

天长市一季稻气候适宜度及其变化特征分析

王德燕 (安徽省天长市气象局, 安徽天长 239300)

摘要 利用1961—2016年天长市光、热、水气候资源和一季稻的生育特点, 分析气象因子对一季稻各生育期的影响, 构建了天长一季稻气候适宜度模型, 探讨气候变暖背景下一季稻气候适宜度演变特征。结果表明, 天长一季稻生育期温度适宜度最大, 日照适宜度次之, 降水适宜度最小, 即一季稻生育期光热资源充沛, 降水量是主要的限制因子; 从平均值来看, 播种—三叶期、拔节—孕穗期及灌浆—成熟期气候适宜度较高, 而移栽—返青期最低; 1961—2016年天长一季稻全生育期气候适宜度略有减小趋势, 气候适宜度年际波动大。

关键词 一季稻; 气候适宜度; 气候学特征; 时间趋势; 天长市

中图分类号 S162.5⁺3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)04-0159-04

Analysis on Climate Suitability and Its Changing Characteristics of Single-season Rice in Tianchang City

WANG De-yan (Meteorological Bureau of Tianchang City, Tianchang, Anhui 239300)

Abstract Based on the climatic resources of light, heat, water in Tianchang City during 1961-2016 and the growth characteristics of single-season rice, the influence of meteorological factors on the growth period of single-season rice was analyzed, the climatic suitability model of single-season rice in Tianchang was constructed, the evolution characteristics of the climate suitability of single-season rice under the background of climate warming were explored. The results showed that the temperature suitability of the growth season of single-season rice was highest, the sunshine suitability was the second, the precipitation suitability was the least, that is, the light and heat resources were abundant during the growth season of single-season rice, and the precipitation was the main limiting factor. From the average point of view, the climatic suitability of sowing-three-leaf stage, jointing-booting stage and filling-maturing stage was higher, while the lowest was in transplanting-returning green stage. The climatic suitability of single-season rice in the whole growth period in Tianchang during 1961-2016 slightly decreased, and the climatic suitability fluctuated greatly from year to year.

Key words Single-season rice; Climate suitability; Climatological characteristics; Time trend; Tianchang City

天长市位于安徽省东部、高邮湖西岸, 地处江淮分水岭(32°27'27"~32°57'56"N, 118°39'19"~119°13'23"E), 东西宽约53 km, 南北长约56 km, 天长市土地总面积1 751.4 km², 耕地面积59 159 hm², 其中水稻是全市主要的农作物, 种植面积为5.7万hm²。天长市地处我国南北气候过渡带, 是气候变化敏感区; 同时气候资源丰富, 具有较高的农业生产潜力。

一季稻是天长市主要粮食作物, 在全省粮食生产中占有重要位置。天长市农业气候资源丰富, 是一季稻栽培气候适宜区域, 受气候过渡地带影响, 尤其是随着全球气候变化, 一季稻生长季节气候风险增大。气候变化对一季稻种植有较大的影响。赖纯佳等^[1]对淮河流域双季稻等进行了不同程度的研究, 但目前对一季稻的气候适宜度研究较少。笔者利用1961—2016年天长市光、热、水气候资源和一季稻的生育特点, 分析了天长市一季稻生育期气候适宜度及其年际变化, 研究影响一季稻生长发育的气候因子, 以期更好地做好气象服务提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源 气象资料选取天长气象台站1961—2016年逐日要素, 包括平均气温、最高气温、最低气温、降水量、日照时数等, 资料来源于安徽省气象档案馆。1961—2016年天长市一季稻产量来源于安徽省农业统计年鉴; 生育期来源于安徽省气象档案馆。

1.2 研究方法

1.2.1 气候产量丰欠指数估算。 影响作物产量的因素较多, 并且各影响因素的变化及其时间尺度不同, 包括人为因

素、气象因素和随机“噪音”三方面, 构成3个产量分量:

$$y = y_t + y_w + y_e \quad (1)$$

式中, y 为作物产量; y_t 为趋势产量, 其值的大小由历年生产技术水平决定; y_w 为气候产量; y_e 为随机“噪音”, 一般忽略不计。气候产量由下式^[2-3]得出:

$$y_w = at + b \quad (2)$$

式中, a 为回归系数, b 为常数项, t 为年份。

区域单产为区域内各市县一季稻总产量和总面积之和的比。根据《农业气象产量预报业务质量考核办法(试行)》增减百分比算法, 结合前人成果构建气候产量丰欠指数:

$$Y = \frac{y_w}{y_t} \times 100\% \quad (3)$$

1.2.2 单要素适宜度模型构建。

1.2.2.1 温度适宜度模型。 为定量分析热量资源对一季稻各生育期生长发育的满足程度, 引入温度条件的反应函数, 根据马树庆^[4]、魏瑞江等^[5]的研究, 建立温度适宜度模型:

$$F(T_{ij}) = \frac{(t_{ij} - t_1) \times (t_2 - t_{ij})^b}{(t_0 - t_1) \times (t_2 - t_0)^b} \quad (4)$$

$$b = \frac{t_2 - t_0}{t_0 - t_1} \quad (5)$$

式中, $F(T_{ij})$ 为第 j 年第 i 生育期温度适宜度, t_{ij} 为第 j 年第 i 生育期平均温度, t_1 、 t_2 、 t_0 分别是对应时期作物生长下限温度、上限温度和平均适宜温度(表1)。拔节—孕穗期、抽穗—开花期若连续10 d出现最高气温 ≥ 35 °C、平均气温 ≥ 30 °C的高温热浪, 气候最不适应, 即 $F(T_{ij}) = 0$ 。

1.2.2.2 降水适宜度模型。 降水是作物水分与土壤水分的主要来源, 作物生长的好坏、产量的高低与降水密不可分。为评价其对一季稻生长的影响, 建立降水适宜度模型:

$$F(R_{ij}) = \begin{cases} R_{ij}/R_0 & R_{ij} < R_0 \\ R_0/R_{ij} & R_{ij} \geq R_0 \end{cases} \quad (6)$$

式中, $F(R_{ij})$ 为第 j 年第 i 生育期降水适宜度, R_{ij} 为第 j 年第 i 生育期降水量, R_0 为对应生育期生理需水量(表1)。分蘖期或拔节—孕穗期若降水量超过 400 mm, 常出现渍涝或内涝, 而期间降水不足 30 mm, 往往遭遇大旱, 气候均为最不适宜, 即 $F(R_{ij}) = 0$; 而抽穗—开花期或灌浆—成熟期遭遇 ≥ 10 d 的连阴雨, 气候最不适宜, 即 $F(R_{ij}) = 0$ 。淮河以南一季稻全生育生理需水折合降水量约 700 mm, 其中播种—三叶期、移栽—返青期、分蘖期、拔节—孕穗期、抽穗—开花期以及灌浆—成熟期生理需水量分别占全年降水量的 14%、15%、

24%、23%、14%、10%。

1.2.2.3 日照适宜度模型。日照是一季稻进行光合作用、提高产量及品质的必要条件。对安徽省而言, 天文日长(日照时数, 即日出与日落时长)的 70% 与当地日照时数多年平均值相当。鉴于此, 建立日照适宜度模型:

$$F(S_{ij}) = \begin{cases} e^{-[(S_{ij}/n - S_0)/b]^2} & S_{ij} < S_0 \\ 1 & S_{ij} \geq S_0 \end{cases} \quad (7)$$

式中, $F(S_{ij})$ 为第 j 年第 i 生育期日照适宜度, S_{ij} 为第 j 年第 i 生育期日照时数, n 为该生育期日数, S_0 为第 i 生育期日平均日照需求的临界值, b 为系数(表1)。

表1 淮河以南一季稻气候适宜度模型各生育期参数值

Table 1 Parameter values of each growth period of the climatic suitability model for single-season rice in the south of Huaihe River

生育期 Growth period	时段 Period	T_1 °C	T_0 °C	T_2 °C	R_0 mm	S_0 h	b
播种—三叶期 Seeding - three-leaf stage	4月下旬—5月下旬	10	25	40	98	9.53	5.14
移栽—返青期 Transplanting - returning green stage	6月上旬—中甸	14	28	35	105	9.05	5.04
分蘖期 Tillering stage	6月下旬—7月上旬	15	30	37	168	9.05	5.04
拔节—孕穗期 Jointing - booting stage	7月中旬—8月上旬	18	27	35	161	8.95	4.83
抽穗—开花期 Heading - flowering stage	8月中旬—下旬	20	30	35	98	8.35	4.50
灌浆—成熟期 Filling - maturing stage	9月上旬—下旬	13	25	32	70	7.61	4.10

1.2.3 权重系数确定。全生育期气候适宜性由各生育期的温度、降水和日照共同组成, 但各生育期影响程度不同。因此, 运用积分回归^[6]及综合加权法, 以明确各生育期温度、降水和日照单个要素适宜度权重系数。以温度适宜度为例, 分别计算逐年生育期温度适宜度与一季稻气候产量丰欠指数的相关系数, 各生育期相关系数的绝对值除以所有生育期相关系数的绝对值的总和, 即为各生育期温度适宜度的权重系数。各生育期温度适宜度乘以对应的权重系数, 然后求和, 得到天长市一季稻全发育期的温度适宜度。其公式为:

$$a_{T_i} = |r_{T_i}| / \sum_{i=1}^6 |r_{T_i}| \quad (8)$$

$$r_{T_i} = \frac{\sum_{j=1}^n F(T_{ij}) \times Y_j - \frac{\sum_{j=1}^n F(T_{ij}) \times Y_j}{n}}{\sqrt{\left\{ \sum_{j=1}^n F(T_{ij})^2 - \frac{[\sum_{j=1}^n F(T_{ij})]^2}{n} \right\} \left[\sum_{j=1}^n Y_j^2 - \frac{(\sum_{j=1}^n Y_j)^2}{n} \right]}} \quad (9)$$

式中, a_{T_i} 表示第 i 生育期温度适宜度的权重系数, r_{T_i} 表示第 i 生育期温度适宜度对气候产量丰欠指数的影响系数, $F(T_{ij})$ 表示第 j 年第 i 生育期温度适宜度, Y_j 表示第 j 年的气候产量丰欠指数, n 表示年序, $n = 56$ 。则第 j 年全生育期温度适宜度可表示为:

$$F(T_j) = \sum_{i=1}^6 a_{T_i} \cdot F(T_{ij}), j \in [1, 56] \quad (10)$$

同理计算一季稻全生育期降水和日照适宜度:

$$F(R_j) = \sum_{i=1}^6 a_{R_i} \cdot F(R_{ij}), j \in [1, 56] \quad (11)$$

$$F(S_j) = \sum_{i=1}^6 a_{S_i} \cdot F(S_{ij}), j \in [1, 56] \quad (12)$$

式中, a_{R_i} 、 a_{S_i} 分别表示各生育期降水、日照适宜度权重系数(表2)。

由表2可见, 温度适宜度在拔节—孕穗期权重最大, 孕穗—开花期次之, 播种—三叶期温度适宜度对产量影响最小; 降水适宜度在移栽—返青期权重最大, 孕穗—开花期次之, 拔节—孕穗期对产量影响最小; 日照适宜度在分蘖期对产量形成最为关键, 拔节—孕穗期次之, 播种—三叶期对产量影响最小。

表2 不同生育期温度、降水及日照适宜度权重系数

Table 2 Weight coefficient of temperature, precipitation and sunshine suitability in different growth stages

生育期 Growth period	a_{T_i}	a_{R_i}	a_{S_i}
播种—三叶期 Seeding - threeleaf stage	0.03	0.19	0.06
移栽—返青期 Transplanting - returning green stage	0.16	0.23	0.20
分蘖期 Tillering stage	0.14	0.16	0.27
拔节—孕穗期 Jointing - booting stage	0.26	0.06	0.22
抽穗—开花期 Heading - flowering stage	0.25	0.21	0.14
灌浆—成熟期 Filling - maturing stage	0.16	0.15	0.12

1.2.4 气候适宜度模型构建。由于温度、降水及日照因子对一季稻生长及产量形成的影响不尽相同, 为了精确评估三者对气候适宜度的不同贡献, 将全生育期温度、降水和日照适宜度综合加权, 得到一季稻全生育期气候适宜度:

$$F(C_j) = W_T \cdot F(T_j) + W_R \cdot F(R_j) + W_S \cdot F(S_j) \quad (13)$$

式中, W_T 、 W_R 、 W_S 分别代表全生育期温度、降水、日照适宜度权重系数。首先计算历年全生育期平均温度、降水、日照适宜度与气候产量丰欠指数相关系数, 根据式(14)得到单要素适宜度对综合气候适宜度的权重贡献 W_T 、 W_R 、 W_S 分别为 0.42、0.38、0.20。可见, 温度适宜度对气候适宜度的综合贡献最高, 是决定一季稻产量的关键因子, 其次降水适宜度, 日

照适宜度权重系数最小。

$$\begin{cases} W_T = \frac{|r_T|}{|r_T| + |r_R| + |r_S|} \\ W_R = \frac{|r_R|}{|r_T| + |r_R| + |r_S|} \\ W_S = \frac{|r_S|}{|r_T| + |r_R| + |r_S|} \end{cases} \quad (14)$$

2 结果与分析

2.1 一季稻生育期气候适宜度基本气候态分布 从图 1a 可以看出,1981—2010 年天长市一季稻生育期温度适宜度最大,日照适宜度次之,降水适宜度最小。表明天长市一季稻生育期热量资源充沛,基本能满足一季稻生长需求,但夏季

尤其是水稻抽穗—开花期,高温热害对产量影响较大;而降水量年际波动大,旱涝灾害频繁,是一季稻生产主要的限制因子。从不同生育来看,温度适宜度均较适宜,以灌浆—成熟期最适宜,而抽穗—开花期常因高温热害及凉夏,适宜度相对较低;降水适宜度播种—三叶期最高,而移栽—返青期最低;日照适宜度拔节—孕穗期最高,而分蘖期相对较低。

变异系数反映适宜度年际间的离散程度。图 1b 显示,1981—2010 年天长市一季稻温度适宜度变异系数最小,日照次之,而降水适宜度最大,这是由于降水年际波动大,尤其是分蘖期易遭受洪涝灾害,而抽穗—开花期出现伏旱,不利于一季稻生长及产量形成。

从平均值(图 2a)来看,播种—三叶期、拔节—孕穗期及

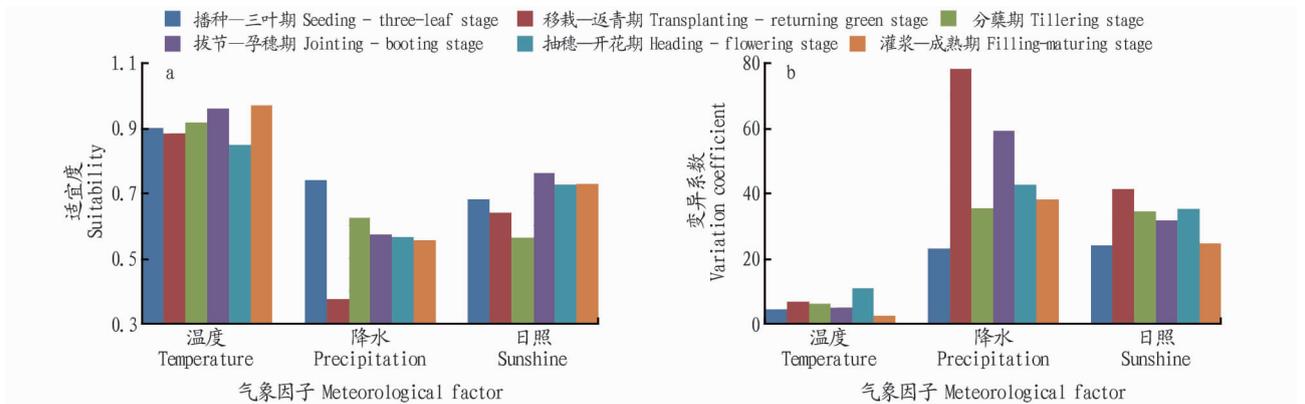


图 1 1981—2010 年天长市一季稻各生育期温度、降水及日照适宜度(a)及其变异系数(b)

Fig. 1 Temperature, precipitation and sunshine suitability (a) and variation coefficient (b) for each growth period of single-season rice in Tianchang City from 1981 to 2010

灌浆—成熟期气候适宜度较高,而移栽—返青期最低。变异系数(图 2b),播种—三叶期最小,而拔节—孕穗期最大,表

明一季稻拔节—孕穗期气候适宜度年际波动大,一季稻生长气候条件不稳定。

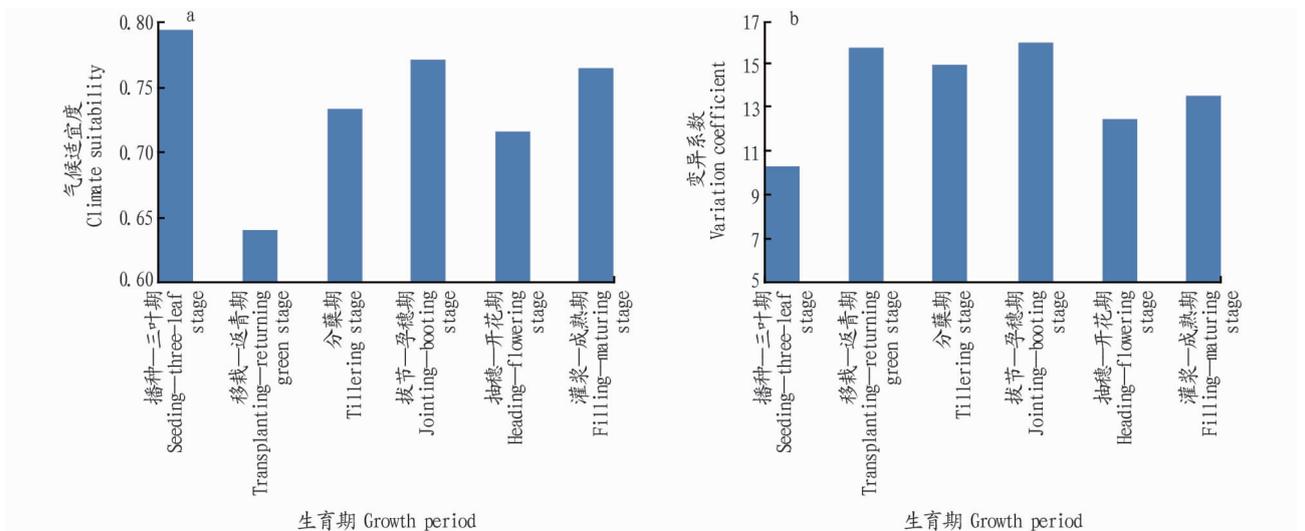


图 2 1981—2010 年天长市一季稻各生育期气候适宜度(a)及其变异系数(b)

Fig. 2 Climate suitability (a) and variation coefficient (b) for each growth period of single-season rice in Tianchang City from 1981 to 2010

2.2 一季稻生育期气候适宜度时间演变趋势 从全生育期来看,1961—2016 年天长市一季稻温度适宜度无明显的线性增减趋势,温度适宜度总体较大(图 3a);降水适宜度呈线性增加趋势,未通过 0.05 的信度检验,其中 2016 年一季稻生育

期发生洪涝灾害,降水适宜度为 1961 年以来最低(图 3b);日照适宜度呈极显著的减小趋势,通过 0.01 的信度检验(图 3c)。

1961—2016 年天长市一季稻全生育期平均气候适宜度

略有减小趋势(通过0.05的信度检验),表明气候变化对一季稻生长的负面影响已经显现;气候适宜度年际波动大,1974、1988年气候适宜度总体较大,有利于一季稻生长;而

2011年以来适宜度总体偏低,其中2016年天长市先后遭遇洪涝及高温干旱灾害,一季稻适宜度为近56年来最差的一年(图3d)。

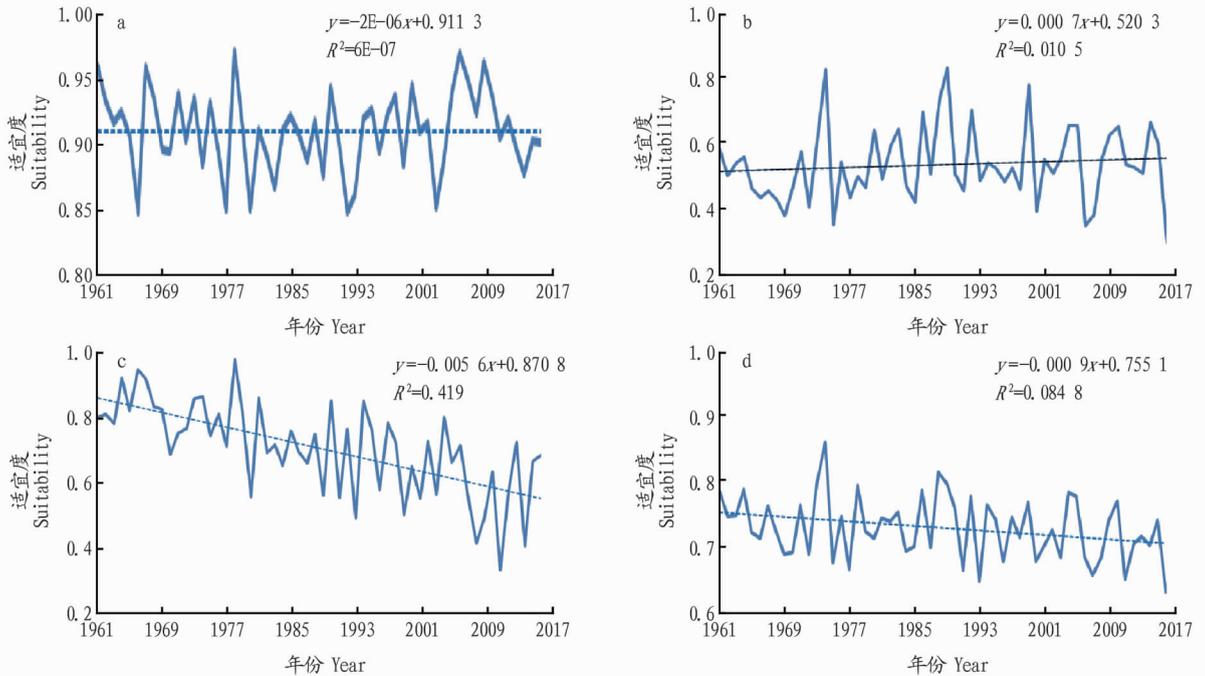


图3 1961—2016年天长市一季稻全生育期温度(a)、降水(b)、日照(c)及气候(d)适宜度变化

Fig. 3 Suitability changes of temperature (a), precipitation (b), sunshine (c) and climate (d) in the whole growth period of single-season rice in Tianchang City from 1961 to 2016

3 结论与讨论

(1) 天长市一季稻生育期气候适宜度基本特征:一季稻生育期温度适宜度最大,日照适宜度次之,降水适宜度最小;表明天长市一季稻生育期热量资源充沛,基本能满足一季稻生长需求;而降水量是一季稻生产主要的限制因子。从平均值来看,播种—三叶期、拔节—孕穗期及灌浆—成熟期气候适宜度较高,而移栽—返青期最低。

(2) 1961—2016年一季稻全生育期平均气候适宜度略有减小趋势,气候适宜度年际波动大;其中温度适宜度趋势变化不明显,降水适宜度呈线性增加趋势,而日照适宜度呈极显著的减小趋势。

(3) 构建的一季稻气候适宜度模型能综合反映气候条件与一季稻生长发育及产量形成的内在关系,有效地刻画天长市一季稻的气候适宜度优劣动态变化过程。由于作物生长

不仅与气候要素间存在相互影响、相互作用的复杂关系,还与环境、社会等要素密切相关。该研究仅考虑了温度、日照、降水的影响,且气象数据以生育期为单位进行计算,所以仅仅能够粗略反映天长市一季稻气候适宜度时空分布特征,需要在进一步的研究中细化要素,综合考虑其他农业因子,以便于更好地指导农业生产。

参考文献

- [1] 赖纯佳,干怀遂,段海来,等. 淮河流域双季稻气候适宜度及其变化趋势[J]. 生态学杂志, 2009, 28(11): 2339-2346.
- [2] 中国农业科学院. 中国农业气象学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [3] 宋迎波, 王建林, 陈晖, 等. 中国油菜产量动态预报方法研究[J]. 气象, 2008, 34(3): 93-99.
- [4] 马树庆. 吉林省农业气候研究[M]. 北京: 气象出版社, 1996: 33.
- [5] 魏瑞江, 张文宗, 康西言, 等. 河北省冬小麦气候适宜度动态模型的建立及应用[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(6): 5-9, 15.
- [6] 马玉平, 孙琳丽, 俄有浩. 预测未来40年气候变化对我国玉米产量的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(1): 224-232.

科技论文写作规范——缩略语

采用国际上惯用的缩略语。如名词术语 DNA(脱氧核糖核酸)、RNA(核糖核酸)、ATP(三磷酸腺苷)、ABA(脱落酸)、ADP(二磷酸腺苷)、CK(对照)、CV(变异系数)、CMS(细胞质雄性不育性)、IAA(吲哚乙酸)、LD(致死剂量)、NAR(净同化率)、PMC(花粉母细胞)、LAI(叶面积指数)、LSD(最小显著差)、RGR(相对增长率), 单位名缩略语 IRRI(国际水稻研究所)、FAO(联合国粮农组织)等。对于文中有些需要临时写成缩写的词(如表及图中由于篇幅关系以及文中经常出现的词而写起来又很长时), 则可取各主要词首字母写成缩写, 但需在第一次出现处写出全称, 表及图中则用注解形式在下方注明, 以便读者理解。