

DOI: 10.5846/stxb201211181612

陈海生, 严力蛟, 黄璐, 徐奂. 河南省烤烟大田生长期光合有效辐射空间变异性. 生态学报, 2014, 34(14): 4047-4056.

Chen H S, Yan L J, Huang L, Xu H. Spatial variance characteristics of photosynthetically active radiation during tobacco growth in Henan Province. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(14): 4047-4056.

河南省烤烟大田生长期光合有效辐射空间变异性

陈海生^{1,2,3}, 严力蛟^{1,*}, 黄璐¹, 徐奂¹

(1. 浙江大学生态规划与景观设计研究所, 杭州 310058; 2. 浙江同济科技职业学院, 杭州 311231;

3. 河南大学生态科学与技术研究所, 开封 475004)

摘要:地统计学是研究空间变异性的一种统计方法。结合河南省 1950—2000 年整编气象数据, 计算出烟草各生长阶段的光合有效辐射量, 并采用地统计学与 GIS 相结合的方法, 研究了大尺度下河南省烤烟种植区烟草各生长阶段的光合有效辐射的空间变异性及分布特征。经典统计学分析表明, 光合有效辐射在河南省境内可以较好地拟合成正态分布, 满足地统计学所要求的平稳假设条件。其境内光合有效辐射中变异系数最大的是 5 月份, 为 9.61%, 最小的是 7 月份, 为 3.92%。地统计学表明, 河南省烟草大田生长期光合有效辐射可以拟合成为高斯模型, 自相关距离为 1719300.00 m, 块金效应 C_0/sill 为 21.36%, 具有强空间相关性。河南省烟草大田生长期光合有效辐射量 987—1024 J/m² 的低值区占研究区总面积的 19.37%, 主要分布在南阳、信阳、洛阳、三门峡、平顶山; 光合有效辐射量 1024—1060 MJ/m² 的区域分布在三门峡、洛阳、平顶山、南阳, 驻马店、信阳、洛河, 占研究区总面积的 34.50%; 光合有效辐射量 1060—1097 MJ/m² 分布在济源、洛阳、郑州、平顶山、许昌、漯河、驻马店、周口、商丘、三门峡、新乡、安阳, 占研究区总面积的 19.98%; 光合有效辐射量 1097—1133 MJ/m² 的次高值区占研究区总面积的 26.15%, 主要分布在开封、鹤壁、焦作、新乡、安阳、濮阳、郑州、济源和商丘; 光合有效辐射量 1133—1170 MJ/m² 的高值区分布在濮阳、安阳, 占研究区总面积的 3.02%。研究表明, 采用地统计学分析结合 GIS 技术, 可以较方便地分析大尺度的光合有效辐射量的空间变异规律, 从而提高烤烟等大田作物的田间管理水平与品质产量提供精准的数据。

关键词:地统计; 空间变异性; 光合有效辐射; 河南省

Spatial variance characteristics of photosynthetically active radiation during tobacco growth in Henan Province

CHEN Haisheng^{1,2,3}, YAN Lijiao^{1,*}, HUANG Lu¹, XU Huan¹

1 Institute of Ecological Planning and Landscape Design, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

2 Zhejiang Tongji Vocational College of Science and Technology, Hangzhou 311231, China

3 Institute of Ecological Science and Technology, Henan University, Kaifeng 475004, China

Abstract: Geostatistics focuses on spatial variance analysis. By analyzing meteorological data relating to Henan province from 1950 to 2000, we calculated the photosynthetically active radiation (PAR) of tobacco at each growth stage, and studied the spatial variability and distribution characteristics of PAR by using geostatistics in a GIS platform. The PAR data fitted well with a normal distribution, correlating with the current hypothesis for geostatistics. The coefficient of variation (CV) of PAR for the tobacco growth stages was highest (i.e. 9.61%) in May, while it was lowest (i.e. 3.92%) in July. The PAR during tobacco growth fitted well with the Gaussian model, with a spatial dependence distance of 1719300.00 m. The C_0/sill was 21.36%, indicating a strong spatial correlation. A PAR range of 987—1024 MJ/m², accounting for 19.37% of the whole province, occurred mainly in Nanyang City, Xinyang City, Luoyang City, Sanmenxia City, and

基金项目: 国家 863 项目 (2007AA10Z220)

收稿日期: 2012-11-18; 修订日期: 2014-04-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yanlj@zju.edu.cn

Pingdingshan City; a PAR range of 1024—1060 MJ/m², 34.50% of the whole province, occurred mainly in Sanmenxia City, Luoyang City, Pingdingshan City, Nanyang City, Zhumadian City, Xinyang City, and Luohe City; a PAR range of 1060—1097 MJ/m², 19.98% of the whole province, occurred mainly in Jiyuan City, Luoyang City, Zhengzhou City, Pingdingshan City, Xuchang City, Luohe City, Zhumadian City, Zhoukou City, Shangqiu City, Sanmenxia City, Xinxiang City, and Anyang City; a PAR range of 1097—1133 MJ/m², 26.15% of the whole province, occurred mainly in Kaifeng City, Hebi City, Jiaozuo City, Xinxiang City, Anyang City, Puyang City, Zhengzhou City, Jiyuan City, and Shangqiu City; and a PAR range of 1133—1170 MJ/m², 3.02% of the whole province, occurred mainly in Puyang City and Anyang City. Our research showed that large-scale spatial variance of PAR could be analyzed effectively with geostatistics and GIS, thus providing precise data for the management and quality/quantity improvement of field crops.

Key Words: geostatistics; spatial variability; photosynthetically active radiation; Henan Province

变异性、空间分布不均匀性和区域性是地面接受太阳辐射量的重要特征。烟草是喜光作物,太阳辐射是烤烟生长唯一的能量来源,单位土地面积上烤烟的品质和产量,决定于烟草对光能利用的质量和数量。优良品质烟叶的生成,必须保证烟草在生长季节内获得足够的光合有效辐射量^[1]。研究某一区域内烤烟大田生长期太阳有效辐射的空间变异性,对于烟草的合理布局,提高烤烟的产量以及品质有着重要意义。

地统计学是以具有空间分布特点的区域化变量理论为基础,研究自然现象的空间变异与空间结构的一门学科。与经典的插值方法不同,地统计学考虑样点的方向、位置和彼此间的距离,直接测定和分析空间依赖性,用于研究有一定随机性和有一定结构性的各种变量的空间分布规律^[2]。国内外的研究表明,它在气象学和环境方面有着广泛的应用价值与前景。在环境科学领域,刘瑞民等^[3]应用地统计学方法对太湖水质参数空间分布特性进行研究;孟健等^[4]应用 Kriging 的空间分析方法来分析城市大气中 SO₂ 浓度的空间分布。Moral 等^[5]采用地统计技术进行了西班牙中等城市 Badajoz 市的 NO₂、NO、CO₂ 和 CO 的空气污染风险评估。Schmalwieser^[6]则分析了 1996—2000 年中欧地区上空臭氧浓度的时间和空间变异性。Nelson 等^[7]则分析了马尾藻海面和其上空 CO₂ 交换量的空间变异性,并建立了海面空气温度和 CO₂ 浓度相互关系的实证数学模型。在水文气象学中,梁天刚等^[8]对甘肃省河西走廊以东地区多年平均降水量进行了空间分布模拟研究;Dalezios 等^[9]分析了整个希腊范围作物参考蒸腾量

的空间变异性,孙强等^[10]用地统计学方法对泾河流域降水空间变异规律进行了研究。李丽娟等^[11]则将 Kriging 法应用于土壤水、径流模数、降水等的估值工作中。而关于应用地统计学分析一个省境内烤烟大田生长期光合有效辐射空间变异性的研究还未见报道。

河南省烟区是我国烤烟种植的发源地之一,自 1913 年英美烟草公司在许昌试种烤烟成功后,烤烟生产一直是河南省优势的传统产业,无论是种植面积、生产水平还是收购量,都曾长期居全国领先水平^[12]。河南省烟区的光、热、水资源适中,绝大部分土壤适宜于种植烟叶,且灌溉条件较好,80% 以上的烟田能旱涝保收。河南所产烟叶,质量上乘,以色泽鲜亮、油份充足、香味浓郁、配伍性强而闻名中外,被誉为浓香型烟叶的典型代表,是中国卷烟配方中十分重要、不可替代的组成部分。目前仍是上海、杭州、宁波、广州等省外重点烟厂所用原料来源之一,也是世界流行的混合型卷烟的重要原料,有着较大的市场需求潜力^[13]。本文根据河南省 1950—2000 年整编气象资料,尝试利用统计学理论和克里格 (Kriging) 插值方法,对河南省烟草大田生长期光合有效辐射空间变异规律进行了研究,以期对河南省烤烟的高产优质栽培和合理布局提供依据。

1 材料与方法

1.1 区域概况

河南省地处黄河中下游,华北大平原的南端,位于东经 110°21′—116°39′,北纬 31°23′—36°22′。境内地形复杂,有山地、丘陵、平原、盆地等多种地貌类型。年平均气温 13—15℃,日平均气温 ≥ 10℃ 的活

动积温为 4200—4900℃, 年实际日照时数 2000—2600 h, 年降雨量 600—1200 mm。境内大部分烤烟种植区光照充足, 温度适宜, 昼夜温差大, 水资源较丰富, 是华北地区适宜于发展优质烤烟的省份^[14]。

1.2 数据来源

本文所用数据为河南省 118 个气象站点 1951—2000 年逐月气象观测资料, 包括日照时数和日照百分率、地面大气压和地面水气压等。

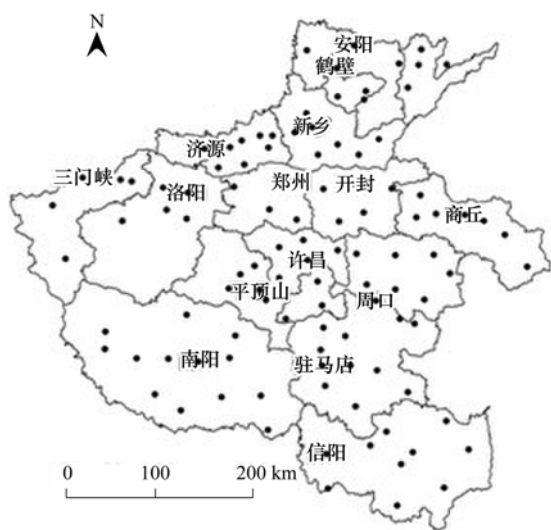


图 1 河南省气象站点分布

Fig. 1 The distribution of meteorological Station in Henan Province

1.3 数据处理

各气象数据的描述性统计采用 SPSS11.0 经典统计学分析, 地统计学中的半方差函数及其模型、分维计算采用 ArcGIS8.3 和 GS+ 7.0 软件。半方差函数也称为半变异函数, 是一个用来描述各气象要素指标性质空间连续变异的连续函数, 反映变量性质的不同距离观测值之间的变化^[2]。

采用地统计学对河南烤烟种植区烟草各生长阶段的光合有效辐射分析步骤如下: 1) 将带有经纬度及烟草大田生长期各月份的光合有效辐射分别输入 GS+ for windows 中; 2) 用 GS+ 做半方差分析, 选取最优模型, 得到参数值, 并进行分维数分析; 3) 将 GS+ 7.0 中得到的参数带入 ArcGIS 8.3 中用克里格法 (Kriging) 分别对各属性指标的分布进行插值, 得到插值图。为了检验这些数据是否符合地统计学插值条件, 用 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 正态分布检验概率对它们进行检验。由于特异值的存在会造成连续

表面的中断, 直接影响变量的分布特征, 致使变异函数失去其结构性。因而, 本研究采用域法识别特异值, 即按标准方差的倍数来识别特异值, 一般特异值定为样品均值 m 加减 3 倍均方差 δ , 即 $m \pm 3\delta$, 然后用正常值的最大值、最小值替代特异值。

在半方差函数模型的确定过程中, 首先计算出 $\gamma(h)-h$ 的散点图, 然后分别用不同类型的模型来进行拟合, 得到模型的参数值及离差平方和, 选取离差平方和最小的模型类型, 最后用交叉验证法来修正模型的参数。

1.4 本研究中光合有效辐射计算方法

河南省地处中原, 此前, 对这一地区的太阳总辐射没有进行过专门的研究。一些作者在研究我国总辐射时, 利用郑州及邻省的日射资料, 得出河南总辐射的概略分布^[15-17]。可是这些著述中的相关数据, 由于在河南境内所取的日射台站较少, 且当时总辐射观测资料年限又短, 或者由于计算方法精度不高, 所得的河南省总辐射结果分布互不一致, 甚至相反, 与实际出入甚大。例如, $5020.8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 年总辐射等值线, 在萧文俊、左太康的研究中^[15-16], 大致沿黄河通过, 北高南低; 而在陆渝蓉的研究中^[17], 该等值线呈舌状伸向西南, 东南高, 西北低。

由于现阶段日射观测台站较少, 而且分布不均匀, 所以在研究总辐射的空间分布时, 常用间接方法计算总辐射。

总辐射的计算公式建立在一定的理论上。任一地点的总辐射量 (Q) 取决于到达该地大气上界的天文辐射量和大气透明状况。

国内计算月总辐射的经验公式很多, 但最常用的总辐射计算基本形式是:

$$Q = S_0(a + bs) \quad (1)$$

式中, Q 为总辐射月总量的计算值, S_0 为大气上层水平面上理论辐射值, s 为月日照百分率, a 、 b 为经验系数, 利用实测的日射资料, 用最小二乘法求得^[18]。

不同作者对 (1) 式中的 S_0 和系数 a 、 b 有不同的取值方法, 其中以 a 、 b 取值最为重要, 因为 S_0 值大小可通过 a 、 b 实现等比例调整。左大康等在分析对比国内外计算总辐射公式的基础上, 提出了同一 a 、 b 值的全国统一总辐射计算式^[16]; 翁笃鸣对各种计算辐射的经验公式进行了理论分析, 提出了 a 、 b 系数因大区而异的大区统一公式^[18]; 李玉海等指出系数

b 有明显的地区差异,而 a 值基本固定,提出 a 值固定公式^[19]。由于我们是要计算河南省的各月太阳总辐射,而且要求尽可能高的精度,因此,我们选用这些公式,用郑州站 1958—2000 年共 42a 实际辐射

月平均值与计算值的偏差,并用各月差值的绝对值求得的月平均、月最大相对误差,进行检验,以决定取舍。本研究采用山东济南气象台的日射资料分月进行回归计算^[20],其系数见表 1。

表 1 分月计算总辐射的 a 、 b 系数Table 1 Coefficient of a , b for calculating solar radiation by month

	月份 Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
b	0.7	0.76	0.47	0.62	0.73	0.65	0.54	0.68	0.57	0.6	0.56	0.64
a	0.06	0.02	0.19	0.09	0.03	0.07	0.11	0.04	0.12	0.09	0.12	0.08

(1) 式中 S_0 由下式求得:

$$S_0 = \frac{2I_0}{\omega} \frac{1}{\rho^2} (\pi_0 \sin \varphi \sin S + \cos \varphi \cos S \times \sin \omega t_0) \quad (2)$$

式中, I_0 为太阳常数,取 1.94, ω 为地球自转速度, ρ 为平均距离为单位的日地距离, t_0 为日出时间, $\pi = \omega t_0$ 为日出时角, φ 为纬度, S 为赤纬, s 为各月日照百分率^[16,18]。

绿色植物并不能利用所有波段的太阳辐射能,只能吸收 400—700 nm 即具有光合效应的太阳辐射^[21-22]。高亮之^[23]在进行我国水稻生产潜力区划时,提出将太阳辐射乘以生理辐射系数 0.47 便可以计算水稻产区的太阳有效辐射量 Q_{PAR} 。马金玉^[24]利用华北平原北部的河北省定兴县固城农业气象试验站实测的辐射资料,对光合有效辐射特征进行分析,结果表明:光合有效辐射量 Q_{PAR} 与 Q 的关系为:全年 $Q_{\text{PAR}} = 0.40Q$, 生长季 $Q_{\text{PAR}} = 0.41Q$ 。这一结果与以往国内一些实测结果相近。河南省海拔高度相差

悬殊,地貌类型复杂多样,生理辐射系数也就具有地区间具有差异性。本文采用周允华^[25]推导的生理辐射系数的计算式:

$$\varepsilon = 0.384 + 0.0531 \log \frac{P_0}{P} e \quad (3)$$

式中, ε 为太阳辐射系数, e 为地面水汽压, P_0 为标准大气压, P 为地面大气压。

根据(1)式和(3)式的乘积则可计算出河南省烟草大田生长季节的光合有效辐射量。

2 结果与分析

2.1 河南省烤烟大田生长期光合有效辐射的描述性统计

采用 SPSS11.0 对各变量进行经典统计分析,并通过 t -检验判断其分布类型,计算得到的统计特征值列于表 2。

各变量都符合正态分布,因此符合半方差函数分析的条件。从表 2 中变异系数来看,7 月份光合有

表 2 河南省烟草大田生长期光合有效辐射描述性特征

Table 2 Statistical values of PAR during tobacco growth in Henan Province

	分布类型 Type of distribution	光合有效辐射 PAR/(MJ/m ²)							
		均值 Mean	中值 Median	标准差 S.D	最小值 Min.	最大值 Max.	变异系数 CV (%)	偏度 Ske.	陡度 Kur.
5 月 May	正态	222.7958	223.8400	21.49414	172.82	264.06	9.61	-0.075	-0.992
6 月 June	正态	243.7158	244.5700	14.22191	203.90	270.24	5.81	-0.285	-0.462
7 月 July	正态	214.9044	214.1000	8.27547	195.73	229.56	3.92	-0.069	-0.676
8 月 August	正态	214.1921	215.4600	10.99049	184.32	240.90	5.27	-0.195	-0.503
9 月 September	正态	177.7961	177.7700	9.32542	152.54	201.57	5.25	-0.087	-0.115
大田生长期总和 Total PAR during growth in the fields	正态	1074.404	1074.660	51.71775	936.80	1187.80	4.81	-0.093	-0.394

效辐射量的变异系数最小,为 3.92%。5 月份光合有效辐射量的变异系数最大,为 9.61%。6 月份、8 月份和 9 月份光合有效辐射的变异系数分别为 5.81%、5.27% 和 5.25%。烟草大田生长期光合有效辐射总量的变异系数为 4.81%。

2.2 半方差函数分析

表 3 是根据各要素半方差函数模型得出的相应参数^[26]。

块金值是半方差函数在原点处数值,表示由试验误差和小于最小取样尺度引起的随机变异;基台值通常表示系统内的总变异,包括结构性变异和随机性变异,基台值越高,表示系统的空间异质越高。块金值与基台值的比值 $C_0/(C_0+C_1)$ 即块金效应,它

表示随机部分引起的空间变异占系统总变异的比,反映各指标的空间依赖性和表明空间依赖性系统变量的空间相关性的程度。如果该比值较低,表明结构性因素引起的空间变异起主要作用,如果该值较高,说明随机部分在引起空间异质性程度中起主要作用。如果块金效应小于 25% 时,空间相关性强,在 25%—75% 之间时,空间相关性中等,大于 75% 时,空间相关性弱。

从表 3 可以看出,5 月、6 月、9 月和烟草大田生长期光合有效辐射的理论模型都为高斯模型,决定系数 R_1^2 分别为 0.929、0.884、0.861 和 0.887。7 月份、8 月份的光合有效辐射的理论模型均为指数模型,决定系数 R_1^2 分别为 0.740、0.861。

表 3 河南省烟草大田生长期光合有效辐射量变异函数理论模型及拟合参数

Table 3 Semi-variance function models and the parameters of PAR during tobacco growth in Henan Province

光合有效辐射 Photolytically active radiation	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September	大田生长期总和 Total PAR during growth in the fields
理论模型 Theoretical model	Gaussian	Gaussian	指数	指数	Gaussian	Gaussian
块金值(C_0) _{nugget}	37.000	63.000	36.200	81.500	31.000	1160.000
基台值(C_0+C_1) _{sill}	984.900	436.900	72.410	163.100	227.200	5430.000
块基比 $C_0/(C_0+C_1)$ Nugget/sill	0.0376	0.1442	0.4972	0.4966	0.1364	0.2136
变程 Range/m	1425900	1680900	192000	847500	1968300	1719300
决定系数 R_1^2	0.970	0.993	0.835	0.892	0.990	0.993
分维数 Fractal dimension(D)	1.390	1.628	1.947	1.907	1.694	1.746
决定系数 R_2^2	0.929	0.884	0.512	0.740	0.861	0.887

5 月份、6 月份 9 月份和 5—9 月份的光合有效辐射量的 $C_0/(C_0+C_1)$ 分别为 3.76%、14.42%、13.64% 和 21.36%,都小于 25%,具有强空间相关性。7、8 月份烟草大田生长期光合有效辐射量的 $C_0/(C_0+C_1)$ 分别为 49.72% 和 49.66%,都在 25%—75% 之间,具有中等程度相关性。

变程 Range(m) 变程是测定因子最大变异的距离,它反映的是:若空间点的自相关性在变程内,则空间自相关存在,且随着变程的增加空间自相关尺度也增大;而在变程之外,空间自相关则消失(即变量是独立的)。因此,可用变程的大小来表示空间变异性的尺度。在变程之内具有空间相关性,在变程之外则不存在这种相关性。河南省烟草大田生长期各变量的空间自相关范围具有明显差异。从表 5 可以看出,河南省烟草大田生长期各生长阶段的光合有效辐射量的变程在 192000.00—1968300.00

m 之间。说明影响上述各变量的影响因素在不同的尺度上起作用。7 月份最小,为 192000.00 m,9 月份最大,为 1968300.00 m。5 月份、6 月份和 8 月份介于它们之间,分别为 1425900.0 m、1680900.0 m 和 847500.00 m。

分维数 D 的几何意义是空间相关性(空间异质性)程度的变量,决定系数 R_2^2 表明了对各变量分维数的拟合情况。 D 越小,被研究对象的空间相关程度越高。从表 5 可以看出,在上述各指标中,7 月份的光合有效辐射的分维数最大,为 1.947,决定系数 R_2^2 为 0.512。5 月份光合有效辐射量的分维数最小,为 1.390,决定系数 R_2^2 为 0.929。烟草大田生长期各生长阶段总和的光合有效辐射量的分维数为 1.746,决定系数 R_2^2 为 0.887。

2.3 Kriging 插值分析

根据所得到的半方差函数模型,应用普通克立

格法 (Ordinary Kriging) 进行最优内插^[27-28], 绘制了河南省烟草大田生长期各生长阶段的光合有效辐射的插值图(图 1—图 6)。

5 月份是河南省烟草从还苗到团棵时期, 也称为伸根期。烟株体内代谢活动以氮素代谢为主, 光合作用所积累的有机物(碳水化合物等)主要用于根、茎、叶的生长。此期充足的光合有效辐射非常有利于烟苗的蹲苗和根系生长。

6 月份是本烟区烟草从团棵到现蕾期, 也称为旺长期。烟草在旺长期烟叶面积的增长达到最终烟叶面积的 60%, 烟叶体积为最终烟叶体积的 70%, 烟叶重量为最终烟叶的 50%。烟草是取烟叶为主要产品的作物, 这时候需要足够的光合有效辐射来产生光合能量, 以满足烟草叶片迅速生长。

7 月份、8 月份和 9 月份是烟草从现蕾到收获结束的时期, 也称为成熟期, 这时期烟叶面积增加占烟叶最终面积的 30%, 烟叶体积的 20% 和烟叶重量的 35%, 是烟叶特有品质形成的关键时期。成熟期是决定烟草品质的重要时期, 这时期适量的光合有效辐射将会促进烟草物质转化, 使烟叶化学成分更加协调。

河南省烟草大田生长期 5—9 月份光合有效辐射量在 987—1024 MJ/m²之间的区域占研究区总面积的 19.37%, 主要分布在南阳西部和中部, 信阳、洛阳、三门峡的南部, 平顶山的西南部。5—9 月份光合有效辐射量在 1024—1060 MJ/m²之间的区域占研究区总面积的 34.50%, 主要分布在三门峡的中部和北部, 洛阳的中部和西北部, 平顶山的中部和东南部, 南阳的东部, 驻马店的中部和南部, 信阳的中部和北部及漯河的西南角。5—9 月份光合有效辐射量在 1060—1097 MJ/m²之间的区域占研究区总面积的 19.98%, 主要分布在济源的中部和西部, 洛阳的东北部, 郑州的西北部, 平顶山的北部和东北部, 许昌的西部, 漯河的大部, 驻马店的北部和东北部, 周口的东部和中部, 商丘的南部和东部, 三门峡的西南角, 新乡的西北部和安阳的西部。5—9 月份光合有效辐射量在 1097—1133 MJ/m²之间的区域占研究区总面积的 23.13%, 主要分布在开封、鹤壁、焦作的全境, 新乡的大部, 安阳的中部和南部, 濮阳的南端, 郑州的北部和东部, 济源的东端和商丘的西北部。5—9 月份光合有效辐射量在 1133—1170 MJ/m²之间的高

值区占研究区总面积的 3.02%, 主要分布在濮阳的大部分地区及安阳的东北部(图 1)。

河南省烟草大田生长期的光合有效辐射量: 5 月份在 173—264 MJ/m²之间, 6 月份在 204—270 MJ/m²之间, 9 月份在 152—201 MJ/m²之间, 5 月、6 月和 9 月份光合有效辐射量高值区分布在河南省的东北部, 如濮阳、安阳一带, 由东北向西南方向递减, 其低值区主要分布在南阳、洛阳一带。河南省烟草大田生长期的光合有效辐射量: 7 月份在 196—230 MJ/m²之间, 8 月份在 184—241 MJ/m²之间, 7 月份、8 月份的有效辐射量高值区分布在周口、开封和洛阳一带, 由东向西递减, 而低值区分布在洛阳、济源、三门峡一带(图 2—图 6)。

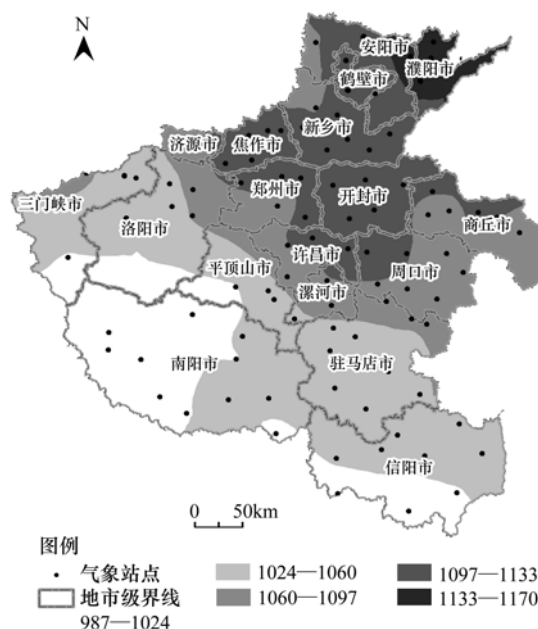


图 2 河南烟区烟草生长期光合有效辐射等级分布

Fig. 2 Distribution of total PAR during tobacco growth in Henan Province

3 结论和讨论

(1) 烟草是一种喜光植物, 从系统发育形成的特征来讲, 充足的太阳辐射才能供给它足够的光能, 使它生长旺盛, 叶厚茎粗, 并形成充足的香气。在强烈的光照条件下, 烟草叶片的栅栏组织和海绵组织加厚, 叶片厚而粗糙, 叶脉凸出, 形成“粗筋暴叶”。如果光照不足, 组织内部细胞分裂慢, 且倾向于细胞伸长和细胞间隙的加大, 特别是机械组织发育很差, 植株细软纤细, 同时光合作用受阻, 植株生长缓慢, 叶

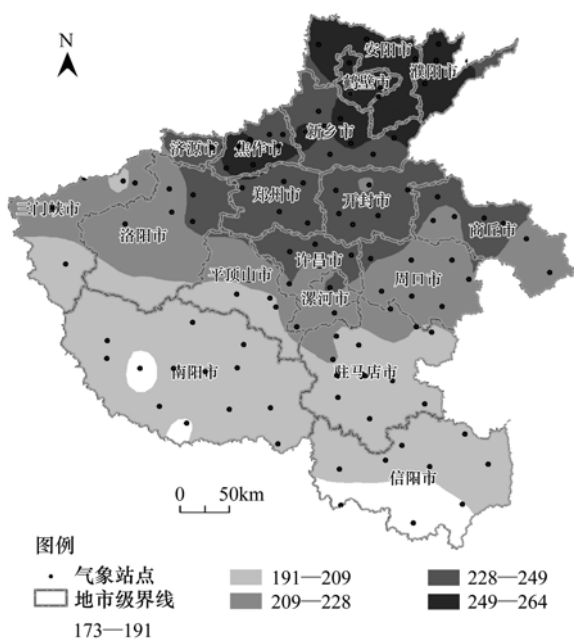


图3 河南烟区烟草生长期5月份光合有效辐射等级分布

Fig.3 Distribution of PAR in May during tobacco growth in Henan Province

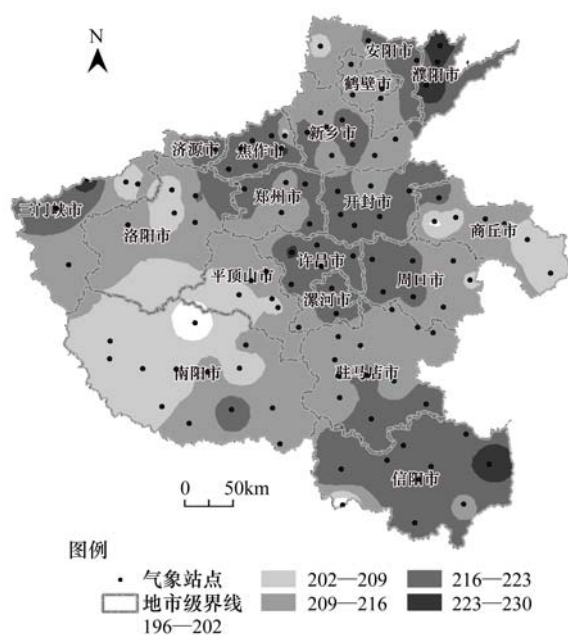


图5 河南烟区烟草生长期7月份光合有效辐射等级分布

Fig.5 Distribution of PAR in July during tobacco growth in Henan Province

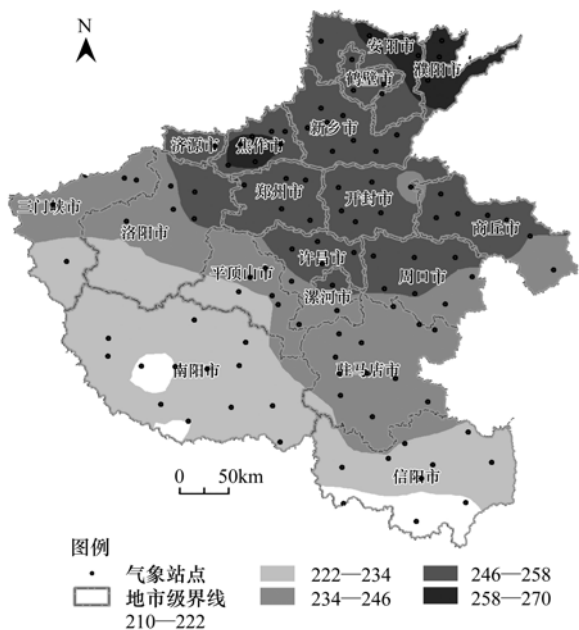


图4 河南烟区烟草生长期6月份光合有效辐射等级分布

Fig.4 Distribution of PAR in June during tobacco growth in Henan Province

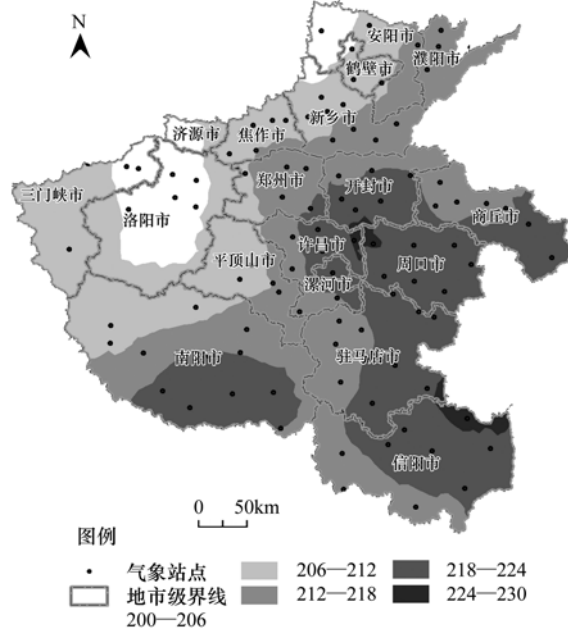


图6 河南烟区烟草生长期8月份光合有效辐射等级分布

Fig.6 Distribution of PAR in August during tobacco growth in Henan Province

片薄,干物质积累少,香气不足,也会造成品质下降。只有和煦充足而不强烈的光照条件,才能使烟草厚薄适中,叶片含糖量高,烟碱含量适中,调制后光泽好,弹性强。中国各烟区风格各异的烟草品质类型正是由于各地光照强度、日均温度、光照时数等生态

因素的差异及其烟草品种的不同所形成的,如光照和煦、日均温 22℃ 左右等生态因素造就了典型的清香型烟草风格,6—8 月份较强的光照和日均温 26℃ 等生态因素形成了典型的浓香型烟草香气风格。

(2)经典统计学表明:河南省烟草大田生长期各

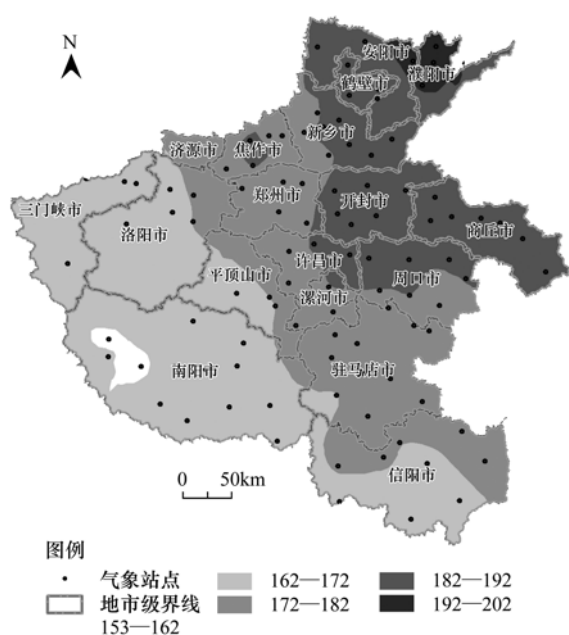


图7 河南烟区烟草生长期9月份光合有效辐射等级分布

Fig.7 Distribution of PAR in September during tobacco Growth in Henan Province

生长阶段的光合有效辐射在河南省境内均可以拟合成为较好的正态分布图,满足地统计学所要求的平稳假设条件。光合有效辐射中变异系数最大的是5月份,为9.61%,最小的是7月份,为3.92%。从总趋势来看,生育后期有效辐射的变异系数要比生育前期的高,而浓香型烟叶的形成与成熟期充足稳定的光合有效辐射有关。这也说明了河南省具备大面积发展浓香型烤烟的生态条件。

(3)在烟叶所接受的光合有效辐射的影响因素中,既有地理纬度和经度等结构性因素,又有日照时数、海拔高度、大气成分以及地面大气压和地面水汽压等随机性因素。本研究通过地统计学分析表明,烟草整个大田生长期光合有效辐射量在河南省可以拟合成为高斯模型,决定系数为1.746。它的 $C_0/(C_0+C_1)$ 为0.213,有较强的空间相关性。说明在河南省范围内烤烟大田生长期所接受的光合有效辐射的空间变异性主要是受空间结构性因素的影响造成的。

(4)地统计学方法是以反映变量空间结构特征的结构函数(如半变异函数)为基础,以取得估计方差最小为目标,在无偏性约束条件下求优的一种估计方法^[29-30]。对光合有效辐射量这种具有空间属性的变量进行分析和估算,往往要面对行政区域图、地

形图等空间图形数据,用人工方法对繁杂的数据进行统计、分析,工作量较大且有一定的难度,成图时也难以把这些属性数据都一一标注在相应的地图上。另外,地统计学通常要求均匀取样。这给大区域范围的地统计学研究带来了一定的困难,这也是地统计学在大尺度上应用较少的主要原因。而采用GIS技术可以把空间和属性信息有机地结合起来,通过地理数据能够比较容易地确定样本点之间的距离,进而可以根据同性数据计算出变量之间的差异,得到地统计学所需要的步长和半方差的函数关系^[31-33],使分析大尺度的光合有效辐射量的变异规律变得较为方便。

(5)我国太阳辐射观测站点稀少,但很多研究证明利用日照百分率等气象资料可以准确地计算各地的太阳辐射和光合有效辐射值。过去的研究多局限在经验公式的推导和验证上。烤烟是直接收获叶片的经济作物,叶片是光合作用最主要的器官,对光合有效辐射的变化最为敏感,光合有效辐射量的高低直接关系到烤烟各生长阶段的光合产物积累尤其是后期的品质形成。本研究首次用GIS和地统计学相结合的方法揭示光合有效辐射的空间分布规律,对烤烟的合理布局、特别是烤烟优势产区的选择有重要理论指导意义和应用价值。本研究用Kriging插值所得到的河南省光合有效辐射分布图,在一定程度上代表了河南省各烟草产区的最大光合潜力。和所有绿色植物一样,烤烟的产量和品质形成除了主要取决于其生长环境中的光合有效辐射量外,还取决于其对太阳能利用率的高低。而提高光能利用率的途经则主要是通过选育优良品种、改善水肥条件、提高株间 CO_2 浓度来实现。如果烤烟生长在适宜的光照条件下,烟叶的产量和品质形成就具有得天独厚的优势条件。烟草是适应性广的作物,但如果其生长期间光合有效辐射处于最佳状态,并且光、温、水同季,土壤水分和肥力条件适宜,则十分有利于烤烟优良品质和高产量的形成。因此,在烟草生长期间光合有效辐射适宜地区,应努力找出并消除影响其生长的主要环境障碍因子,缩短其光合潜力与现实生产力的差距。

References:

- [1] Liu D Y, Yu F L, Sun B Y, He G Q, Yuan Y, Zhao G W, Li H Q, Sun G Y. Characteristics of chlorophyll fluorescence and

- excited energy distribution in leaves of tobacco at fast growing stage. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2010, 24(3): 623-627.
- [2] Wang Z Q. *Geostatistics and Its Application in Ecology*. Beijing: Science Press, 1999.
- [3] Liu R M, Wang X J, Zheng Y, Li Y, Jiang Y C, Zhou X W. The application of geostatistics in the study of water quality of Taihu Lake. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2002, 22(2): 209-212.
- [4] Meng J, Ma X M. Kriging analysis and its application on urban atmospheric environment pollution. *Mathematics in Practice and Theory*, 2002, 23(2): 309-312.
- [5] Moral F J, Álvarez P, Canito J L. Mapping and hazard assessment of atmospheric pollution in a medium sized urban area using the Rasch model and geostatistics techniques. *Atmospheric Environment*, 2006, 40(8): 1408-1418.
- [6] Schmalwieser A W, Schauburger G, Janouch M. Temporal and spatial variability of total ozone content over Central Europe: analysis in respect to the biological effect on plants. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2003, 120(1/4): 9-26.
- [7] Nelson N B, Bates N R, Siegel D A, Michaels A F. Spatial variability of the CO₂ sink in the Sargasso Sea. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2001, 48(8/9): 1801-1821.
- [8] Liang T G, Wang X Z, Dai R L. Simulating methods of average annual rainfall on spatial changes. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2000, 20(5): 856-862.
- [9] Dalezios N R., Loukas A, Bampzelis D. Spatial variability of reference evapotranspiration in Greece. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2002, 27(23/24): 1031-1038.
- [10] Sun Q, Zeng W H, Shen Z Y, Yang Z F. Study on spatial variation of precipitation in Jinghe River Basin based on geostatisic method. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2004, 18(5): 47-51.
- [11] LI L J, Wang J, Li H B. Analysis of the spatial variability of rainfall in Wuding River Basin. *Geographical Research*, 2002, 21(4): 434-440.
- [12] Chen H S, Wu L H, Wan L. Comprehensive evaluation system of soil fertility suitability in Xuchang tobacco planting regions based on GIS. *Journal of Henan University: Natural Science*, 2009, 39(1): 51-56.
- [13] Song Z P, Zhang Y G, Xu Z C, Li C J, Zhang W J, Gong C R. Regional characteristics of total sugar contents in flue-cured tobacco leaf in Henan Province and their influence on smoking quality. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2010, 25(4): 506-510.
- [14] Chen H S, Liu G S, Liu D S, Chen W Q. Studies on comprehensive evaluation of tobacco ecological suitability of Henan Province supported by GIS. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(7): 2425-2433.
- [15] Xiao W J. The distribution of total annual and seasonal insolation in China. *Acta Meteorologica Sinica*, 1959, 30(2): 35-37.
- [16] Zuo T K, Wang Y X, Chen C X. Characteristics of the distribution of total radiation in China. *Acta Meteorologica Sinica*, 1963, 33(1): 50-52.
- [17] Lu Y R, Gao G D. Study on calculation of components of radiation balance and their temporal and spatial distribution in China total radiation and PAR. *Journal of Nanjing University: Natural Science*, 1976, 23(2): 89-94.
- [18] Weng D M. Climatology calculation of total solar radiation. *Acta Meteorologica Sinica*, 1964, 34(3): 304-315.
- [19] Li Y H. *Preliminary Study on Solar Radiation*. Beijing: Agricultural Press, 1978.
- [20] Xie X Q, Zuo D K. *Evaporation over Agricultural Field — measurement and Calculation*. Beijing: Meteorology Press, 1991.
- [21] Bai J H. Measurement and calculation of photosynthetically active radiation at Luancheng Region. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2010, 31(2): 211-218.
- [22] Liu J D, Jin Z Q. A numerical model to simulate diurnal variation of the photosyn the-tically active radiation. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 1999, 15(3): 136-140.
- [23] Gao L Z, Li L. *Climatic Ecology of Paddy Rice*. Beijing: Agriculture Press, 1992.
- [24] Ma J Y, Liu J M, Li S K, Liang H, Jiang C Y, Wang B Z. Study on the features of the photosynthetic active radiation (PAR) with experimentations and measurements. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(5): 673-682.
- [25] Zhou Y H, Xiang Y Q, Shan F Z. A climatological study on the photosynthetically active radiation. *Acta Meteorologica Sinica*, 1984, 42(4): 387-397.
- [26] Liu F C, Shi X Z, Yu L S, Pan X Z. Mapping soil properties of the typical area of Taihu lake watershed by geostatistics and geographic information systems — A case study of total nitrogen in topsoil. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(1): 20-27.
- [27] Yost R S, Uehara G, Fox R L. Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas. *Soil Science Society of America Journal*, 1982, 46(2): 1033-1037.
- [28] Webster R, Burgess T M. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties III. The semivariogram and punctual Kriging. *Journal of Soil Science*, 1980, 31(3): 505-524.
- [29] Hu K L, Li B G, Lin Q M, Li G T, Chen D L. Spatial variability of soil nutrient in wheat field. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 1999, 13(9): 33-38.
- [30] Chien Y J, Lee D Y, Guo H Y, Hounk K H. Geostatistical analysis of soil properties of mid-west Taiwan soils. *Soil Science*, 1997, 162(4): 291-298.
- [31] Shi Z, Wang R C, Wu H H. GIS-based simulating and mapping of annual mean temperature in mountain area. *Journal of Mountain Research*, 1997, 15(4): 264-268.

- [32] Li Z Q, Yu G Y, Liu X A, Fan L S, Wang Q S, Ren C Y. Grid technology for precipitation and humidity information in northeast china. *Resources Science*, 2003, 15(1): 73-77.
- [33] Niu Z G, Li B G, Zhang F R, Chen H W. A distributed model of reference evapotranspiration based on the DEM. *Advances in Water Science*, 2002, 30(3): 303-307.
- 参考文献:**
- [1] 刘德育, 于方玲, 孙冰玉, 贺国强, 元野, 赵光伟, 李恒全, 孙广玉. 旺长期烤烟叶片的叶绿素荧光特性与激发能分配. *核农学报*, 2010, 24(3): 623-627.
- [2] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999.
- [3] 刘瑞民, 王学军, 郑一, 李莹, 江耀慈, 周修炜. 地统计学在太湖水质研究中的应用. *环境科学学报*, 2002, 22(2): 209-212.
- [4] 孟健, 马小明. Kriging 空间分析法及其在城市大气污染中的应用. *数学的实践与认识*, 2002, 23(2): 309-312.
- [8] 梁天刚, 王兮之, 戴若兰. 多年平均降水资源空间变化模拟方法的研究. *西北植物学报*, 2000, 20(5): 856-862.
- [10] 孙强, 曾维华, 沈珍瑶, 杨志峰. 基于地统计学方法的泾河流域降水空间变异规律研究. *干旱区资源与环境*, 2004, 18(5): 47-51.
- [11] 李丽娟, 王娟, 李海滨. 无定河流域降雨量空间变异性研究. *地理研究*, 2002, 21(4): 434-440.
- [12] 陈海生, 吴玲洪, 王磊. 基于 GIS 的许昌市烤烟种植区土壤肥力适宜性评价与系统实现. *河南大学学报: 自然科学版*, 2009, 39(1): 51-56.
- [13] 宋朝鹏, 张勇刚, 许自成, 李常军, 张卫建, 宫长荣. 河南烤烟总糖含量的区域特征及其对评吸质量的影响. *云南农业大学学报*, 2010, 25(4): 506-510.
- [14] 陈海生, 刘国顺, 刘大双, 陈伟强. GIS 支持下的河南省烟草生态适宜性综合评价. *中国农业科学*, 2009, 42(7): 2425-2433.
- [15] 萧文俊. 中国总辐射的年分布与季分布. *气象学报*, 1959, 30(2): 35-37.
- [16] 左大康, 王懿贤, 陈建绥. 中国地区太阳总辐射的空间分布特征. *气象学报*, 1963, 33(1): 50-52.
- [17] 陆渝蓉, 高国栋. 我国辐射平衡各分量计算方法及时空分布的研究(1): 总辐射和有效辐射. *南京大学学报: 自然科学版*, 1976, 23(2): 89-94.
- [18] 翁笃鸣. 试论总辐射的气候学计算方法. *气象学报*, 1964, 34(3): 304-315.
- [19] 李玉海. 太阳辐射浅谈. 北京: 农业出版社, 1978.
- [20] 谢贤群, 左大康. 农田蒸发——测定与计算. 北京: 气象出版社, 1991.
- [21] 白建辉. 栾城地区光合有效辐射的测量与计算. *中国农业气象*, 2010, 31(2): 211-218.
- [22] 刘建栋, 金之庆. 光合有效辐射日变化过程的数值模拟. *江苏农业学报*, 1999, 15(3): 136-140.
- [23] 高亮之, 李林. 水稻气象生态. 北京: 农业出版社, 1992.
- [24] 马金玉, 刘晶森, 李世奎, 梁宏, 姜朝阳, 王炳忠. 基于试验观测的光合有效辐射特征分析. *自然资源学报*, 2007, 22(5): 673-682.
- [25] 周允华, 项月琴, 单福芝. 光合有效辐射(PAR)的气候学研究. *气象学报*, 1984, 42(4): 387-397.
- [26] 刘付程, 史学正, 于乐升, 潘贤章. 基于地统计学和 GIS 的太湖典型地区土壤属性制图研究——以土壤全氮制图为例. *土壤学报*, 2004, 41(1): 20-27.
- [29] 胡克林, 李保国, 林启美, 李贵桐, 陈德立. 农田土壤养分的空间变异性特征. *农业工程学报*, 1999, 13(9): 33-38.
- [31] 史舟, 王人潮, 吴宏海. 基于 GIS 的山区年均温分布模拟与制图. *山地研究*, 1997, 15(4): 264-268.
- [32] 李正泉, 于贵瑞, 刘新安, 范辽生, 王秋凤, 任传友. 东北地区降水与湿度气候资料的栅格化技术. *资源科学*, 2003, 15(1): 73-77.
- [33] 牛振国, 李保国, 张风荣, 陈焕伟. 参考作物蒸散量的分布式模型. *水科学进展*, 2002, 30(3): 303-307.