

张 怡. 气候变化对冬小麦生产潜力的影响——以豫东为例[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(23): 270–274.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.23.074

# 气候变化对冬小麦生产潜力的影响——以豫东为例

张 怡<sup>1,2</sup>

(1. 南京信息工程大学应用气象学院, 江苏南京 210000; 2. 河南省永城市气象局, 河南永城 476600)

**摘要:**使用豫东地区代表站点近 50 年的气象观测资料和冬小麦的农业气象观测资料, 分析了该地区近 50 年来的气候变化特征, 结合农业气象观测资料, 利用气候适宜度函数和农业生态区域法(AEZ), 计算冬小麦气候适宜度和气候生产潜力, 分析该地区气候变化对冬小麦的产量和气候适宜性的影响, 并提出相应的生产建议。结果表明, 随着耕植传统改进, 经济投入和技术水平大幅提升, 实际产量与气候生产潜力仅相差 20% 左右, 有些年份甚至反超。自然降水和土壤肥力的制约条件已经越来越弱, 相对于充裕光照资源而言, 热量条件则成为决定灌溉农田最高生产力水平的主要因素。在 21 世纪气候整体向“暖湿型”变化的情况下, 研究地区冬小麦光温生产潜力和气候生产潜力均会维持增加, 有利于豫东地区冬小麦产量的提高。建议进一步加大对农业生产的投入, 通过扩大农田有效灌溉面积、秸秆覆盖保水或冬小麦覆膜、选育抗逆品种、加强突发病虫害防控和提高土地规模化经营等措施, 提升生产单体应对气候变化的能力。

**关键词:**气候变化; 冬小麦; 气候生产潜力; 产量

**中图分类号:** S162.5<sup>+</sup>3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)23-0270-05

气候变化在全球范围内引起了政府部门、学术界乃至社会公众的广泛关注。从农业生产的角度来看, 气候变化对粮食生产产生了显著影响: 农作物在生长发育过程中热量、水分、光照等气候要素的分配改变, 是气候变化影响作物生产力的主要方式, 作物生长期中气象条件与作物生长的不匹配变得越来越突出, 更进一步是对农作物的农业布局与种植制度

收稿日期: 2016-07-04

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 41140019); 中国气象局关键技术集成与应用项目(编号: CMAGJ2015M36); 河南省气象局项目(编号: Z201401); 河南省强对流创新团队和商丘市科技公关项目(编号: 141061)。

作者简介: 张 怡(1981—), 男, 河南柘城人, 硕士, 工程师, 主要从事气象预报预测与灾害防护研究。E-mail: zhangyi8733873@sina.com。

产生气候变化方面的影响<sup>[1-9]</sup>。气候变化对农业生产的种植制度、作物的生产潜力和作物产量的影响具有明显的地域性<sup>[10-14]</sup>, 地区的气候变化造成该地区的气象灾害频率与强度不断加大, 从而形成的不稳定性体现在了地区社会生产, 尤其是农业生产方面。研究表明, 冬小麦在生长发育过程中, 受到各种气象要素尤其是热量、水分、光照等气候要素的影响<sup>[10-12]</sup>, 对冬小麦产量变化的气候影响分析显得尤其重要。

豫东地区地处黄淮海平原的中心地区, 属暖温带季风性气候, 四季变化明显, 土层深厚, 土壤肥力较高, 加之光热资源充足, 雨热同期, 光热水资源匹配较好, 是我国冬小麦生产的优势产区之一。本研究利用该地区 8 个代表气象观测站点近 50 年的气象观测资料, 通过研究该地区的气候变化、气候生产潜力和产量的响应变化, 以期为该地区应对未来气候变化,

[10] 柳 婵, 管仁贵, 辛志荣, 等. 高岭土改性蓄热保温吸水树脂的性能[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(1): 354–355.

[11] Alla S G A, Sen M, El-Naggar A W M. Swelling and mechanical properties of superabsorbent hydrogels based on Tara gum/acrylic acid synthesized by gamma radiation[J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 89(2): 478–485.

[12] 汪昌保, 赵永富, 葛才林, 等. 辐照制备两种淀粉基高吸水树脂的性能研究[J]. 核农学报, 2013, 27(1): 42–46.

[13] 刘秀清, 冯 建, 潘海发, 等. <sup>60</sup>Co  $\gamma$  射线辐照淀粉接枝丙烯酸制备高吸水树脂[J]. 核农学报, 2010, 24(2): 325–328.

[14] Berthold J, Olsson R J O, Salmén L. Water sorption to hydroxyl and carboxylic acid groups in carboxymethylcellulose (CMC) studied with NIR-spectroscopy[J]. Cellulose, 1998, 5(4): 281–298.

[15] 吕鸣群, 陈晓宇, 王殿君, 等. 用辐照甘蔗渣接枝法制备高吸水剂初探[J]. 核农学报, 2006, 20(3): 222–224.

[16] Wu J H, Lin J M, Li G Q, et al. Influence of the COOH and COONa

groups and crosslink density of poly(acrylic acid)/montmorillonite superabsorbent composite on water absorbency[J]. Polymer International, 2001, 50(9): 1050–1053.

[17] Song Y, Zhou J, Zhang L, et al. Homogenous modification of cellulose with acrylamide in NaOH/urea aqueous solutions[J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 73(1): 18–25.

[18] Teli M D, Waghmare N G. Synthesis of superabsorbent from carbohydrate waste[J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 78(3): 492–496.

[19] 马松梅, 柳明珠, 曹丽欲, 等. 丙烯酸盐与丙烯酰胺共聚制备耐盐性高吸水树脂[J]. 功能高分子学报, 2003, 16(4): 502–506.

[20] 陈志龙, 李布青, 王雪原, 等. 辐照法合成农用保水剂(中试 I)[J]. 核农学报, 2012, 26(5): 792–797.

[21] 张秀兰, 栗印环, 孙俊勇, 等. 微波辅助羧甲基纤维素接枝丙烯酸酞胺/膨润土复合保水剂的研究[J]. 非金属矿, 2012, 35(6): 45–48.

充分利用气候资源及指导冬小麦生产提供科学依据。

## 1 材料与方法

本研究所使用的气象观测资料来源于豫东地区 8 个国家气象观测站(永城、夏邑、虞城、商丘、柘城、宁陵、睢县、民权)1991—2015 年的近 25 年气温、降水、日照等观测资料及同期冬小麦生长期土壤水分观测值、冬小麦各发育期观测资料和冬小麦实际产量数据。

采用联合国粮农组织(FAO)的农业生态区域法(AEZ)从农业气候资源角度分析,首先计算光合生产潜力( $Y_Q$ ),再对光合生产潜力进行温度订正得到光温生产潜力( $Y_T$ ),最后对光温生产潜力进行水分因素校正最终得到气候生产潜力( $Y_W$ ),参照熊伟等的方法计算如下<sup>[10-14]</sup>:

$$Y_Q = \sum Q_j \times \varepsilon \alpha (1 - \rho) (1 - \gamma) \Phi (1 - \omega) (1 - \chi)^{-1} H^{-1} S; \quad (1)$$

$$Y_T = Y_Q \times f(T); \quad (2)$$

$$Y_W = Y_T \times f(W)。 \quad (3)$$

式中: $Y_Q$ 为光合生产潜力; $Y_T$ 为光温生产潜力; $f(T)$ 为温度有效系数; $Y_W$ 为气候生产潜力; $f(W)$ 为水分有效系数。

式(1)中, $Q_j$ 为各月总辐射量( $J/m^2$ ),采用逐日辐射模型<sup>[12-14]</sup>推算,研究地区平均取值  $34.26^\circ N, 115.38^\circ E$ ,时间为上一年 10 月 1 日至当年 6 月 30 日; $\varepsilon$ 为光合辐射占总辐射的比例,华北为 0.49; $\alpha$ 为作物群体吸收率, $\alpha = (1 - a - \beta) \times f(L)$ , $a$ 为冬小麦生长季作物群体叶面反射率,平均取值 0.08, $\beta$ 为冬小麦作物群体对太阳辐射的漏射率,取 0.06, $f(L)$ 为叶面积时间变化动态订正函数,取值 0.55; $\rho$ 为冬小麦非光合器官对太阳辐射的无效吸收部分,取 0.1; $\gamma$ 为超过光饱和点的限制率,在自然条件下一般不受光饱和限制,取 0; $\Phi$ 为光合作用量子转化效率,取 0.224; $\omega$ 为冬小麦呼吸消耗占光合产物的比例,温带取 0.3; $\chi$ 为水分和无机灰分含量,根据河南省实际情况取 0.05; $H$ 为形成单位质量干物质所需的能量,等于干物质燃烧热,取 17.2 MJ/kg; $S$ 为经济系数或冬小麦收获指数,取 0.41。

温度有效系数是各月温度影响订正数。由于各种作物生长期对热量的需要不同,故温度订正系数不一致。根据研究表明,冬小麦的温度订正系数为

$$f(T) = \begin{cases} 0 & t < 3^\circ C \\ t/32 & 3^\circ C \leq t < 21^\circ C \\ 2 - t/30 & 21^\circ C \leq t \leq 32^\circ C \\ 0 & t > 32^\circ C \end{cases} \quad (4)$$

式中: $t$ 为冬小麦生长季内各月的平均温度。

作物气候生产潜力( $Y_W$ )是指作物在光、温和自然降水 3 种因子组合条件下的产量潜力,是在有限的降水条件下作物所能实现的最大生产力,又称光温生产潜力或降水生产潜力。它是通过水分校正系数对光温生产潜力( $Y_T$ )修正后获得的,该修正主要是反映水分不足对产量的影响。冬小麦生长季水分有效系数 $f(W)$ 的计算公式为

$$f(W) = \begin{cases} 1 - \frac{|\Delta W_j|}{W_j} & \Delta W_j < 0 \\ 1 & \Delta W_j \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

式中: $\Delta W_j$ 为农田水分盈亏额, $\Delta W_j = R_j - W_j$ , $W_j = K_j E_j$ ; $R_j$ 为

各旬降水量; $W_j$ 为各日作物理论需水量; $\Delta W_j \geq 0$ 时,即降水量能满足玉米生长所需; $K_j$ 为时段内作物需水系数(表 1); $E_j$ 为参考作物蒸散量,采用联合国粮农组织(FAO)1998 年推荐的 Penman - Monteith 模型计算逐日参考蒸散量,然后累加所得。

$$\Delta Y_T = Y_Q - Y_T; \quad (6)$$

$$\Delta Y_W = Y_T - Y_W; \quad (7)$$

$$\Delta Y = Y_T - Y; \quad (8)$$

$$\eta_{(T)} = Y/Y_T。 \quad (9)$$

式中, $\Delta Y_T$ 为温度增产潜力; $\Delta Y_W$ 为水分增产潜力; $\Delta Y$ 为实际增产潜力; $\eta_{(T)}$ 为光热资源利用效率。

表 1 冬小麦各生育期作物需水系数  $K_j$

发育阶段	系数
播种 - 分蘖	0.67
分蘖 - 越冬	0.74
越冬 - 返青	0.64
返青 - 拔节	0.90
拔节 - 抽穗	1.22
抽穗 - 乳熟	1.13
乳熟 - 成熟	0.83

## 2 冬小麦生产潜力的变化

从图 1 可以看出,光合生产潜力受到日照因素的影响最为明显,所以和年日照时数变化非常一致,均是 20 世纪 90 年代初期上升,随后开始明显下降,直到 2005 年前后下降趋势才开始放缓,历年光合生产潜力平均为 25 966.77 kg/hm<sup>2</sup>,气候倾向率为 -974.35 kg/(hm<sup>2</sup> · 10 年),最大值出现在 1994 年,为 27 860.31 kg/hm<sup>2</sup>,最小值出现在 2003 年,为 23 261.82 kg/hm<sup>2</sup>;光温生产潜力的历年平均为 10 017.41 kg/hm<sup>2</sup>,气候倾向率为 676.99 kg/(hm<sup>2</sup> · 10 年),最大值出现在 2014 年,为 13 285.74 kg/hm<sup>2</sup>,最小值和光合生产潜力一样出现在 2003 年,为 7 599.01 kg/hm<sup>2</sup>。气候生产潜力的历年平均为 6 736.29 kg/hm<sup>2</sup>,气候倾向率为 1 227.7 kg/(hm<sup>2</sup> · 10 年),大于光温生产潜力的增加速度,最大值与光温生产潜力一样出现在 2014 年,为 11 722.65 kg/hm<sup>2</sup>,最小值出现在 2001 年仅为 3 387.07 kg/hm<sup>2</sup>,甚至低于同年的实际产量 5 430.00 kg/hm<sup>2</sup>,这主要是由于冬小麦生产灌溉抗旱能力提升的结果。

光温生产潜力代表的是作物在水肥条件处于最适状态时,由光温因素组合所决定的产量水平,反映了最高投入水平下特定作物在 1 个地区的灌溉农田能达到的产量上限。而随着地区平均温度的上升和关键生育期降水的增加,光温生产潜力和气候生产潜力均是一个主体上升的过程,且变化较为一致。

温度增产潜力(即光合生产潜力和光温生产潜力的差值)历年平均为 15 949.36 kg/hm<sup>2</sup>,气候倾向率为 -1 651.3 kg/(hm<sup>2</sup> · 10 年),最大值出现在 1993 年,为 18 855.53 kg/hm<sup>2</sup>,最小值出现在 2012 年,为 12 230.94 kg/hm<sup>2</sup>。水分增产潜力(即光温生产潜力和气候生产潜力的差值)历年平均为 3 281.11 kg/hm<sup>2</sup>,气候倾向率

[ $-550.76\text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{ 年})$ ] 小于温度增产的潜力的倾向率,这也说明温度增高对生产力的贡献高于降水的变化,最大值出现在 2001 年,为  $8\,600.36\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,最小值出现在 2014 年,为  $1\,563.09\text{ kg}/\text{hm}^2$ 。气候的变化中日照减少、温度上升和关键期降水的增加,造成光合生产潜力主体下降及光温生产潜力与气候生产潜力主体上升,温度增产潜力和水分增产潜力均在波动下降。

随着科技和经济的发展,自然降水和土壤肥力的约束条件已经越来越弱,甚至出现了实际产量大于气候生产潜力的情况,因此使用冬小麦实际产量与光温生产潜力的差值代表

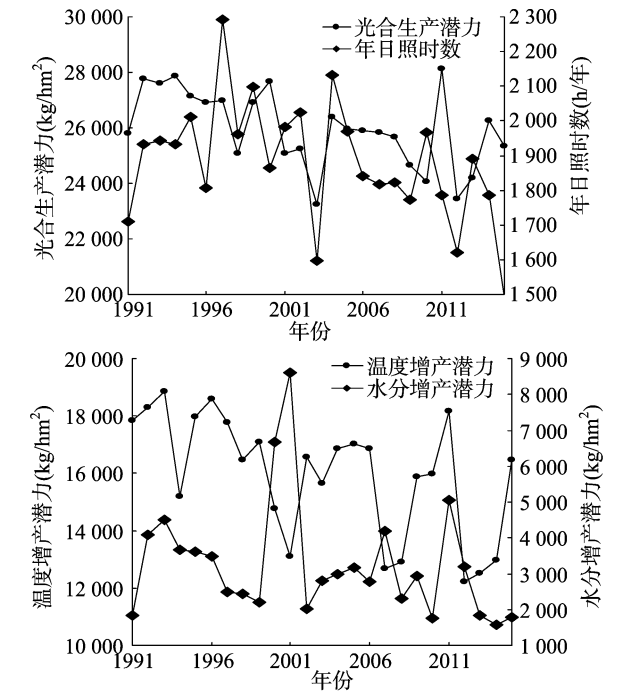
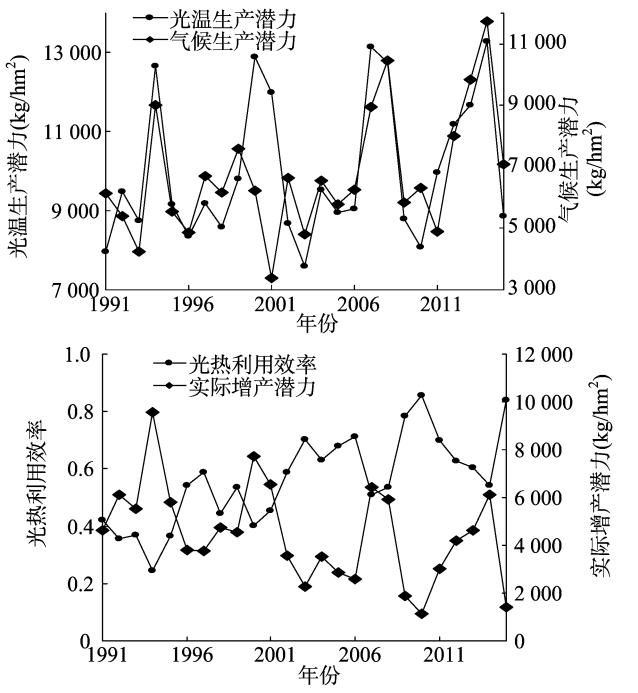


图1 冬小麦生产潜力及产量相关系数变化趋势

从“1”节公式中可以看出,光温生产潜力的高低是由光照和热量 2 个因素共同决定的。气候生产潜力不仅与光照和热量条件有关,更重要的是取决于作物生育期的自然降水对作物需水的满足程度,但与全年降水的变化并不必然相关

实际增产潜力,从而进行相关研究也变得更有意义。

实际增产潜力历年平均为  $4\,495.43\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,气候倾向率为  $-1\,213.3\text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{ 年})$ ,最大值出现在 1994 年,为  $9\,558.32\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,最小值出现在 2010 年,为  $1\,149.47\text{ kg}/\text{hm}^2$ 。从图 1 可以看出,光热资源利用效率(实际产量与光温生产潜力的比值)和实际增产潜力位相镜像相反,特别是在 2010 年已达 0.857 7。由此可知,实际产量的提高速度已经超过了光温生产潜力的提高速度,造成了光热资源利用效率的不断上升和实际增产潜力的逐渐下降。



(表 2、表 3)。对水资源不足地区的旱地农田作物而言,气候生产潜力反映了现阶段某地区最大的生产能力,具有很大的现实生产价值,但是灌溉农田中气候生产潜力则有较大的局限性。

表 2 气象要素和生产潜力的相关分析

项目	相关系数					
	光能生产潜力	光温生产潜力	气候生产潜力	年日照时数	年降水量	年平均气温
光能生产潜力	1	0.164	-0.116	0.387	-0.110	-0.197
光温生产潜力	0.164	1	0.641 **	-0.023	-0.146	0.447 *
气候生产潜力	-0.116	0.641 **	1	-0.100	-0.197	0.652 **
年日照时数	0.387	-0.023	-0.100	1	-0.207	0.151
年降水量	-0.110	-0.146	-0.197	-0.207	1	-0.130
年平均气温	-0.197	0.447 *	0.652 **	0.151	-0.130	1

注:“\*\*”表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关,“\*”表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。表 3 同。

通过表 4 分析可知,光照资源对作物生产而言是充裕的(光合生产潜力平均值为  $25\,966.77\text{ kg}/\text{hm}^2$ ),热量条件则成为决定灌溉农田最高生产力水平的主要因素。按照冬小麦气候生产潜力概算模式得出豫东冬小麦气候生产潜力值变化,其平均值为  $6\,736.29\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,这与实际产量  $5\,521.98\text{ kg}/\text{hm}^2$  仅相差 20% 左右,甚至在部分年份由于抗旱浇水的原因实际

产量已经大于气候生产潜力。

3 未来气候变化对豫东地区冬小麦生产影响

随着气象要素的变化,气候生产潜力将随之波动。温度与降水是 2 个主要因素量,由于这两者的变化在时空上是同时发生的,结合相关研究,依据年均温度上升或下降 3、2、

表 3 生产潜力和增产潜力的相关分析

项目	相关系数			
	光合潜力	光温潜力	气候潜力	实际单位产量
温度增产潜力	0.518 **	-0.759 **	-0.632 **	-0.538 **
水分增产潜力	0.326	0.339	-0.505 *	-0.203
光合利用效率	-0.617 **	0.21	0.392	0.984 **
光热利用效率	-0.557 **	-0.366	-0.022	0.790 **
气候利用效率	-0.276	-0.202	-0.553 **	0.479 *
实际增产潜力	0.489 *	0.718 **	0.288	-0.485 *

表 4 冬小麦逐年各级生产潜力和实际单产 kg/hm<sup>2</sup>

年份	光能生产潜力	光温生产潜力	气候生产潜力	实际单位产量
1991 年	25 814.01	7 977.23	6 131.68	3 354.65
1992 年	27 786.01	9 487.09	5 395.46	3 380.06
1993 年	27 612.89	8 757.37	4 249.37	3 222.22
1994 年	27 860.31	12 668.94	9 005.09	3 110.62
1995 年	27 146.76	9 159.56	5 543.53	3 345.00
1996 年	26 933.56	8 347.16	4 851.91	4 537.92
1997 年	26 982.34	9 190.03	6 705.72	5 409.66
1998 年	25 072.17	8 586.89	6 158.78	3 825.00
1999 年	26 903.82	9 814.02	7 600.72	5 265.00
2000 年	27 673.78	12 891.94	6 230.85	5 175.00
2001 年	25 078.19	11 987.42	3 387.07	5 430.00
2002 年	25 230.54	8 675.78	6 647.33	5 100.00
2003 年	23 261.82	7 599.01	4 792.67	5 340.00
2004 年	26 385.71	9 532.45	6 537.84	6 000.00
2005 年	25 974.97	8 947.73	5 770.53	6 075.00
2006 年	25 907.77	9 038.98	6 254.74	6 435.00
2007 年	25 824.62	13 155.04	8 957.81	6 720.00
2008 年	25 659.60	12 763.73	10 460.42	6 855.00
2009 年	24 668.85	8 785.60	5 846.44	6 900.00
2010 年	24 069.25	8 079.47	6 326.47	6 930.00
2011 年	28 125.77	9 960.82	4 905.78	6 958.50
2012 年	23 431.81	11 200.87	8 003.82	7 014.00
2013 年	24 182.09	11 673.72	9 842.13	7 042.50
2014 年	26 249.31	13 285.74	11 722.65	7 186.98
2015 年	25 333.24	8 868.55	7 078.54	7 437.31

1℃,年降水量上升或下降 30%、20%、10% 等条件设定未来气候变化的 49 种可能趋势,进而得出研究地区冬小麦的作物气候生产潜力( $Y_w$ )变化百分率(表 5)。

首先假定温度恒定,冬小麦的气候生产潜力( $Y_w$ )值与降水量的变化为正响应;当假定降水量恒定时,冬小麦的气候生产潜力( $Y_w$ )值与温度的变化同样为正响应;但两者相比较, $Y_p$  值对降水量的变化响应更为明显。在温度与降水量 2 个要素协同变化时,若气温抬升 1℃,年降水量增幅 10%、20%、30%,则冬小麦的作物气候生产潜力( $Y_w$ )值在平均值 6 736.29 kg/hm<sup>2</sup> 的基础上相应增加 6.8%、10.5%、13.7%,说明“暖湿型”气候有利于冬小麦产量的提高,但  $Y_w$  值并非随着降水增加而均匀上升;在气温抬升 1℃,年降水量下降 10%、20%、30% 情况下, $Y_w$  值分别减小 2.6%、8.4%、15.3%,减少差值分别为 5.8、6.9 百分点,这说明“暖干型”气候下,水分的不足将造成生产力加速下降;在温度下降 1℃、年降水量增加的“冷湿型”气候时, $Y_w$  值最大增加 7.0%,说明在“冷湿型”气候,冬小麦对水分的利用并不显

著,产量增幅不明显;而当温度和年降水量同样减少的情况下, $Y_w$  值则大幅度下降,故“冷干型”气候变化对该地区冬小麦最为不利(表 5)。

表 5 不同气温和降水变化下气候生产潜力变化百分率

气温变幅 (℃)	降水量变幅(%)						
	-30	-20	-10	0	10	20	30
-3	-21.6	-16.2	-11.7	-8.0	-4.9	-2.3	-0.1
-2	-19.8	-14.1	-9.3	-5.3	-1.9	1.0	3.4
-1	-18.2	-12.1	-6.9	-2.6	1.1	4.3	7.0
0	-16.7	-10.2	-4.7	0	4.0	7.4	10.4
1	-15.3	-8.4	-2.6	2.4	6.8	10.5	13.7
2	-13.9	-6.8	-6.0	4.8	9.4	13.4	16.8
3	-12.7	-5.2	1.3	6.9	11.8	16.1	19.9

但是考虑在灌溉农田中因为灌溉可以弥补降雨的不足,所以气候生产潜力则有较大的局限性,特别是考虑随着未来经济发展,农业投入势必继续增加,灌溉条件会进一步加强,所以可以忽略降雨的变化。热量条件则成为决定该区域最高生产力水平的主要因素,所以分析光温生产潜力在未来的变化,则变得很有必要。

根据秦大河等相关专家对中国未来气候变化的预测<sup>[15-21]</sup>、申双和等相关专家对气候变化情景下黄淮海冬麦区农业气候资源估算<sup>[22-23]</sup>,黄淮海冬麦区年平均温度总体呈上升趋势,降水量空间上由南向北先减少后增加,日照时数均随时间逐渐减少。而在 21 世纪研究地区冬小麦作物气候生产潜力( $Y_w$ )值的变化情况见表 6。到 21 世纪 20 年代,如温度和降水量有 1.5℃和 2.5%左右提升,将会使  $Y_w$  值增加 5.2%左右, $Y_T$  值增加 4.7%左右;21 世纪中期,温度将继续稳定升高,降水量增加速度放缓,但  $Y_w$  值上升趋势依旧明显,增加 10.4%左右, $Y_T$  值较小,增加 5.4%左右;21 世纪末期,温度维持较大增幅,降水量稳定略增, $Y_w$  值的增幅仅为 11.4%左右(增加 1%),而  $Y_T$  值则大幅增加到 9.3%左右(增加 3.9%)。由此可见,在 21 世纪气候上整体向“暖湿型”变化的情况下,研究地区冬小麦光温生产潜力和气候生产潜力均会维持增加,有利于豫东地区冬小麦产量的提高。

表 6 未来气候的预测结果及作物气候生产潜力( $Y_w$ )的可能增幅

年份	气温波动 (℃)	降水波动 (%)	气候生产力增幅 (%)	光温生产力增幅 (%)
2020	1.3~2.1	2~3	4.08~6.44	4.53~4.90
2030	1.5~2.8	5~7	5.92~9.96	4.63~5.46
2050	2.3~3.3	7~9	8.78~12.07	4.99~5.72
2100	3.9~6.0	7~9	9.93~12.91	6.04~12.55

#### 4 农业生产建议

在面对 21 世纪气候上整体向“暖湿型”变化的未来,可以提出以下农业生产建议<sup>[18-22]</sup>:(1)进一步加大对农业生产的投入,加快高标准粮田建设,稳步扩大农田有效灌溉面积,提高农业的装备水平,切实提高农业综合生产能力,改善农业生态环境,不断提高对气候变化的应变能力和抗灾减灾水平,确保农业特别是粮食生产持续健康发展。(2)目前,灌溉仍然是保障粮食安全生产的重要手段<sup>[24]</sup>。旱地冬小麦需水量

的 50% 左右是靠土壤蓄水满足中后期冬小麦的需求。因此,最大限度地蓄保冬小麦生长期外的自然降水,就成为旱地冬小麦高产的潜力所在。通过秸秆覆盖保水或冬小麦覆膜技术增加土壤保水能力,在大旱之年应积极推广旱地龙、抗旱保水剂等拌种。追肥时,应于早春土壤返浆时,趁墒开沟追施。(3)选育抗逆品种,采用稳产增产技术。针对未来气候变化对农业的可能影响,分析未来光、温、水资源重新分配和农业气象灾害的新格局,改进作物品种布局,有计划地培育和选用抗旱、抗涝、抗高温和低温等抗逆品种,采用防灾抗灾、稳产增产的技术措施,预防可能加重的农业病虫害。(4)加强农作物病虫害防控<sup>[25]</sup>,预防气候变化下病虫害突发态势,气象、农业部门要加强对气候变化情况、病虫害发生趋势等信息的发布工作,及时做好预警、预测,及时准确地为农民提供气象、灾害信息,提高农民的防灾、抗灾能力。(5)规范土地经营权流转,提高土地规模化经营水平。健全农村土地承包经营权流转市场,加强农村土地承包经营权流转管理服务,进一步提升农业适度规模经营水平。鼓励农民专业合作社、农业产业化龙头企业、家庭农场等农业经济组织参与农业生产,加快农业规模化、集约化、机械化、现代化发展速度。解决当前农业生产存在劳动力紧张、劳动力素质低、对农业新成果和新技术接受能力低等制约现代农业发展的问题,提高生产单体抵御气象灾害的能力。

## 5 结论

随着耕植传统改进、经济投入和技术水平大幅提升,实际产量已达  $5\,521.98\text{ kg/hm}^2$ ,这与气候生产潜力仅相差 20% 左右,有些年份甚至反超。自然降水和土壤肥力的制约条件已经越来越弱,相对于充裕光照资源而言,热量条件则成为决定灌溉农田最高生产力水平的主要因素。

在 21 世纪气候上整体向“暖湿型”变化的情况下,研究地区冬小麦光温生产潜力和气候生产潜力均会维持增加,有利于豫东地区冬小麦产量的提高。

建议进一步加大对农业生产的投入,加快高标准粮田建设,稳步扩大农田有效灌溉面积;通过秸秆覆盖保水或冬小麦覆膜技术增加土壤保水能力;培育和选用抗旱、抗涝、抗高温和低温等抗逆品种;加强气候变化下农作物突发病虫害防控;规范土地经营权流转,提高土地规模化经营水平,提升生产单体应对气候变化的能力。

## 参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [2] 李昊宇. 冬小麦气候适宜度及其应用研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2012.
- [3] 秦大河. 气候变化的事实影响及我国的对策[J]. 外交学院学报, 2004(3): 14–22.
- [4] 李昊宇. 气候适宜度在华北冬小麦发育期预报中的应用[J]. 气象, 2012, 38(12): 1554–1559.
- [5] 宋秋洪, 千怀遂, 俞 芬, 等. 全球气候变化下淮河流域冬小麦气候适宜性评价[J]. 自然资源学报, 2009, 24(5): 890–897.
- [6] 林而达, 王京华. 我国农业对全球变暖的敏感性、脆弱性和脆弱性[J]. 农村生态环境, 1994, 10(1): 1–5.
- [7] 郝立生, 闵锦忠, 张文宗, 等. 气候变暖对河北省冬小麦产量的影响[J]. 中国农业气象, 2009, 30(2): 204–207.
- [8] 段金省. 气候变暖对陇东塬区冬小麦成熟期的影响与适宜收获期预报[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1): 158–161.
- [9] 朱新玉, 张竟竟, 赵文亮, 等. 河南省商丘市气候变化对玉米产量的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(11): 2198–2200.
- [10] 熊 伟, 居 辉, 许吟隆, 等. 气候变化下我国小麦产量变化区域模拟研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 164–167.
- [11] 谢 云. 中国粮食生产对气候资源波动响应的敏感性分析[J]. 资源科学, 1999, 21(6): 13–17.
- [12] 赵俊芳, 郭建平, 马玉平, 等. 气候变化背景下我国农业热量资源的变化趋势及适应对策[J]. 应用生态学报, 2010, 21(11): 2922–2930.
- [13] 魏瑞江, 张文宗, 李二杰. 河北省冬小麦生育期气象条件定量评价模型[J]. 中国农业气象, 2007, 28(4): 367–370.
- [14] 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.
- [15] 秦大河. 气候变化的事实与影响对策[J]. 中国科学基金, 2003, 17(1): 1–3.
- [16] Wang F T. Impacts of climate change on cropping system and its implication for China[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1997, 11(4): 407–415.
- [17] 房世波, 谭凯炎, 任三学, 等. 气候变暖对冬小麦生长和产量影响的大田实验研究[J]. 中国科学地球科学中国科学地球科学, 2012(7): 1069–1075.
- [18] 张百战, 吕 翔, 孙 磊. 气候变暖对冬小麦播种期和越冬春化阶段的影响及对策[C]. 中国气象学会年会, 2011.
- [19] 徐玉花. 浅析豫东地区气候变化对农业生产的几点影响[J]. 科技创新导报, 2010(28): 134.
- [20] 邓振镛, 王 强, 张 强, 等. 中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施[J]. 生态学报, 2010, 30(22): 6278–6288.
- [21] 张明捷, 王运行, 赵桂芳, 等. 濮阳冬小麦生育期气候变化及其对冬小麦产量的影响[J]. 中国农业气象, 2009, 30(2): 223–229.
- [22] 申双和, 褚荣浩, 吕厚荃, 等. 气候变化情景下黄淮海冬麦区降水量及其适宜度变化分析[J]. 中国农业气象, 2015, 36(4): 454–464.
- [23] 褚荣浩, 申双和, 吕厚荃, 等. 气候变化情景下黄淮海冬麦区农业气候资源变化特征[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(26): 1–10.
- [24] 刘腾谣, 吴 玲. 我国粮食生产区域变化特征及影响因素分析[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(4): 548–551.
- [25] 陈光绒, 李小琴. 基于物联网技术的农作物病虫害自动测报系统[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(4): 406–410.
- [26] 张 丹, 丁胜利. “四化同步”与土地流转机制研究[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(3): 496–500.