

水稻体温与气温的关系

闫 川, 丁艳锋, 王强盛, 李刚华, 黄丕生, 王绍华*, 凌启鸿

(南京农业大学农业部作物生长调控重点开放实验室, 江苏省信息农业高新技术研究重点实验室, 南京 210095)

摘要:以 15 个水稻品种为材料, 测定了抽穗后水稻穗和叶的体温及冠层上部的气温, 分析了穗和叶片的体温与气温的关系。结果表明: 水稻穗和叶的体温始终低于气温, 其气温与体温的差值 (气体温差) 受大气温度、湿度及水稻株型和器官成熟老化程度影响。在大气湿度相同的条件下, 气温低时 ($< 26.5^{\circ}\text{C}$), 水稻穗和叶的气体温差较小; 气温高时 ($> 33^{\circ}\text{C}$), 气体温差变大; 在气温相似的条件下, 大气湿度提高, 穗和叶的气体温差变小。品种的株型不同, 对水稻穗、叶的气体温差有一定程度的影响。在相同的气候条件下, 直立穗型品种穗和叶的气体温差较弯曲穗型的大; “谷盖顶”型品种穗和叶的气体温差值较“草盖顶”型的大。水稻抽穗后, 穗和叶的气体温差在不同生育时期有明显的差异, 器官成熟老化程度越低, 其气体温差越大。

关键词:水稻; 体温; 气温; 气体温差

文章编号: 1000-0933(2008)04-1573-06 中图分类号: Q143 文献标识码: A

The relationship of temperature between air and organs of rice

YAN Chuan, DING Yan-Feng, WANG Qiang-Sheng, LI Gang-Hua, HUANG Pei-Sheng, WANG Shao-Hua*,
LING Qi-Hong

Key Laboratory of Crop Growth Regulation, Ministry of Agriculture, Hi-Tech Key Laboratory of Information Agriculture of Jiangsu Province, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(4): 1573 ~ 1582.

Abstract: Panicle, leaf and air temperature above canopy of 15 rice varieties were measured to study the relationship between air temperature and the temperature of rice organs. The results showed that the temperature of panicle and leaf were lower than air temperature, the temperature difference between air and organ of rice (TD) was affected by air temperature, air humidity, plant type and age of organs of rice. Under conditions of similar air humidity, the TD was lower in the low air temperature (below 26.5°C) than in the high (above 33°C) air temperature. At the same air temperature, the TD decreased when the air humidity was high. The TD was also affected by the plant type of the varieties. Under similar climatic conditions, the TD of erect panicle varieties was higher than that of curved panicle varieties; The TD of the varieties whose panicle was higher than the flag leaf was higher than varieties whose flag leaf was higher than the panicle. After heading, there were significant differences between the TDs at different stages of rice growth, the more mature the organs, the higher the TD.

Key Words: rice; temperature of organs; air temperature; TD

基金项目: 国家粮食丰产科技工程资助项目 (2004BA520A03, BE2004387)

收稿日期: 2006-04-04; 修订日期: 2008-02-19

作者简介: 闫川 (1981 ~), 男, 安徽宿州人, 博士, 主要从事作物生理生态研究. E-mail: ricegroup@njau.edu.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangsh@njau.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Ample Commissariat Program of Technology (No. 2004BA520A03, BE2004387)

Received date: 2006-04-04; **Accepted date:** 2008-02-19

Biography: YAN Chuan, Ph.D., mainly engaged in crop physiology and ecology. E-mail: ricegroup@njau.edu.cn

我国幅员辽阔,不同地区气温和大气湿度的差异很大,影响着水稻的生长发育和产量形成。前人已进行的研究普遍认为,水稻抽穗扬花期的气温超过 35℃,颖花结实率将受到明显影响^[1,2],但这很难解释非洲和我国云南、新疆等水稻抽穗扬花期气温常常超过 35℃地区水稻高结实率的自然现象。事实上,环境温度对水稻的影响是通过调节水稻的体温来实现的,前人的研究较多注重气温、室温等环境温度与水稻颖花结实的关系,较少关注水稻体温的变化及其与环境温度、湿度、品种株型等的关系。本文系统地研究了气温与水稻体温的关系,以及大气湿度、品种株型、水稻器官发育的成熟度等对水稻体温与气温之关系的影响,旨在揭示能在高温条件下正常结实的成因,为提高水稻结实率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试水稻品种(品系)为迟 1-101(株高:125cm;颈穗弯曲度:35°;穗长:25cm;剑叶长:42cm)、K 优 818(128cm;37°;27cm;40cm)、丰优香占(125cm;42°;27cm;46cm)、汕优 63(115cm;74°;24cm;44cm)、示 1(130cm;80°;26cm;41cm)、示 2(132cm;75°;27cm;40cm)、晚 II-112(124cm;80°;24cm;45cm)、D0094(130cm;75°;26cm;42cm)、D0074(125cm;75°;25cm;43cm)、扬辅糯(111cm;35°;25cm;40cm)、扬稻 6 号(128cm;38°;25cm;45cm)、武运粳 7 号(97cm;37°;21cm;30cm)、镇稻 88(95cm;35°;20cm;31cm)、华粳 3 号(98cm;50°;20cm;30cm)和宁粳 2 号(99cm;48°;21cm;35cm),其中前 9 个品种(品系)为杂交籼稻,其余品种为常规稻品种或品系。

1.2 试验设计

试验于 2005 年和 2006 年在南京市江宁区南京农业大学土桥试验站进行。该试验站位于东经 118°30′,北纬 31°50′,试验地肥力中等。小区面积 12m²,随机排列,3 次重复。田间栽培管理与大面积生产相同。2005 年 5 月 10 日播种,6 月 10 日移栽,栽插密度 30cm×13.3cm,25 万穴/hm²;2006 年进行分期播种试验:4 月 20 日为第一播期,5 月 10 日为第二播期,5 月 30 日为第三播期。氮、磷、钾肥施用量分别为 270kg N/hm²、135kg P₂O₅/hm²和 180kg K₂O/hm²,水分管理按间作灌溉模式进行。

1.3 测定方法

1.3.1 叶温和穗温的测定

水稻抽穗后选择晴好的天气,于 10:30~11:30 时采用日本产 RAYFPIU 非接触式红外测温仪测定。每个品种随机定 10 株,测定剑叶、倒 2 叶、倒 3 叶和倒 4 叶叶片中部的温度,表示叶片的体温;测定穗中部向阳面和背阳面的体温,以向阳面和背阳面温度的平均值表示穗的体温。对 3 个重复处理测定时采用田间循环往复 3 次的测定方法。数据处理时先求取每处理 10 株的平均值,再对 3 次重复处理的平均值进行比较。

1.3.2 大气温度、湿度的测定

测定水稻叶、穗体温的同时,用普通温度计和湿度计测定水稻冠层上部(距冠层 20cm 左右)的气温和大气相对湿度。每 10 min 测定 1 次,平均值作为当天该时间段的大气温度和相对湿度。

用大气温度与穗、叶体温的差值(简称气体温差)来表示大气温度对水稻器官体温的影响。

1.3.3 基因型对水稻气体温差影响的测定

颈穗弯曲度指剑叶叶枕到穗尖的连线与茎秆延长线的夹角。根据参试品种的颈穗弯曲度,可划分为直立穗和弯曲穗两种类型。直立穗型品种(品系)有迟 1-101、K 优 818、丰优香占和扬辅糯;弯曲穗型品种(品系)有汕优 63、示 1、示 2、晚 II-112、D0094 和 D0074。以上品种的齐穗日期相差很小。采用上面的方法,对两种基因型水稻测定其气体温差,以研究基因型对水稻气体温差的影响。

根据参试品种穗子在冠层叶片的上方还是隐藏在冠层叶片之中,可划分为“谷盖顶”和“草盖顶”两种类型。谷盖顶型品种有迟 1-101、晚 II-112、丰优香占、K 优 818、武运粳 7 号和镇稻 88,前 4 个为籼稻品种(组合),后 2 个为粳稻品种;草盖顶型品种有示 1、示 2、汕优 63、扬辅糯、D0094、D0074、华粳 3 号、宁粳 2 号,前 6 个为籼稻品种(组合),后 2 个为粳稻品种。在上述品种中选取齐穗日期相差不大的部分品种,采用上面的方

法,测定这两种类型的气体温差,以研究基因型对水稻气体温差的影响。

1.3.4 器官成熟老化程度对气体温差的影响

分别选取抽穗后不同天数的参试品种在短时间内测定其器官温度,为了减小因时间差对测定结果的影响,3个重复处理测定时采用田间循环往复3次的测定方法。参试品种为镇稻88和扬稻6号。同样采用上面的方法,测定其气体温差,以研究器官成熟老化程度对气体温差的影响。

1.4 数据分析

所用数据均采用SPSS统计软件进行方差分析;表1、表2中的数据是对不同基因型品种中部分抽穗日期相差不大的品种测定数据的平均值。

2 结果与分析

2.1 气温与水稻穗、叶体温的关系

本试验中,汕优63品种8月21日抽穗,抽穗后10d内气象良好,无大的降雨。在这期间,有3d的大气相对湿度比较接近,为68%~70%,而气温相差较大。图1列出了这3d的测定结果由图1可知,在大气相对湿度比较接近的条件下,气温在26.5℃时,水稻穗、叶的气体温差比较小;当气温为33℃时,穗、叶的气体温差相对较大。说明水稻体温与气温的提高并非按固定比例进行,随气温升高,体温提高的幅度逐步减小。26.5℃和31℃两气温下测定的气体温差差异极显著($p < 0.01$),31℃和33℃两气温下测定的气体温差差异显著($p < 0.05$)。

此外,水稻不同部位器官的气体温差有明显的差异,穗部的气体温差最小,随后依次为剑叶、倒2叶和倒3叶。表明穗和剑叶等上层器官的体温受气温的影响要大于下层器官,这可能与下层器官接受的直射阳光少和受大气流动影响小有关。

2.2 大气湿度对水稻气体温差的影响

本试验中,汕优63品种8月21日抽穗,抽穗后10d内气象良好。在这期间,有3d的大气温度比较接近,为32.5~33℃;而大气相对湿度相差较大。图2列出了这3d的测定结果在大气相对湿度分别为44%、70%和86%条件下测定。从结果可以看出:在大气温度相似时,大气相对湿度越大,气体温差值越小,即穗叶温度越高;大气相对湿度越小,气体温差值越大,即穗叶温度越低。以上3种大气湿度下测定的气体温差结果间均呈极显著性差异水平($p < 0.01$)。并且大气湿度越低,气温与穗、剑叶、倒2叶、倒3叶和倒4叶温度的差值越大。这是因为在温度相同时,大气的相对湿度越大,其蒸气压就越大,叶内外的蒸气压差就变小,气孔下腔的水蒸气不易扩散出去,蒸腾减弱,则穗叶温度较高;反之,大气相对湿度较低,则蒸腾速度加快,穗叶温度较低。

2.3 基因型对水稻气体温差的影响

2.3.1 穗型对水稻穗、叶气体温差的影响

根据参试品种的穗型,对直立穗和弯曲穗两种基因型品种测定其气体温差,分析品种穗型对水稻穗、叶气

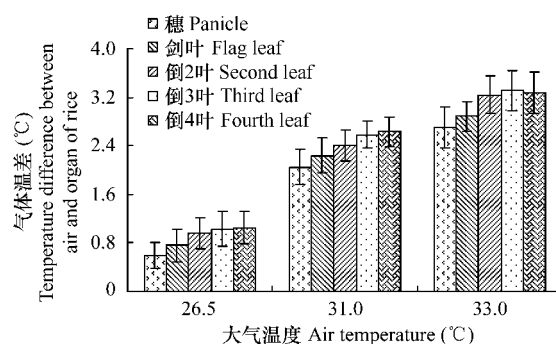


图1 气温与水稻穗、叶气体温差的关系

Fig. 1 Relationship of air temperature and temperature difference between air and organ of rice

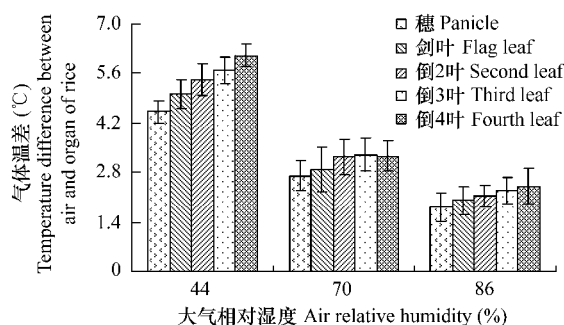


图2 大气相对湿度对水稻穗、叶气体温差的影响

Fig. 2 Effects of air relative humidity on temperature difference between air and panicle, leaf of rice

体温差的影响可以看出,在四组温、湿度条件下测定的结果都显示了直立穗型品种穗、叶气体温差比弯曲穗型的大,尤以穗部更为明显,穗部的气体温差差异显著($p < 0.05$)。这与弯曲穗一部分埋藏于顶叶丛中受大气流动的影响比直立穗小、气孔水分蒸腾相对小、对光能拦截高于直立穗型有关。

表 1 基因型对水稻穗、叶气体温差的影响

Table 1 Effects of genotype on temperature difference between air and panicle, leaf of rice

气温(℃) Air temperature	相对湿度 Relative humidity (%)	穗型 Panicle type	气体温差(℃) Temperature difference between air and organ of rice				
			穗 Panicle	剑叶 Flag leaf	倒 2 叶 Second leaf	倒 3 叶 Third leaf	倒 4 叶 Fourth leaf
31	68	直立 EP	2.23 ± 0.15	2.25 ± 0.23	2.48 ± 0.18	2.61 ± 0.16	2.72 ± 0.15
		弯曲 CP	1.99 ± 0.30	2.16 ± 0.33	2.41 ± 0.38	2.59 ± 0.22	2.76 ± 0.14
31.5	50	直立 EP	6.02 ± 0.28	6.19 ± 0.30	6.30 ± 0.39	6.55 ± 0.31	6.74 ± 0.62
		弯曲 CP	3.88 ± 0.59	5.07 ± 0.31	5.14 ± 0.67	5.47 ± 0.80	6.10 ± 0.14
26.5	70	直立 EP	0.89 ± 0.23	0.91 ± 0.24	1.15 ± 0.27	1.27 ± 0.19	1.36 ± 0.28
		弯曲 CP	0.47 ± 0.09	0.76 ± 0.26	0.87 ± 0.25	0.96 ± 0.15	1.00 ± 0.06
31.5	52	直立 EP	5.93 ± 0.35	6.07 ± 0.30	6.21 ± 0.39	6.43 ± 0.28	6.64 ± 0.65
		弯曲 CP	3.87 ± 0.83	4.94 ± 0.45	4.97 ± 0.65	5.29 ± 0.63	5.97 ± 0.47

EP: Erect panicle type; CP: Curved panicle type

68%、50% 两组湿度条件下,气温相似,但后者的两种穗型穗、叶气体温差都比前者条件下的大,这也证明了在大气温度相似时,大气相对湿度越大,气体温差值越小,即穗叶温度越高这一结论。31、26.5℃ 两组气温条件下,大气湿度相似,但前者两种穗型穗、叶的气体温差较后者的大,这也证明了前文的结论:水稻体温与气温的提高并非按固定比例进行,而是随气温升高,体温提高的幅度逐步减小。

四组温、湿度条件下测定的结果与其他不同气温和大气湿度下的结果趋势一致。

2.3.2 穗子位置对水稻穗、叶气体温差的影响

测定谷盖顶、草盖顶这两种类型水稻的气体温差,分析品种穗子位置对水稻穗、叶气体温差的影响。从表 2 四组温、湿度条件下测定的结果可以看出:谷盖顶型水稻穗、叶(特别是穗)气体温差相对较大,穗部的气体温差差异显著($p < 0.05$),即谷盖顶型水稻体温较草盖顶型低;说明在相同温、湿度条件下,谷盖顶型水稻比草盖顶型水稻穗、叶的温度低,且大气湿度对水稻器官温度的影响很大。

表 2 基因型对水稻穗、叶气体温差的影响

Table 2 Effects of genotype on temperature difference between air and panicle, leaf of rice

类别 Type	气温(℃) Air temperature	相对湿度 Relative humidity (%)	基因型 Genotype	气体温差(℃) Temperature difference between air and organ of rice				
				穗 Panicle	剑叶 Flag leaf	倒 2 叶 Second leaf	倒 3 叶 Third leaf	倒 4 叶 Fourth leaf
籼稻 Indica rice	31	68	谷盖顶 PH	2.45 ± 0.55	2.57 ± 0.67	2.67 ± 0.38	2.76 ± 0.91	2.77 ± 0.55
			草盖顶 FH	1.86 ± 0.54	2.00 ± 0.29	2.37 ± 0.64	2.60 ± 0.84	2.78 ± 0.34
	31.5	52	谷盖顶 PH	6.13 ± 0.64	6.18 ± 0.64	6.30 ± 0.45	6.58 ± 0.27	6.91 ± 0.56
			草盖顶 FH	4.29 ± 0.29	5.17 ± 0.36	5.23 ± 0.64	5.51 ± 0.45	6.03 ± 0.35
粳稻 Japonica rice	32.5	44	谷盖顶 PH	5.09 ± 0.64	5.56 ± 0.48	5.80 ± 0.29	5.96 ± 0.68	5.88 ± 0.52
			草盖顶 FH	4.83 ± 0.37	5.22 ± 0.64	5.52 ± 0.67	5.65 ± 0.82	5.89 ± 0.64
	33	70	谷盖顶 PH	3.66 ± 0.68	3.48 ± 0.29	3.80 ± 0.49	3.76 ± 0.97	3.80 ± 0.58
			草盖顶 FH	2.06 ± 0.51	2.20 ± 0.64	2.86 ± 0.58	2.96 ± 0.61	2.90 ± 0.50

PH: The panicle is higher than the flag leaf; FH: The flag leaf is higher than the panicle

表 2 还可以反映出在 70% 相对高湿条件下,两种类型品种的气体温差值较 44% 低湿条件下的小,这也证明了在大气温度相似时,大气相对湿度越大,气体温差值越小,即穗叶温度越高这一结论。

2.4 器官成熟老化程度对气体温差的影响

在第三播期齐穗时选取抽穗不同天数的参试品种在短时间内测定其气体温差,分析器官成熟老化程度对气体温差的影响,结果如表3所示。

从结果来看,水稻齐穗后不同灌浆时期其穗、叶温度差异显著($p < 0.05$)。第三播期水稻穗、叶温度最低,第一播期穗、叶温度最高,即同一品种越接近成熟期,其体温越高。两个品种均表现出齐穗期的气体温差较齐穗3周的大,齐穗3周的气体温差较成熟期的大。以上结果说明齐穗期气体温差最大,越接近成熟期,气体温差越小。这部分原因可能与成熟度轻的水稻器官生长代谢旺盛,蒸腾强度大,在蒸腾过程中可以散失掉大量的辐射热有关。

表3 水稻器官成熟老化程度对气体温差的影响

Table 3 Effects of aging organs of rice on temperature difference between air and organ of rice

品种 Variety	抽穗天数(d) Days after heading	气体温差 Temperature difference between air and organ of rice (°C)				
		穗 Panicle	剑叶 Flag leaf	倒2叶 Second leaf	倒3叶 Third leaf	倒4叶 Fourth leaf
镇稻88	齐穗期 HS	4.80 ± 0.23	4.94 ± 0.16	4.83 ± 0.31	4.90 ± 0.37	5.17 ± 0.11
Zhendao 88	3周3W	4.05 ± 0.34	4.23 ± 0.44	4.74 ± 0.28	4.78 ± 0.26	4.82 ± 0.27
	6周6W	3.37 ± 0.41	3.81 ± 0.45	4.53 ± 0.47	4.61 ± 0.16	4.60 ± 0.17
扬稻6号	齐穗期 HS	5.44 ± 0.36	5.68 ± 0.13	5.63 ± 0.61	5.92 ± 0.39	5.76 ± 0.31
Yangdao 6	3周3W	4.62 ± 0.14	5.07 ± 0.21	4.77 ± 0.41	5.04 ± 0.42	5.22 ± 0.47
	6周6W	2.05 ± 0.75	3.28 ± 0.58	3.84 ± 0.27	3.86 ± 0.15	4.07 ± 0.24

3W, Three weeks; 6W, Six weeks; HS, Heading stage

3 讨论

光照、温度、大气湿度、土壤水分等外界环境因子是影响植株体温变化的重要原因。闫蓉等认为光照强度的加强会提高空气温度,从而提高叶面温度和叶室温度,叶面温度和叶室温度的提高有利于增加水稻的蒸腾速率,而水稻蒸腾作用的加强反过来又能降低叶面和叶室温度,但温度提高对蒸腾速率加大的影响是占主导地位的^[3]。目前对作物冠层的气、体间温差等问题的研究在小麦上比较多,但大多只是涉及到水分亏缺状况,认为作物冠层温度-气温差可较合理反映土壤水分变化状况和作物水分亏缺程度。而本试验是在土壤水分相同的情况下进行的。本试验对水稻穗、叶气体温差的观测结果表明,在大气湿度相同时,气温低,水稻穗、叶的气体温差小;气温高,则气体温差大,其结果与闫蓉等的结论一致。本试验发现水稻体温与气温的提高并非完全同步,随气温升高体温提高的幅度逐步减小。此外,水稻上层器官的体温受气温的影响要大于下层器官。

本试验分析了不同基因型水稻气体温差的差异,发现弯曲穗型品种各器官特别是穗部的气体温差比直立穗型的小,差异显著($p < 0.05$)。试验结果支持了徐正进等^[4~5]直立穗型品种群体微气象环境较弯曲穗型好的观点。研究结果也表明,在相同气温和大气湿度下,谷盖顶型水稻品种的器官温度,特别是穗温,比草盖顶型的低,穗温差异达显著水平($p < 0.05$)。这与谷盖顶型品种穗处于最上部,受气流影响较大,蒸腾强度较大,从而散失较多的辐射热有关;而草盖顶型水稻其穗虽然处于部分叶中,但大部分时间处于光饱和点以上,减少少量的光对其影响不大,并且受气流影响较小,所以穗温较高。

关于高温对水稻植株体温和结实率的影响,P. V. V. Prasad 等人认为高温会使植株体温明显升高、结实率显著降低^[6];王刚等认为抽穗后的高温($\geq 35^\circ\text{C}$)日数与秕谷率呈显著正相关,相关系数为0.771,高温日数增多秕谷率增大^[1];郑志广、娄伟平等研究光温对水稻结实率的影响认为光照对结实率的影响不显著,温度是影响结实率的最主要气象因子,超过 36°C 的高温将显著降低结实率^[7,8]。Jeffrey T. Baker 认为除去高温,大气湿度也对水稻结实率产生明显影响^[9]。在水稻花粉发育期(减数分裂后期至小孢子形成初期)、开花期和灌浆盛期,如遇到高温、高湿,则水稻器官温度升高,会对结实率产生很大影响,如高温但低湿,则水稻器官

温度相对于高温高湿时较低,对结实率的影响会相对较小。云南涛源水稻抽穗结实期具有较高的温度,但有较低的湿度^[10],因此水稻结实率很高。本试验认为大气湿度对水稻穗、叶温度的影响比较大,高温、高湿可以使水稻器官温度大大升高;只有高温而没有高湿环境时,植株器官的温度并不一定明显升高,因此水稻结实率并不一定降低。

References:

- [1] Wang G. The Meteorological Condition Analysis for the constitution factors of the output of the hybrid early rice in HaiKou region. *Jouturnal of GuangXi Meteorology*, 2005, 26(1): 41—42, 50.
- [2] He C X, Bai S N, Tan K H. Effects of high temperature on decreasing seed setting rate of photoperiod-sensitive genic male sterile (PGMS) rice and ordinary rice. *Hybrid Rice*, 1998, 13(2): 29—32.
- [3] Yan R, Li F X, Zhao W Z, *et al.* The infection of meteorologic factor to transpiration rate of rice. *NingXia Journal Agriculture and Forestry Science and Technology*, 2005, (2): 7—8, 10.
- [4] Wang J L, Xu Z J. Effects of panicle type and row spacing on light distribution of rice canopy. *Chinese J Rice Sci*, 2005, 19(5): 422—426.
- [5] Xu Z J, Chen W F, Zhang L B, *et al.* Comparative study on light distribution in rice canopies with different panicle types. *Scientia Agricultura Sinica*, 1990, 23(4): 10—16.
- [6] Prasad P V V V, Boote K J, Allen L H, *et al.* Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. *Field Crops Research*, 2005, 95, 398—411.
- [7] Zheng Z G. The influence of temperature and light on grain-filling, dry matter production of rice. *Journal of Beijing Agricultural College*, 2003, 18(1): 13—16.
- [8] Lou W P, Zhang H, Sun Y F, *et al.* Effects of sunlight and temperature conditions on heading period and seed setting rate of late rice. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2006, 27(1): 49—52.
- [9] Jeffrey T Baker. Yield responses of southern US rice cultivars to CO₂ and temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, 122(3-4): 129—137.
- [10] Lan H X, Wang J M, Yang J D. Analysis of meteorological ecology for high yield of rice. *Subtropical Agriculture Research*, 2005, 1(2): 50—54.

参考文献:

- [1] 王刚. 海口地区杂交早稻产量构成因素的气象条件分析. *广西气象*, 2005, 26(1): 41~42, 50.
- [2] 贺超兴, 白书农, 谭克辉. 高温对光敏水稻与普通水稻结实率降低方式的分析. *杂交水稻*, 1998, 13(2): 29~32.
- [3] 闫蓉, 李凤霞, 赵维忠, 等. 气象条件对水稻蒸腾速率的影响. *宁夏农林科技*, 2005, (2): 7~8, 10.
- [4] 王建林, 徐正进. 穗型和行距对水稻冠层受光态势的影响. *中国水稻科学*, 2005, 19(5): 422~426.
- [5] 徐正进, 陈温福, 张龙步, 等. 水稻不同穗型群体冠层光分布的比较研究. *中国农业科学*, 1990, 23(4): 10~16.
- [7] 郑志广. 光温条件对水稻结实及干物质生产的影响. *北京农学院学报*, 2003, 18(1): 13~16.
- [8] 娄伟平, 张寒, 孙永飞, 等. 光温条件对浙中晚稻抽穗期和结实率的影响. *中国农业气象*, 2006, 27(1): 49~52.
- [10] 兰华雄, 王建明, 杨居钊. 水稻高产气象生态分析. *亚热带农业研究*, 2005, 1(2): 50~54.