

夏玉米气候生产潜力分析与评估

王福州^{1,2} 石俊峰² 陈道培² 张青² 卢霞²

(¹中国气象局·河南省农业气象保障与应用技术重点实验室,河南郑州 455000;

²鹤壁市气象局,河南鹤壁 458030)

摘要 利用台站观测的日照时数换算成日辐射量,然后用逐步订正法对夏玉米气候生产潜力进行计算分析,并从温度限制产量、水分限制产量及潜力开发指数等方面对夏玉米气候生产潜力进行评估。结果表明:夏玉米光合、光温和气候生产潜力均呈缓慢下降趋势;温度对产量的限制主要在灌浆后期;水分虽然总体能满足玉米需水量的90%左右,但由于年际之间及同一年内玉米各生育阶段降水时空分布不均,造成水分限制产量偏高;产量潜力开发指数呈快速下降趋势,但目前气候资源总体开发利用程度不到一半,开发潜力仍然较大。

关键词 夏玉米;气候生产潜力;分析;评估

中图分类号 S162.5 **文献标识码** A

文章编号 1007-5739(2021)02-0158-04

DOI: 10.3969/j.issn.1007-5739.2021.02.066

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



河南省鹤壁市位于黄淮海农业区,是全国整建制推进粮食高产创建试点市,高产纪录连续刷新,尤其是夏玉米高产创建创19项全国高产纪录^[1]。市域热量较充足,雨热同季,具有可观的气候生产潜力^[2]。近年来,玉米生长发育期间的气候生态条件与过去相比有一定的变化,因而作物气候生产潜力也发生了相应变化^[3-7]。

已有研究证明,农作物生产潜力不仅与光能利用效率有关^[8],也与温度、水分等有关,农作物生产潜力模型因为引入了多种因素而得以逐步修正和完善^[9-10]。黄秉维^[11]对农业生产潜力与积温、降水等气候因素的关系进行研究,首次提出了光合潜力的概念,并得出了更为简便的生产潜力计算公式。陈明荣等^[12]将温度系数引入生产潜力估算,至此气候生产潜力的研究思路基本形成,相关实证理论与方法研究也逐步展开^[13-14]。

逐步订正法是联合国粮食和农业组织(FAO)推荐使用的气候生产潜力计算方法,是先利用辐射量估算出光合生产潜力,再由温度、降水量数据对温度与水分订正系数进行逐步订正,从而得出光温生产潜力和气候生产潜力的方法^[15]。作物模型虽然可以定量模拟气候、土壤、作物品种和栽培管理等因素对作物生长发育和产量形成的影响,但受作物、土壤等相关参数的限制,对夏玉米光温生产潜力的模拟结果偏低,我

国黄淮平原和东北地区的玉米高产纪录已经接近甚至超过了模型输出产量^[16-18]。因此,本文选用环境因子逐步订正模型计算夏玉米光温生产潜力^[19]。利用1965—2017年气象资料和同期的夏玉米实产数据,计算鹤壁市夏玉米光合生产潜力、光温生产潜力、气候生产潜力,研究近53年夏玉米温度限制产量、水分限制产量和潜力开发指数的变化特征,分析夏玉米增产潜力及限制性因素,对合理利用自然资源、充分挖掘玉米生产能力、指导农业生产具有重要意义^[20]。

1 材料与方法

1.1 资料来源

气象数据来自鹤壁市淇县气象观测站建站以来(1965—2017年)逐日资料,主要包括平均气温、降水量、日照时数。夏玉米实际产量数据来自鹤壁市统计局,时间序列为1965—2017年。

1.2 气候生产潜力计算

气候生产潜力是指在CO₂、养分、群体结构等得到满足或最适状态条件下,由当地太阳辐射、温度和水分所确定的产量。从农业气候资源角度分析,通常计算光合生产潜力,然后对光合生产潜力进行温度订正得到光温生产潜力,再进行水分订正得到气候生产潜力。

地面太阳辐射量受天文辐射、大气透明度、云量等因素影响,其变化主要由天文辐射和云量决定。气象台站一般只有云量和日照百分率的观测。因此,可运用埃斯屈朗方程,由日照百分率换算,近似得到逐日辐射量,其计算公式如下:

基金项目 中国气象局·河南省农业气象保障与应用技术重点实验室(AMF202003)。

作者简介 王福州(1971—),男,河南浚县人,高级工程师。研究方向:农业气象与农业遥感。

收稿日期 2020-08-15

$$Q(t)=Q_0(t)\times[a+b\times\frac{s(t)}{DL(t)}] \quad (1)$$

式中, $Q(t)$ 表示第 t 天总辐射模拟值[MJ/(m²·d)], $Q_0(t)$ 表示第 t 天的天文辐射量,即大气顶层接收到的短波辐射; $s(t)$ 为第 t 天实际日照时数,为第 t 天的日长; a 、 b 为模型参数,不同气候区域取值不同,本文取 $a=0.25$, $b=0.45$ 。其中 $Q_0(t)$ 计算公式如下:

$$Q_0(t)=\frac{I_0\cdot T}{\pi\cdot\rho_s^2}(\tau_0\sin\varphi\sin\delta+\cos\varphi\cos\delta\cos\tau) \quad (2)$$

式中, φ 、 δ 、 τ 分别表示纬度、太阳赤纬、太阳高度角, I_0 为太阳常数, ρ_s 为日地平均距离订正因子, T 为日长。

气候生产潜力计算公式如下:

$$Y_w=Y_Q\times f(t)\times f(w) \quad (3)$$

式中, Y_w 为气候生产潜力, Y_Q 为光合生产潜力, $f(t)$ 为温度订正函数, $f(w)$ 为水分订正函数。

$$Y_Q=CSE\varphi(1-\alpha)(1-\beta)(1-\rho)(1-\gamma)(1-\omega)f(L)E \sum Q/tq(1-\eta)(1-\xi) \quad (4)$$

式中, Y_Q 为单位面积光合生产潜力; C 为单位换算系数; Q 是生长季总辐射量; S 为作物光合固定 CO₂能力的比例,取 1.00; ε 为光合辐射占总辐射的比例,取 0.49; φ 为光合量子效率,取 0.224; α 为植物群体反射率,取 0.08; β 为植物群体透射率,取 0.06; ρ 为非光合器官截获辐射比例,取 0.10; γ 为超过光饱和和点光的比例,取 0.01; ω 为呼吸消耗占光合产物的比例,取 0.30; E 为作物经济系数,玉米取 0.4; $f(L)$ 为作物叶面积动态变化订正值,玉米取 0.58; q 为单位干物质含热量,取 17.20 MJ/kg; η 为成熟谷物含水量,取 0.14; ξ 为植物无机灰分含量比例,玉米取 0.08。

温度订正函数计算公式如下:

$$f(t)=\begin{cases} 0 & (t<t_{\min},t>t_{\max}) \\ \frac{t-t_{\min}}{t_0-t_{\min}} & (t_{\min}\leq t<t_0) \\ \frac{t_{\max}-t}{t_{\max}-t_0} & (t_0\leq t\leq t_{\max}) \end{cases} \quad (5)$$

t_{\min} 、 t_0 、 t_{\max} 为作物生长发育期三基点温度,分别为下限温度、最适温度和上限温度。夏玉米生长季节为 6—9 月,将夏玉米生长季划分为播种—拔节、拔节—抽雄、抽雄—乳熟、乳熟—完熟 4 个阶段,根据夏玉米多年发育期观测资料和已有研究成果,确定各生育阶段的三基点温度(表 1)。

水分订正函数计算公式如下:

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

式中, $ET_c=K_c\times ET_0$; R 为时段内降水量; ET_c 为作物需水量; ET_0 为作物参考蒸散量; K_c 为作物需水系数。

表 1 夏玉米主要生育阶段三基点温度 (°C)

发育阶段	t_0	t_{\min}	t_{\max}
播种—拔节	26	20	35
拔节—抽雄	25	23	35
抽雄—乳熟	25	20	33
乳熟—完熟	22	16	30

1.3 气候生产潜力评估方法

(1)温度限制产量。定义光合生产潜力与光温生产潜力之差为温度限制产量,它反映了温度因子对产量的影响。

$$\Delta Y_t=Y_q-Y_t$$

(2)水分限制产量。定义光温生产潜力与气候生产潜力之差为水分限制产量,它反映了水分因子对产量的影响。

$$\Delta Y_w=Y_t-Y_w$$

(3)潜力开发指数。计算公式如下:

$$k=[1-\text{实际产量}/\text{光温生产潜力}]\times 100$$

k 值大小反映玉米气候生产潜力的已开发利用程度。 k 越大,表明已开发利用程度低,尚有较大的开发潜力,或未来开发利用潜力强。 k 越小,表明已开发利用程度高,未来开发利用潜力弱。

2 结果与分析

2.1 光合生产潜力分析

由图 1 可知,近 53 年来鹤壁市夏玉米光合生产潜力为 17 000~25 000 kg/hm²,呈现缓慢下降趋势,平均每 10 年下降 544.1 kg/hm²,下降的主要原因为日照时数减少,日照时数平均每 10 年减少 43.5 h。1996 年光合生产潜力最小,为 17 658.0 kg/hm²,1965 年最大,为 24 121.0 kg/hm²。光合生产潜力下降趋势没有达到极显著水平,没有出现突变下降点。

2.2 光温生产潜力分析

由图 1 可知,近 53 年来鹤壁市夏玉米光温生产潜力为 15 000~22 000 kg/hm²,呈现缓慢下降趋势,平均每 10 年下降 415.75 kg/hm²。光温生产潜力下降幅度小于光合生产潜力下降幅度,主要因为历年 6—9 月平均气温每 10 年上升 0.13 °C,上升趋势缓慢,小于日照时数的下降趋势,故虽然温度缓慢上升但光温生产潜力仍呈下降趋势。2011 年最小,为 15 121.6 kg/hm²,1965 年最大,为 21 544.29 kg/hm²。

2.3 气候生产潜力分析

由图 1 可知,近 53 年来鹤壁夏玉米气候生产潜力为 3 600~13 800 kg/hm²,呈现缓慢下降的趋势,平均每 10 年下降 61.4 kg/hm²。2004 年最大,为 13 763.89 kg/hm²,

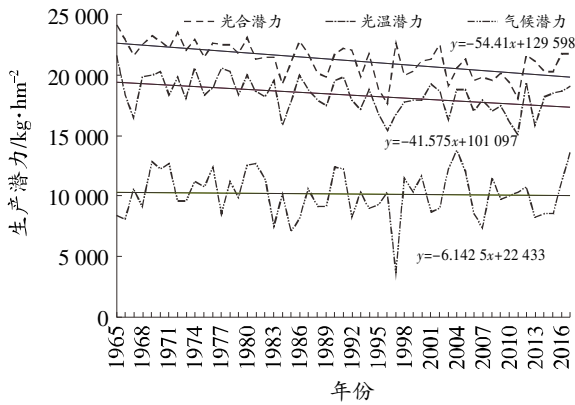


图1 光合、光温、气候生产潜力年际变化趋势

1997年最小,为3 671.49 kg/hm²,同年的光温生产潜力达到16 689.20 kg/hm²,气候生产潜力只有光温生产潜力的22%,主要因为1997年6—9月降水异常偏少,仅167.3 mm,只有历年平均的30%左右。气候生产潜力历年最大值与最小值相差3.7倍以上,远远大于光合潜力和光温潜力变幅,主要因为年际间降水变幅较大。

2.4 气候生产潜力评估

2.4.1 温度限制产量。由图2可知,温度限制产量为1 800~6 000 kg/hm²,呈现缓慢下降的趋势,平均每10年下降128.35 kg/hm²。温度对产量的限制主要表现在灌浆后期,9月中下旬温度订正函数只有0.73,9月下旬仅0.61。温度限制产量最高在1997年,1997年玉米灌浆后期的9月中下旬平均气温只有18.1℃,较灌浆适宜温度异常偏低4℃,因温度偏低导致气候产量减少5 958.33 kg/hm²。温度限制产量多年平均3 000 kg/hm²左右。

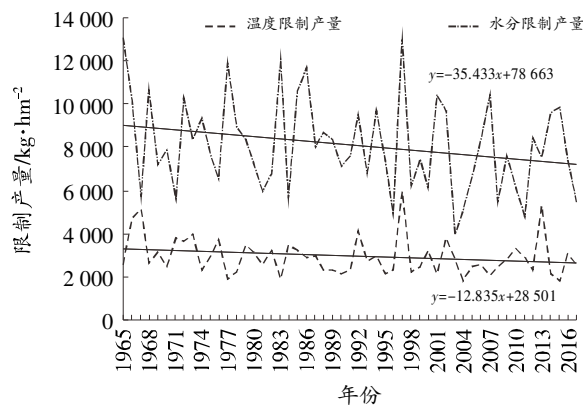


图2 温度、水分限制产量年际变化趋势

2.4.2 降水限制产量。由图2可以看出,降水限制产量为4 000~13 200 kg/hm²,呈现较明显的下降趋势,平均每10年下降1 354.33 kg/hm²。水分限制产量最高在1965年,玉米生育期间降水量达到208.4 mm,其次是1997年,降水量仅167.3 mm。1965—2017年6—9月

平均降水量443 mm,从总量看能满足玉米需水量的90%左右,但由于年际之间和同一年内玉米各生育阶段降水时空分布不均,特别是初夏旱、卡脖子旱及秋旱多发,导致水分限制产量偏高,气候生产潜力中水分订正函数平均0.57,远小于平均降水量对玉米生育需求的90%满足率。

2.4.3 产量开发潜力系数k。由图3可以看出,鹤壁市的夏玉米平均单产由1965年的907.5 kg/hm²增加到2017年的6 834.0 kg/hm²,线性倾向率每10年产量增加1 196 kg/hm²,达极显著水平。产量潜力开发系数k也由1965年的0.96下降到2017年的0.64,玉米产量潜力开发空间仍然很大(图4)。

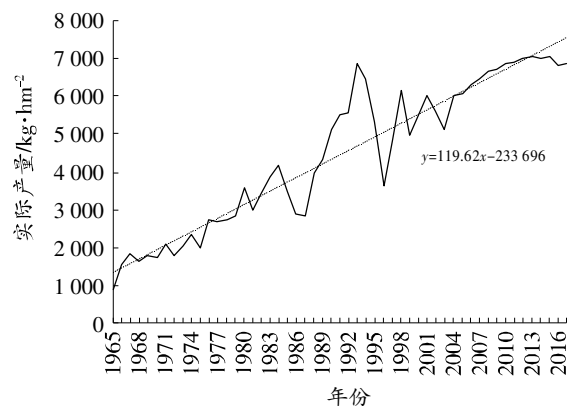


图3 1965—2017年鹤壁夏玉米实际产量趋势

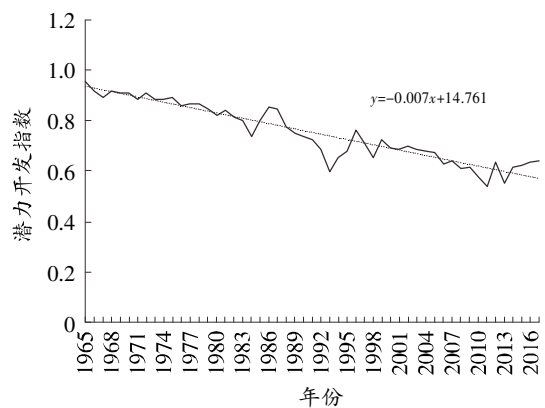


图4 潜力开发指数年际变化趋势

3 结论与讨论

灌浆后期是温度对产量限制的主要时期。玉米生长后期,即秋季降温早且快,热量紧张,影响玉米的灌浆和成熟,温度因子成为产量进一步提高的主要限制因子。可以通过麦垄套播、抢收抢种、种植早中熟品种、适宜晚收等措施缓解热量不足,进而提升产量。

降水能基本满足玉米生长发育需求,但由于年际之间和同一年内玉米各生育阶段降水时空分布不均,水分限制产量偏高,尤其以初夏旱和“卡脖子旱”影响最为严重,水分订正函数远小于总体水分满足率。对于

农田水利条件较好,夏玉米单产已经较高,特别是高产田产量很多年份已超过气候生产潜力的地区,水分不是产量进一步提升的主要限制因子。重点要做好中低产田改造,完善水利设施,做到旱能浇、涝能排。

随着气候生产潜力利用程度的提高,产量潜力开发指数呈减少趋势。夏玉米产量除受日照、温度、水分等单因子限制外,还受花期阴雨、大风、冰雹等多种气象因子叠加影响,均制约夏玉米高产稳产。另外,其他多方面因素例如土壤因素(中低产田)、栽培技术(肥料搭配与比例不合理、施肥时期、和方法不当)、玉米品种多乱杂和水利设施不完善及社会因素等都不同程度地影响夏玉米产量。

4 参考文献

- [1] 孙秀玲.鹤壁市夏玉米高产栽培关键技术探讨[J].吉林农业,2011(6):143-144.
- [2] 赵俊芳,郭建平,邬定荣,等.2011—2050年黄淮海冬小麦、夏玉米气候生产潜力评价[J].应用生态学报,2011,22(12):3189-3195.
- [3] 王道龙,钟秀丽,李茂松,等.20世纪90年代以来主要气象灾害对我国粮食生产的影响与减灾对策[J].灾害学,2006,21(1):18-22.
- [4] 余卫东,柳俊高,常军,等.1957—2005年河南省降水和温度极端事件变化[J].气候变化研究进展,2008,14(2):78-83.
- [5] 居辉,李三爱,严昌荣,等.北方旱农区玉米自然降水生产潜力研究[J].自然资源学报,2006,7(4):632-637.
- [6] 刘建栋,于强,傅抱璞.黄淮海地区冬小麦光温生产潜力数值模拟研究[J].自然资源学报,1999,14(2):169-174.
- [7] 侯西勇.1951—2000年中国气候生产潜力时空动态特征[J].干旱区地理,2008,31(5):723-729.
- [8] BONNER J.The upper limit of crop yield[J].Science,1962,137

(3523):11-15.

- [9] DE WIT C.Simulation of assimilation, respiration and transpiration of crops(simulation monographs)[J].Agricultural Systems,1982,9(1):74-75.
- [10] HANKS R J.Yield and water-use relationships:an overview [M]/TAYLORETA L H M. Limitations to efficient water use in crop production. Madison:Crop Science Society of America Press,1983.
- [11] 黄秉维.中国农业生产潜力-光合潜力[M]/地理集刊(第17号),农业生产潜力研究.北京:科学出版社,1985:17-22.
- [12] 陈明荣,龙斯玉.中国气候生产潜力区划的探讨[J].自然资源,1984(3):72-79.
- [13] 张丽娜,陈志,杨敏丽,等.我国玉米生产效率时空特征分析[J].农业机械学报,2018,49(1):183-193.
- [14] 裴占江,刘杰,史风梅,等.气候变化对我国农业生产的影响研究进展[J].黑龙江农业科学,2017(8):112-118.
- [15] 高军波,楚冰洋,闫军辉,等.1960年以来河南省玉米气候生产潜力估算与种植空间优化[J].农业机械学报,2019,50(1):245-254.
- [16] 李少昆,王崇桃.玉米高产潜力途径[M].北京:科学出版社,2010:306-309.
- [17] 黄川荣,刘洪.气候变化对黄淮海平原冬小麦与夏玉米生产潜力的影响[J].中国农业气象,2011,32(增刊1):118-123.
- [18] 王静,杨晓光,吕硕,等.黑龙江省春玉米产量潜力及产量差的时空分布特征[J].中国农业科学,2012,45(10):1914-1925.
- [19] 赖荣生,余海龙,黄菊莹.作物气候生产潜力计算模型研究述评[J].江苏农业科学,2014,42(5):11-14.
- [20] 余卫东,马志红.近50年河南省夏玉米生产潜力及产量差时空变化特征[J].干旱地区农业研究,2015,33(1):205-212.

(上接第154页)

有机肥样品时,需要尽快对有机肥中的总氮进行检测,否则会对检测结果造成影响。

3 结论

该试验结果表明,在风干过程中,风干时长、温度及是否自然风干等因素对有机肥中磷、钾的含量无明显影响。风干温度对总氮含量无明显影响,但是在自然风干过程中,2批次样品放置7d后,总氮含量分别降低了13.55%和15.91%。温度对样品水分含量有明显影响,样品中水分在100℃条件下烘干1h或50℃条件下烘4h可达到稳定;但是在自然风干过程中,7d后样品中水分依然残留5%。有机肥样品中的总氮含量需尽快进行检测,否则会对检测结果造成明显影响。建议尽量使用烘箱风干样品,在50℃条件下烘干

3h。这样不仅保证了检测结果,还缩短了样品的检测周期^[5-6]。

4 参考文献

- [1] 蒋益中.微波消解技术在有机肥料总养分测定中的应用[J].中国检验检疫,2013(2):12-13.
- [2] 王运洲,李玉福.有机肥中氮的测定[J].安徽农学通报,2005,11(7):70.
- [3] 田华.有机肥原料中有机质含量测定方法的研究[J].中小企业管理与科技,2011(30):313.
- [4] 中华人民共和国农业部.有机肥料:NY525—2012[S/OL](2012-03-01)[2020-07-28].<https://wenku.baidu.com/view/5d669b09842458fb770bf78a6529647d272834a8.html>.
- [5] 吕航,王秋彬,于卫昕,等.浅谈有机肥料检测中的注意事项[J].农业与技术,2020,40(15):46-47.
- [6] 陈梅斯,练习中.关于有机肥料检测中存在的问题探讨[J].农村经济与科技,2019,30(7):68-69.