

湘潭市农业气候资源变化分析及其对双季稻生长的影响

廖忠辉, 林明丽, 黄娟, 尹宝蓉, 欧阳也能 (湖南省湘潭市气象局, 湖南湘潭 411100)

摘要 [目的]分析湘潭市农业气候资源变化及其对双季稻生长的影响。[方法]利用1961~2010年湘潭市3个国家气象观测站的气象观测资料,计算分析双季稻生长季的热量资源(主要包括农业生长界限温度和生长季积温等)、水资源、光资源的变化趋势及其变化对双季稻生长的影响。[结果]稳定通过11℃初日提前,稳定通过20℃终日推迟,稳定通过8℃初日、22℃终日变化不大,10℃初日至20℃和22℃终日持续日期延长,活动积温增加,降水量增加,日照时数减少,但除稳定通过11℃初日、日照时数减少通过显著性检验外,其余均未通过。[结论]湘潭双季稻的安全生长期将有所延长,可将种植品种中早熟品种换成生育期相对较长、产量相对较高的中熟或迟熟品种,将有利于提高双季稻的单产。

关键词 农业气候资源;界限温度;变化特征;双季稻;影响;湘潭市

中图分类号 S161 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)17-05587-03

Analysis on the Change of Agricultural Climate Resources and Its Influence on the Growth of Double Cropping Rice in Xiangtan City LIAO Zhong-hui et al (Xiangtan Meteorological Bureau, Xiangtan, Hunan 411100)

Abstract [Objective] The research aimed to analyze the change of agricultural climate resources and its influence on the growth of double cropping rice in Xiangtan. [Method] Using three National Meteorological Stations meteorological observation data in Xiangtan city from 1961 to 2010, the change trends of heat resource (including agricultural main boundary temperature and accumulated temperature of growing season), water resources and light resources in double cropping rice growth season and its influence on the growth of double cropping rice were calculated and analyzed. [Result] The beginning date of stability through 11℃ was advanced, the last date of stability through 20℃ was delayed, the beginning date of stability through 8℃ and the last date of stability through 22℃ were little change, beginning date of 10℃ to 20℃ and 22℃ extend continuously throughout the day, active accumulated temperature and precipitation increase, reduce the number of sunshine, but the beginning date of 11℃, reduce the number of sunshine hours pass significant test, the rest were not through. [Conclusion] Safe growth period of double cropping rice in Xiangtan would be extended, planting early maturing varieties can be changed into growth period is longer, relatively high yield of medium or late maturing varieties, will help to improve the yield of double cropping rice.

Key words Agricultural climate resources; Critical temperature; Change characteristics; Double cropping rice; Influence; Xiangtan City

当前,全球气候变暖已成为事实,最近100年全球平均气温升高了0.3~0.6℃,特别是20世纪80年代以来,增温更为迅速^[1]。有研究表明,全球气候变暖带来的气温、降水、光照等气候要素的变化,对农业生态环境以及作物生长发育和产量形成将造成显著影响^[2-3]。湘潭是湖南省的种粮大市,气候资源丰富,受气候变化影响,湘潭的光、热量、水等农业气候资源的年际间和地域间等均有明显差异。因此,笔者利用1961~2010年湘潭市3个国家气象观测站的气象观测资料,计算分析了双季稻生长季的热量资源(主要包括农业生长界限温度和生长季积温等)、水资源、光资源的变化趋势及其变化对双季稻生长的影响,为今后应对气候变化、合理利用农业气候资源、制定适应气候变化的对策等提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源 采用1961~2010年湘潭市3个国家气象观测站的逐日平均气温、降水量、日照时数的气象观测资料。气象资料来自湖南省气候中心下发的1961~2010年湘潭地区地面测报A文件。

1.2 分析方法

1.2.1 界限温度初日和双季稻生长季的确定。稳定通过是指后期不再出现连续5d滑动日平均气温值低于或高于规定的指标^[4]。根据资料,稳定通过8℃初日为湘潭双季早稻旱育秧的界限温度,稳定通过11℃或12℃初日为水育秧的界限温度,20、22℃终日为粳稻或籼稻安全抽穗扬花的最低

界限温度^[5-6]。其中10℃初日至20℃或22℃终日为双季稻生长界限稳定期。根据水稻生长发育期,以4~10月作为双季稻生长季。

1.2.2 生长季积温。积温是表示热量资源的重要指标,一般用 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温来反映作物生长期内的热量状况。在此以10℃初日至20℃(22℃)终日持续时间计算积温。

1.2.3 气候倾向率计算。利用多项式法拟合一元线性方程 $y = at + b$ 计算各气象要素的年趋势变化率及其在生长季的变化率,式中, a 为斜率, b 为回归系数, y 为气象要素, t 为时间;其斜率(a)表示气象要素变化倾向率, a 值的符号正或负反映趋势上升或下降^[7]。年变化率回归分析的显著性用 F 检验。

2 结果与分析

2.1 农业气候资源变化特征分析

2.1.1 农业生产界限温度初、终日的变化特征。从表1可以看出,1961~2010年来湘潭双季稻产区,8、11℃初日日序的气候倾向率分别为-0.13、-0.98 d/10a,均为下降趋势,说明稳定通过8、11℃界限温度的初日均有提前趋势,但8℃初日提前不明显,全市平均提前0.13~0.98 d/10a;20℃终止日序的气候倾向率表现为增加趋势,即稳定通过20℃终日为推迟趋势,全市平均推迟2.79 d/10a;22℃终止日序的气候倾向率表现为弱下降趋势,可视为稳定通过22℃终日变化不大。稳定通过8℃的初日在年代变化上,20世纪70、80年代较60年代略有推迟,90年代推迟较多,但在21世纪以来则提前较多,初日为3月10~12日。总体来看,21世纪以来各农业生产界限温度初日(终日)均有不同程度的提前

(推迟),而韶山在各年代初终日变化均较其他地区提前较多。在相关性检验上,稳定通过 11℃ 界限温度初日,平均的

年代变化通过了 0.05 的显著性检验,而其他的界限温度未通过显著性检验。

表 1 1961~2010 年湘潭市主要界限温度初、终日年代变化及其倾向率

年代	8℃(初日)			11℃(初日)			20℃(终日)			22℃(终日)		
	湘潭	湘乡	韶山	湘潭	湘乡	韶山	湘潭	湘乡	韶山	湘潭	湘乡	韶山
60年代	03-15	03-13	03-10	04-05	03-30	03-30	09-29	09-29	09-28	09-19	09-18	09-18
70年代	03-16	03-16	03-13	03-28	03-24	03-23	09-28	09-28	09-27	09-16	09-15	09-13
80年代	03-17	03-15	03-15	04-01	04-01	03-28	09-29	09-28	09-25	09-16	09-13	09-12
90年代	03-19	03-19	03-18	04-01	03-30	03-30	09-26	09-27	09-25	09-19	09-20	09-15
21世纪以来	03-12	03-10	03-10	03-25	03-24	03-24	10-03	10-02	09-27	09-20	09-16	09-09
50年平均	03-14	03-15	03-16	03-27	03-29	03-30	09-29	09-29	09-25	09-18	09-16	09-12
倾向率//d/10a	-0.13			-0.98			2.79			-0.33		
相关性检验	未通过检验			通过 0.05 信度检验			未通过检验			未通过检验		

2.1.2 界限温度持续日数和积温变化特征。根据廖玉芳等研究提出的湖南省双季稻种植适宜性气候区划指标^[8],以 10℃ 初日至 22℃ 终日统计分析界限温度持续日数和积温。从表 2 可知,除 20 世纪 80 年代外,全市各地 10℃ 初日至 22℃ 终日持续日数均有不同程度增加,60、70 年代各站均变化不大,80 年代总体缩短 4~5 d,90 年代以来为增加趋势,特别是湘潭的持续日数 21 世纪以来增幅明显,较 20 世纪 90 年代增加了 7 d;均没有通过显著性检验。10℃ 初日至 22℃ 终日积温年变化率为 22.2 (℃·d)/10a,为增多趋势;20 世纪 60~80 年代为下降趋势,与持续日数类似,大部分地区于 80 年代为一个突变点,90 年代之后又明显增加,21 世纪以来变化趋势约为 308.9 (℃·d)/10a,湘潭、湘乡较 20 世纪 80 年代增加约 240~282℃·d。

表 2 1961~2010 年湘潭市主要界限温度持续日数和积温年代变化及其倾向率

年代	10℃初日~22℃终日持续日数//d			10℃初日~22℃终日积温//℃·d		
	湘潭	湘乡	韶山	湘潭	湘乡	韶山
60年代	179	178	174	4 398.3	4 360.6	4 186.4
70年代	179	177	175	4 310.6	4 232.6	4 115.7
80年代	175	172	170	4 240.3	4 134.5	4 058.6
90年代	180	180	176	4 304.4	4 317.9	4 143.0
21世纪以来	187	180	177	4 532.2	4 373.4	4 122.4
50年平均	181	177	174	4 358.4	4 275.3	4 108.0
倾向率	1.34 d/10a			22.2 (℃·d)/10a		
相关性检验	未通过检验			未通过检验		

2.1.3 水资源变化特征。分析降水量的年变化曲线(图略)可看出,在 20 世纪 60 年代末~70 年代初和 90 年代末 21 世纪初期 2 个阶段为降水最多时期,而在 20 世纪 80 年代出现了一段枯水期,最少年为 1986 年,为 996.9 mm,90 年代以后呈增多趋势,2002 年达到 50 年来的峰值 1 923.3 mm,湘乡、韶山降水量的总体分布趋势也大概一致。线性拟合分析可见,湘潭、湘乡、韶山的年降水量均呈增加趋势,湘潭、湘乡增加的速度较快,分别以气候倾向率为 23.5、28.9 mm/10a 的趋势增多,韶山气候倾向率为 8.1 mm/10a。但没有通过显著性检验。

双季稻生长季 4~10 月的降水总量与年降水量的变化特征相似,存在 2 个丰水期、1 个枯水期。经过线性倾向估计

法分析(图 1,以湘潭为例),与年分布情况略有不同,湘潭、湘乡年降水量均呈增多趋势,湘潭以 8.95 mm/10a 的气候倾向率增长,湘乡以 15.06 mm/10a 的趋势增长,韶山则以 1.76 mm/10a 的趋势减少。尤以 20 世纪 90 年代降水增多的趋势明显,气候倾向率达 263.97 mm/10a,通过了 0.02 的显著性检验。

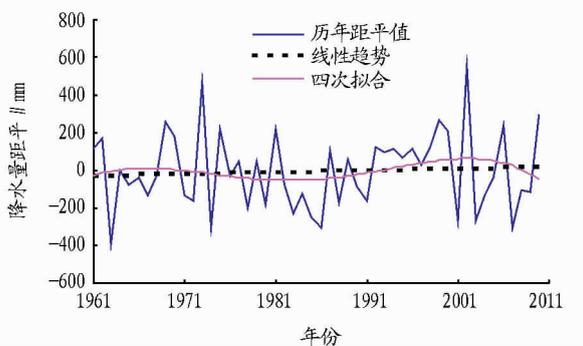


图 1 1961~2010 年 4~10 月湘潭降水距平变化

2.1.4 光资源变化特征。经分析,1961~2010 年湘潭市日照时数气候倾向率为负,说明年日照时数随着时间增加整体呈下降趋势,湘潭以 41.02 h/10a 的倾向率速度下降,湘乡以 48.19 h/10a 速度下降,韶山的下降幅度最大,达 -78.46 h/10a,且 21 世纪以来湘乡、韶山下下降明显。从负相关系数来看,均超过 0.01 的信度检验,其中湘潭和韶山甚至超过了 0.001 的信度检验,全市日照时数下降趋势均通过了显著性检验(表 3)。

双季稻生长季 4~10 月的日照时数与年日照时数的变化特征一致(图 2,以湘潭为例),整体呈下降趋势,韶山的降幅为最大。经线性拟合分析,双季稻生长季日照时数均呈现下降趋势,湘潭、湘乡的气候倾向率分别为 -33.65、-35.46 h/10a,韶山为 -59.83 h/10a,下降趋势最明显。从负相关系数来看,3 站均通过了显著性检验,且均超过 0.01 的信度检验,其中韶山超过了 0.001 的信度检验(表 3)。生长季日照时数年代变化与年日照时数的年代变化大体相同,20 世纪 80 年代以后,双季稻生长季日照时数是波动下降的,21 世纪以来以 17.84 h/10a 的倾向率下降,降幅最为明显,并通过了显著性检验,其他年代均未能通过显著性检验。

表 3 1961~2010 年日照时数变化及其倾向率

站名	年日照时数					4~10 月日照时数				
	线性拟合			四项拟合		线性拟合			四项拟合	
	倾向率 h/10a	相关系数 r	信度检验	相关系数 r	信度检验	倾向率 h/10a	相关系数 r	信度检验	相关系数 r	信度检验
湘潭	-41.02	-0.404 8	通过 0.01	-0.472 5	通过 0.001	-33.65	-0.400 5	通过 0.02	-0.417 9	通过 0.01
湘乡	-48.19	-0.450 7	通过 0.010	-0.460 5	通过 0.01	-35.46	-0.420 8	通过 0.02	-0.441 2	通过 0.01
韶山	-78.46	-0.716 5	通过 0.001	-0.729 5	通过 0.001	-59.83	-0.662 5	通过 0.01	-0.669 7	通过 0.001

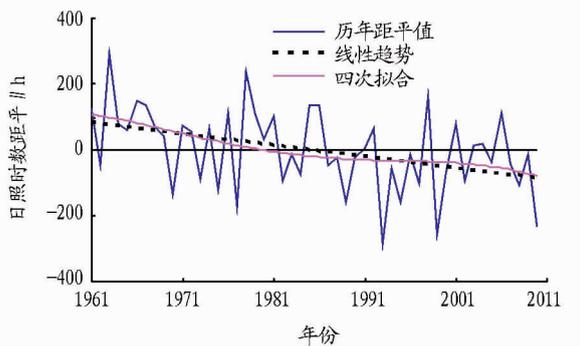


图 2 1961~2010 年 4~10 月湘潭日照时数变化

2.2 对双季稻生长的影响分析 农业生产界限温度稳定通过 8、11℃ 初日提前, 20℃ 终日推迟, 积温增多和界限温度持续日数延长, 双季稻生长季降水量增加, 日照时数减少的气候变化特征, 均将对湘潭市的农业结构、种植制度和作物产量等产生相应的影响。

2.2.1 界限温度起止日、积温和持续日数变化产生的影响。 育种适宜温度初日的提前, 全市的农事活动不同程度提前, 稳定通过 11℃ 初日提前的气候特点, 并通过显著性检验, 因此, 不考虑品种, 在种植时间上, 选择 11℃ 作为水稻安全播种期, 有利于水稻播种后育秧和壮苗培育。稳定通过 20℃ 终日的延迟能保障双季晚稻安全扬穗开花, 但通过显著性检验的区域不多。

积温和持续日数的不同程度增大, 作物生长发育所需的热量条件更充足, 对于保证双季稻安全生长、齐穗非常有利, 也将大大减少冷害的发生, 但 ≥ 10 ℃ 积温初、终日的年际间差异非常大, 且均未通过显著性检验, 因此, 作物在生长季受到冷害的风险仍然是比较大的^[9-11]。另外, 根据廖玉芳等^[8]研究提出的气候区划指标(表 4), 湘潭、湘乡 10~22℃ 的积温约 4 200~4 400℃·d, 较适宜的双季稻熟制搭配为中熟+迟熟(前面为早稻熟性, 后面为晚稻熟性), 而从 21 世纪以来来看, 湘潭的积温达 4 532.2℃·d, 表明湘潭随时间最适宜种植迟熟+迟熟的熟制搭配; 韶山积温为 4 100℃·d 左右, 适宜的双季稻熟制搭配为早熟+迟熟(中熟+中熟)。但仅考虑了积温的分布状况, 只代表热量资源的一个变化趋势, 不能作为水稻种植布局的决定性依据。

2.2.2 水资源增加产生的影响。 根据《中国主要作物需水量与灌溉》^[12] 统计分析得出长江中下游地区双季稻的需水量平均为 767 mm。1961~2010 年湘潭市双季稻生长季的平均降水量为 1 083~1 120 mm, 降水充足, 较满足作物的水分需求; 生长季的降水量增加趋势, 对灌溉条件较差的地区, 有

利水稻在生长关键期均有充分的水分供应。但气候变化背景下, 极端强降水平均强度和极端强降水值均有增加趋势, 极端强降水事件也趋于增多^[13], 且年际间也存在较大的差异, 仍要考虑极端事件的不利影响。

表 4 湖南省双季稻种植适宜性气候区划指标

气候区域	10~22℃ 积温 ℃·d	4~10 月日 照时数/h
迟熟+迟熟	$\geq 4 400$	$\geq 1 150$
中熟+迟熟	4 200~4 400	1 100~1 150
早熟+迟熟(中熟+中熟)	4 000~4 200	1 050~1 100
早熟+中熟	3 800~4 000	1 000~1 050
早熟+早熟	3 600~3 800	1 000~950
不适宜区	$< 3 600$	< 950

2.2.3 光资源减少产生的影响。 50 年湘潭市双季稻生长季的平均日照时数为 1 137~1 193 h, 能满足作物生长需求。生长季日照时数减少趋势, 将由于光照的不足, 可能会导致作物光合作用不够充分, 影响干物质积累, 从而影响作物产量。若遇到阶段性低温, 光合速率明显降低, 日照时数的减少将加剧低温冷害对其造成的影响^[14]。

3 结论与讨论

1961~2010 年湘潭市多数地方稳定通过 11℃ 初日提前, 稳定通过 20℃ 终日推迟, 稳定通过 8℃ 初日、22℃ 终日变化不大, 10℃ 初日至 20℃ 和 22℃ 终日持续日期延长, 活动积温增加, 降水量增加, 日照时数减少, 但除稳定通过 11℃ 初日、日照时数减少通过显著性检验外, 其余均未通过。

气候变化使得湘潭水稻的适宜生长季开始日期提早、安全齐穗终止日期延后, 双季稻的安全生长期有所延长, 因此, 在品种和熟制布局、稻作制度等方面做出适当调整, 可将种植品种中早熟品种换成生育期相对较长、产量相对较高的中熟或迟熟品种, 将有利于提高水稻的单产^[15], 并要改善灌溉条件, 努力培育生育期较长的耐热和耐旱新品种, 加大优良品种推广力度, 提高良种覆盖率^[16]。农业气候资源发生了明显变化, 在农业生产过程中, 需要大力增强农业防灾、抗灾减灾和综合生产的能力, 趋利避害, 充分有效地利用好农业气候资源, 确保农业生产的可持续发展。

参考文献

- [1] 董杰, 贾学锋. 全球气候变化对中国自然灾害的可能影响[J]. 聊城大学学报, 2004, 17(2): 58-70.
- [2] 王位泰, 张天峰, 蒲金涌, 等. 黄土高原中部冬小麦生长对气候变暖和春季晚霜冻变化的响应[J]. 中国农业气象, 2011, 32(1): 6-11.
- [3] 叶彩华, 梁庆祖, 胡宝. 北京农业气候资源变化特征及其对不同种植模式玉米各生育期的影响[J]. 自然资源学报, 2010, 25(8): 1350-1364.
- [4] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007.

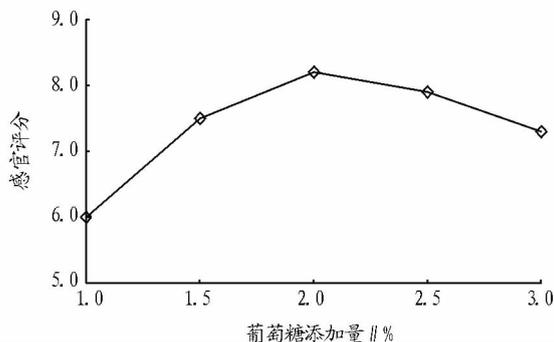


图3 葡萄糖添加量对风味酱鸭感官评分的影响

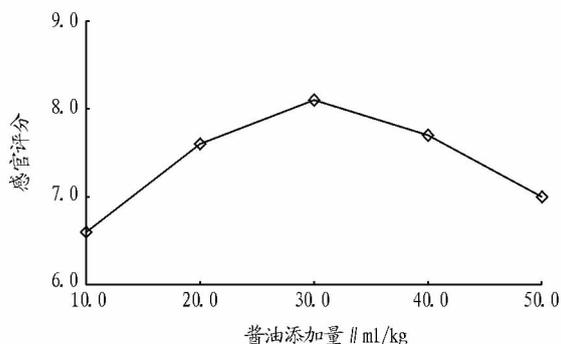


图4 酱油添加量对风味酱鸭感官评分的影响

2.2 正交试验结果与分析 正交试验的结果与分析如表3所示,由极差分析结果可知,因素主次为 $C > D > B > A$,说明在这几个因素中葡萄糖添加量对风味酱鸭品质影响最大,其次是酱油添加量,再次是煮制时间,最后是腌制时间。最优水平组合为 $A_2B_3C_2D_2$,即腌制时间 12 h,煮制时间 70 min,葡萄糖添加量 2.0%,酱油添加量 30 ml/kg。

2.3 验证试验 由于正交试验直接结果最优组与极差分析最优组合不一致,故将组合 $A_1B_2C_2D_2$ 与 $A_2B_3C_2D_2$ 做验证试验,结果得 $A_1B_2C_2D_2$ 组合评分 8.3 分,而 $A_2B_3C_2D_2$ 组合评分为 8.4 分。由此可得到风味酱鸭的最优配比为 $A_2B_3C_2D_2$,即腌制时间 12 h、煮制时间为 70 min、葡萄糖添加量为 2.0%、酱油添加量为 30 ml/kg。

3 结论

该研究以鸭腿作为原料,选取腌制时间、煮制时间、葡萄糖添加量和酱油添加量为主要因素,研究各因素对风味酱鸭风味的影响,并对其工艺参数进行了优化。通过试验,得出

风味酱鸭的最佳工艺条件为:腌制时间 12 h、煮制时间 70 min、葡萄糖添加 2.0% 和酱油添加 30 ml/kg(以鸭腿的质量计)。通过调控腌制时间、煮制时间,改变葡萄糖和酱油的添加量,对酱鸭风味的改善取得了明显的效果。

表3 $L_9(3^4)$ 正交试验结果分析

试验号	因素				评分
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	7.6
2	1	2	2	2	8.3
3	1	3	3	3	7.9
4	2	1	2	3	8.0
5	2	2	3	1	7.9
6	2	3	1	2	8.1
7	3	1	3	2	8.0
8	3	2	1	3	7.8
9	3	3	2	1	8.1
K_1	23.8	23.6	23.5	23.6	
K_2	24.0	24.0	24.4	24.4	
K_3	23.9	24.1	23.8	23.7	
R	0.2	0.5	0.9	0.7	
因素主次	C > D > B > A				
最优组合	$A_2B_3C_2D_2$				

参考文献

- [1] FAMPLER L. Poultry meat flavor[M]//RICHARDSON R I, MEAD G C. Poultry Meat Science Symposium. CABI Pub, 1999:116-120.
- [2] 董文江,刘敦华. 鸭肉风味的研究进展[J]. 肉类工业, 2008(11):47-49.
- [3] 马汉军,周光宏,余小颖. 鸭肉肠的加工工艺研究[J]. 食品科学, 2008, 29(11):183-185.
- [4] 申强. 我国禽肉制品现状扫描[J]. 山西农业(致富科技), 2006(20):56-58.
- [5] 徐为民,周光宏. 南京板鸭生产过程中风味成分组成及其变化[J]. 南京农业大学学报, 2007, 30(1):109-115.
- [6] YU A N, SUN B G, TIAN D T, et al. Analysis of volatile compounds in traditional smoke-cured bacon (CSCB) with different fiber coatings using SPME[J]. Food Chemistry, 2008, 110(1):233-238.
- [7] 邱洪冰. 风味酱鸭的加工工艺[J]. 肉类工业, 2006, 25(12):7-9.
- [8] 裴斐,张研. 鸭肉香肠的加工[J]. 农产品加工, 2007(6):25-26.
- [9] 任志伟,王武,吴巧,等. 鸭肉脯加工工艺优化及挥发性风味物质检测[J]. 肉类工业, 2011, 25(11):16-20.
- [10] 张爱霞,陆淳,生庆海,等. 感官分析技术在食品工业中的应用[J]. 中国乳品工业, 2005, 33(3):39-40.
- [11] 吴谋成. 食品分析与感官评定[M]. 北京:中国农业出版社, 2002:17-26, 67-71.
- [12] 赵旭社. 肉品风味形成与美拉德反应[J]. 肉类工业, 2006(1):14-16.
- [13] 宋永,李冲勇,马长伟,等. 温和条件下的美拉德反应对干腌肉品风味的贡献[J]. 食品工业科技, 2008, 29(7):69-71.
- [14] 冯秀藻,陶炳炎. 农业气象学原理[M]. 北京:气象出版社, 1994.
- [15] CHEN Y M, GUO G S, WANG G X, et al. Water Demand and Irrigation of the Main Crops in China[M]. Beijing:China Waterpower Press, 1995.
- [16] 翟盘茂,王萃萃,李威. 极端降水事件变化的观测研究[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3):144-148.
- [17] 方丽娟,陈莉,覃雪,等. 近5年黑龙江省作物生长季农业气候资源的变化分析[J]. 中国农业气象, 2012, 33(3):340-347.
- [18] 刘敏,刘安国,邓爱娟,等. 湖北水稻生长季热量资源变化特征及其对水稻生产的影响[J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(6):746-752.
- [19] 葛道润,金之庆,石春林,等. 气候变化对中国南方水稻生产的阶段性影响及适应性对策[J]. 江苏农业学报, 2002, 18(1):1-8.
- [20] 陈恩谦. 不同类型水稻品种营养生长期的温光效应研究[J]. 植物生理科学, 2005, 21(8):242-244.
- [21] 陈正洪,史瑞琴,陈波. 季节变化对全球气候变化的响应——以湖北省为例[J]. 地理科学, 2009, 29(6):911-916.
- [22] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社, 2007.
- [23] 廖玉芳,宋忠华,赵福华,等. 气候变化对湖南主要农作物种植结构的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(24):278-285.
- [24] 潘铁夫,方展森,赵洪凯,等. 农作物低温冷害及其防御[M]. 北京:农业出版社, 1983.
- [25] 马树庆,王琪,王连敏,等. 水稻开花期不育评估模式的试验研究[J]. 气象学报, 2000, 58(S1):54-60.

(上接第 5589 页)