

文章编号 :1003-8701(2012)03-0057-04

东北地区主要粮食作物气候生产潜力估算与分析

刘 博¹, 杨晓光², 王式功^{1*}

(1. 兰州大学大气科学学院 / 甘肃干旱气候变化与减灾重点实验室, 兰州 730000 ;

2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘 要: 以东北三省 71 个站点的气象资料为依据, 运用逐步订正法计算了玉米、水稻、大豆的光温生产潜力和气候生产潜力, 讨论了温度和水分对气候生产潜力的影响。结果表明, 东北三省主要粮食作物的光温生产潜力和气候生产潜力由东南向西北差异较大, 呈递减趋势。且玉米最适宜种植在吉林省平原地区, 水稻最适宜在辽宁省东南部种植, 大豆则适宜种植在北部、东部低温或多雨地区。

关键词: 东北地区; 粮食作物; 光温生产潜力; 气候生产潜力; 逐步订正法

中图分类号: S162.5+3

文献标识码: A

Calculation and Analysis of Climate Productive Potential of Major Grain Crops in Northeast China

LIU Bo¹, YANG Xiao-guang², WANG Shi-gong¹

(1. Gansu Key Laboratory for Arid Climate Change and Reducing Disaster, College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000; 2. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Using the data in 71 meteorological stations in Northeast China, the photosynthesis potential productivity, the photosynthesis-temperature potential productivity and the climatic potential productivity of the main grain crops (maize, rice, soybean) were calculated by the step by step revisal method. Impact of temperature and precipitation to climatic potential productivity was discussed. Photosynthesis-temperature potential productivities and climatic potential productivities of the main grain crops in Northeast China showed a significant difference in the different sites, which led to an increase of the climate potential productivity from northwest to southeast gradually. The results also showed that maize was most adaptable in plain of Jilin Province, rice was best grown in southeast Liaoning Province, and soybean was better grown in north and east of the region which is cold and rainy.

Keywords: Northeast China; Grain crops; Light and temperature productive potential; Climate productive potential; Step by step revisal method

我国东北地区地处半湿润中温带, 雨热同季, 是北方农区水资源最为丰富的区域之一, 加之该

地区土壤肥沃, 因此东北地区是我国最重要的商品粮产区^[1]。气候生产潜力是由光、温、水共同决定的生态系统生产力, 是优化管理和自然降水条件下雨养农业地区可能达到的作物产量的上限^[2]。很多学者为揭示东北各地主要作物单产潜力及改善资源环境条件、进行农业技术开发利用所能达到的最大增产能力, 对气候生产潜力及其影响因素进行了研究。如马树庆等^[3]、郭建平等^[4]学者基于 1971~1990 年 20 年气象资料对东北地区作物生

收稿日期: 2012-04-16

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2007BAC29B03, 2009BAC53B02)

作者简介: 刘 博(1989-), 女, 硕士研究生, 主要从事应用气象学的研究。

通讯作者: 王式功, 男, 教授, 博士研究生导师,

E-mail: wangsg@zu.edu.cn

产潜力进行了估算和评价;王宗明等^[5]基于 1960~2000 年气象资料从资源利用率的角度对松嫩平原的作物生产潜力进行了评估并提出了提高产量的措施;杨重一等^[6]对黑龙江省作物生产潜力的地域分布做出了估算和评价。由此可以看出,在影响农作物产量的众因子中,气候因子对其影响巨大,鉴于此,建立农作物与气候因子相联系的模型和方法估算农作物气候生产潜力,对于研究气候变化对农作物产量的影响具有重要意义。

1 材料与方法

目前国内外常用的计算气候生产力的方法有联合国粮食和农业组织(FAO)推荐的农业生态区域法及逐步订正法^[7],即根据太阳辐射能量转换原理估算光合生产潜力,再对其进行温度和水分条件影响的订正,从而得出光温生产潜力和气候生产潜力。该方法从光合作用与其环境条件相互关系出发,物理意义清晰,因果关系明确,结果可用于作时空分布比较,其关键技术在于采用合适的参数和订正系数。

1.1 数据来源

资料为东北三省 71 个县市气象站点 1981~2007 年逐日气象资料。71 个气象站点分布如图 1 所示。

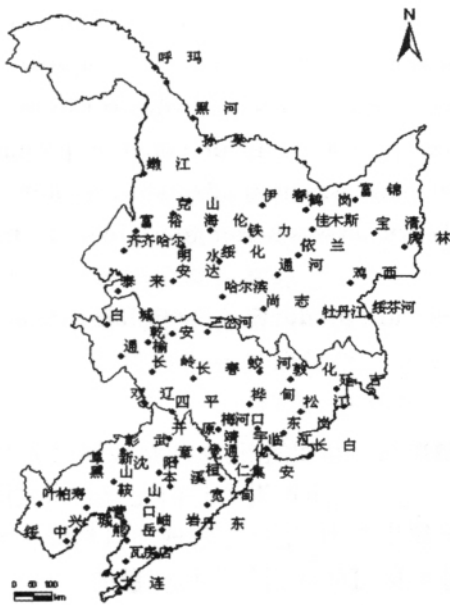


图 1 东北三省气象站点分布图

1.2 计算模型

$$Y_w = Q \cdot f(Q) \times f(t) \times f(W) = Y_Q \times f(t) \times f(W) = Y_T \times f(W) \quad (1)$$

式中: Y_w 为气候生产潜力,kg/hm²;Q为5~9月太阳总辐射,MJ/m²;f(Q)为光合有效系数; Y_Q 为单位面积光合生产潜力,kg/hm²;f(t)为作物光合作用的温度订正系数; Y_T 为光温生产潜力,kg/hm²;f(W)为水分订正系数。

1.2.1 光合生产潜力的计算

$$Y_Q = Q \cdot f(Q) = C \cdot S \cdot \varepsilon \cdot \varphi \cdot (1 - \alpha)(1 - \beta)(1 - \rho) \cdot (1 - \gamma)(1 - \omega) f(L) E \sum Q_i / q(1 - \eta)(1 - \xi) \quad (2)$$

式中:C为单位换算系数; $\sum Q_i$ 为生长季各月总辐射量,MJ/m²;其他参数的物理意义和取值见表 1^[8]。

表 1 不同作物光合生产潜力各参数意义及取值

| 参数 | 意义 | 玉米 | 水稻 | 大豆 |
|------|---------------------------------|-------|-------|-------|
| S | 作物光合固定 CO ₂ 能力的比例 | 1.00 | 0.90 | 0.60 |
| ε | 光合辐射占总辐射的比例 | 0.49 | 0.49 | 0.49 |
| φ | 光合作用量子效率 | 0.22 | 0.22 | 0.22 |
| α | 植物群体反射率 | 0.08 | 0.06 | 0.10 |
| β | 植物繁茂群体透射率 | 0.06 | 0.08 | 0.10 |
| ρ | 非光合器官截获辐射比例 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| γ | 超过光饱和点光的比例 | 0.01 | 0.05 | 0.10 |
| ω | 呼吸消耗占光合产物的比例 | 0.30 | 0.33 | 0.35 |
| F(L) | 作物叶面积动态变化订正值 | 0.58 | 0.56 | 0.50 |
| E | 作物经济系数 | 0.40 | 0.45 | 0.35 |
| q | 单位干物质含热量/(MJ·kg ⁻¹) | 17.20 | 16.90 | 23.10 |
| η | 成熟谷物含水量 | 0.15 | 0.14 | 0.15 |
| ξ | 植物无机灰分含量比例 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |

1.2.2 光温生产潜力的计算

$$Y_T = Y_Q \times f(t) \quad (3)$$

其中,f(t)计算公式如下:

$$f(t) = \begin{cases} 0 & t < t_{\min} \text{ 或 } t > t_{\max} \\ \frac{t - t_{\min}}{t_s - t_{\min}} & t_{\min} \leq t < t_s \\ \frac{t_{\max} - t}{t_{\max} - t_s} & t_s \leq t \leq t_{\max} \end{cases} \quad (4)$$

式中:t为5~9月各月平均温度,t_{min}、t_s、t_{max}为作物生长发育期(5~9月)三基点温度;t_{min}为下限温度,t_{max}为上限温度,t_s为最适温度,具体数值见表 2^[5]。

1.2.3 气候生产潜力的计算

$$Y_w = Y_T f(w) \quad (5)$$

其中,f(w)计算公式如下:

$$f(w) = \begin{cases} \frac{p}{ET_c} & 0 < p < ET_c \\ 1 & p \geq ET_c \end{cases} \quad (6)$$

式中:p为时段内的降水量,mm;ET_c为作物需水量,且

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (7)$$

表 2 不同作物生长发育期三基点温度

℃

| 月份 | 生长发育时期 | 玉米 | | | 水稻 | | | 大豆 | | |
|----|----------|-------|-----------|-----------|-------|-----------|-----------|-------|-----------|-----------|
| | | t_s | t_{min} | t_{max} | t_s | t_{min} | t_{max} | t_s | t_{min} | t_{max} |
| 5 | 苗期 | 20.0 | 8.0 | 27.0 | 21.0 | 9.0 | 28.0 | 18.5 | 7.5 | 26.0 |
| 6 | 营养生长期 | 24.5 | 11.5 | 30.0 | 25.0 | 12.5 | 32.0 | 23.5 | 10.0 | 30.0 |
| 7 | 营养生殖并进期 | 27.0 | 14.0 | 33.0 | 27.8 | 15.0 | 33.0 | 26.0 | 13.0 | 32.0 |
| 8 | 开花 / 灌浆期 | 25.5 | 14.0 | 32.0 | 26.3 | 15.0 | 33.0 | 24.5 | 14.0 | 30.5 |
| 9 | 灌浆成熟期 | 19.0 | 10.0 | 30.0 | 19.3 | 10.5 | 30.0 | 18.0 | 10.0 | 30.0 |

式中 ET_0 为作物参考蒸散量,其计算方法见文献[9-10]; K_c 为作物系数,玉米、水稻、大豆 5~9 月的 K_c 值见表 3^[11]。

表 3 主要作物 5~9 月 K_c

| 月份 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----|------|------|------|-----|-----|
| 玉米 | 0.38 | 0.75 | 1.22 | 1.1 | 0.6 |
| 大豆 | 0.48 | 0.9 | 1.3 | 1.2 | 0.7 |
| 水稻 | 0.94 | 1.32 | 1.34 | 1.2 | 1 |

2 结果与分析

由于太阳辐射的逐年变化并不明显,所以分

析时只考虑温度和降水对气候生产潜力的影响。

根据式(1)~(7)计算得到玉米、水稻、大豆 3 种作物的温度、水分订正系数以及光合生产潜力、光温生产潜力和气候生产潜力,计算结果见表 4 和表 5,71 个站点主要作物气候生产潜力分布如图 2 所示。

表 4 主要作物温度、水分订正系数

| 系数 | 玉米 | 水稻 | 大豆 |
|--------|--------|--------|--------|
| 温度订正系数 | 0.6141 | 0.5672 | 0.6545 |
| 水分订正系数 | 0.7400 | 0.5961 | 0.7128 |

表 5 主要作物生产潜力计算结果

kg/hm²

| 生产潜力 | 作物 | 最高值 | 最低值 | 平均值 | 最高值 / 最低值 |
|--------|----|--------|--------|--------|-----------|
| 光合生产潜力 | 玉米 | 30 579 | 25 072 | 27 946 | 1.22 |
| | 水稻 | 27 623 | 22 648 | 25 245 | 1.22 |
| | 大豆 | 8 149 | 6 681 | 7 450 | 1.22 |
| 光温生产潜力 | 玉米 | 22 710 | 7 320 | 17 171 | 3.10 |
| | 水稻 | 19 807 | 5 339 | 14 334 | 3.71 |
| | 大豆 | 6 076 | 2 342 | 4 876 | 2.59 |
| 气候生产潜力 | 玉米 | 16 280 | 7 630 | 12 467 | 2.13 |
| | 水稻 | 12 015 | 4 743 | 8 317 | 2.53 |
| | 大豆 | 4 568 | 2 360 | 3 423 | 1.94 |

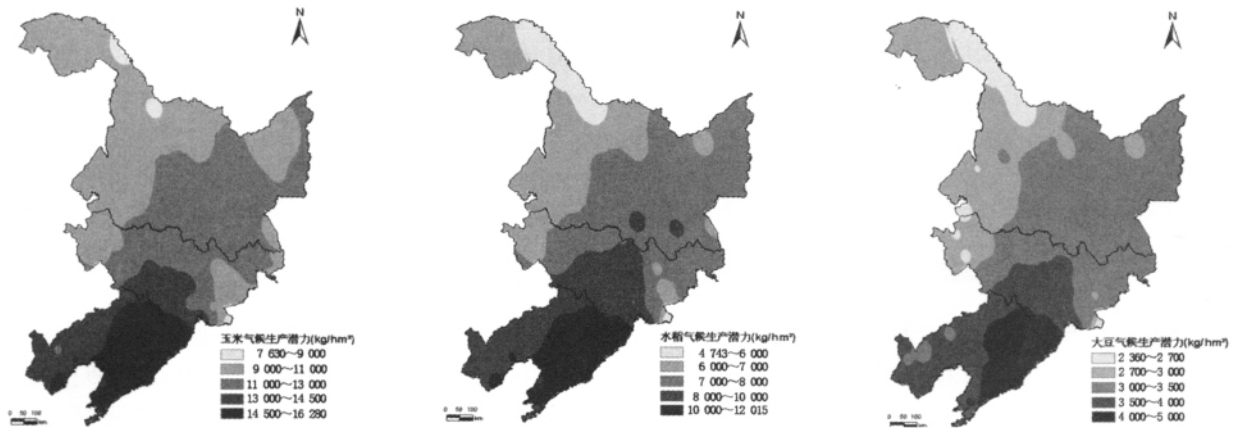


图 2 东北地区 71 个站点主要粮食作物气候生产潜力分布

由此可以看出,辽宁省东南部气候生产潜力最高,玉米、水稻、大豆依次约为 15 000 kg/hm²、11 000 kg/hm² 和 4 500 kg/hm²;辽宁省西北部和中部平原地区气候生产潜力较高,三种作物生产潜力分别约为 13 000 kg/hm²、9 000 kg/hm² 和 3 500 kg/hm²;黑龙江省南部、吉林省西部和东部半山区次之,三种作物依次约为 11 000 kg/hm²、7 000 kg/hm² 和 3 000 kg/hm²;其他地区,即黑龙江省北

部,吉林省东部高寒山区等地气候生产潜力低,三种作物依次在 9 000 kg/hm²、6 000 kg/hm² 和 2 700 kg/hm² 以下。这种区域变化特征与区域间的热量条件有关,如吉林省长白山区 3 种作物气候生产潜力仅为 7 630 kg/hm²、4 743 kg/hm² 和 2 360 kg/hm²,比同纬度的辽宁省各地区生产潜力约低 40%。除漠河、呼玛等海拔高或温度较低的地区外,东北三省各作物的气候生产潜力还取决于水

分条件。吉林省南部及辽宁南部部分地区水分条件适宜,且热量条件较好,因而气候生产潜力较大;而东部山区雨水过多,且气温较低,气候生产潜力低,西部地区干旱少雨,则气候生产潜力也较低。

另外,由玉米、水稻、大豆的温度、水分订正系数可以看出,水稻对温度和水分最为敏感,因此种植在辽宁东南部地区最为适宜;低温对玉米产量的削减比水分缺乏对玉米产量的影响要大,因此吉林省平原地区及黑龙江省南部地区更适合种植玉米;大豆气候生产潜力较低但其温度和水分订正系数都较高,因此适宜种植在北部、东部低温或多雨地区。

3 讨论与结论

3.1 东北地区南部跨度大,各地光温生产潜力差异较大,从南到北呈递减趋势。玉米、水稻、大豆的光温生产潜力最高值分别为 22 710、19 807、6 076 kg/hm²,最低值分别为 7 320、5 339、2 342 kg/hm²;光温生产潜力的地区差异为大豆 < 水稻 < 玉米。

3.2 东北三省地区 3 种作物的气候生产潜力地理分布基本一致,呈由东南向西北递减趋势。但吉林省西部和东部山区由于海拔高、气温低等原因,其作物气候生产潜力大大减小。

3.3 从温度、水分对作物的影响来看,水稻最适

宜种植在辽宁东南部地区;而吉林省平原地区及黑龙江省南部地区更适合种植玉米;大豆适宜种植在北部、东部低温或多雨地区。

参考文献:

- [1] 殷志强,秦小光,李长生.东北三省主要农作物耗水量与缺水研究[J].科技导报,2009,27(13):42-49.
- [2] 李剑萍,官景得,刘建军,等.退耕还林草背景下宁夏气候生产潜力变化研究[J].安徽农业科学,2011,39(13):7783-7786.
- [3] 马树庆,郭顺姬,白亚梅,等.东北区农业气候土壤资源潜力及开发利用研究[J].地理科学,1995,15(3):243-252.
- [4] 郭建平,高素华,潘亚茹.东北地区农业气候生产潜力及其开发利用对策[J].气象,1995,21(2):3-9.
- [5] 王宗明,张柏,张树清,等.松嫩平原农业气候生产潜力及自然资源利用率研究[J].中国农业气象,2005,26(1):1-5.
- [6] 杨重一,庞士力,孙彦坤.黑龙江省作物气候生产潜力估算[J].东北农业大学学报,2010,41(3):75-78.
- [7] 王素艳,霍治国,李世奎,等.中国北方冬小麦的水分亏缺与气候生产潜力[J].自然灾害学报,2003,12(1):122-130.
- [8] 马树庆.吉林省农业气候研究[M].北京:北京气象出版社,1996.
- [9] 李晓军,李取生.东北地区参考作物蒸散确定方法研究[J].地理科学,2004,24(2):212-216.
- [10] 杜尧东,刘作新,张运福.参考作物蒸散计算方法及其评价[J].河南农业大学学报,2001,35(1):57-61.
- [11] 中国主要农作物需水量等值线图协作组著.中国主要农作物需水量等值线图研究[M].北京:中国农业科技出版社,1993:19-55.