基于GIS的宁夏气候要素推算及农业气候资源分析

苏占胜[1,2],陈晓光[1],黄　峰[1],杨淑萍[2]
(1.宁夏气象防灾减灾重点实验室,宁夏 银川 750002;2.宁夏气象台,宁夏 银川 750002)

摘　要:基于GIS技术研究了宁夏气候要素的小网格(250 m×250 m)推算方法,在此基础上分析了宁夏农业气候资源的状况。结果表明:宁夏太阳辐射资源丰富,太阳辐射年总量为4 955～6 155 MJ/m^2,是全国太阳辐射最丰富地区之一;年平均气温5.3～9.9℃,呈北高南低分布,积温的分布空间差异明显;年降水量159.7～594.0 mm,南多北少;年蒸发量1 108.8～1 991.7 mm,分布为中西部大,东南部小;年干燥度在0.4～4.7,中北部大部分地区干燥度在2.0以上。宁夏的干旱性气候特点十分明显。

关键词:气候要素;农业气候;资源;GIS;宁夏
中图分类号:S162.3　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-7601(2008)04-0242-08

宁夏位于我国西北东部,地处北纬35°25′～39°25′;东经104°10′～107°30′。全区地形地貌比较复杂,西、北、东三面分别被腾格里沙漠、巴丹吉林沙漠和毛乌素沙漠包围,南与黄土高原相连,地形南北狭长,地势南高北低,西陡东缓。宁夏深居内陆,远离海洋,大陆性气候表现十分典型[1]。宁夏山区地形复杂,山地气候垂直和水平差异都十分明显,构成了复杂的气候环境和不同的气候资源。目前全区只有24个气象台站,即每2 670 km^{2}区域内只有一个台站。在传统的气候资源分析中,仅根据稀疏站点的资料,很难精确地反映不同地形要素影响下的实际状况,显然不能满足自然资源开发利用的需要。随着地理信息系统等高新技术的发展和应用,为我们更加精细地推算无观测资料区域的气候要素提供了新的手段。因此,我们基于DEM资料,在研究气候要素与地理环境因子关系的基础上,在GIS技术支持下对宁夏农业气候资源各要素进行空间精度为250 m×250 m的精细化推算,并对宁夏全区的气候资源进行分析,以期为气候资源的科学合理利用提供更加精细的参考依据。

1　资　料

所用地形资料比例尺为1∶250000,等高线间隔为100 m,范围覆盖整个宁夏自治区(104.3～107.7°E,35.2～39.4°N)。借助于专业地理信息系统ArcGIS软件,从等高线图层中提取高程栅格、坡度、坡向图层。

气象站点资料为宁夏24个气象观测站1961～2005年45年的常规气象资料,来自于宁夏气象局资料档案室。

2　气候要素的推算

2.1　日照时数及太阳辐射推算

2.1.1　日照时数　日照的长短,除与季节、地理位置有关外,还与地形等环境因素有关。以宁夏250 m×250 m DEM为数据基础,应用多层面复合分析法实现日照时数的模拟。多层面复合分析法,将一天的可照时间离散化,分别计算每一个微分时段内的地形遮蔽因子,综合微分时间与遮蔽因子,最后累加求和,即得到一天的可照时间[2～5]。

按通常惯例,取每月15日左右的可照时数作为该月平均可照时数,将各月可照时数累加得到全年或所需时段可照时数。

实际日照时数是通过可照时数乘以区域同期的日照百分率而得到。由于气象台站日照百分率是站点实照时数与天文可照时数的百分比(未考虑地形遮蔽的影响),与实际结果有一定差异,所以将模拟得到的站点可照时数与同期实照时数的百分比作为该站点日照百分率。

2.1.2　太阳辐射量　宁夏全区只有银川和固原2个辐射观测站,利用这2个站的辐射资料很难直接推算出全区250 m×250 m网格点的辐射资源。经

收稿日期:2007-07-14
基金项目:中英合作国家科技攻关计划项目"气候变化对宁夏农业的影响和适应研究"(2001－BA611B－02－01－3);国家科技部公益性基金项目"宁夏气候对全球气候变化的响应及其机制"(2004DIB3J121);中国气象局气候变化专项"气候变化对宁夏主要农作物及适应性影响的研究"(CCSF2006－16)
作者简介:苏占胜(1966－),男,宁夏中宁县人,硕士,高级工程师,主要从事应用气象、气候变化影响、遥感与GIS应用研究。E-mail:ZS_SU2001@163.com。
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

统计发现，辐射与日照百分率有很好的线性关系，因此我们根据这一规律，可得到辐射的推算方法。

首先利用 2 个辐射站的年、月辐射观测值及相对应的日照百分率进行线性回归，得到如下的回归方程：

$$R(i) = B_0(i) + B_1(i) \times K(i) \quad i = 1,2,3,\cdots,12 \tag{1}$$

式中，R 为辐射值；B_0、B_1 分别为回归系数；K 为日照百分率。

根据上式，将 2.1.1 中推算出的日照百分率值代入，推算出 12 个月太阳辐射 250 m×250 m 分辨率的栅格图层，并通过图层运算得到全年辐射资料。

在总辐射推算结果的基础上，根据生理辐射＝0.47×总辐射，计算出生理辐射。

2.2　热量资源的推算

2.2.1　*气温*　任意地点的气温与当地的大气候背景、海拔高度、地理位置以及地形、地势等环境要素密切相关。不同季节、不同地理位置的大气候背景不同，太阳高度角不同，是导致气温差异的主要原因；同时，不同的地形、地势所形成的坡度、坡向的差异，也造成了局地所接收到的太阳辐射能量的差异，进而对局地小气候产生较大的影响。因此，在综合考虑以上各种影响因素的基础上，一般采用以下方法推算各网格点上的气温[6~15]。

当 $\varphi_i - \delta_k - \alpha_{ij} \geqslant 0$ 时：

$$T_{ij} = T_0 + \frac{\partial T}{\partial h}(h_{ij} - h_0) + \frac{\partial T}{\partial \varphi}(\varphi_i - \varphi_0) + \frac{\partial T}{\partial \varepsilon}(2\varphi_i - 2\delta_k - \alpha_{ij} - \alpha_0)$$

当 $\varphi_i - \delta_k - \alpha_{ij} < 0$ 时：

$$T_{ij} = T_0 + \frac{\partial T}{\partial h}(h_{ij} - h_0) + \frac{\partial T}{\partial \varphi}(\varphi_i - \varphi_0) + \frac{\partial T}{\partial \alpha}(\alpha_{ij} - \alpha_0) \tag{2}$$

式中，T_{ij} 为网格点上的气温值；T_0 为基准站点的气温值；$\frac{\partial T}{\partial h}$ 为气温垂直递减率(℃/100m)，利用气象观测站的探空资料求算出；$\frac{\partial T}{\partial \varphi}$ 为气温纬度递减率(℃/10′)，我们选取坡度、坡向和下垫面状况大致相同的气象站点的观测资料，经海拔高度订正后求出；$\frac{\partial T}{\partial \varepsilon}$ 为南北坡温差系数(℃/10°)，选取坡度和坡向差异较大的气象站点的观测资料，经海拔高度和纬度订正后求出；δ_k 为一年中第 k 天的太阳赤纬；α_{ij}、α_0 为网格点和基准站的坡度；φ_i、φ_0 分别为网格点和基准站的纬度；h_{ij}、h_0 分别为网格点和基准站的海拔高度。

考虑到不同季节之间的差异，我们利用气象站点的观测资料，分别求算出了每个月的垂直递减率、纬度递减率和坡度差系数。

在实际推算过程中，由于宁夏区域内气象观测站点稀疏，以单个站点为基础的推算结果受站点影响很大，常常会出现块状分布的现象。因此，我们借鉴 GIS 空间插值方法中反距离加权法的思想，在以上推算理论的基础上，选择距离目标网格点直线距离最小的 3 个站点为基点，按照(2) 式分别进行计算，再按该目标网格点与 3 个基点的直线距离进行反距离线性加权平均，以平均值作为目标格点的推算结果：

$$T_{ij} = w_a T_{a\,ij} + w_b T_{b\,ij} + w_c T_{c\,ij} \tag{3}$$

式中，w_a、w_b、w_c 和 $T_{a\,ij}$、$T_{b\,ij}$、$T_{c\,ij}$ 分别为基本点 a、b、c 的加权系数及根据(2) 式推算的气温值。加权系数按下式计算：

$$w_i = \frac{1}{n-1}\left(\frac{\sum_{j=1}^{n} d_j - d_i}{\sum_{j=1}^{n} d_j}\right) \tag{4}$$

式中，n 为基本点个数；w_i 为第 $i(i = 1,2,3,\cdots,n)$ 个基本点的权重；d_i、d_j 分别为目标网格点到基本点的距离。

2.2.2　*各界限温度初终日期及积温*　平均气温稳定通过 0℃、5℃、10℃ 和 15℃ 日期分别代表了一个地区不同作物种类的生长期，因此，界限温度期间的持续日数以及大于界限温度期间积温的多少，是衡量一个地区热量条件好坏的重要指标。负积温(平均气温＜0℃ 期间温度累计) 则代表了该地区冬季寒冷的程度。影响某一地区积温的因素主要有地理位置和海拔高度，也与局地小地形有关。一般来说，一地的热量条件可以表示为以下的函数形式[13,14]：

$$T = T_a(\lambda, \varphi, h) + T_b(\alpha, \omega) \tag{5}$$

式中，T、T_a、T_b 分别为热量资源、受空间位置影响的部分、受小地形影响的部分；λ, φ, h, α, ω 分别为经度、纬度、高程、坡度、坡向。

通过将全区 24 个气象站历史气象资料统计得到的界限温度下的积温与经度、纬度以及海拔高度进行相关分析得知，各界限温度期间的积温与经度、纬度、海拔高度以及海拔高度的平方项有较高的相关性，因此，我们建立如下形式的回归模式来模拟各网格点上的界限温度持续日数及界限温度持续期间的积温受空间位置影响部分：

$$F_a = b_0 + b_1 \times \lambda + b_2 \times \varphi + b_3 \times h + b_4 \times h^2 \tag{6}$$

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

式中，λ，φ，h 分别为经度、纬度和海拔高度。

模式模拟精度较高，推算出的结果基本上反应出了大的环境条件对热量资源的影响。模拟值与实际值之间的差值，我们可以认为是由局地小地形影响所造成的，即 T_b。对于这部分的模拟，我们利用 ArcGIS 的空间插值模块，采用克里金插值法进行空间插值，将插值结果的栅格图层与由式6推算出的栅格图层做空间相加计算，得到最终的推算结果栅格图层。进行小地形影响因素的订正后，推算结果的精度大大提高。

2.3 降水量推算

影响降水量的主要环境因素除大的地理位置，如经度、纬度外，还有海拔、坡度和坡向等地形环境因子。由于宁夏南北地理差异较大，中部和北部的大部分地区海拔相对较低，地势较为平坦，而南部地区海拔较高，且以山地为主。因此，我们采用聚类分析法，对全区进行分区，并分区建立降水量推算模型。具体分区如表1所示。

表1 宁夏降水量模拟全区分区结果

Table 1 Partition for precipitation simulating of Ningxia

区 Subarea	包含地区 Included region
I区 I Sub area	石炭井、大武口、惠农、贺兰山、贺兰、平罗、吴忠、银川、陶乐、青铜峡、永宁、灵武、中卫、中宁、盐池、韦州、同心、麻黄山 Shitanjing，Dawukou，Huinong，Helanshan，Helan，Pingluo，Wuzhong，Yinchuan，Taole，Qingtongxia，Yongning，Lingwu，Zhongwei，Zhongning，Yanchi，Weizhou，Tongxin，Mahuangshan
II区 Ⅱ Sub area	兴仁、海原、固原、西吉、六盘山、隆德、泾源 Xingren，Haiyuan，Guyuan，Xiji，Liupanshan，Longde，Jingyuan

按照分区结果，分月建立降水量的统计模拟模式，模式如下：

$$R(i) = b_0(i) + b_1(i)\lambda + b_2(i)\varphi + b_3(i)h + b_4(i)\alpha + b_5(i)\omega \quad i = 1,2,3,\cdots,12 \qquad (7)$$

式中，$R(i)$ 为降水量；$b_0(i)$，$b_1(i)$，$b_2(i)$，$b_3(i)$，$b_4(i)$，$b_5(i)$ 分别为回归系数；λ，φ，h，α，ω 分别为经度、纬度、海拔、坡度、坡向。

3 农业气候资源分析

3.1 农业气候资源分析的技术方法

在 GIS 系统支持下，对宁夏辐射资源、热量资源及降水资源进行空间分布及时间变化的综合分析。分析技术方法如下：① 利用 GIS 的空间统计及计算功能，分析宁夏辐射、热量及降水资源的基本状况，给出其在空间分布上的平均值、最大值、最小值等基本统计量；② 利用 GIS 的分区查询功能，分析宁夏不同地区气候资源的特点；③ 根据农业气候资源的分布特点及其在农业生产中的生物学意义，在 GIS 系统中，按照不同等级制作气候资源分布图。

3.2 光照和辐射资源

宁夏深居内陆，大部分地区为荒漠或荒漠草原，加之纬度适中、地势较高、云雾稀少，形成日照时数多、太阳辐射强的特点。全区太阳辐射年总量为 4 955～6 155 MJ/m^2，是全国太阳辐射最丰富地区之一。

3.2.1 辐射资源的地区分布 图1为宁夏太阳总辐射分布图。可以看出，宁夏北部和中部太阳辐射大于南部，平原大于山地。宁夏平原太阳辐射普遍达到 5 800 MJ/m^2，其中最大值在石炭井，辐射总量达 6 155 MJ/m^2；南部山区一般在 5 200 MJ/m^2 以下，其中隆德最小，只有 4 955 MJ/m^2，这与理论上太阳总辐射量随纬度增加而减小的结果是相反的，主要原因是宁夏南部地区阴雨云雾日数较多，干扰了太阳的直接辐射，从而影响了地面总辐射量所致。

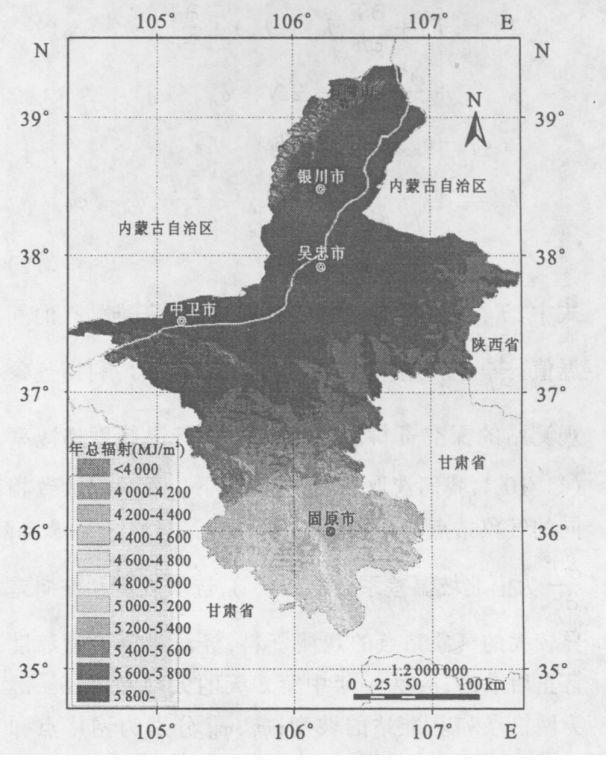

图1 宁夏总辐射分布

Fig. 1 Distribution map of annual solar radiation in Ningxia

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3.2.2　辐射资源的季节分配　宁夏太阳总辐射有明显的季节变化,一般规律为冬季最小,春季猛增,夏季最大,秋季速降。12 月全区均为最低值,平均为 275 MJ/m^2,3 月猛增到 472 MJ/m^2;5～7 月是出现最高值的时段,各月辐射量普遍达 643～675 MJ/m^2;8～9 月是宁夏的主要降水时段,太阳总辐射逐渐回落到 480～580 MJ/m^2。

3.2.3　光合有效辐射　宁夏光合有效辐射的分布与总辐射的分布一致。宁夏平原普遍达到 2 700 MJ/m^2,其中最大值在石炭井,光合有效辐射总量为 2 900 MJ/m^2;南部山区一般在 2 600 MJ/m^2 以下,其中隆德最小,只有 2 300 MJ/m^2。

3.2.4　日照　宁夏是全国日照资源最丰富地区之一,年日照时数在 2 276～3 071 h。银川以北地区均在 3 000 h 以上,以石炭井为最多,达3 170.6 h;南部山区年日照时数在 2 500 h 以下,隆德最少,为 2 276 h;中部地区全年日照时数在 2 500～3 000 h。

宁夏全年日照时数 5～6 月最多,全区平均月日照时数为 275 h 左右;2 月份日照最少,全区平均月日照时数为 200 h 以下。

宁夏日照百分率在 52%～70%,全区以石炭井日照百分率最高,为 70%,隆德、泾源最少,为 52%。全区日照百分率自南向北递增。

宁夏全年日照百分率冬季(11～2 月)最大,春季(3～5)次之,夏秋季(6～10)最小。

3.3　热量资源

3.3.1　年平均气温分布及变化

(1) 年平均气温分布

宁夏全区年平均气温在 5.3～9.9℃,呈北高南低分布。中北部地区在 9.0℃左右,南部阴湿地区在 6.0℃以下。贺兰山和六盘山因海拔较高,年平均气温在 0℃左右,是全自治区两个年平均气温最低的地方。中宁、大武口分别为 9.6℃和 9.9℃,是全区两个年平均气温最高的地方(图 2)。

宁夏全区最冷月(1 月)平均气温在－3.1～－9.9℃,最冷地区陶乐、兴仁分别为－8.9℃和－9.2℃,贺兰山区可低达－13.0℃左右,为全区最低。全区最热月(7 月)平均气温在 14.9～24.8℃。7 月份,宁夏平原至盐同一带平均气温达 22～24℃,银川以北的部分地区可达 24℃以上。南部山区 7 月份平均气温在 20℃以下,为夏凉地区,热量资源不如北部地区充足。六盘山、贺兰山为宁夏全区最凉的地方,7 月平均气温在 12℃以下。

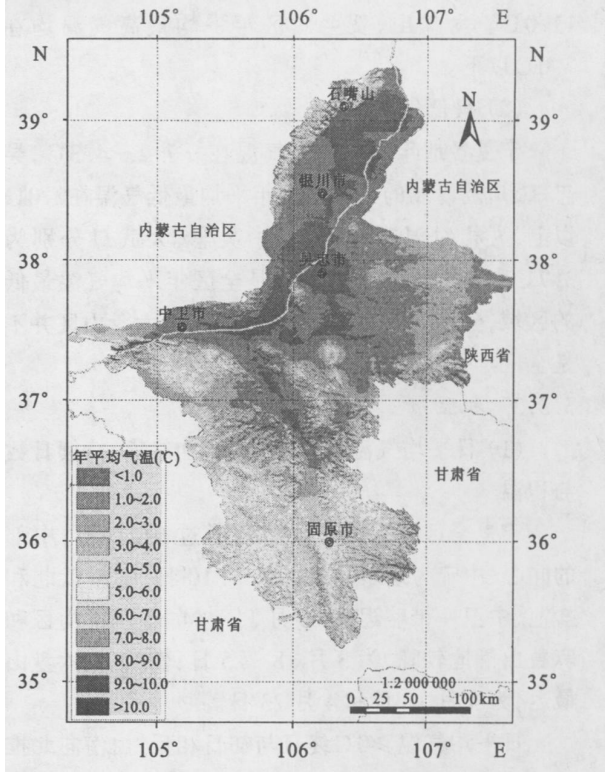

图 2　宁夏年平均气温分布图

Fig. 2　Distribution map of annual mean air temperature in Ningxia

(2) 气温年变化

宁夏各地都是以 7 月气温最高,1 月气温最低,年温差较大。从 1 月到 7 月,各地的月平均气温呈逐渐升高趋势。从 8 月到 12 月,各地的月平均气温呈下降趋势,过渡季节的升温和降温速度都比较大。春季(3～5 月)各月气温上升幅度平均在 6℃左右,其中 4 月的升温幅度最大,宁夏平原达到 8℃,南部山区 6～7℃。秋季(9～11 月)各月又都以 5～8℃的幅度下降,其中 11 月下降幅度最大,平均下降 7～9℃。隆冬和盛夏季节的气温变化都比较稳。

(3) 气温年较差

宁夏全区最热月(7 月)与最冷月(1 月)的平均气温差值为 20.3～33.0℃。银川以北的平原地区,年温差在 31.0℃以上,陶乐年温差最大,为 33.0℃,南部阴湿地区的年温差小于 23.0℃,最南部的泾源最小,年温差仅 20.3℃。

3.3.2　最高、最低气温

(1) 最高气温

宁夏各地年平均最高气温在 11.0～16.4℃(不包括贺兰山、六盘山)。同心的清水河流域、盐池的东南部及引黄灌区在 15.0℃以上。其中大武口、贺兰、中宁分别有一个 16℃以上的高值区。海原以南大部分地区年平均最高气温在 13.0℃以下,隆德仅

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

11.0℃。六盘山、贺兰山区年平均最高气温均在7.0℃以下。

(2) 最低气温

宁夏各地年平均最低气温在－7.2～4.3℃，吴忠、银川及以北的平原地区年平均最低气温在2.0℃以上，为相对温暖地区，其中吴忠、大武口分别为3.7℃和4.1℃。兴仁、西吉是全区年平均气温最低的区域，分别为－7.5℃和－7.2℃，而六盘山区并不是全区年平均最低气温最低的区域。

3.3.3 积温

(1) 日平均气温稳定通过0℃初终期、持续日数与积温

宁夏全区日平均气温稳定通过0℃初日，中部的同心、中宁为最早，在3月8～10日；银川以北和盐池、中卫一带略迟，为3月11～14日；南部山区和麻黄山等地较晚，为3月18～25日；贺兰山、六盘山最迟，为4月18日和4月23日。

日平均气温≥0℃终日与初日相反，由南向北推迟。南部山区和麻黄山等地较早，为11月4～9日。宁夏平原地区较迟，大部分在11月中旬，其中，中宁、中卫、吴忠、青铜峡等地最晚，为11月18～20日。

日平均气温通过0℃以上日数以宁夏中、北部平原及清水河流域较长，大部地区在250 d左右，大武口、青铜峡、吴忠、中宁最长，为256～258 d；盐池大部、同心南部及彭阳等地≥0℃持续日数在220～240 d；贺兰山区、中卫南部的香山地区、海原南部、西吉北部的山区及六盘山区≥0℃持续日数在220 d以下，其中，贺兰山、六盘山最短，仅有165 d和179 d。

≥0℃积温以同心清水河流域、盐池东部及引黄灌区为最高，为3 600～3 800 ℃·d，其中，中宁、大武口分别达3 949 ℃·d和4 132 ℃·d，为全区最大值；盐池、同心大部及彭阳东南部地区≥0℃积温在3 000 ℃·d以上；海原南部、西吉及固原以南地区在3 000 ℃·d以下。贺兰山、六盘山≥0℃积温仅为1 400～1 500 ℃·d，为全区最少(图3)。

(2) 日平均气温稳定通过5℃初终日期、持续日数与积温

宁夏全区日平均气温≥5℃的初、终日分布与≥0℃积温的变化趋势基本一致。≥5℃的初日，同心以北至引黄灌区出现较早，在3月31日～4月5日；南部山区较晚，在4月14～19日；六盘山、贺兰山最晚，在5月中、下旬。

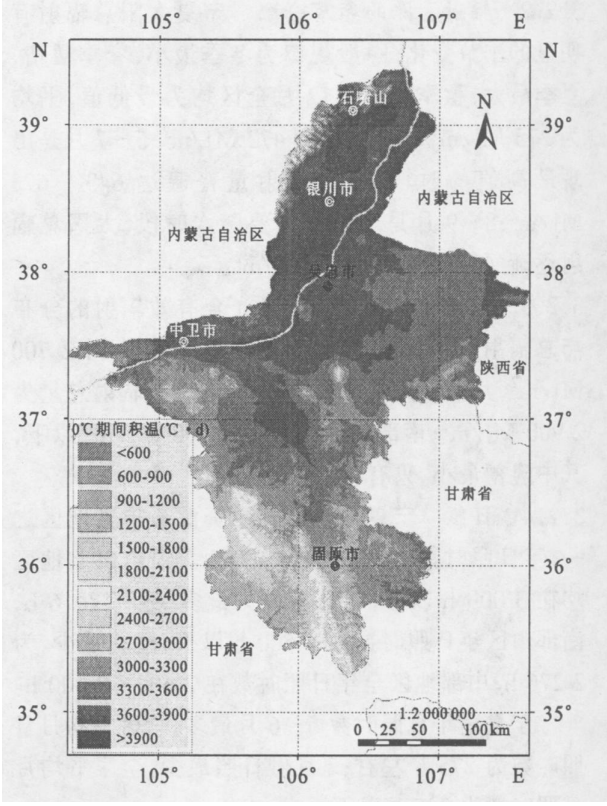

图3 宁夏≥0℃积温分布图

Fig.3 Distribution map of ≥0℃ accumulated temperature in Ningxia

≥5℃的终日，固原北部至宁夏平原在10月下旬；固原以南的山区在10月中旬；贺兰山、六盘山最早，在9月中旬。

≥5℃的持续日数，以宁夏中、北部平原及清水河流域较长，大部地区在210 d左右，大武口、青铜峡、吴忠、中宁、同心最长，为215～219 d，≥5℃积温在3 600 ℃·d以上；盐池大部、同心南部及彭阳等地≥0℃持续日数为190～200 d，≥5℃积温在3 000 ℃·d以上；贺兰山区、中卫南部的香山地区、海原南部、西吉北部的山区及六盘山区≥5℃持续日数在190 d以下，其中，贺兰山、六盘山最短，仅有116 d和121 d，≥5℃积温不足3 000 ℃·d。贺兰山、六盘山≥5℃积温分别为1 204 ℃·d和1 276 ℃·d。

(3) 日平均气温稳定通过10℃初终日期、持续日数与积温

日平均气温≥10℃的初日，同心以北地区在4月中旬末到4月下旬初；南部山区在5月上、中旬，南北相差约25 d左右。≥10℃的终日，同心以北地区在10月上旬，南部山区为9月中、下旬，南北相差20 d左右。

≥10℃持续日数，宁夏中北部平原地区及引黄灌区为170 d左右，积温在3 200 ℃·d以上；吴忠南

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

部、盐池、同心大部及彭阳东南部为 150～170 d,积温为 2 400～3 100 ℃•d;贺兰山、六盘山,持续天数为 41～45 d,积温为 518～577 ℃•d。

(4) 日平均气温稳定通过 15℃初终日期、持续日数与积温

日平均气温≥15℃的初日,同心以北地区在 5 月中旬,南部山区在 6 月上旬～7 月上旬,南北相差 30～50 d。≥15℃的终日,同心以北地区在 9 月中旬,南部山区在 8 月中旬,南北相差约 1 个月。

≥15℃的持续天数,同心及引黄灌区在 120 d 以上,积温在 2 500 ℃•d 以上;盐池大部、同心中北部地区持续日数在 100 d 以上,积温为 1 950～2 500 ℃•d;中卫南部、海原及固原市的大部分地区持续天数在 100 d 以下,积温在 1 800 ℃•d 以下。贺兰山、六盘山持续日数不足 5 d。

(5) 负积温

日平均气温低于 0℃的总和称为负积温,负积温的多少可以衡量一个地区冬季寒冷的程度。宁夏全区负积温在－400～－1 000 ℃•d,石嘴山北部、陶乐、中卫南部香山地区、盐池中北部、海原西南部、西吉、固原为负积温绝对值较高地区,负积温在－650～－700 ℃•d,贺兰山及六盘山区为负积温绝对值最大的地区,可达－1 000 ℃•d 以下;引黄灌区及同心、彭阳为负积温绝对值相对较小地区,负积温在－400 ℃•d 以上。

3.3.4　初、终霜冻日期和无霜冻日数

(1) 初霜冻和终霜冻

宁夏轻霜冻(日最低气温≤2℃)出现的平均初日为 9 月 18 日～10 月 13 日(不包括贺兰山、六盘山),重霜冻(日最低气温≤0℃)出现的平均初日为 9 月 29 日～10 月 18 日。轻霜冻和重霜冻出现相隔 10 d 左右。全区初霜冻出现日期具有南部早于北部,山区早于平原的特点。

同心以北及引黄灌区轻霜冻出现在 9 月 28 日～10 月 13 日,重霜冻出现在 10 月 9 日～10 月 18 日;南部山区轻霜冻出现在 9 月 18～28 日;重霜冻出现在 10 月 3～12 日。全区初霜冻出现日期南北相约差 20～25 d。

宁夏霜冻结束平均日期自北向南推迟,引黄灌区霜冻结束较早,轻霜冻平均结束日期在 4 月 30 日～5 月 8 日,重霜冻结束日期在 4 月 19～29 日;南部山区霜冻结束日期较迟,轻霜冻平均结束日期在 5 月 15 日～6 月 3 日,重霜冻平均结束日期在 5 月 3～23 日。

(2) 无霜冻日数

一般以日最低气温≥2℃期间的日数为无霜冻日数。宁夏全区各地无霜冻日数为 118～166 d。同心北部清水河流域、盐池西南部以及引黄灌区无霜冻日数较多,为 150～160 d,其中大武口最长,为 166 d。海原、西吉、固原以及贺兰山、六盘山区无霜冻日数较少,不足 120 d。贺兰山、六盘山区无霜冻期日数不足 100 d。

3.4　降水资源

3.4.1　年降水量的空间分布　宁夏各地年平均降水量在 159.7～594.0 mm,南多北少,地区差异明显。北部平原年降水量不足 200 mm,其中,惠农为 159.7 mm,是宁夏年降水量最少的地方;中部的同心、盐池一带年降水量为 300 mm 左右;南部山区在 400 mm 以上,其中泾源达 594.0 mm,是全区年降水量最多的地方。山地雨量相对较多,贺兰山气象站年降水量 429.8 mm,为银川年降水量的 2 倍多;六盘山气象站年降水量 648.1 mm,比固原的 240.3 mm 多 207.8 mm;山的迎风面与背风面降水量有明显差异,如六盘山东侧的泾源容易接受到偏南气流的水汽输送,年降水量比西侧的隆德多 97.7 mm(图 4)。

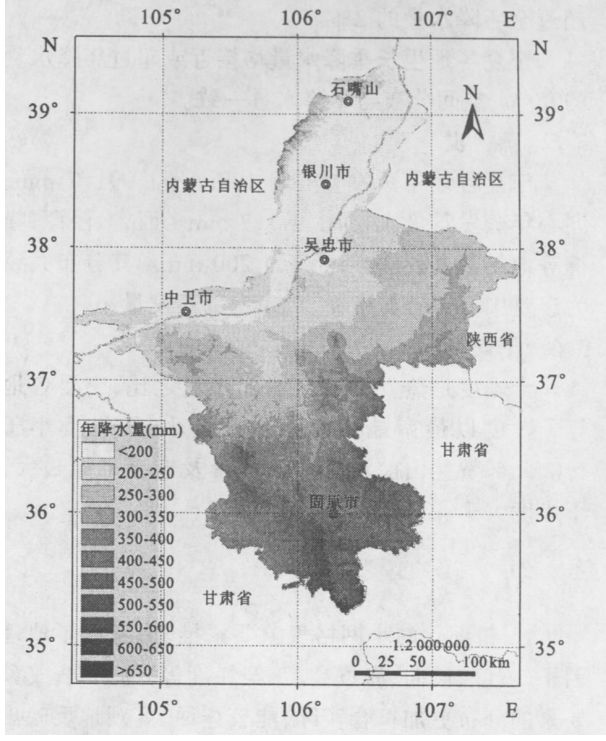

图 4　宁夏年降水量分布

Fig. 4　Distribution map of annual precipitation in Ningxia

3.4.2　降水量年变化及四季分布　宁夏地处内陆,降水季节分配很不均匀,夏秋多雨、冬春少雨的特点十分明显。降水量年变化为“单峰型”,12 月或 1 月最少,3 月开始逐渐增多,7、8 月到达高峰,9 月后逐

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

渐减少。夏半年(4～9月)降水量占全年降水量的86.4%,在夏半年中降水又多集中于夏季(6～8月)。

春季(3～5月):北部平原降水量13～33 mm,中部盐池、同心地区42～60 mm,南部的固原地区70～113 mm,各地春季降水量约占全年降水量的16%左右。春季少雨是宁夏气候的一个基本特征,是造成春旱的主要因素。

夏季(6～8月):北部降水量103～130 mm,中部150～190 mm,南部220～340 mm。各地夏季降水量约占全年降水量的53%～72%。夏季是一年中降水次数最多、降水量最大的季节,而且温度高,雨热同季,局部地区的洪涝也出现在这个季节。

秋季(9～11月):降水量略多于春季,北部仍然是降水量最少的地区,一般不足50 mm,惠农最少,只有35.4 mm,中部70～100 mm,南部100～184 mm,各地秋季降水量约占全年降水量的20%～28%。

冬季(12～2月):是一年中降水量最少的季节,北部2～4 mm,中部4～6 mm,南部8～11 mm,除个别的山区站点外,大多数地区的降水量一般均不超过全年降水量的2%。

宁夏各地生长季降水量均接近或超过年降水量的90%,空间分布与年降水量一致。

3.5 蒸 发

宁夏各地年蒸发量在1 108.8～1 991.7 mm。同心年蒸发量最大,为1 991.7 mm。西吉、泾源、隆德等地年蒸发量较小,小于1 200 mm。其分布大致为宁夏中西部年蒸发量大,东南部蒸发量小。

3.6 干燥度

干燥度是蒸发量与自然降水量之比,宁夏各地年干燥度以最南端的六盘山区最小,干燥度小于1.0,北部贺兰山前洪积扇区一带及宁夏平原最大,干燥度大于4.0。

4 结 论

1) 精细化的小网格气象要素推算,考虑了地理因子(坡度、坡向、海拔高度、经纬度等)的影响,气象要素的分布更加符合实际,能较详尽、客观地反映出宁夏气候条件在水平方向和垂直方向的分布情况。推算结果为宁夏农林牧业的合理布局、良种引进、农业区域开发和农业自然资源的合理开发利用提供了更为科学的农业气候依据。

2) 宁夏太阳辐射资源丰富,太阳辐射年总量为4 955～6 155 MJ/m^2,是全国太阳辐射最丰富的地区之一。但由于纬度、海拔高度、坡度、坡向以及天气状况不同,各地实际接受到的太阳辐射资源差异较大,辐射资源总量基本上从北部向南部逐渐减小。宁夏各地太阳总辐射量不仅地区之间有不同,而且季节性分配差异明显,辐射资源呈现夏秋季多、冬春季少的特点。夏季辐射资源较多,与高温多雨配合,有利于夏季作物生产。

3) 宁夏年平均气温在5.3～9.9℃,呈北高南低分布。其中,中北部地区为9.0℃左右,南部阴湿地区在6.0℃以下。宁夏各地最冷为1月份,平均气温-3.1～-9.9℃,最热为7月份,平均气温14.9～24.8℃。宁夏各地≥0℃积温1 427～4 132 ℃·d,≥5℃积温1 204～3 973 ℃·d,≥10℃积温518～3 649 ℃·d,≥15℃积温50～2 984 ℃·d,各级积温的最大值与最小值相差大约3倍、7倍和55倍。表明宁夏积温分布差异明显,农业生产布局一定要根据农业气候适宜指标进行区划。

4) 宁夏各地年降水量在159.7～594.0 mm,南多北少,地区差异明显。北部平原年降水量不足200 mm,中部地区年降水量为300 mm左右,南部山区在400 mm以上。降水资源的季节分配差异明显,大部分地区降水量集中在夏季,夏半年(4～9月)降水量占全年降水量的86.4%,雨热同季。但总体来讲,宁夏大部分地区降水稀少,不能满足作物需求,而同时局地暴雨发生较频繁。所以干旱、暴雨、洪涝等农业气象灾害对农业生产影响很大。

5) 宁夏各地年蒸发量在1 108.8～1 991.7 mm,其空间分布大致为中西部大,东南部小。宁夏各地年干燥度在0.4～4.7,中北部大部分地区干燥度在2.0以上,宁夏的干旱性气候特点十分明显。

参 考 文 献:

[1] 董永祥,周仲显.宁夏气候与农业[M].银川:宁夏人民出版社,1986.4-10.

[2] 杨 昕,汤国安,王 雷.基于DEM的山地总辐射模型及实现[J].地理与地理信息科学,2004,20(5):41-44.

[3] 冯晓云,王建源.基于GIS的山东农业气候资源及区划研究[J].中国农业资源与区划,2005,26(2):60-62.

[4] 朱延年,朱 琳,郭兆夏,等.基于GIS商洛山区日照时数模拟[J].陕西气象,2004,(4):10-13.

[5] 王建源,冯建设,袁爱民.山东省太阳辐射的计算及其分布[J].气象科技,2004,34(1):98-101.

[6] 刘 静,马力文.宁夏扬黄新灌区热量资源的网格点推算[J].干旱地区农业研究,2001,19(3):64-71.

[7] 刘 敏,向 华.GIS支持下的三峡库区湖北段农业气候资源评估与区划[J].中国农业气象,2003,24(2).39-42.

[8] 邹立尧.细网格格点农业气候资源推算原理和方法[J].黑龙江

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

气象,1996,(3):32－36.
[9] 傅抱璞.极端最低温度的推算与小地形订正[M].北京:气象出版社,1988.120－135.
[10] 邹立尧.气温推算的一种简便方法[J].黑龙江气象,1993,(4):21－25.
[11] 粟　坷,王玉玺.陕南山地烤烟区小网络气温场和降水场的分析与应用[J].陕西气象,2001,(4):17－19.
[12] "西部山区"课题组.广西小网格热量资源的计算与分析[J].广西气象,1991,(2):33－35.
[13] 傅抱璞.山地气候[M].北京:科学出版社,1983.1－25.
[14] 翁笃鸣,罗哲贤.山区地形气候[M].北京:气象出版社,1990.20－56.
[15] 欧阳海,郑步忠,王雪娥,等.农业气候学[M].北京:气象出版社,1990.470－472.

Estimating of climatic factors and analyzing of agro-climatic resources by GIS in Ningxia

SU Zhan-sheng[1,2], CHEN Xiao-guang[1], HUANG Feng[1], YANG Shu-ping[2]
(1. *Ningxia Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Reducing*, *Yinchuan* 750002, *China*;
2. *Ningxia Meteorological Observatory*, *Yinchuan* 75002, *China*)

Abstract: Study was made on estimating method of climatic factors(250 m×250 m) of Ningxia by GIS, and based on this, agro-climatic resources of Ningxia was analyzed. The results show that: there are rich solar radiation resources, and the annual solar radiation is from 4 955 MJ/m^2 to 6 155 MJ/m^2 in Ningxia, which is one of the regions with richest solar radiation resources. The annual mean temperature is from 5.3℃ to 9.9℃, which is distributed as higher in north and lower in south. Spatial distribution of accumulated temperature is significantly different. Annual precipitation is from 159.7 mm to 594.0 mm, with more in south and less in north. Evaporation is from 1 108.8 mm to 1 991.7 mm, with more in west and center and less in southeast. Annual aridity is from 0.4 to 4.7, with more than 2.0 in north-central Ningxia. The arid climate character is very obvious.

Key words: climatic factors; agro-climate resources; GIS; Ningxia

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net