 (6): 78~ 82]
- [9] Zhao Deqi. *Fuzzy Mathematics [M]*. Beijing: The National Cen-

- ter Press, 1995. [赵德齐, 模糊数学 [M]. 北京: 中央民族出版社, 1995.]
- [10] Zhang Yangcai, Wang Shili, Li Wen, *et al.* Studies on the Agroclimatic Resources in China Subtropical Mountainous Areas [M]. Beijing: China meteorological press, 2001. [张养才, 王石立, 李文, 等, 中国亚热带山区农业气候资源研究 [M]. 北京: 气象出版社, 2001]
- [11] Shi Peiji, Bai Yongping. Systematic analysis of agro- ecological climate resources in Ningxia Hui Autonomous Region [J]. *Journal of Desert Research*, 2000, **20** (1) 20~ 24 [石培基. 白永平. 宁夏农业生态气候资源系统分析 [J]. 中国沙漠, 2000, **20** (1) 20~ 24]
- [12] Edited by the Agricultural Regionalization Office. The agricultural resources and its regionalization in Beijing [M]. Beijing: The Beijing Press. 1993. [北京市农业区划办公室. 北京市农业资源与区划 [M]. 北京: 北京出版社, 1993.]
- [13] Edited by Hbei Agriculture University. The respective discussed of fruit trees planting (the north book) [M]. Beijing: the Agriculture Press, 1987. [河北农业大学. 果树栽培学各论 (北方本) [M]. 北京: 农业出版社, 1987.]
- [14] Edited by Newsroom of the China Agriculture Cyclopaedia. The China Agriculture Cyclopaedia, the Volume of Agrometeorology [M]. Beijing: The Agriculture Press, 1986. [中国农业百科全书编辑部. 中国农业百科全书农业气象卷 [M]. 北京: 农业出版社, 1986.]
- [15] Edited by Newsroom of the China Agriculture Cyclopaedia. The China Agriculture Cyclopaedia, the Volume of Fruit [M]. Beijing: The Agriculture Press, 1986. [中国农业百科全书编辑部. 中国农业百科全书果树卷 [M]. 北京: 农业出版社, 1986.]

The Fuzzy Comprehensive Evaluation on the Agroclimatic System of 1 km² Grid of Beijing Mountain Area

TIAN Zhihui^{1, 2}, GUO Wenli³, ZHAO Xinpings³, WANG Zhihua³, ZHENG Dawei¹

(1. College of Resource and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

2. Department of Forestry, Beijing Agricultural College, Beijing 102206, China;

3. Beijing Climate Centre, Beijing 100089, China;)

Abstract: In the interest of evaluating the agroclimatic resources system of Beijing mountain area, argoclimatic indexes including resource index (Cr), efficiency index (Ce) and utilization coefficient (K) of 1 km² grid were calculated. Before the agroclimatic indexes calculated, two works had been done. First, the fuzzy subordinative-degree functions were established between five agroclimatic factors and the conditions of the plant developing by using the climatic data of 1 km² grid of the Beijing mountain area; Second, weights of the five factors were determined through factor analysis method. Supported by Geographic Information System (GIS), the results of the argoclimatic indexes were finally transferred to visual grid images. Using the grid images can conveniently and quickly evaluate the agroclimatic resource of each grid. There are some results by analyzing the grid images of agroclimatic indexes. The agroclimatic system is best in the northeast of the Beijing mountain area including the county of Pinggu, Miyun and the south of Huairou, where not only possessed the richest agroclimatic resources but also the best matching of sunlight, heat and precipitation, so the plant had the highest level utilization of agroclimatic resources; In reverse, the northwest and the higher altitude mountain area had neither abundant agroclimatic resources nor the good matching of sunlight, heat and precipitation, so the plant had lower level utilization of agroclimatic resources; In addition, although abundant agroclimatic resources in southeast of Fangshan county and south of Changping county, restrained by water resources, so the matching degree of sunlight, heat and precipitation is worse and the utilizing agroclimatic resources is lower.

Key words: argoclimatic suitability; Geographic information system (GIS); grid; fuzzy comprehensive evaluation; mountain area.