

基于经验模型的日光温室生产潜力估算及分析

康西言^{1,2}, 魏瑞江^{1,2}, 王 鑫^{1,2}, 朱慧钦³

(1. 河北省气象科学研究所, 河北 石家庄 050021;
2. 河北省气象与生态环境重点实验室, 河北 石家庄 050021; 3. 河北省高邑县气象局, 河北 高邑 051330)

摘 要: 以经验模型中的逐级订正模型为依据, 利用位于河北省中南部的高邑黄瓜日光温室 2008—2011 年 10 ~ 5 月 3 个生产季的小气候观测资料, 对日光温室光合、光温生产潜力进行估算。结果表明, 日光温室生产季光合生产潜力 63 803.7 ~ 130 556.2 kg·hm⁻², 一般年份光合生产潜力较高, 当出现持续寡照天气时, 光合生产潜力较低, 日光温室生产存在一定风险; 光温生产潜力 54 691.1 ~ 59 683.9 kg·hm⁻², 生产潜力较高; 温度订正系数平均在 0.8 以上, 温度对光合生产潜力制约作用不明显。生产季内光合生产潜力以 5 月最大, 2 月最小, 光温生产潜力以 5 月最大, 1 月最小。在光温条件较好的年份, 日光温室黄瓜实际产量达到潜在产量的 17.9%, 温室黄瓜生产仍有较大的潜力空间。

关键词: 经验模型; 日光温室; 生产潜力
中图分类号: S316 **文献标志码:** A

Calculation and analysis of the potential productivity of sunlight greenhouse based on the empirical model

KANG Xi-yan^{1,2}, WEI Rui-jiang^{1,2}, WANG Xin^{1,2}, ZHU Hui-qin³

(1. Meteorological Institute of Hebei Province, Shijiazhuang, Hebei 050021, China;
2. Key Laboratory of Meteorology and Ecological Environment of Hebei Province, Shijiazhuang, Hebei 050021, China;
3. Meteorological Bureau of Gaoyi County, Gaoyi, Hebei, 051330, China)

Abstract: Based upon a progressively revised empirical model, the microclimate observation data was analyzed between October and May from 2008 to 2011 in the cucumber sunlight greenhouse, located in Gaoyi county, southern central Hebei Province. Potential productivity by photosynthesis and light-temperature in greenhouse had been estimated. The results showed that photosynthetic potential productivity values in the greenhouse of one crop period were 63 803.7 ~ 130 556.2 kg·hm⁻², which was higher in general years and lower in overcast days. When photosynthetic potential productivity value was very low, the greenhouse production would be at risk. Light-temperature potential productivity values in the Greenhouse of one crop were 54 691.1 ~ 59 683.9 kg·hm⁻². The average temperature correction coefficient was at least 0.8, meaning that the restriction of temperature on photosynthetic potential productivity was not obvious. The photosynthesis potential productivity during the whole crop period reached most in May and least in February. The light - temperature potential productivity was highest in May and lowest in January. When optimal light and temperature conditions could be satisfied, the actual yield of cucumber in greenhouse had reached 17.9% of the potential yield, suggesting that great potential in increasing cucumber yield yet remained to be fulfilled.

Keywords: empirical model; sunlight greenhouse; potential productivity

近年来,各地日光温室发展很快,日光温室蔬菜生产丰富了人们的菜篮子,提高了农民的经济收入,对帮助农民致富发挥了积极的促进作用。日光温室

生产与气象条件密切相关,为充分利用当地气候资源,提高温室生产水平,开展日光温室生产潜力估算的研究是十分必要的。

收稿日期: 2014-03-15
基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306039)
作者简介: 康西言(1963—),女,河北赵县人,高级工程师,主要从事农业气象研究。E-mail: kangxiyan@163.com。
通信作者: 魏瑞江(1966—),女,河北晋州人,正研级高工,主要从事设施农业气象研究。E-mail: weirj6611@sina.com。

关于生产潜力的估算,多年来国内外开展了大量研究^[1-9]。国外比较成熟的模型有 Miami 模型^[10]、Thornthwaite Memo-riai 模型^[11]、Wagenigen 模型^[12]、AEZ 法^[13]等,国内应用较广泛的为黄秉维^[7]在竺可桢等^[14]学者的研究基础上,提出的光合生产潜力模型,以及在光合生产潜力模型的基础上,多位学者提出的依据影响作物生长的温度、水分等订正函数,建立的光温生产潜力、气候生产潜力模型^[8-9]。目前,欧美等国已经开始普遍采用作物生长模型研究作物生产潜力,我国也有一定的研究进展,但仍以国外研制的作物生长模型使用较多,主要有 CERES、GOSSYM 模型以及 EPIC 模型等。归纳起来所采用的生产潜力模型可分为经验模型和物理模型,物理模型由于考虑的因素众多,土壤和生物资料难于获取,模型的适用性研究和参数调整尚未大范围的展开;经验模型在我国应用较为广泛,但大多应用是对自然状态下土地生产潜力进行评价,而对日光温室生产潜力进行研究的报道较少,且现有的研究均应用室外资料对温室生产潜力进行估算^[15-16]。因此,本文以经验模型为依据,以日光温室内的微小气候观测资料为基础,对河北省日光温室生产潜力进行估算,以期为当地日光温室生产布局提供技术支撑。

1 资料与方法

1.1 资料来源及处理

本研究选取河北省高邑 2008—2011 年日光温室内的气温、太阳辐射观测数据。高邑位于河北省中南部平原,日光温室坐北朝南,东西长 32.0 m,南北宽 9.0 m,脊高 3.5 m,后墙高 2.8 m,后墙和东西墙为土墙,墙体厚 1.5 m,前面为单面弧状,覆盖聚乙烯塑料薄膜,薄膜外面有草帘,根据天气状况揭盖。

日光温室内种植黄瓜,小气候观测仪设在行间,距后墙 3 m、在东西长度的中间,仪器由北京鑫源时杰科技发展有限公司生产,温度、太阳辐射传感器距地面高度分别为 1.5 m 和 2.0 m,数据采集间隔时间为 10 min;为了与气象台站气象资料的日界一致,这里以前一天 20 时~第二天 19 时的平均气温(℃)作为第二天的日平均气温,太阳辐射量则以该时段的累加值作为日太阳总辐射量($W \cdot m^{-2}$)。

室外气象数据来源于距观测点 3 km 的高邑县气象站。

不同作物对生长环境的要求不同,利用种植黄

瓜日光温室内观测的小气候数据估算生产潜力,反映了黄瓜日光温室的潜在生产力。

1.2 经验模型

一般情况下,温室内水肥管理比较到位,水肥条件可满足蔬菜生长需求,对蔬菜生长不造成胁迫,因此本文仅分析制约温室生产的主要气象要素:光照和温度。在经验模型的逐级订正模型中^[7]较全面的考虑了辐射、温度等气候因子对作物生长的影响,本研究选取该模型对日光温室生产潜力(干物质量)进行估算:

$$y_1 = Qa(1 - \beta)(1 - \rho)(1 - \alpha)I \cdot J \cdot K(1 - \omega)(1 - H)^{-1}(1 - B) \tag{1}$$

式中, Q 为太阳总辐射量, a 为光合有效辐射换算系数,取 $a = 0.495$; β 为作物群体的漏射系数,通常在 0.05 ~ 0.07 之间; ρ 为非光合器官的光能吸收系数,一般取 $\rho = 0.10$; α 为农田植被反射率,取 $\alpha = 6.5\%$; I 为量子能量与通用辐射能量之间的单位换算系数,这里取 $I = 19.0$; J 为量子需要量,取 $J = 0.1$; K 为有机物单位换算系数($1 \mu mol = 30 \times 10^{-6} g$); ω 为呼吸消耗系数,这里取 $\omega = 0.25$; H 为光合产物中的无机物含量,取 $H = 0.08$; B 为植物生物量的水分含量,取 $B = 0.15$ 。

在作物光合生产潜力估算的基础上,引入温度订正函数 $f(T)$ 即可估算光温生产潜力,表达式为:

$$y_2 = y_1 \cdot f(T) \tag{2}$$

式中, a 为常数,当日平均气温 $T \leq 20^\circ C$ 时, $a = -1$; 当日平均气温 $T > 20^\circ C$ 时, $a = -2$ 。

2 生产潜力估算及分析

2.1 光合生产潜力估算及分析

将逐级订正模型中各项换算系数估算值和温室生产季逐日太阳辐射量代入式(1),即可得到温室逐日光合生产潜力估算值。为了分析方便,把逐日光合潜力估算值按月进行累加,得到黄瓜温室生产季逐月光合生产潜力估算值(见表 1)。

从表 1 可以看出,各年生产季的光合生产潜力平均值为 $87\ 161.7\ kg \cdot hm^{-2}$, 其中最大值为 $130\ 556.2\ kg \cdot hm^{-2}$, 出现在 2010—2011 年, 最小值为 $63\ 803.7\ kg \cdot hm^{-2}$, 出现在 2009—2010 年; 从各月分布情况看, 5 月份光合生产潜力最大, 平均为 $14\ 355.3\ kg \cdot hm^{-2}$, 4 月次之, 2 月份最小为 $4\ 289.5\ kg \cdot hm^{-2}$, 1 月次之。

表 1 黄瓜日光温室生产季光合生产潜力估算值/(kg·hm⁻²)

Table 1 Estimated values of photosynthetic potential productivities of cucumber in greenhouse

年份 Year	月份 Month								总和 Sum
	10	11	12	1	2	3	4	5	
2008—2009	8844.0	7044.1	5692.2	5570.3	4654.8	10755.4	11555.0	13009.4	67125.2
2009—2010	8590.7	4691.2	4515.4	4891.6	4161.4	7906.1	12601.7	16445.6	63803.7
2010—2011	6195.2	6900.0	5307.3	5115.2	4052.3	12995.1	12576.5	13610.9	130556.2
平均 Average	7876.6	6211.8	5171.6	5192.4	4289.5	10552.2	12244.4	14355.3	87161.7

2.2 光温生产潜力估算及分析

温室作物生长不仅受太阳辐射影响,同时还与室内温度条件关系密切,当光照条件可满足作物生长需求时,温度适宜则作物光合作用旺盛,温度过高或过低均对作物光合作用造成影响,因此利用温

度订正函数对光合生产潜力进行订正,得到光温生产潜力。

把温室生产季逐日平均气温代入式(2)计算逐日温度订正系数,为便于分析又转化为月值(见表 2)。

表 2 黄瓜日光温室生产季温度订正系数

Table 2 The temperature correction coefficients in greenhouse during cucumber production period

年份 Year	月份 Month								平均 Average
	10	11	12	1	2	3	4	5	
2008—2009	0.893	0.979	0.869	0.812	0.900	0.745	0.807	0.687	0.837
2009—2010	0.973	0.852	0.659	0.571	0.830	0.945	0.962	0.822	0.827
2010—2011	0.978	0.968	0.844	0.584	0.709	0.913	0.967	0.924	0.861
平均 Average	0.948	0.933	0.791	0.656	0.813	0.868	0.912	0.811	0.840

从表 2 可以看出,各年平均温度订正系数均在 0.8 以上,说明温度条件对光合生产潜力制约作用不明显,按文献[15]的划分标准,当地温度条件适宜发展日光温室;从各月平均情况看,10 月、11 月、4 月温度订正系数较大,达到 0.9 以上,说明光温匹配

较好,温度条件适宜,1 月平均温度订正系数较小为 0.656,且最小值出现在 2010 年 1 月,为 0.571,说明该月温度条件对光合生产潜力形成一定的制约。

把计算的温度订正系数对光合生产潜力进行订正,得到逐月光温生产潜力估算值(见表 3)。

表 3 黄瓜日光温室生产季光温生产潜力估算值/(kg·hm⁻²)

Table 3 Estimated values of Light – temperature potential productivities of cucumber in greenhouse

年份 Year	月份 Month								总和 Sum
	10	11	12	1	2	3	4	5	
2008—2009	7898.0	6893.9	4943.8	4522.6	4191.0	8008.9	9327.7	8936.8	54722.7
2009—2010	8360.6	3998.1	2977.6	2795.3	3453.4	7472.1	12121.3	13512.7	54691.1
2010—2011	6062.0	6676.6	4481.9	2985.2	2871.3	11870.8	12164.6	12571.5	59683.9
平均 Average	7440.2	5856.2	4134.4	3434.4	3505.2	9117.3	11204.5	11673.7	56365.9

从表 3 可以看出,各年生产季的光温生产潜力平均值为 56 365.9 kg·hm⁻²,其中最大值为 59 683.9 kg·hm⁻²出现在 2010—2011 年,最小值为 54 691.1 kg·hm⁻²,出现在 2009—2010 年;从各月分布情况看 5 月份光温生产潜力最大,平均为 11 673.7 kg·hm⁻²,1 月份最小为 3 434.4 kg·hm⁻²。

为了了解目前日光温室黄瓜生产能力状况,选取 2008 年度秋冬茬(2008 年 10 月 6 日定植,10 月 31

日坐果,2009 年 1 月 19 日拉秧)和 2009 年度冬春茬(2009 年 2 月 4 日定植,3 月 13 日坐果,2009 年 6 月 1 日拉秧)采收的黄瓜产量分别与光温生产潜力进行对比,按参考文献[17]的研究成果计算,黄瓜果实分配指数为 0.39,果实鲜重与干重的转化关系为 0.0371,则 2008 年度秋冬茬黄瓜实际产量达到潜在产量的 11.9%,2009 年度冬春茬黄瓜实际产量达到潜在产量的 22.2%,整个生产季的实际产量平均达

到潜在产量的 17.9%,说明温室黄瓜的生产有较大的潜力空间。

2.3 气候条件分析

日光温室生产与外界气象条件关系密切,该站温室生产季平均总日照时数 1 463.4 小时,平均气温 7.6℃。

2008—2009 年生产季总日照时数 1 570.4 小时,平均气温 8.7℃。从逐月日照时数变化曲线(见图 1a)可以看出,除 2 月外其它月份日照时数均高于平均值,2 月日照时数最少为 101.4 小时,平均每天不足 4 小时,从逐日日照时数看(图略),2 月无日照天数达 13 天,但未出现持续时间较长的寡照天气;从逐月平均气温变化曲线(图 1b)可以看出,各月平均气温均高于平均值,热量条件较好。因此,2008—2009 年生产季光温条件较好,光合、光温生产潜力较高。

2009—2010 年生产季总日照时数为 1486.0 小时,平均气温 6.6℃。从图 1a 可以看出,2 月、3 月日照时数明显低于平均值,光照条件较差,其它月份接

近或高于常年;从逐日日照时数看(图略),2010 年 2 月无日照天数达 12 天,其中 4~11 日持续 8 天无日照,3 月无日照天数出现 7 天,但未出现持续阴天;同时各月平均气温除 2009 年 10 月、2010 年 5 月高于平均值外,其它月份均低于平均值(图 1b),该生产季的天气特点是气温偏低、日照偏少,并出现持续寡照天气,光合、光温生产潜力较低。

2010—2011 年生产季总日照时数达到 1640.7 小时,平均气温 7.8℃。从图 1a 可以看出,日照时数较少的月份为 2010 年 10 月、2011 年 2 月和 5 月,其它月份日照时数均在平均值以上,2010 年 10 月无日照天数出现 13 天,其中 17~24 日持续无日照,但由于同期气温较高,温室可充分利用自然光,温室内热量得到一定补充,温度没有明显降低,温度订正系数较大;2011 年 2 月无日照天数出现 10 天,19~22 日和 24~28 日持续无日照,光照条件较差,同时气温较低,使光合、光温生产潜力受到影响。总的来看,2008—2009 年与 2010—2011 年生产季气象条件较相似,均为光温条件较好的年份。

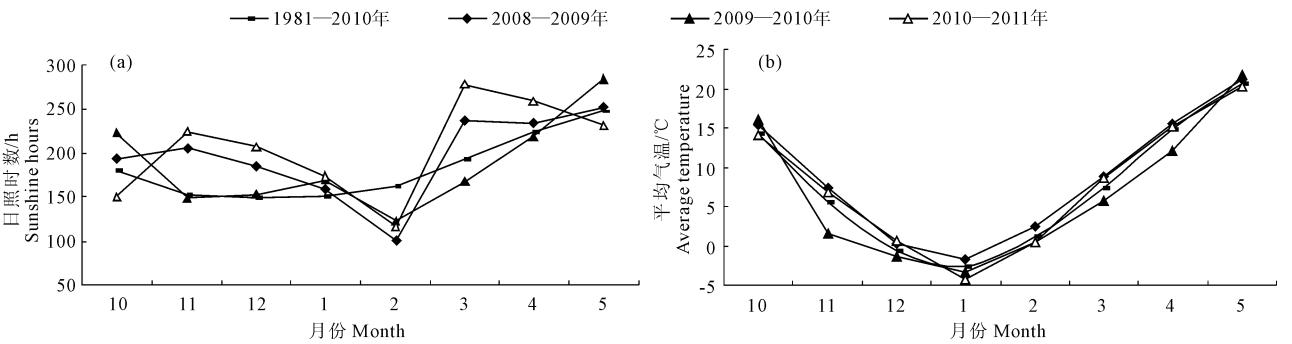


图 1 生产季逐月日照时数、平均气温变化曲线
Fig.1 Monthly variation curves of sunshine hours and average temperatures

综上所述,所选生长季的气候条件既包括了日照时数较多、气温偏高的年份,也包括了出现持续无日照天数较长,光照较差,气温偏低的年份,得到的光合、光温生产潜力有一定的代表性。因此,河北省中南部日光温室生产季光合生产潜力为 63 803.7~130 556.2 kg·hm⁻²,一般年份为光合生产潜力的高值区^[15],光温生产潜力为 54 691.1~59 683.9 kg·hm⁻²,均为光温生产潜力的高值区^[15],一般年份适宜发展日光温室。

3 讨论与结论

以经验模型为依据,利用 2008—2011 年黄瓜日光温室内小气候观测资料,对河北省日光温室生产季的光合、光温生产潜力进行了估算。结果显示,河北省中南部日光温室生产季光合生产潜力为

63 803.7~130 556.2 kg·hm⁻²,温度订正系数一般在 0.8 以上,对光合生产潜力制约作用不明显,光温生产潜力为 54 691.1~59 683.9 kg·hm⁻²;生产季内光合生产潜力以 5 月最大,2 月最小,光温生产潜力以 5 月最大,1 月最小。因此,河北省中南部光合、光温生产潜力较高,适宜发展日光温室;但当出现持续寡照天气时,光合生产潜力较低,日光温室生产存在一定风险。同时,1 月温度订正系数最小,温度条件对光合生产潜力形成一定的制约,建议在日光温室安排种植茬口时,适当避开该月以减小种植风险。

通过日光温室黄瓜实际产量与光温生产潜力对比,在光温条件较好的年份,初步分析实际产量达到潜在产量的 17.9%,高于全国平均的温室番茄实际产量占潜在产量的 7.7%的比例^[16]。

目前对作物生产潜力的估算大多针对大田作

物,例如:徐文修等^[18]对新疆棉区的光合生产潜力、光温生产潜力进行了估算,朱勇^[19]对辽宁省大豆的光合生产潜力、光温生产潜力进行了计算分析,刘建栋^[20]、李登科^[21]对冬小麦气候生产潜力进行了研究;本文借鉴大田生产潜力的估算方法,利用黄瓜日光温室内小气候观测资料,对温室光合生产潜力、光温生产潜力进行了估算,研究结果对温室生产有一定的指导作用。

由于日光温室内小气候除受外界天气条件的影响外,还与温室的大小、结构、种植品种、管理方式等因素有关,所以不同温室内小气候存在一定的差异,致使光合、光温生产潜力也有一定差异。但本文选用了三个生产季资料,且所选生长季的气候条件既包括了日照时数较多,气温偏高的年份,又包括了出现持续无日照天数较长,光照较差,气温偏低的年份,因此得到的光合、光温生产潜力有一定的代表性。

参 考 文 献:

[1] 村田吉男 著,郑丕尧 译.几种主要作物的光合作用和产量形成[M].北京:农业出版社,1978.

[2] Loomis R S, Williams W A. Maximum crop productivity: An estimate[J]. Crop Science,1963,3(1):67-72.

[3] De Wit. Photosynthesis in leaf canopies. Agri. Res. Report. Center-Agr[M]. Wageningen: Pudoc, 1965:201-300.

[4] De Wit. Simulation of assimilation, respiration and transpiration of crops. Simulation Monographs [M]. Wageningen: Pudoc, 1978: 1-112.

[5] Hanks R J. Yield and Water-use Relationships: An Qvervien[C]// H M Taylor. Limitation to Efficient Water Use in Crop Production. USA: Madison WI, 1983.

[6] Higgins G M, Kassam A H. Regional assessment of land potential: Afallow up to the FAO[J]. Nature and resoures, 1981,17(4):11-23.

[7] 黄秉维.中国农业生产潜力—光合潜力[C]//地理集刊(17).北京:科学出版社,1985.

[8] 陈明荣,龙斯玉.中国气候生产潜力区划的探讨[J].自然资源,1983,17(3): 72-79.

[9] 侯光良,刘充芬.我国气候生产潜力及其分区[J].自然资源,1985,19(3):52-59.

[10] 陈国南.用迈阿密模型测算我国生物生产量的初步尝试[J].自然资源学报,1987,2(3):270-278.

[11] 高素华,潘亚茹,郭建平.气候变化对植物气候生产力的影响[J].气象,1994,20(1):30-33.

[12] 林忠辉,莫兴国,项月琴.作物生长模型研究综述[J].作物学报,2003,29(5):750-758.

[13] 王恩利,韩湘玲.黄淮海地区冬小麦、夏玉米生产力评价及其应用[J].中国农业气象,1990,11(2):41-45.

[14] 竺可桢.论我国气候的几个特点及其与粮食作物生产的关系[J].地理学报,1964,(1):1-13.

[15] 许彦平,姚晓红,蒲永义,等.天水日光温室光温生产潜力估算及区划研究[J].甘肃科学学报,2004,16(1):52-56.

[16] 褚金翔,孙忠富,杜克明,等.基于 TOMSIM 模型的温室番茄中杂 9 号生产潜力的空间分析[J].中国农业气象,2009,30(1):49-53.

[17] 李永秀,罗卫红,倪纪恒,等.温室黄瓜干物质分配与产量预测模拟模型初步研究[J].农业工程学报,2006,22(2):116-120.

[18] 徐文修,牛新湘,边秀举.新疆棉花光温生产潜力估算与分析[J].棉花学报,2007,19(6):455-460.

[19] 朱 勇.辽宁省大豆气候生产潜力及气候资源满足率计算模式研究[J].沈阳农业大学学报,2013,44(2):213-218.

[20] 刘建栋,傅抱璞,金之庆,等.应用 ARID CROP 模型对中国黄淮海地区冬小麦气候生产力的数值模拟研究[J].自然资源学报,1997,12(3):282-287.

[21] 李登科,刘笃恩,刘耀武.冬小麦气候生产力的宏观动态模拟模型[J].干旱地区农业研究,1992,10(4):1-8.

(上接第 219 页)

[5] Lal R. Carbon sequester ration in dryland[J]. Annual Arid Zone, 2000,39(1):1-10.

[6] 方精云,郭兆迪,朴世龙.1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算[J].中国科学(D 辑),2007,37(6):804-812.

[7] Fang J, Chen A, Peng C, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998[J]. Science, 2001,292: 2320-2322.

[8] 金姝兰,杨芳英.江西农作物碳储量估算与分析[J].广东农业科学,2011,(2):16-18.

[9] 杨文耀.内蒙古武川旱农区主要农作物生产潜力与开发途径的研究[J].干旱区资源与环境,1995,9(1):66-70.

[10] 董孝斌,高旺盛.农牧交错带农业生态系统生产力的能值分析——以武川县为例[J].干旱区资源与环境,2005,19(7):33-37.

[11] 张 剑,罗贵生,王小国,等.长江上游地区农作物碳储量估算及固碳潜力分析[J].西南农业学报,2009,22(2):402-408.

[12] 邱建军,王立刚,唐华俊,等.东北三省耕地土壤有机碳储量变化的模拟研究[J].中国农业科学,2004,37(8):1166-1171.

[13] 高明博,张俊丽,海江波,等.有机培肥化肥减量对夏玉米含碳率及固碳量影响[J].西北农业学报,2011,20(12):72-76.

[14] 魏婷婷.郑州东区生态系统碳循环研究[D].郑州:河南农业大学,2008.