

淮河流域水稻的气候适宜度及其变化趋势分析

俞 芬, 千怀遂, 段海来

(广州大学地理科学学院, 广东 广州 510006)

摘要: 淮河流域 40 个县(市)区水稻日照适宜度、降水适宜度与气候适宜度均呈下降趋势。分析淮河流域水稻温度、降水、日照和气候适宜度的区域差异, 将淮河流域分为最适宜区、适宜性区、次适宜区。综合降水、日照、温度三因素, 将淮河流域水稻气候适宜度分为分成淮北最适宜区、淮南最适宜区、淮河沿岸适宜区和西部山地次适宜区, 分析各区水稻适宜度年际变化规律, 结果表明: 各区的水稻气候适宜度均呈逐渐下降趋势。

关 键 词: 气候变化; 适宜度; 水稻; 淮河流域

中图分类号: S162.5⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2008)04-0537-06

气候变化对农业的影响问题是国内外研究的焦点问题之一。气候变化下农业的稳定性和可持续性为各国政府和人民关心及农业可持续发展的关键问题^[1]。

淮河流域位于中国东部, 是中国重要的农业生产基地。它地处中国南北方气候过渡带, 与秦岭山脉构成了中国的南北物候分界线, 淮河以北属暖温带, 淮河以南属北亚热带。该界线随气候变化而发生的南北摆动必然给本区农业带来风险。据研究^[2~14], 该区随着气候变暖, 水分供需差额增大, 是中国重要的气候变化敏感区。

因此, 结合已有的研究^[15~18], 应用生态适宜度理论和方法, 建立适宜度模型, 定量地研究淮河流域水稻适宜度对气候变化的响应, 不但可以拓展生态位适宜度理论的应用领域, 而且对淮河流域水稻生产的高产、稳产和持续发展具有重要的现实价值和深远的战略意义^[19, 20]。

1 资料和方法

过渡性的气候特征决定了淮河流域既有以水稻为主一年两熟或二年三熟的亚热带气候环境, 也有以旱作为主一年两熟或二年三熟的暖温带气候条件, 根据丁颖分类^[21], 该区淮河以北属华北单季稻作带, 淮河以南属华中双单季稻作带, 本文以中熟品种一季杂交籼稻(4月中下旬播种, 9月上中

旬收获, 生育期 140 d 左右)为例, 对整个流域水稻的气候适宜度进行分析。

根据马树庆的研究^[23], 温度适宜度可用下式计算:

$$S(T) = \frac{[(T - T_1)(T_2 - T)]^B}{[(T_0 - T_1)(T_2 - T_0)]^B} \quad (1)$$
$$B = \frac{(T_2 - T_0)}{(T_0 - T_1)}$$

式中, T 是某一时段(某旬或某生育期)的平均气温, T_1 , T_2 , T_0 分别是水稻在该时段内生长发育的下限温度、上限温度和最适温度。

本文以淮河以南地区水稻各生育期正常生长的需水量(由颍上八里河灌溉试验站 1982 年资料改制而成)作为淮河流域水稻需水量的适宜水量标准, 按照蒋定生的作物产量与降水量关系曲线图^[16], 认为可以用下式计算降水适宜度:

$$S(R) = \begin{cases} R/R_0 & R < R_0 \\ R_0/R & R \geq R_0 \end{cases} \quad (2)$$

式中, R 表示某旬天然降水量(mm); R_0 表示作物生理需水量(mm); 当 R 略大于 R_0 , 且完全可被土壤贮存接纳时, 可认为 $S(R) \approx 1$ 。

本文以日照时数达可照时数的 70% (日照百分率)为临界点, 认为日照百分率达到 70% 以上, 水稻对光照条件的反应即达到适宜状态。基于这种理解, 光照适宜度函数可用下式表示^[11]:

$$S(s) = \begin{cases} e^{-I(s-s_0)/2} & s < s_0 \\ 1 & s \geq s_0 \end{cases} \quad (3)$$

收稿日期: 2007-10-15 修订日期: 2008-02-08

基金项目: 国家自然科学基金“基于生态适宜度理论的淮河流域农业气候风险评估”(40771033)资助。

作者简介: 俞 芬(1982-), 女, 浙江湖州人, 硕士研究生, 主要从事全球气候变化和地理信息系统应用等方面的研究。E-mail: hefyufen@126.com

式中, S 表示实际日照时数(小时), S_0 表示日照百分率为 70%的日照时数, b 为常数(表 1)。

表 1 水稻各生育期温度、日照、降水模型参数						
Table 1 Temperature, precipitation, sunshine model index of different growth stages of rice						
生育期	T_1	T_0	T_2	S_0	b	R_0
幼苗期(4月中旬至5月中旬)	10℃	21℃	40℃	9.53	5.14	44.9
分蘖期(5月下旬至6月上旬)	12℃	25℃	35℃	9.05	5.04	63.6
拔节孕穗期(7月上旬至7月旬)	15℃	27.8℃	40℃	8.95	4.83	59.3
抽穗开花期(7月下旬至8月上旬)	18℃	26.3℃	35℃	8.35	4.50	77.3
灌浆成熟期(8月中旬至9月下旬)	13℃	23℃	35℃	7.61	4.10	41.8

资料来源: T_0 、 T_1 、 T_2 来源于文献[16]; S_0 和 b 取自文献[18]; R_0 参考 http://data.ahnw.gov.cn/huoshan/Content.aspx?ID=320&Class_ID=9

根据水稻各生育阶段的 S_0 、 b 和 T_0 、 R_0 值, 各生育期温度、降水、日照适宜度可以由模型求出, 首先计算各旬适宜度, 然后求某生育期总适宜度, 最后, 利用算术平均法求得全生育期的总适宜度(S), $S = [S(T) + S(P) + S(S)] / 3$

本文遵循均匀分布的原则, 在全区域内选择了 40 个气象站, 选取它们 1960~ 2005 年逐旬降水量、旬均温和旬光照时数资料及 1980~ 2005 年山东省济宁、定陶、日照等 10 个县(市)逐年水稻单产。这些资料分别来于中国气象局和山东统计年鉴。根据水稻影响因子的组成特点, 把水稻产量分解为趋势产量和气候产量。用正交多项式拟合趋势产量, 与实际产量对比得到气候产量。在此基础上用 SPSS 软件将其气候适宜度与气候产量做相关分析, 置信度 $\alpha = 0.05$ 水平上通过了显著性检验。表明本文设计的水稻气候适宜度模型能客观反映淮河流域气候适宜性水平及其动态变化, 所以可以用之进行淮河流域水稻气候适宜性评估。

2 结果与分析

2.1 淮河流域水稻气候适宜性季节变化及关键气候因子分析

利用 40 个站点逐旬气象数据计算淮河流域水

稻多年平均温度、降水、日照适宜度(图 1)。流域多年平均气温 11.8~ 16.0℃, 无霜期 200~ 250 d, 实际日照时数平均在 2 000~ 2 650 h, 光照时间比较充足^[24]。所以光热资源较为适宜, 基本满足水稻的生长需要。由图 1 可见, 降水是水稻生产的主要限制因子, 其适宜度在 0.4 上下波动; 分蘖期降水适宜度较小, 仅 0.2 左右, 这是由于淮河流域春季(3~ 5 月)是年内降水量最少的季节, 降水量仅为 90~ 300 mm。水稻对水分的要求十分严格, 分蘖和幼穗分化期是它一生中需水量最大的时期, 若水分不足, 极易造成减产。相对而言, 7 月降水适宜度较高, 在 0.45 左右, 这是由于此阶段是幼穗分化期, 需水量较多, 而 7 月是淮河流域全年降水量最多的月份, 降水相对充足。因此出苗期和分蘖期的降水成为了水稻生产关键气候因子。

2.2 淮河流域水稻气候适宜性年际变化

由图 2 可见, 淮河流域水稻全生育期气温、光照及综合适宜度均在 0.6 以上, 降水适宜度较低, 在 0.4 左右波动, 温度适宜度较高, 在 0.9 左右, 总适宜度在 0.7 左右波动。日照适宜度、降水适宜度与气候适宜度均呈现逐渐下降的趋势, 分别以为 0.029、0.005 和 0.009/10 a 的速率降低。其中 20 世纪 80 年代中期以来的下降趋势更加明显; 温度

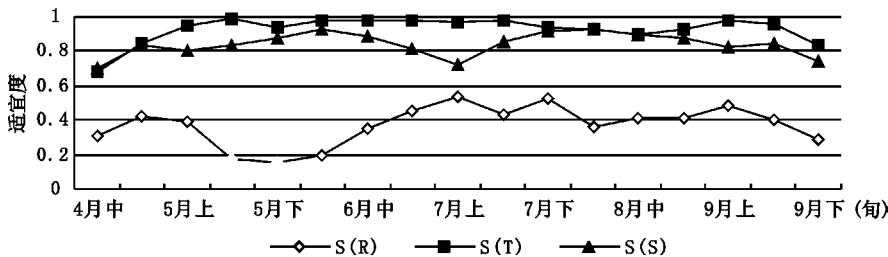


图 1 淮河流域水稻温度、日照、降水适宜度年变化

Fig 1 Annual change of temperature, precipitation, sunshine suitability in Huaihe Watershed

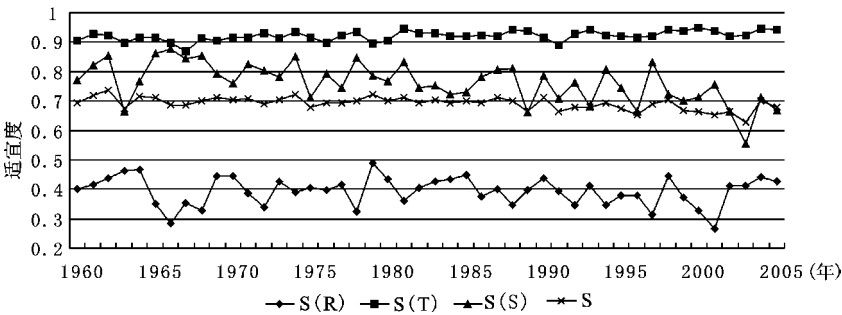


图 2 淮河流域水稻全生育期适宜度年际变化

Interannual change of climate suitability during the whole growth stage of rice in Huaihe Watershed

适宜度是以 0.006/10 a 的速度升高。可见,近年来全球气候变化影响下的淮河流域降水和日照的变化对水稻生长发育产生的负效应正在进一步增强,这在一定程度上增加了本区域粮食生产的风险。

2.3 淮河流域水稻适宜度分区

本文利用聚类分析将全生育期温度、降水、日照和气候的适宜度各自分为 3 类,用 ArcGIS 对各适宜度进行插值分析,并按地理位置的邻近性进行

地域上的合并,将淮河流域划分为次适宜区、适宜区和最适宜区 3 个区,如图 3~6 所示。

1) 降水适宜度分区。由图 3 可见,其适宜度分布状况大致是由南向北递减,山区大于平原,沿海大于内陆,与降水的空间分布大致相符。其中较适宜与适宜区分界线与降水量 800 mm 等值线(西起伏牛山北部,经叶县-周口-亳州-徐州到沂蒙山地北坡)基本吻合。

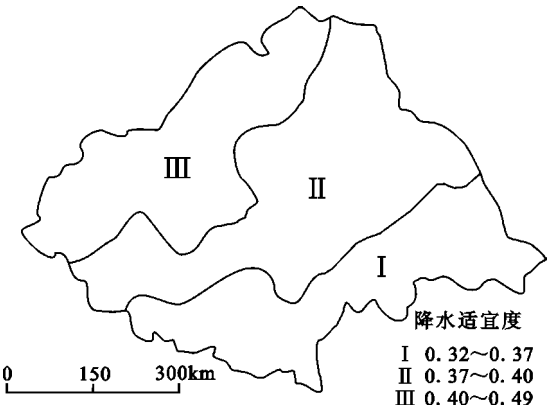


图 3 淮河流域水稻降水适宜度分区

Fig 3 Types of precipitation suitability in Huaihe Watershed

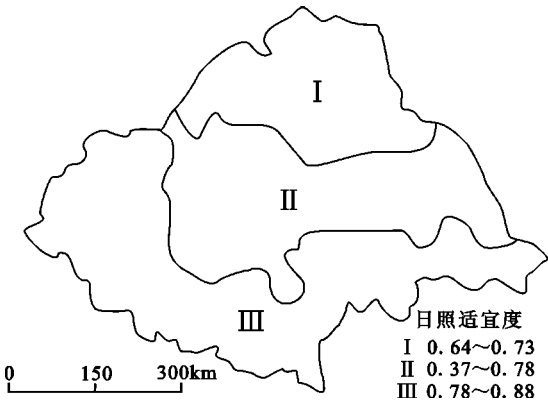


图 4 淮河流域水稻日照适宜度分区

Fig 4 Types of sunshine suitability of rice in Huaihe Watershed

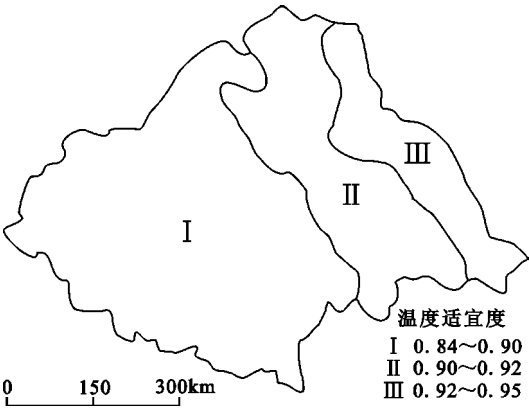


图 5 淮河流域水稻温度适宜度分区

Fig 5 Types of temperature suitability of rice in Huaihe Watershed

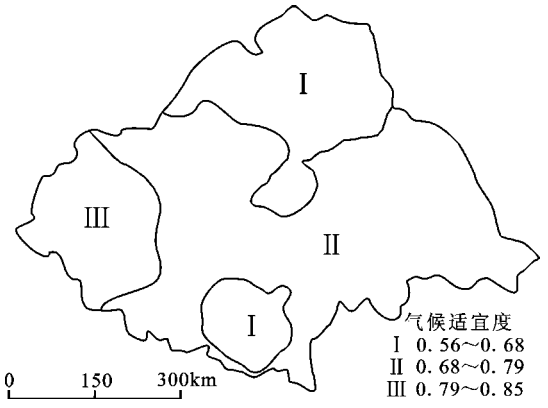


图 6 淮河流域水稻气候适宜度分区

Fig 6 Types of climatic suitability of rice in Huaihe Watershed

①最适宜区(I)。主要是流域的南部和西部山区,降水适宜度在0.32~0.37之间。该区有三个降水量适宜度高值区,一是伏牛山区,二是大别山区,三是下游近海区;②适宜区(II)。主要是河南东南部,安徽中部和江苏北部,降水适宜度在0.37~0.40之间,该区降水稳定,季节变化不明显,对作物生长较有利;③次适宜区(III)。大致在降水量800 mm等值线以北,降水适宜度在0.40~0.49之间,该区降水季节变化大,降水相对少。安徽池河-洛河上游河谷地带为适宜度相对低值区。

2)日照适宜度分区。由图4可见,日照适宜度区域变化趋势大致是由南而北增加,区域过渡性较显著,这与实际日照时数的区域变化规律基本相符^[25]。

①最适宜区(I)。主要是淮河以北包括菏泽-济宁-泰安一带,日照适宜度在0.78~0.88之间,该区全年日照时数高达2500~2600 h,光照适宜度和日照时数有显著的正相关关系,可见光照相对充足的地区,其光照适宜度就越高;②适宜区(II)。主要是平原地区的南部泰州-盱眙-蚌埠一带和沂蒙山区临沂、阴蒙等地,日照适宜度均在0.73~0.78之间,该区全年日照2200~2300 h,本区光照资源较好,基本能满足作物生长的要求;③次适宜区(III)。主要是淮河以南包括伏牛山、大别山等山区,适宜度在0.64~0.73之间,其中霍山桐城一带日照适宜度最低,平均在0.65左右。该区全年日照仅2000~2100 h,在拔节孕穗期和抽穗开花期,光照时数及强度降低,光照资源不能达到作物正常生长的要求,易受寡照危害。

3)温度适宜度分区。由图5可见,温度适宜度由西向东依次降低,其适宜度均较高,区域差异不明显。

①最适宜区(I)。主要是分布在流域的中西部地区。温度适宜度在0.92~0.95之间,包括河南东南部,安徽大部,江苏西部,山东定陶一带;②适宜区(II)。主要分布在洪泽湖,高邮湖一带,温度适宜度在0.9~0.92之间,沿徐州-滁州-盱眙-南京一带,还有山东沂蒙山区及菏泽-济宁一带;③次适宜区(III)。主要分布在东部沿海一带,温度适宜度在0.84~0.90之间,主要包括江苏的东部沿海,山东的东北部,沿沂源-日照-连云港-盐城-南通一带。

4)气候适宜度分区。由图6可见,可以将淮

河流域水稻气候适宜度分成4个区。

①淮北最适宜区(I)。本区包括济宁滨湖稻作区和徐淮稻作区。总适宜度在0.79~0.85之间。稻改初期为一年一熟春稻,到20世纪60年代后期实行麦-稻-绿肥(苗子)两年三作,70年代后期实行麦-稻一年两作两收。该稻区年降水量840~950 mm,集中在7~8月。由图3可见,该区降水适宜度在全流域处于中等偏下水平。但日照和温度适宜度均较高(图4~5)。该区年平均气温13~14℃,≥10℃积温为4500~5000℃,无霜期200~220 d,日平均气温稳定通过20℃,始于5月中旬,终于9月中旬,有利于水稻的出苗和灌浆成熟。水稻安全齐穗期一般为8月25~30日。该区年日照时数为2400~2600 h,为全流域热量最丰富地区,秋季昼夜温差大,有利水稻营养积累。所以综合降水、温度、日照三因素,该区气候适宜度较高;②淮南最适宜区(II)。安徽淮南山地双、单季稻混栽区。双季稻种植比例一般在65%左右,产量较高。该区≥10℃积温高达5000℃以上,山区特点异常突出,北面有大山作天然屏障,北方冷空气难以侵入,是全流域第二个高温区。图5可见,其温度适宜度在0.93~0.95左右,有丰富的热量资源。而且受地形影响降水比较丰富,全生育期保证率80%的降水量1000~1200 mm,降水适宜度均值为0.40~0.49(图3),在整个淮河流域处于较高的水平,对水稻生长非常有利。相较于其它各区,本区最大的有利条件是光热水协调;③淮河沿岸适宜区(III)。包括安徽中北部和江苏大部,介于江淮之间,北边大致以山东为界,西边紧靠河南省。一般实行麦稻一年两作,水稻安全齐穗期9月1~5日。总适宜度在0.68~0.79之间。年平均气温为14~15℃,东北部春温上升比西南部迟,秋温下降较早,年降水量950~1000 mm。该区冬季温和、湿润,夏季炎热、多暴雨。由图3和4可见,日照和降水适宜度在流域内均属于中等水平,光照、降水、日照资源充足基本可以满足水稻的正常生长;④西部山地次适宜区(VI)。主要是位于河南省东南部,地处伏牛山、大别山北面包括桐柏、罗山、固始、商城、新县各县、市的全部。栽培品种以中粳稻为主。总适宜度在0.56~0.68之间。本区年均气温15℃,≥10℃积温为4000~4400℃,年降水量1000~1200 mm,无霜期220 d。该区由于受到春寒和秋季低温的影响,水稻出苗期和灌浆

成熟期的适宜度较低,对水稻生产有较大的限制作用。其中伏牛山区热量资源较差,由于受地形影响,降水较多,且降水不稳定,易旱易涝。尤其是在出苗期和分蘖期,连续的阴雨天气造成光照资源不充足,再加上山区云雾较多,光照资源较水稻生长所需的适宜光照资源少,易受寡照的危害,其日照适宜度在全流域处于较低水平(图4)。

从淮河流域各分区水稻气候适宜度的年际变

化曲线(图7)上可见,淮北最适宜区、淮南最适宜区、淮河沿岸适宜区和西部山地次适宜区平均气候适宜度均在0.5以上。4个区的水稻气候适宜度均呈逐渐下降趋势,分别以为0.016、0.005、0.001和0.003/10 a的速率降低。其中以淮北最适宜区的气候适宜度下降速率最快,可见该区水稻生产受全球气候变化的影响最大,即气候变化对水稻生长发育产生的负效应最大。

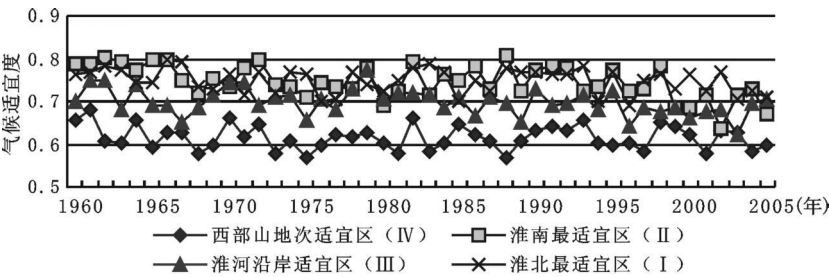


图7 淮河流域各分区水稻气候适宜度年际变化

Fig.7 Interannual climate suitability change of rice in sub-regions of Huaihe watershed

3 结 语

1) 降水量是淮河流域水稻产量的主要限制因子。出苗期和分蘖期的降水成为了水稻生产关键气候因子,播种及出苗前期的倒春寒天气对水稻的生产有显著的限制作用,由于7月是降水最多的月,其阴雨天气影响到光照,所以拔节孕穗期的光照适宜度要低于其它生育期,农业措施必须针对水稻具体发育阶段做出相应调整。

2) 淮河流域水稻日照适宜度、降水适宜度与气候适宜度均呈下降趋势,分别以为0.029、0.005和0.009/10 a的速率降低,温度适宜度以0.006/10 a的速度升高,说明干旱和阴雨天气仍可能成为未来淮河流域水稻生长发育的主要胁迫因子。

3) 淮河流域水稻降水、日照适宜度的区域分布特征与其实降水、日照的空间分布特征基本一致,呈区域过渡性。温度适宜度均较高,地区差异不明显。综合降水、日照、温度三因素,可将气候适宜度分为包括淮北最适宜区、淮南最适宜区、淮河沿岸适宜区和西部山地次适宜区。分析各区适宜度年际变化规律,结果表明:各区水稻气候适宜度均呈逐渐下降趋势。

参考文献:

[1] Watson R T. Climate Change 2001: Synthesis Report[M]. UK:

Cambridge University Press 2001.

[2] 林而达,王京华.我国农业对全球变暖的敏感性分析和脆弱性[J].农村生态环境,1994,10(1):1~5

[3] 王馥棠.近十年来我国气候变暖影响研究的若干进展[J].应用气象学报,2002,13(6):755~766

[4] 郭志梅,缪启龙,李雄.中国北方地区近50年来气温变化特征的研究[J].地理科学,2005,25(4):448~454

[5] 袁玉江,魏文寿,穆桂金.天山山区近40年秋季气候变化特征与南、北疆比较[J].地理科学,2004,24(6):674~679

[6] 杨建平,丁永建,陈仁升,等.亚洲季风与中国干湿、农牧气候界线之关系[J].地理科学,2005,25(4):441~447

[7] 马建华,千怀遂,管华,等.秦岭黄淮平原交界带自然地理若干特征分析[J].地理科学,2004,24(6):666~743

[8] 徐新良,刘纪远,曹明奎,等.近期气候波动与LUCC过程对东北农田生产潜力的影响[J].地理科学,2007,27(3):318~324.

[9] 何云玲,张一平,杨小波.中国内陆热带地区近40年气候变化特征[J].地理科学,2007,27(4):499~505.

[10] 房巧敏,龚道溢,毛睿.中国近46年来冬半年日降水变化特征分析[J].地理科学,2007,27(5):711~717.

[11] 李红军,江志红,魏文寿.近40年来塔里木河流域旱涝的气候变化[J].地理科学,2007,27(6):801~807.

[12] 刘传胜,张万昌,雍斌.基于两种新型景观指数的张掖绿洲植被格局动态研究[J].地理科学,2008,28(1):59~65.

[13] 朱晓禧,方修琦,王媛.基于遥感的黑龙江省西部水稻、玉米种植范围对温度变化的响应[J].地理科学,2008,28(1):66~71.

[14] 杨素英,孙凤华,马建中.增暖背景下中国东北地区极端降水事件的演变特征[J].地理科学,2008,28(2):224~228

[15] 千怀遂,任玉玉,李明霞.河南省棉花的气象风险研究[J].地

理学报, 2006, **61**(3): 319~ 326.

[16] 赵 峰, 千怀遂, 焦士兴. 农作物气候适宜度模型研究[J]. 资源科学, 2003, **25**(6): 77~ 82

[17] 刘青春, 千怀遂, 任玉玉, 等. 河南省棉花的温度适宜性及其变化趋势分析[J]. 资源科学, 2004, **26**(4): 51~ 56

[18] 任玉玉, 千怀遂. 河南省棉花 气候适宜度变化趋势分析[J]. 应用气象学报, 2006 **17**(1): 87~ 93

[19] 路云阁, 李双成, 蔡运龙. 近 40年 气候变化及其空间分异的多尺度研究——以内蒙古自治区为例[J]. 地理科学, 2004, **24**(4): 432~ 438.

[20] 闫敏华, 邓 伟, 陈泮勳. 三江平原气候突变分析[J]. 地理科学, 2003, **23**(6): 661~ 667

[21] 中国水稻研究所. 中国水稻种植区划[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1989.

[22] 马树庆. 吉林省农业气候研究[M]. 北京: 气象出版社, 1994: 32~ 178.

[23] 黄 璜. 中国红黄壤地区作物生产的气候生态适应性研究[J]. 自然资源学报, 1996 **11**(4): 340~ 345.

[24] 王又丰, 张义丰, 刘录祥. 淮河流域农业 气候资源条件分析[J]. 安徽农业科学, 2001, **29**(3): 399~ 403.

[25] 孙汉群. 坡面对全球可照时间影响的解析研究[J]. 地理科学, 2006, **26**(1): 94~ 100

Clim ate Suitability of R ice and Its Changes in Huahe W atershed

YU Fen, Q IAN Hua+Su+ DUAN Ha+Lai

(College of Geographical Science, Guangzhou University, Guangzhou, Guangdong 510006)

Abstract The interannual change of the sunshine suitability, the precipitation suitability and the climate suitability of rice in 40 counties ofHuaihe Watershed are decreasing every year. The article analyzes the difference of the sunshine suitability, the precipitation suitability and the temperature suitability of rice in Huahe Watershed, then divides Huahe Watershed into three sub-regions: the highest suitability region, the suitability region, the low suitability region. Synthesizing the factors of temperature, sunshine and precipitation, the four types of climatic suitability of rice in Huahe Watershed are divided: the north watershed highest suitability region, the south watershed highest suitability region, the central watershed suitability region, the northwest mountainous area low suitability region. Then the article analyses the interannual climate suitability change of rice at these regions. The result shows that the climate suitabilities of rice at these regions are decreasing gradually.

Key words clim ate change, clim ate suitability, rice, Huahe Watershed