

# 稻米品质形成的气候生态条件评价及我国地域分布规律

程方民<sup>1</sup> ,刘正辉<sup>1</sup> ,张嵩午<sup>2</sup>

(1. 浙江大学农学系 杭州 310029 2. 西北农业大学农学系 杨凌 712100 )

**摘要** 在多品种、多试点的田间分期播种和人工气候箱控温、遮光处理等试验的基础上 ,通过对影响稻米品质诸气候生态因子的相对重要程度及稻米品质形成与水稻灌浆结实期前 30 d 的日均温度、日均太阳辐射间的关系进行分析 ,首先建立了稻米品质的温度评价函数 ,然后用分段法构建了稻米品质的日均太阳辐射量订正函数 ,将上述两式结合 ,则可得某一地稻米品质气候生态条件的综合评价函数。利用该公式 ,在全国选若干代表点计算其稻米品质的评价指标值 ,并以此为基础 ,分双季早籼、双季晚籼、单季粳稻与双季早粳、双季晚粳 4 大类型描绘出我国不同气候生态条件下稻米品质的地域分布框架图。

**关键词** 稻米品质 ; 气候生态指标 ; 地域分布

## The Evaluation of Climatic-Ecology Condition for the Rice Quality Formation and Its Distribution Laws in China

CHENG Fang-Min<sup>1</sup> , LIU Zhen-Hui<sup>1</sup> , ZHANG Song-Wu<sup>2</sup> (1. Department of Agronomy , Zhejiang University , Hangzhou 310029 , China 2. Department of Agronomy , Northwestern Agricultural University , Yangling 712100 , China ). *Acta Ecologica Sinica* 2002 , 22 ( 5 ) : 636 ~ 642.

**Abstract** :The effect of climatic factors on twelve quality traits of eleven rice varieties( *japonica* and *indica* ) was studied in the field as well as growth chambers. The field trials comprising 10 ~ 14 sowing dates were conducted at thirteen locations representing six diverse climatic regions of China. Six shading treatments were imposed on plants at full heading stage. Shading treatments consisted of 10 , 25 , 40 , 55 , 68 , 80 per cent shaded area of plants and control. In another study , rice plants were transferred from glasshouse where controlled temperature and light intensity were provided , to different climatic chambers at full heading stage until harvest. The rice quality parameters studied were brown rice rate , milled rice rate , heading milled rice rate , length , shape and transparency of grain , rate and degree of chalkiness , gelatinization temperature , amylose content , gel consistency and protein content. The climatic factors were found to have exerted significant influence on the quality of rice grain. The relative important degree of six climatic factors on rice quality was ranked by their effect coefficient. These studies reveal that the daily mean temperature was the most important climatic factor affecting rice quality followed by solar radiation intensity. The optimum temperature for the best quality rice ranged between 21.10℃ and 24.14℃ for 7 indica varieties and between 21.05℃ and 22.28℃ for 4 japonica varieties. The findings of shading effect have indicated that lesser the solar radiation( i. e. more the shading ) , poor was the rice grain quality. Based on the data from field and growth chambers , polynomial regression models of rice quality related to daily mean temperature and solar radiation intensity were constructed. These models can be used to determine the quality of rice at any particular location by fitting the daily mean temperature and daily mean light intensity data. These models suggest that the quality of single season *japonica* rice and two season early *japonica* rice produced

**基金项目** 国家自然科学基金资助项目( 39700085 )

**收稿日期** 2000-06-27 **修订日期** 2002-02-04

**作者简介** 程方民 ,男 ,陕西省韩城市人 ,副教授。主要从事水稻品质生态生理方向研究。chengfm@mail. hz. zj. cn

in north China is superior to that produced in south China. Northeastern plain and northwest plateau basins are the best to produce superior quality of single season *japonica* and two season early *japonica* rice. Similarly, quality of late rice is superior to early rice. The climatic conditions during growing period of two season late indica and two season late *japonica* are generally more favorable for superior quality of rice than those available to two season early indica varieties. The quality of single season *japonica* and two season early *japonica* rice produced in south China is inferior to that produced in north China.

**Key words** rice; quality traits; climatic factors; regional distribution

文章编号: 1000-093X(2002)05-0636-07 中图分类号: S511.019 文献标识码: A

长期以来,我国水稻生产主要关注于产量的提高,而忽视了品质改良<sup>[1,2]</sup>,稻米品质问题在新的历史条件下则显得日益突出,如何改良我国稻米的品质已成为我国农业进入 WTO 后面面临的一个重要课题。现已明确,稻米品质除受品种遗传特性本身的影响外,生态环境条件尤其是气候生态条件是影响其优劣的重要因素<sup>[2~5]</sup>。可见,要实现稻米品质的优质化,从技术路线上来看,首先是要培育出优质的水稻品种,同时应把这些优质米品种种植在发挥其优质种性的生态环境地区,尤其是气候生态适宜区,否则,即使优质品种的品质水平也会下降,甚至变成次质米<sup>[6]</sup>。因此,实现品种与气候条件的合理匹配,是优质米生产的一个重要前提。

关于稻米品质与气候条件的关系研究,国内外已不乏报道。已经明确,水稻灌浆结实期间的气候条件是影响稻米品质的最主要生态因子,而纬度、海拔等地理环境的不同以及播期调整引起的品质变化均与这一时期的气候生态因子有关<sup>[3,7,8]</sup>。但是,现有的研究存在着两方面的不足,主要表现在(1)研究的品质性状、气候因子少而零散,加之研究的气候背景不同及品质性状对气候生态条件影响反应的复杂性,以致不同的报道其结论往往相互矛盾<sup>[3,9,12]</sup>;(2)对不同地域影响稻米品质的气候生态条件进行综合评价,前人虽曾在有关水稻种植区划及气候资源方面的文献中做过一些零散的报道<sup>[13,14]</sup>,但主要是基于生产经验上某一地域稻米品质优劣状况的描述分析,研究结论也较为笼统,尚未涉及到特定地域气候条件对稻米品质影响的评价指标问题。为此,笔者通过多个不同类型品种的气候生态试验,围绕稻米品质气候资源的评价问题,对稻米品质与气候因子间的关系做了进一步探讨,并对我国不同地域的稻米品质气候条件进行了评价,旨在为我国稻米品质的生态改良工作提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 田间播期试验

气候条件和稻米品质关系的田间试验从 1988 年开始,持续 10a,其中以 1988 年的试验规模最大,试验点遍及全国 12 个省、13 个点,包括沈阳、银川、杨陵、汉中、新乡、合肥、武汉、长沙、南昌、福州、瑞丽、镇江和杭州,覆盖了全国 6 大稻区,参试品种共 11 个,含籼、粳两大类型,早、中、晚不同熟期。每点的播期因水稻生长季节的不同有所变化,计 10~14 期不等,其中沈阳、银川、杨陵、汉中、新乡每隔 5d 播一期,其它各试点每 10d 播一期,每期重复 2 次,随机排列,小区面积  $1.5 \times 1\text{m}^2$ ,各试点播种、移栽及田间管理按统一标准进行。

### 1.2 人工气候箱控温与田间遮光试验

为了弥补田间试验的不足,本研究分别于 1993~1994 年在陕西杨陵(西北农业大学)和 1999 年在杭州(浙江大学华家池校区)进行了计有 6 个品种的人工气候箱控温实验,设 5 种不同温度处理,日均温度分别控制在  $18.0^\circ\text{C}$ (最高温  $23.0^\circ\text{C}$ /最低温  $13.0^\circ\text{C}$ )、 $23^\circ\text{C}$ (最高温  $28.0^\circ\text{C}$ /最低温  $18.0^\circ\text{C}$ )、 $28^\circ\text{C}$ (最高温  $33.0^\circ\text{C}$ /最低温  $23.0^\circ\text{C}$ )、 $33^\circ\text{C}$ (最高温  $38.0^\circ\text{C}$ /最低温  $28.0^\circ\text{C}$ )和  $35^\circ\text{C}$ (最高温  $40.0^\circ\text{C}$ /最低温  $30.0^\circ\text{C}$ )。相对湿度保持 75%~85%,风速  $0.5\text{m/s}$ ,光照强度维持白天弱-强-弱的变化,幅度 3000~37000lx。

1995 年和 1998 年分别在陕西杨陵和杭州进行了水稻灌浆结实期的田间遮光试验,计 6 个品种,分别对参试品种用纱网遮光,计有 1 层纱网(遮光 25%)、2 层纱网(遮光 40%)、3 层纱网(遮光 55%)和 4 层纱网(遮光 68%)、黑色纱网(遮光 80%)多种处理,以自然光照为对照。为了使温度等环境因子保持一致,构

架时仅将纱网置于稻株上方,保证四周空气和田间水层的畅通。通过红外测温仪观测,各处理间的冠层温度无明显差异,因而试验结果较好地反映了光照强度对稻米品质的影响。

1.3 稻米品质性状测定与数据处理方法

稻米品质性状的测定项目共 12 项,包括糙米率、精米率、整精米率、透明度、垩白米率、垩白面积、粒长、粒形、直链淀粉含量、胶稠度、糊化温度和蛋白质含量。测定方法按农业部颁标准 NY122-86、NY147-88 进行,其中垩白采用目测法,直链淀粉含量采用简易碘蓝比色法,胶稠度采用米胶延长法,蛋白质采用凯氏定 N 法。稻米综合品质的计算方法按记分函数法进行<sup>[10,14]</sup>

气候生态因子对稻米综合品质(简称稻米品质)影响大小采用综合评定法,其数学公式是:

$$Y_i = \sum_{j=1}^n r_j x_{ij} = r_1 x_{i1} + r_2 x_{i2} + \dots + r_n x_{in}$$

式中, $Y_i$ 为某个气候生态因子对稻米综合品质的作用系数; $r_j$ 为稻米某单一品质性状的权重系数(参照农业部颁标准 NY122-86); $x_{ij}$ 为某个气候因子对某单一品质性状的作用系数(归一化处理的偏相关系数); $n$ 为品质性状的数目。

2 结果与分析

2.1 影响稻米品质形成的主要气候因子

欲评价一地的稻米品质状况,首先应确定和稻米品质有密切关系的主要气候指标。现已明确,水稻灌浆结实期前 30d 的气候生态条件与稻米品质的形成最为密切<sup>[15]</sup>。具体生态因子可能包括日均日照时数( $S$ )、日均太阳辐射量( $Q$ )、日均气温( $T$ )、日均温差( $\Delta T$ )、日均相对湿度( $U$ )、日均降水量( $R$ )等。表 1 是由 1988 年全国 13 个试验点分期播种试验数据得到的诸气候因子的作用系数。

表 1 诸气候生态因子对稻米品质的作用系数及大小排序

Table 1 The effect coefficients of climatic factors upon rice quality and its sequence						
品 种	日均日照时数	日均太阳辐射量	日均温度	日均温差	日均相对湿度	日均降水量
Variety	$S$	$Q$	$T$	$\Delta T$	$U$	$R$
湘早籼 3 号 Xiangzaoxian 3	0.1102	0.1767	0.3497	0.1584	0.0692	0.0041
密阳 23 Miyang 23	0.1381	0.1647	0.3248	0.1710	0.0604	0.0794
西农 8116 Xinong 8116	0.0715	0.1083	0.5012	0.0571	0.0671	0.0184
水晶米 Shuijingmi	0.1514	0.1636	0.3316	0.1447	0.0650	0.0426
广二矮 104 Guangeraí 104	0.1087	0.0719	0.4138	0.0874	0.0297	0.0804
50010	0.0813	0.1250	0.3781	0.1035	0.0763	0.0317
秋 光 Akihikari	0.1046	0.1951	0.3341	0.1623	0.0426	0.0133
秀优 57 Xiyouyou 57	0.1260	0.1143	0.2936	0.0877	0.0329	0.0915
新稻 6811 Xindao 6811	0.0972	0.1815	0.3534	0.1397	0.1025	0.0028
青林 9 号 Qinglin 9	0.1129	0.1764	0.3680	0.1573	0.0097	0.0063
平均值 Average	0.1102	0.1477	0.3648	0.1269	0.0555	0.0371

从表 1 可见,在上述 6 个气候生态因子中,日均温度( $T$ )对稻米品质的影响作用最大,其次是日均太阳辐射量( $Q$ )和日均温差( $\Delta T$ ),再次是日均日照时数( $S$ ),最后是日均相对湿度( $U$ )、日均降水量( $R$ )两个水分因子。鉴于日均温度( $T$ )是影响稻米品质的首要气候因子,笔者在建立稻米品质气候资源的评价时,仿作物潜力研究思路<sup>[17]</sup>,首先把对稻米品质影响最大的日均温度因子从各种气候因素对稻米品质的综合作用中分离出来,建立稻米品质与日均温度间( $T$ )的函数关系,然后再根据其它气候因子对稻米品质的影响程度对上述函数进行逐级订正。

2.2 不同气候生态条件下稻米品质评价函数的建立

2.2.1 稻米品质与日平均温度间的函数关系 不同温度的人工气候箱控温实验结果表明(图 1、图 2),日均温度对稻米品质的形成有着极为重要的影响,所有供试品种均以 23℃ 处理的稻米品质值最大,而较高温 28℃、高温 30℃、极端高温 35℃ 及低温 18℃ 处理下的稻米品质均有明显的下降,说明不同品种稻米品质形

成的最佳温度一般均在 23℃ 左右, 过高或过低温度均不利于优良品质的形成。

利用 1988 年多试点多播期的试验资料和 1993~1998 年人工气候箱补充的试验数据, 本研究分析了不同类型品种稻米品质与水稻齐穗后 30d 日均温度间的函数关系, 并对两者间的散点趋势进行数学模拟(见表 2)。从表 2 中各拟合方程的有关参数可以发现, 稻米品质达到最大值时的温度, 籼稻品种一般在 22.30~24.14℃ 左右, 粳稻一般为 21.05~22.28℃。

这与《中国稻作学》上关于水稻最佳的灌浆温度, 籼稻为 22~25℃、粳稻为 21~24℃ 的温度范围<sup>[16]</sup>基本接近或低于后者。由表 2 中各品种的米质最大值( $Y_{max}$ )除以该品种所有样点的米质实际测定数据, 可得到各品种在不同温度下的米质相对值(%), 然后分籼、粳两大类型建立米质相对值与温度间的函数关系式:

$Y_{\text{籼}} = -58.8497 + 10.4191T - 0.0067T^3 \quad R^2 = 0.796^{**}, \text{样品数 } N = 673$

$Y_{\text{粳}} = -423.2795 + 59.1613T - 2.1318T^2 + 0.0238T^3 \quad R^2 = 0.807^{**}, \text{样品数 } N = 358$

上述两式称为稻米品质的温度因子评价函数, 它分别反映籼、粳两大类型水稻在不同温度下的稻米品质变化趋势, 剔除了各具体品种因品质特性差异对关系式所带来的干扰。

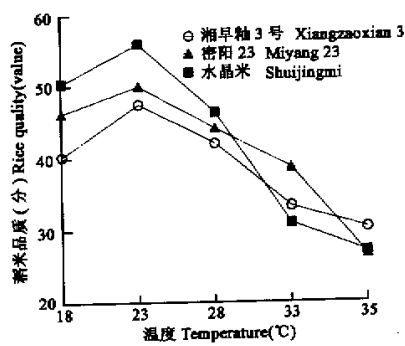


图 1 人工控温条件下 3 个籼稻品种的品质与温度间的关系

Fig.1 The relationship between rice quality and temperature for indica varieties

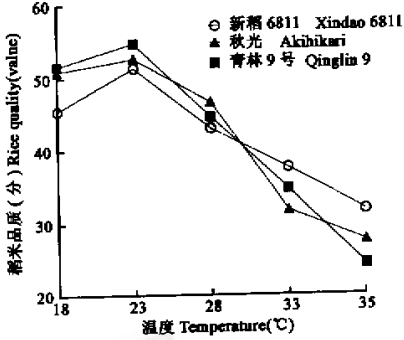


图 2 人工控温条件下 3 个粳稻品种的品质与温度间的关系

Fig. 2 The relationship between rice quality and temperature for japonica varieties

2.2.2 稻米品质气候生态条件评价的日平均太阳辐射量订正函数 日均太阳辐射量( $Q$ )是影响稻米品质的第 2 个重要的气候因子。水稻灌浆结实期间遮光处理试验结果表明, 遮光程度愈大, 稻米品质愈差, 但其影响效应远不如温度那样突出, 轻度的遮光处理对稻米品质的影响不大。图 3 和图 4 分别是 3 个籼稻品种(湘早籼 3 号、密阳 23、水晶米)与 3 个粳稻品种(秋光、新稻 68-11、青林 9 号)不同光强下的米质相对值(米质相对值 = 各品种不同遮光处理的测定米质值/该品种在自然光强的米质值)随光照强度变化的散点趋势图, 从图中可以发现, 不论是籼稻还是粳稻, 其稻米品质的相对值随日均光照强度间的变化趋势均可用分段函数关系式表示。于是籼稻米质的日均太阳辐射量( $L$ )订正函数关系式为:

$Y_{\text{籼, 光}} = 0.743 + 0.019L \quad (L \leq 14.2 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}))$

$Y_{\text{籼, 光}} = 1 \quad (L > 14.2 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}))$

粳稻米质的日平均太阳辐射量( $L$ )订正函数关系式为:

$Y_{\text{粳, 光}} = 0.756 + 0.017L \quad (L \leq 14.0 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})) \quad Y_{\text{粳, 光}} = 1 \quad (L > 14.0 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}))$

表 2 各品种稻米品质与水稻齐穗后 30d 日均温度间的拟合方程及有关参数<sup>1)</sup>  
Table 2 The regression models between the rice quality and daily mean temperature within 30d after full heading and their

relative parameters

品种类型	品种	拟合方程	确定系数	样本数	米质形成 最佳温度 <sup>2)</sup>	米质最 大值 <sup>3)</sup>
Variety type	Variety	Estimation equation	$R^2$	$N$	$T_{OPT}$	$Y_{MAX}$
籼稻 <i>Indica</i>	湘早籼 3 号	$Y = 3.7536 + 0.2265 T^2 - 0.0063 T^3$	0.725 **	102	23.97	47.13
	密阳 23	$Y = -88.1598 + 12.1698 T - 0.2991 T^2 + 0.0013 T^3$	0.618 **	121	24.14	49.61
	Miyang23					
	水晶米	$Y = -71.957 + 11.6548 T - 0.2613 T^2$	0.716 **	85	22.30	58.00
	Shuijingmi					
	广二矮 104	$Y = -99.4746 + 14.4310 T - 0.4363 T^2 + 0.0035 T^3$	0.781 **	96	22.79	44.22
	Guangerai104					
	西农 8116	$Y = -9.8003 + 5.0358 T - 0.1091 T^2$	0.692 **	89	23.07	48.31
	Xinong8116					
	50010	$Y = -35.658 + 7.8248 T - 0.1735 T^2$	0.719 **	115	22.55	52.56
粳稻 <i>Japonica</i>	余赤 231-8	$Y = -30.219 + 5.4476 T - 0.0035 T^3$	0.746 **	97	22.78	52.50
	Yuchi231-8					
	秋光	$Y = -162.0076 + 22.5487 T - 0.7266 T^2 + 0.0066 T^3$	0.729 **	103	22.28	52.69
	Akihikari					
	秀优 57	$Y = -308.4576 + 43.2605 T - 1.6722 T^2 + 0.0204 T^3$	0.731 **	81	21.05	51.49
	Xiouyou57					
	新稻 6811	$Y = -203.6617 + 17.3657 T - 0.0121 T^3$	0.637 **	65	21.87	49.54
	Xindao 6811					
	青林 9 号	$Y = -412.0185 + 54.9579 T - 2.112 T^2 + 0.0262 T^3$	0.684 **	97	22.10	55.84
	Qinglin9					

\* <sup>1)</sup>式中  $T$  表示水稻齐穗后 30d 的温度,  $Y$  表示稻米品质;  $T$  stands for the daily temperature 30d after full heading,  $Y$  stands for rice quality; <sup>2)</sup>米质形成最佳温度是指  $Y$  处于最大时(即  $DY/DT=0$ )的  $T$  值;  $T_{OPT}$  was the  $T$  value at the rice quality maximum; <sup>3)</sup>米质最大值由拟合方程求极值而得  $Y_{MAX}$  was estimated respectively from the estimation equation

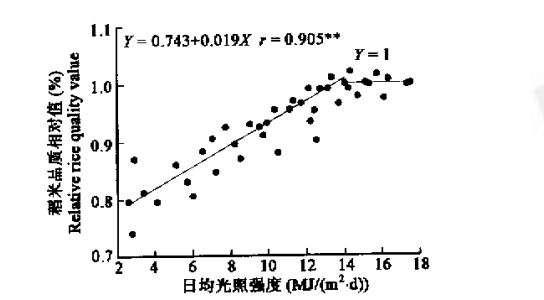


图3 籼稻不同光照强度稻米品质相对值随日均光照强度的变化趋势

Fig. 3 The relative quality value of different daily average sunlight intensity for *indica* rice

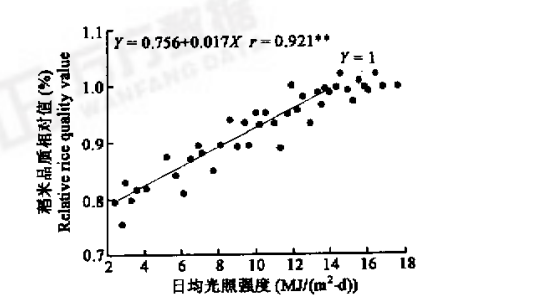


图4 粳稻不同光照强度稻米品质相对值随日均光照强度的变化趋势

Fig. 4 The relative quality value of different daily average sunlight intensity for *japonica* rice

稻米品质温光气候资源的综合评价函数可分别由  $Y_{气、籼} = Y_{籼} \times Y_{籼、光}$  和  $Y_{气、粳} = Y_{粳} \times Y_{粳、光}$  计算得知。

2.3 我国稻米品质气候资源的地域分布规律

建立了稻米品质气候资源的综合评价函数后, 就可以利用某一地水稻齐穗后 30 d 的平均温度( $T$ )和



日平均太阳辐射量( $Q$ )较方便地计算出该地稻米品质形成主要气候指标的评价值。本研究根据前人有关水稻种植区划方面的研究成果<sup>[13]</sup>,在全国不同稻作区分别选若干代表性的县(市),这些县在地理位置上分布较为均匀,且一般包括水稻种植面积较大与气候生态条件有代表性的县(市),然后分双季早粳、双季晚粳、单季粳稻与双季早粳、双季晚粳 4 大类型描绘出我国不同气候生态条件下的稻米品质地域分布图(图 1~图 4)。

从图 1~图 4 可见,我国稻米品质气候条件的地域分布特征较复杂,但从总体上看,北方稻区的品质气候条件普遍要优于南方,晚稻要优于早稻。对双季早粳而言,我国各地利于优质形成的气候条件均不甚理想,其中以江南丘陵平原双季稻区与海南南部最差,稻米品质评价值在 80 以下,即使黔东南湘西等相对较好气候生态区的稻米品质评价值也不超过 88(图 1),不利于生产出优质的早粳稻米。与之相反,双季晚粳及晚粳稻米品质形成的气候生态条件则有明显的改观,除海南岛、雷州半岛南端及四川东南盆地等部分地区的稻米品质评价值低于 92 外,其余各地的稻米品质评价值普遍在 95 以上(图 2、图 4),说明其气候生态条件较有利于优质晚粳或晚粳稻米的生产。从图 3 中我国单季粳稻与双季早粳的地域分布可见,我国北方稻区的稻米品质,除东北部的漠河、海拉尔、额尔古纳和西北部的阿勒泰等地略低以外,绝大部分地区的稻米品质评价值均在 90 以上,其中以东北大平原与西北高原盆地的评价值最高,华北北部平原次之,黄淮平原丘陵稍低。值得一提的是自东北大平原到西北高原盆地的大范围地区,其稻米品质形成的气候评价值清一色大于 98,优质粳稻形成的气候生态条件非常适宜,这一地域里的东北粳米素以品质优良而著称,看来明显得益于其优越的温光气候条件。与北方稻区相比,我国南方稻区双季早粳品质形成的气候条件普遍不佳,稻米品质的气候评价值均在 85 以下,其中部分地区的稻米品质气候评价值低于 75,气候生态条件非常不利于优质米的生产。

### 3 讨论

本研究通过对诸气候因子对稻米品质影响的相对重要性排序,提出了评价某一地域品质气候条件优劣的一个量化指标,据此,可以根据某一地区水稻灌浆结实期前 30d 的日均温度( $T$ )和日均辐射量( $Q$ )对其品质气候资源状况加以初步的评判,该值愈大,说明该地区的气候生态条件愈有利于水稻优质种性的发挥,反之,优质米的优质种性必然会在该地受到削弱或抑制,优质米品种的品质也会降低,甚至变成劣质米。这样就从气候资源角度,提供了我国各地米质水平明确、清晰、量化的信息。值得一提的是,由于我国地域辽阔,地理地貌特征、水稻种植制度等复杂多样,为了避免分区太多、支离破碎,本研究仅提供了我国不同地域稻米品质气候评价值的粗线条的背景和框架,较小范围的稻米品质气候地域分布规律研究将会使框架的内涵更明确、具体、充分。此外,本研究仅建立了日均温度( $T$ )和日均辐射量( $Q$ )的品质评价函数,并以此作为评判某一地区稻米品质气候条件优劣的依据,其计算结果是符合我国稻米生产实际的,也与有关研究的定性描述结论基本吻合<sup>[18]</sup>。但是,如果能将其它参数如日均温差、日均日照时数等气候因子引入评价指标中,则可提高估算的精确度,这就涉及到这些气候因子对本研究有关指标的进一步订正问题,对此尚需进一步的探讨。

### 参考文献

- [1] Mo H D (莫惠东). Quality improvement of rice grain in China. *Scientia Agri Sinica*(in Chinese)(中国农业科学), 1993, 26(4): 814.
- [2] Huang F S (黄发松), Sun Z X (孙宗修), Hu P S (胡培松) et al. Present situation and prospects for the research on rice grain quality forming. *Chinese J Rice Sci*(in Chinese)(中国水稻科学), 1998, 12(3): 172176.
- [3] Cheng F M (程方民), Zhu B Y (朱碧岩). Present research on the effect of meteorological factors on rice quality. *Chinese J Agr Meteorology*(in Chinese)(中国农业气象), 1998, 19(5): 3945.
- [4] Juliano B O. Rice grain quality: Problem and challenges. *Cereal Foods World*, 1990, 35(2): 245253.
- [5] Zhou G Q (周广治), Xu M L (徐孟亮), Tan Z C (谭周磁). Effect of temperature and sunlight on protein and amino acid in rice grain. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 1997, 17(5): 537542.
- [6] Gao R S (高如嵩), Zhang S W (张嵩午). The influence of climate and ecology on rice grain quality (in Chinese). Xi

- an, Shaanxi Science Press, 1994.
- [ 7 ] Zhu X D(朱旭东), Xiong Z M(熊振民), Luo YK(罗玉坤). The influence of difference cropping seasons on rice grain quality. *Chinese J Rice Sci*(in Chinese)(中国水稻科学), 1993, 7(3): 172174.
- [ 8 ] Liu J F(刘家富), Wang Q Y(汪庆云). Preliminary study of rice quality at different altitudes. *Hunan Agriculture Sciences*(in Chinese)(湖南农业科学), 1986(5): 2733.
- [ 9 ] Li L(李林), Sha G D(沙国栋). Effect of temperature and sunlight factors during grain filling stage on rice quality. *Chinese J Agr Meteorology*(in Chinese)(中国农业气象), 1989, 10(3): 3338.
- [ 10 ] Zhou D Y(周德翼), Zhang S W(张嵩午), Gao R S(高如嵩). The relationship between rice comprehensive quality and Meteorological factors in rice grain filling stage. *Acta Universitatis Agriculturae Boreali-occidentalis*(in Chinese)(西北农业大学学报), 1994, 22(2): 611.
- [ 11 ] Normita C. Effect of temperature during grain development on stability of cooking quality components in rice. *Japan J Breed*, 1989, 39: 292306.
- [ 12 ] Cheng F M(程方民), Ding Y S(丁元树), Zhu B Y(朱碧岩). The formation of amylose content in rice grain and its relation with field temperature. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 2000, 20(4): 644652.
- [ 13 ] Mei F Q(梅方权), Wu X Z(吴宪章), Yao C X(姚长溪). Rice cropping regionalization in China. *Chinese J Rice Sci*(in Chinese)(中国水稻科学), 1988, 2(3): 97110.
- [ 14 ] Zhang S W(张嵩午). Regional distribution of rice grain quality in climatic transitional regions from north to south China. *Chinese J Applied Ecology*(in Chinese)(应用生态学报), 1993, 4(1): 4246.
- [ 15 ] Wu Y C(吴永常), Zhang S W(张嵩午), Cheng F M(程方民). Effect of temperature at the stage of initial 30days after full heading on rice quality formation. *Acta Universitatis Agriculturae Boreali-occidentalis*(in Chinese)(西北农业大学学报), 1996, 24(3): 2125.
- [ 16 ] CAAS(中国农业科学院), *Chinese rice*(in Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1986.
- [ 17 ] Zhang Q S(张其书). Mathematical model of factorial type of potential production of climate. *J Natural Resources*(in Chinese)(自然资源), 1982(4): 5660.
- [ 18 ] Zhang S W(张嵩午), Gao R S(高如嵩), Zhu B Y(朱碧岩), et al. Regional distribution of climatic resources in relation to the rice quality in China. *Acta Natural Resources*(in Chinese)(自然资源学报), 1994, 9(3): 221229.