

夜间温度升高对双季早晚稻产量的影响

魏金连, 潘晓华*, 邓强辉

(农业部双季稻生理生态与栽培重点开放实验室/作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室/江西农业大学 江西南昌 330045)

摘要: 温度是影响水稻生长发育的重要因素, 但夜间温度升高对双季水稻产量的影响还不清楚。利用两间玻璃室内夜间不同的温度条件, 研究了水稻生长期夜间温度升高对双季早、晚稻产量的影响。结果表明, 夜间最低温度每升高 1℃ 早稻产量降低 5.42%—9.48%, 而夜间最低温度每升高 1℃ 晚稻产量提高 8.99%—11.28%。夜间温度升高有利于早、晚稻的分蘖, 增加有效穗数, 但不利于颖花分化, 使每穗粒数减少; 夜间温度升高使早稻结实率下降, 但提高晚稻的结实率。

关键词: 双季水稻; 夜间温度升高; 产量与产量构成; 分蘖; 颖花分化与退化

Effects of nighttime temperature increase on the yield of double season rice

WEI Jinlian, PAN Xiaohua*, DENG Qianghui

Key Laboratory of Physiology, Ecology and Cultivation of Double Cropping Rice, Ministry of Agriculture/ Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education/Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045 Jiangxi, China

Abstract: Temperature is one of the important factors affecting the rice's growth and development, but little is known about the impact of nighttime temperature increase on the yield of double season rice. Different nighttime temperatures in two glass-houses were established to investigate the effects of nighttime temperature increase on the yield of double season rice. For early season rice, the grain yield decreased by 5.42%—9.48% with each 1℃ increase in growing-season minimum temperature. With such a nighttime temperature change, the grain yield of late season rice was promoted by 8.99%—11.28%. The nighttime temperature increase facilitated the tillering of both early and late rice, increased the effective panicles, but inhibited spikelets differentiation. Moreover, the rise in nighttime temperature reduced the filled grain rate of early rice, but improved the filled grain rate of late rice.

Key Words: double-season rice (*O. sativa* L.); nighttime temperature increase; yield and its components; tiller; spikelets differentiation and abortion

在光照、温度、降水、风速等气候生态因子中, 温度是影响水稻生长发育最重要的因子之一。前人就日平均气温、积温、昼夜温差、日最高温度、低温和高温胁迫对水稻生长发育和产量形成的影响进行了大量的研究^[1-3], 但这些研究都是以昼温与夜温的影响没有差异作为前提条件的^[4], 即使是研究夜间温度的影响, 也是在人工控温的恒温条件之下^[5]或采用数学模型进行研究^[6-7]。随着人口的增长和现代工业的发展, 在近百年里全球平均气温已经升高了(0.6±0.2)℃, 而且夜间气温的增幅明显高于白天^[8]。2007年公布的IPCC气候变化报告指出, 全球气温本世纪末还可能上升1.1—6.4℃。基于全球气候变暖的现实, 近年科学家们就夜间温度升高对水稻^[4]、小麦^[9-11]等农作物产量的影响进行了研究。国际水稻研究所彭少兵教授研究表明, 夜间最低温度每升高1℃, 早季水稻的产量下降10%^[4]。

双季水稻在我国粮食安全中有着举足轻重的作用。双季早稻生长期间, 温度由低到高, 而双季晚稻生长

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30860138)

收稿日期: 2009-03-03; 修订日期: 2010-03-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xhuapan@163.com

期间则是由高到低。夜间温度升高对双季早、晚稻产量有无影响?对两者的影响有无差异?目前未见报道。本研究利用玻璃温室夜间是否关窗影响室内温度的原理,设计夜间关窗与不关窗两个处理,旨在探讨夜间温度升高对双季早、晚稻产量的影响,为评估全球气候变暖对双季水稻产量的影响提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2007 年和 2008 年的 4—10 月在江西农业大学进行。试验设置 2 个夜温处理,其它条件均相同。试验期间,在两间玻璃室内各挂一台双金属自动记录温度计。(1)高夜温处理(以下简称处理):白天玻璃温室全敞开,与外界保持通风,4、5、9、10 月份夜间 18:00—6:00 全封闭,6、7、8 月份夜间 19:30—5:30 全封闭;(2)自然夜温(以下简称对照):玻璃温室白天和夜间均全敞开,与外界保持通风。每天夜间平均温度取 20:00、22:00、24:00、2:00、4:00、6:00 等 6 个时刻所对应温度的平均值,夜间最低温则取 20:00—6:00 的最低温度。

1.2 材料种植

供试土壤为本校科技园的水稻土,土壤基本理化性状为 pH 6.4,有机质 $24.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮 $68.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $53.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 $155.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。试验前将土壤全部风干粉碎后再加入少量细沙,并充分混匀。育秧采用塑料盆,其长×宽×高为 $48 \text{ cm} \times 35 \text{ cm} \times 13 \text{ cm}$,装土重量为 18kg。移栽至成熟期用塑料桶,其上部内径 28cm,底部内径 23cm,桶深 27cm,装土重量为 13.5kg。

供试水稻品种,2007 年早、晚稻分别为金优 402、082 和天优 998、F2001;2008 年早、晚稻在 2007 年基础上分别增加了莲塘早 3 号和 IR24。水稻种子用强氯精消毒 10h 后,清水浸种 24h,35℃催芽 48h,然后播种于 2 个玻璃室内已装好等量同质水稻土的塑料盆中。早稻 4 月 10 日播种,5 月 1 日移栽;晚稻 6 月 25 日播种,7 月 20 日移栽,单本插植,4 穴/桶。各处理 N、P、K 肥用量相等,苗期施含 N、 P_2O_5 、 K_2O 各 15% 的复合肥 8g/盆;移栽前一次性施同样的复合肥 8g/桶作基肥。高夜温处理秧苗移栽后继续进行高夜温处理,对照秧苗移栽后继续自然夜温处理。

移栽后每 4d 调查茎蘖数一次(3 桶);始穗期调查颖花分化与退化(1 穴);收割前一天每品种每处理调查 12 穴的有效穗,按平均数法取 5 穴考种,分穴考察水稻的产量构成,千粒重用 5 穴实粒重除以 5 穴实粒数获得,平均每穴实粒重即为产量。

1.3 统计方法

利用 DPS 统计软件和 Excel 进行统计分析,用 t 测验对同一品种的处理与对照间差异进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 水稻生长期间不同处理的夜间温度变化

早稻生长期间处理室内与对照室内的每天夜间平均温度相差幅度为 0.30—5.20℃,处理室平均为 23.92℃,较对照高 2.07℃;夜间最低温度的相差幅度为 0.10—4.80℃,处理室平均为 21.99℃,较对照高 1.58℃(图 1)。

晚稻生长期间处理室内与对照室内的每天夜间平均温度相差幅度为 0.10—5.30℃,处理室平均为 29.47℃,较对照高 2.77℃;夜间最低温度的相差幅度为 0.6—5.6℃,处理室平均为 28.39℃,较对照高 2.78℃(图 2)。

2.2 夜温升高对双季水稻产量的影响

本试验两年的产量趋势和差异程度接近。表 1 中莲塘早 3 号和 IR64 为 2008 年结果,其余为 2007 和 2008 年两年的平均值。结果表明,夜温升高极显著地增加了双季早稻的有效穗数,但显著或极显著地减少了每穗粒数、降低了结实率和千粒重,从而导致产量显著或极显著地下降。金优 402、082 和莲塘早 3 号处理较对照分别下降 14.98%、14.70% 和 8.56%,平均夜间最低温度每升高 1℃,使产量分别下降 9.48%、9.30% 和 5.42%。夜温升高极显著地减少双季晚稻的每穗粒数,但显著或极显著地提高有效穗数和结实率,从而产量

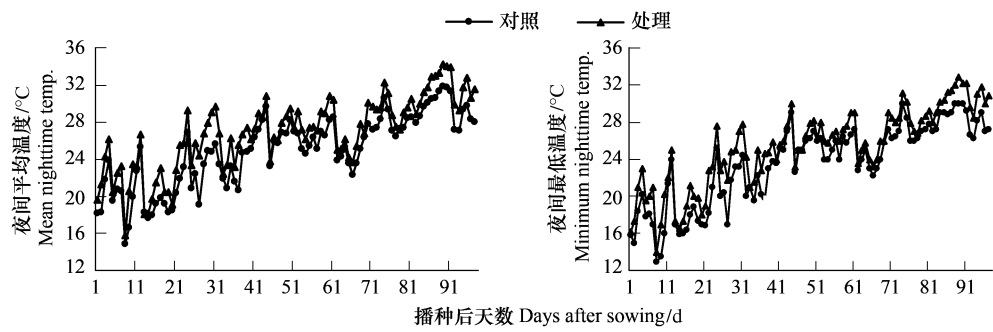


图 1 早稻播种至成熟的夜间温度变化
Fig.1 Changes of nighttime temperature from sowing to maturity in early rice

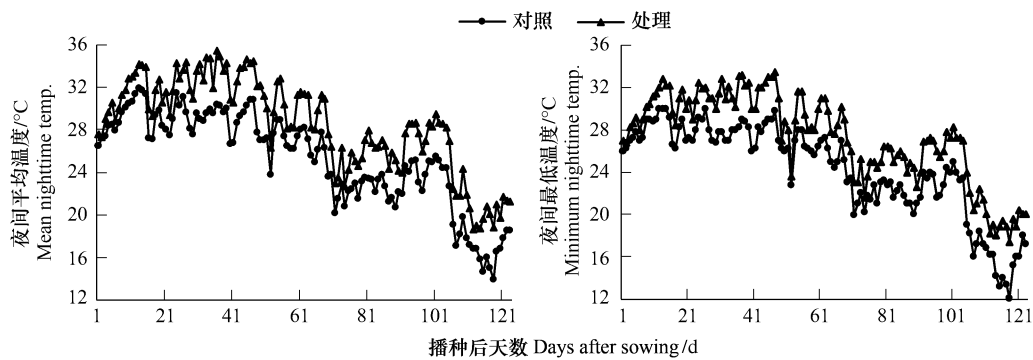


图 2 晚稻播种至成熟的夜间温度变化
Fig.2 Changes of nighttime temperature from sowing to maturity in late rice

极显著地提高。天优 998、F2001 和 IR24 处理较对照分别增产 26.02%、24.98% 和 31.37%，平均夜间最低温度每升高 1℃，产量分别提高 9.36%、8.99% 和 11.28%。

表 1 夜温升高对双季水稻产量的影响
Table 1 Effects of nighttime temperature increases on grain yield of double season rice

季别 Season	品种 Variety		有效穗/(个/穴) Effect panicle/hill	粒数/(粒/穗) Spikelet/ panicle	结实率/% Filled grain percentage	千粒重/g 1000-grain weight	产量/(g/穴) Yield g/hill
早稻 Early rice	金优 402	处理 Treatment	11.4aA	140.50bB	80.90bB	25.75	31.50bB
	Jinyou 402	对照 CK	10.0bA	162.40aA	87.40aA	26.60	36.22aA
	082	处理	12.0aA	138.01bB	84.30bB	22.69	26.46bB
		对照	9.7bB	164.80aA	89.20aA	23.62	30.35aA
	莲塘早 3 号	处理	8.5aA	126.40bB	90.40bA	23.21	22.54bB
	Liantangzao 3	对照	7.4bB	143.10aA	95.00aA	24.32	24.47aA
晚稻 Late rice	天优 998	处理	11.4aA	132.50bB	88.57aA	24.71	33.18aA
	Tianyou 998	对照	9.1bB	140.70aA	82.60bA	24.91	26.33bB
	F2001	处理	8.9aA	96.40bB	93.08aA	31.81	25.32aA
		对照	6.9bB	106.10aA	86.52bB	32.32	20.26bB
	IR64	处理	7.8bA	132.70a	74.31aA	29.67	22.82aA
		对照	6.5bB	137.70a	65.73bB	29.47	17.34bB

同列中大小字母表示同品种处理与对照间达 1% 和 5% 显著水平(*t* 测验)

2.3 夜温升高对分蘖的影响

从图 3、图 4 可见,夜温升高均有利于双季早、晚稻的分蘖。双季早稻金优 402 的单株最高茎蘖数处理较

对照多 3.11 个,差异极显著;082 处理较对照多 4.99 个,差异显著。双季晚稻天优 998 单株最高茎蘖数处理为 18.6 个,较对照多 4.08 个,差异极显著;F2001 处理为 14.0 个,较对照多 2.0 个,差异显著。最终成穗数处理显著多于对照。

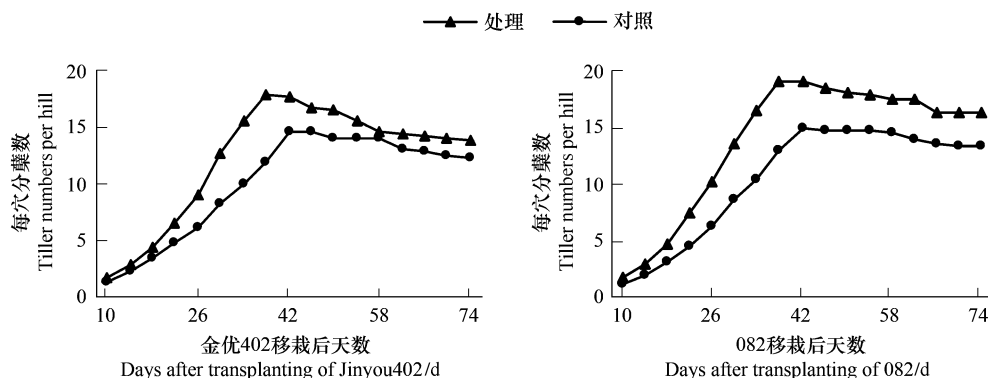


图 3 夜间温度升高对早稻分蘖动态的影响

Fig. 3 Effects of nighttime temperature increases on tillering dynamic of early rice

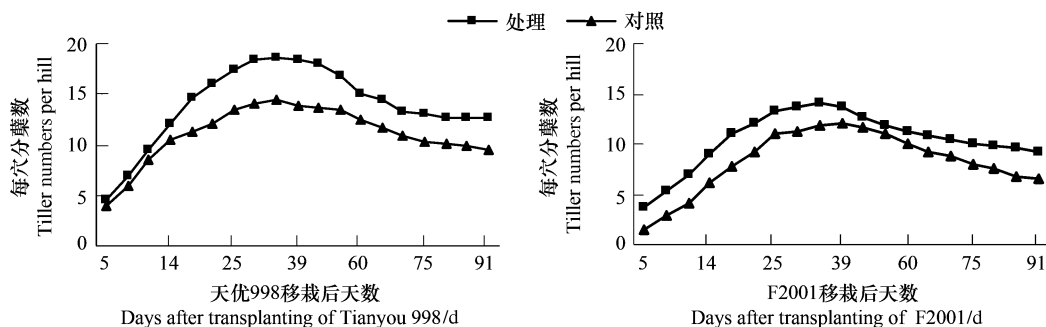


图 4 夜间温度升高对晚稻分蘖动态的影响

Fig. 4 Effects of nighttime temperature increases on tillering dynamic of later rice

2.4 夜温升高对颖花分化与退化的影响

表 2 表明,夜温升高对早、晚稻颖花分化和退化的影响存在明显差异。夜温升高不利于早稻颖花分化,但退化率较低。金优 402 每穗颖花分化数处理较对照少 76.98 朵,退化率较对照低 9.17 个百分点,差异均极显

表 2 夜温升高对双季水稻颖花分化和退化的影响

Table 2 Effects of nighttime temperature increases on differentiation and abortion of spikelets

季别 Season	品种 Variety		发育颖花数/(朵/穗) Developed spikelet/panicle	分化颖花数/(朵/穗) Differentiation spikelet/panicle	退化率/% Abortion percentage
早稻 Early rice	金优 402 Jinyou 402	处理	107.0bB	140.78bB	23.83bB
		对照	145.9aA	217.76aA	33.00aA
	082	处理	102.3bB	140.10bA	27.00a
		对照	124.7aA	178.10aA	30.00a
晚稻 Late rice	天优 998 Tianyou 998	处理	139.2bB	220.7bB	36.92aA
		对照	165.7aA	233.4aA	28.98bA
	F2001	处理	102.2bB	131.9bB	23.36aA
		对照	123.9aA	147.3aA	16.25bB

同列中大小字母表示同品种处理与对照间达 1% 和 5% 显著水平(t 测验)

著;082 每穗颖花分化数处理较对照少 38 朵,差异显著,退化率处理较对照低 3 个百分点,差异不显著。说明,夜温升高导致早稻每穗发育颖花数减少,主要是减少了颖花分化,而不是增加了颖花退化。

夜温升高不仅不利于晚稻的颖花分化,也增加颖花的退化。天优 998 和 F2001 处理的每穗颖花分化数分别较对照少 12.67 朵和 15.39 朵,差异均极显著。颖花退化率,天优 998 处理的为 36.92%,较对照高 7.94 个百分点,差异显著;F2001 处理为 23.36%,较对照高 7.11 个百分点,差异极显著。

2.5 夜温升高对双季水稻始穗期的影响

试验表明(表 3),夜温升高对早稻生育期有明显影响,处理的始穗期较对照缩短 7—9d;而夜温升高对双季晚稻生育期的影响相对较小,处理仅较对照缩短 1—3d。

表 3 夜温升高对双季水稻始穗期(月-日)的影响

Table 3 Effect of nighttime temperature increases on initial heading of double season rice(month-day)					
年份 Year	品种 Variety	金优 402 Jinyou 402	082	天优 998 Tianyou 998	F2001
2007	处理 Treatment	06-14	06-08	09-10	09-10
	对照 CK	06-21	06-15	09-12	09-11
2008	处理 Treatment	06-10	06-06	09-08	09-09
	对照 CK	06-19	06-14	09-11	09-11

3 讨论

全球变暖对农作物生长发育和生产潜力的影响已引起人们的普遍关注^[4,6-7,9-13],Peng 等^[4]研究指出,在热带旱季夜间最低温度每升高 1℃,水稻产量下降 10%。Lobell 等^[11]指出,最高温与最低温对春小麦的影响在美国西部 3 个不同地区的影响是不一致的。本研究表明,在水稻生长期,夜温升高对长江中游地区双季早、晚稻产量的影响存在明显差异。夜温升高导致双季早稻产量下降,而双季晚稻产量则提高。说明夜间温度升高对水稻产量的影响并不是一个简单的关系,而是因地区和季别的不同存在差异。

Peng 等^[4]认为,夜温升高使单位面积的有效穗减少,而对其它产量因素影响较小。Mohammeda 等^[14]指出,高夜温影响水稻的产量是通过影响花粉萌发和结实率,而不是光合作用。本研究表明,无论是早稻还是晚稻,夜温升高均有利于分蘖的发生,增加有效穗,但不利于颖花分化,从而使每穗颖花数减少。角田^[15]的研究表明,分蘖前期(移栽后 27d 前)在较高的温度下(30—35℃)分蘖数多,移栽至分蘖高峰期的积温越高分蘖的生长量越大^[16]。本研究中早、晚稻移栽至幼穗分化期间的白天平均温度分别为 30.5℃ 和 34.77℃,夜间平均温度处理分别为 26.7℃ 和 32.75℃,较对照分别高 2.2℃ 和 3.93℃。夜温升高有利于分蘖,可能与其增加了分蘖期的积温有关。松岛等^[17]指出,在穗分化始期的昼温 30—35℃,夜温 25℃,每穗颖花数量多;张效忠^[18]的研究表明,夜间低温(20—21℃)比高温(25℃)条件下,始穗天数增加 15% 左右,颖花数增加 40.5%。也有研究表明^[19],籼稻形成大穗的适宜温度为 19.4—23.5℃,不利于籼稻品种形成大穗的温度为 24.6—27.7℃。在本研究中,幼穗分化-抽穗期间,早、晚稻白天平均温度分别为 30.3℃ 和 27.64℃,处理的夜间平均温度分别为 27.7℃ 和 27.06℃,较对照分别高 1.6℃ 和 3.07℃。无论是早稻还是晚稻,处理的温度均高于颖花分化的适宜温度,而对照温度接近颖花分化的适宜温度。这也就是为什么在双季水稻幼穗分化期间夜温升高不利于颖花分化、使每穗粒数减少之故。夜温升高对双季早、晚稻产量影响的差异,与其对结实率的影响不同有关。夜温升高降低早稻的结实率,而提高晚稻的结实率。这与早、晚稻灌浆结实期所处的温度条件有关。松岛^[17]的研究表明,昼温 25—30℃,夜温 20—25℃ 最有利于灌浆结实。本研究中,早、晚稻灌浆结实期间的白天平均温度分别为 33.7℃ 和 25.48,处理的夜间平均温度分别为 31.0℃ 和 24.28℃,较对照分别高 1.9℃ 和 3.66℃。因此,夜温升高不利于双季早稻的灌浆结实,使结实率降低;而夜温升高有利于双季晚稻的灌浆结实,使结实率提高。

温度影响水稻产量的生理机制是多方面的。本文仅分析了夜温升高对产量构成因素的影响。夜温升高

对水稻干物质生产、运转分配、根系生长发育和养分吸收等方面有什么样的影响,目前鲜有报道,值得进一步研究。

References:

- [1] Liang G S. Ecology of Rice. Beijing: China Agriculture Press, 1983.
- [2] The Chinese Academy of Agricultural Sciences. Chinese Agricultural Meteorology. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 62-63.
- [3] Yoshida S. Effects of temperature on growth of the rice plant in a controlled environment. Soil Sci and Plant Nutri, 1973, 19(4): 299-310.
- [4] Peng S B, Huang J L, Sheehy J E, Laza R C, Visperas R M, Zhong X H, Centeno G S, Khush G S, Cassman K G. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. Proc. Natl. Acad. Sci., 2004, 101: 9971-9975.
- [5] Ziska L H, Manalo P A. 1996. Increasing night temperature can reduce seed set and potential yield of tropical rice. Aust J Physiol, 23: 791-794.
- [6] Horie T. A simulation model for rice-weather relationship (SIMRIW). J Agric Meteorol (Tokyo), 1987, 48: 567-574.
- [7] Horie T, Baskar J T, Nakagawa H. Crop ecosystem responses to climate change: Rice//K. R. Reddy and H. F. Hodges, Editors, Climate change and Global crop productivity, CABI Publishing, Wallingford, Oxon (2000), 81-106.
- [8] IPCC. Climate Change, 2000. The scientific basis//by Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, Noguer P J, Linden V, Da X, Maskell K, Johnson C A. eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001: 881.
- [9] Zhang J P, Zhao Y X, Wang C Y, He Y. Effects of climate change on winter wheat growth and yield in north China, Chinese J Appl Ecol., 2006, 17(7): 1179-1184.
- [10] Lobell D B, Ortiz-Monasterio J I, Asner G P, Matson P A, Naylor R L, Falcon W P. Analysis of wheat yield and climatic trends in Mexico. Field Crops Res, 2005, 94: 250-256.
- [11] Lobell D B, Ortiz-Monasterio J I. Impacts of day versus night temperature on spring wheat yield; a comparison of empirical and CERES model predictions in three locations. Agron J. 2007, 99: 469-477.
- [12] Parry M L, Swaminathan M S. Effects of Climate Changes on Food Production. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- [13] Terjung W H, Ji H Y, Hayes J T. Actual and yield for rainfed and irrigation maize in China. International J Biomeorology, 1989, 28: 115-135.
- [14] Mohammeda A R, Tarpley L. High nighttime temperature affect rice productivity through altered pollen germination and spikelet fertility. Agric. Forest Meteorology, 2009, 149(6-7): 999-1008.
- [15] Tsunoda. K Studies on the effects of water temperature on the growth and yield in rice plants, Bull Natl Inst Agric Sci, A, 1964: 11.
- [16] Zhu D F, Zhang X F, Xu L, Fei K L. Relationship between leaf appearance on main stem of rice and temperature. Chinese J Ecol, 1998, 17(5): 71-73.
- [17] Matsushima S, Tsunoda K. Analysis of developmental factors determining yield and its application to yield prediction and culture improvement in lowland rice. : XLIX. Effects of irrigation-water temperature and its daily range in different growth-stages upon the growth, grain yield and its constitutional factors in rice plants. Jap J Crop Sci, 1959, 27(3): 357-358.
- [18] Zhang X Z, Su Z S. Effect of temperature on rice panicle size. J Anhui Agric Sci, 1998, 26(3): 207-208.
- [19] Lou W P, Sun Y F, Zhang H, Zhang W X. Effects of temperatures on spikelets per panicle of rice. Acta Agric Zhejiang, 2005, 17(2): 101-105.

参考文献:

- [1] 梁光商. 水稻生态学. 北京: 中国农业出版社, 1983.
- [2] 中国农业科学院. 中国农业气象学. 北京: 中国农业出版社, 1999: 62-63.
- [9] 张建平, 赵艳霞, 王春乙, 何勇. 气候变化对我国华北地区冬小麦发育和产量的影响. 应用生态学报, 2006, 17(7): 1179-1184.
- [16] 朱德峰, 章秀福, 许立, 费槐林. 水稻主茎叶片出生与温度关系. 生态学杂志, 1998, 17(5): 71-73.
- [18] 张效忠, 苏泽胜. 温度对水稻幼穗大小影响的研究. 安徽农业科学, 1998, 26(3): 207-208.
- [19] 娄伟平, 孙永飞, 张寒, 张维祥. 温度对水稻每穗颖花数的影响. 浙江农业学报, 2005, 17(2): 101-105.