

近几十年吉林省水稻品质气候资源变化状况

邱美娟¹, 王冬妮¹, 王美玉², 郭春明¹, 曲思邈¹, 穆佳¹, 袁福香¹, 任景全¹,
李忠辉¹, 王琪¹, 晏晓英¹

(1. 吉林省气象科学研究所, 长春 130062; 2. 吉林省气象局, 长春 130062)

摘要: 本文利用吉林省46个气象站1961~2015年逐日平均气温、日照时数、相对湿度数据, 基于前人研究提出的东北地区米质气候指标, 研究吉林省近几十年米质气候资源的变化情况及米质气候资源综合评价结果随年代的演变情况。研究结果表明: 1961~2015年吉林省水稻灌浆结实期平均气温全省各地均呈上升趋势, 并且大约有一半站点通过了0.05置信度水平的显著性检验; 平均日太阳总辐射各地变化不一致, 但大多数变化不显著; 相对湿度普遍呈下降趋势, 并且有30个站点通过了0.05水平的显著性检验。从吉林省2011~2015年平均米质气候资源综合评价情况来看, 大部分地区综合评价达到I~II级, 其中I级占到所统计站点的80.4%。除20世纪70年代以外, 各个年代米质气候资源都非常优越, 米质气候资源综合评价达到I级的站点均在76%以上, 达到I~II级均在87%以上。尤其是2011~2015年为I~II级的站点占91.3%, 其中I级占80.4%。

关键词: 米质气候指标; 米质气候资源; 水稻; 吉林省

中图分类号: S162.5⁺3

文献标识码: A

文章编号: 1003-8701(2018)02-0054-06

Variation of Climatic Resource of Rice Quality in Jilin Province in Recent Decades

QIU Meijuan¹, WANG Dongni¹, WANG Meiyu², GUO Chunming¹, QU Simiao¹, MU Jia¹, YUAN Fuxiang¹,
REN Jingquan¹, LI Zhonghui¹, WANG Qi¹, YAN Xiaoying¹

(1. Institute of Meteorological Sciences of Jinlin Province, Chang Chun 130062; 2. Meteorological Bureau of Jilin Province, Chang Chun, 130062, China)

Abstract: Using the daily mean temperature, sunshine hours and relative humidity data from 46 meteorological stations in Jilin Province from 1961 to 2015, and based on the previous studies on the climatic index of rice quality in northeast China, the changes of the climatic resources of rice quality in Jilin Province in recent decades and the evolution of comprehensive evaluation results of the climatic resources of rice quality were studied in the paper. The results showed that the average temperature in rice grain filling period in Jilin Province has an increase trend from 1961 to 2015, and about half of the stations passed the significant test of 0.05 level. The average daily total solar radiation varied widely, but most of the changes were not significant. Relative humidity generally showed a downward trend, and 30 stations passed the significant test. According to the comprehensive evaluation of the average rice quality climatic resources in Jilin Province from 2011 to 2015, the comprehensive evaluation of most areas reached level I-II, of which level I accounted for 80.4% of the statistical site. In all the years, the quality of the climatic resources were very superior, except for the 1970s, the comprehensive evaluation of the climatic resources of rice quality at more than 76% of the sites reached the level I, and more than 87 % reached level I - II. In particular, during 2011-2015, the level I - II accounted for 91.3 %, of which 80.4 % were level I.

Key words: Climatic index of rice quality; Climatic resources of rice quality; Rice; Jilin Province

收稿日期: 2017-11-14

基金项目: 中国气象局沈阳大气环境研究所开放基金(2016SY-IAE02); 吉林省任务下达式课题(2015020)

作者简介: 邱美娟(1987-), 女, 工程师, 硕士, 研究方向: 农业气象灾害。

稻米是我国人民的主食之一, 全国60%以上的人口以大米为主食^[1]。稻米生产在我国粮食安全特别是口粮安全中起到至关重要的作用, 与我国的国计民生息息相关。随着国民经济的快速发展, 人们生活水平不断提高, 越来越多的人开始重

视吃好、吃营养和健康,因此对稻米品质的要求也越来越高,从而促进了稻米品质的研究工作^[2-5]。

国外稻米品质研究较早,始于20世纪50年代,我国起步较晚,在80年代初期^[30]。国内外相关学者在稻米品质方面已经做过大量深入的研究^[6-10]。在品质育种方面,美国、日本、泰国、澳大利亚的水稻优质化走在世界的前列^[11-13];国内广东省水稻品质育种研究在全国起步较早,优质稻育种一直走在全国的前列^[14]。不同类型的土壤对稻米品质有一定的影响,在日本关东地区的各类土壤中,生长在多湿黏土上的稻米其品质优于泥炭土上的稻米^[15]。国内学者汤海涛等^[16]研究了土壤营养元素对稻米品质的影响。李洪亮等^[17]以响水火山玄武岩天然石板地、人造石板地和附近非石板地为试验对象,研究了不同土壤类型对东北粳稻光合物质生产特征及稻米品质的影响。唐海明等^[18]、胡家权等^[19]、王秋菊等^[20]均研究了不同稻作区不同土壤类型以及土壤微量元素含量对稻米产量和品质的影响。而陶孝平等^[21]、辛本田^[22]、房志勇等^[23]、焦伯臣等^[24]、董元香等^[25]对不同灌溉水源和水质对水稻生产及其品质的影响进行研究,得出江水灌溉下稻米品质优于河水灌溉的稻米品质,清水灌溉下稻米品质优于污水灌溉的稻米品质,地上径流水灌溉的稻米品质好于地下井水灌溉的稻米品质。唐永红等^[26]、吴永常等^[27]、张嵩午等^[29-30]、程方民等^[28,31]针对平均气温、日平均太阳辐射等气候要素对水稻品质影响进行深入的研究。稻米品质的形成与众多环境因子密切相关,而气候的影响较复杂。近年来,国内外学者对此进行不少研究,众多研究表明,在水稻生长发育的各个阶段,气候条件都会对米质直接或间接地发生作用,但影响最重要最关键的时段是水稻灌浆结实期。张嵩午等^[29-30]对东北水稻气候品质做了大量的试验研究,得出温度对稻米品质影响最大,并且发现以灌浆期平均气温、日平均太阳总辐射和平均相对湿度构成的因子组合和稻米品质的复相关较好,复相关系数 $R=0.9082$,通过对3个气候因子进行相关分析,得出和稻米品质密切相关的一套可靠的米质气候指标。该研究成果对了解气象要素对水稻品质的影响以及水稻优质栽培具有重大意义。

近几十年,随着全球气候变化,米质气候资源是否也发生较大变化,原来米质气候资源优越的地方是否仍然优越,原来较差的地方是否演变成优越,这些都没有学者进一步探究。因此,本研

究在前人研究的基础上,根据水稻品质气候指标对近几十年吉林省水稻品质气候资源的时空变化情况进行分析研究,以期研究结果为水稻优质栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 资料

吉林省1961~2015年46个气象站的逐日平均气温、日照时数和相对湿度等数据。主要用日照时数来计算太阳总辐射。

1.2 太阳辐射的计算方法

太阳辐射的计算采用FAO推荐的Penman-Monteith方法中太阳辐射的计算方法。太阳辐射 R_s 可以观测得到,也可以由太阳辐射与地球外辐射和相对日照的关系来求得:

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中, R_s —太阳辐射或短波辐射,单位为兆焦每平方米每天($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); n —实际日照时数,单位为小时(h); N —最大可能日照时数,单位为小时(h); R_a —地球外辐射,单位为兆焦每平方米每天($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); a_s —回归常数,在阴天($n=0$)时,表示到达地球表面的地球外辐射的透过系数;在晴天($n=N$)时, $a_s + b_s$ 表示到达地球表面的地球外辐射透过率。 a_s 和 b_s 随大气状况(湿度、尘埃)和太阳磁偏角(纬度和月份)而变化。当没有实际的太阳辐射资料和经验参数可以利用时,推荐使用 $a_s=0.25$, $b_s=0.50$ 。

其中,日地球外辐射(R_a)可以由太阳常数、太阳磁偏角和这一天在一年中位置来估计:

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r \left[\omega_s \sin(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \sin(\omega_s) \right] \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中, R_a —地球外辐射,单位为兆焦每平方米每天($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); G_{sc} —太阳常数=0.0820,单位为兆焦每平方米每分钟($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$); d_r —反转日地平均距离; ω_s —日出时角,单位为弧度(rad); ϕ —纬度,单位为弧度(rad); δ —太阳磁偏角,单位为弧度(rad)。

日地平均距离 d_r 和太阳磁偏角 δ 由下式计算:

$$d_r = 1 + 0.033 \cos \left(\frac{2\pi}{365} J \right) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\delta = 0.408 \sin \left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39 \right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中, j —日序,取值范围为1到365或366,1

月1日取日序为1。日出角 ω_s 由下式计算:

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi)\tan(\delta)] \cdots \cdots \cdots (5)$$

日照时数 N 由下式计算:

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \cdots \cdots \cdots (6)$$

1.3 米质气候资源评价方法

前人已经对东北水稻气候品质做了大量的试验研究,得出一套可靠的水稻品质气候指标^[29],见表1,因此,本研究直接采用前人的研究成果。前人研究表明水稻灌浆期平均气温、平均日太阳总辐射和平均相对湿度构成的因子组合和稻米品质的复相关较好,该因子组合用于气候分析是可行的。并且研究计算上述3个气候因子和稻米品质

综合得分的偏相关系数并进行归一化处理,得出上述3个气候因子的权分配集为0.696、0.232、0.072。因此,本研究进一步根据模糊综合评判的方法,对各气候因子在I、II、III、IV四个级别隶属程度情况下的得分具体划分,最后得到综合评价得分。灌浆结实期平均气温在优、较优、差和较差情况下分别得分0.696、0.522、0.348、0.174;灌浆结实期平均日太阳总辐射在优、较优、差和较差情况下分别得分0.232、0.174、0.116、0.058;灌浆结实期平均相对湿度在优、较优、差和较差情况下分别得分0.072、0.054、0.036、0.018。最后得到的综合评价得分是:1为优,0.75~1为较优,0.5~0.75为差,0.25~0.5为很差。

表1 东北粳稻品质气候指标

气候因子	I级(优)	II级(较优)	III级(差)	IV级(很差)
灌浆结实期平均气温	21.0~23.5	20.1~20.9	18.1~20.0	≤18.0
		23.6~26.0	26.1~28.9	≥29.0
灌浆结实期平均日太阳总辐射	≥14.6	10.5~14.5	6.9~10.4	≤6.8
灌浆结实期平均相对湿度	75~80	60~74	45~59	≤44
		81~87	88~92	≥93

2 结果与分析

2.1 米质气候资源变化趋势分析

计算分析表明:吉林省水稻灌浆结实期各地平均气温均呈上升趋势,全省平均每10年上升0.16℃,上升最快的是松原,平均每10年上升0.32℃,上升最慢的是临江,平均每10年上升

0.01℃(表2)。总体来看中、西部上升较快,而东部气温上升相对较慢。从平均气温变化趋势的显著性检验情况看,全省46个气象站点中,有22个站点的气温上升趋势通过了0.05水平的显著性检验,占大约一半,主要集中在吉林省中西部各站(表3)。

吉林省水稻灌浆结实期平均日太阳总辐射变

表2 米质气候资源变化的趋势系数(/10a)

站名	气温	辐射	湿度	站名	气温	辐射	湿度	站名	气温	辐射	湿度
白城	0.22	-0.19	-0.35	梨树	0.26	-0.04	-0.97	柳河	0.12	-0.21	-0.93
洮南	0.29	0.03	-1.60	公主岭	0.20	0.21	-0.74	桦甸	0.08	-0.05	-0.70
镇赉	0.23	0.11	-0.63	四平	0.20	-0.48	-0.81	辉南	0.11	-0.01	-0.65
大安	0.19	-0.13	-0.84	长春	0.28	0.01	-1.69	靖宇	0.17	0.14	-0.77
松原	0.32	0.01	-0.64	伊通	0.18	0.30	-0.84	东岗	0.07	0.10	-0.41
乾安	0.24	-0.30	-0.80	双阳	0.14	-0.06	-0.74	二道	0.16	0.23	-0.73
前郭	0.22	-0.15	-0.80	烟筒山	0.03	-0.14	-0.26	和龙	0.02	0.12	-0.51
通榆	0.24	-0.18	-1.25	吉林城郊	0.16	-0.26	-1.07	龙井	0.09	-0.05	-0.42
长岭	0.23	-0.38	-1.04	蛟河	0.05	-0.10	-0.29	珲春	0.30	0.14	-1.35
扶余	0.20	-0.49	-0.39	敦化	0.26	-0.13	-1.51	延吉	0.08	0.25	-0.72
农安	0.06	0.06	0.04	安图	0.14	0.05	-0.71	通化	0.09	0.05	-0.89
德惠	0.19	-0.20	-0.59	汪清	0.09	0.16	-0.03	临江	0.01	0.05	-0.44
九台	0.21	-0.11	-1.20	辽源	0.08	0.01	-0.22	集安	0.06	-0.05	-0.74
榆树	0.15	0.04	-0.47	东丰	0.09	-0.05	-0.74	长白	0.23	0.20	-1.47
舒兰	0.22	-0.02	-0.92	磐石	0.07	-0.04	-0.20				
双辽	0.08	-0.27	0.24	梅河口	0.15	-0.05	-0.88				

化趋势各地略有差异(表2),有26个站呈下降趋势,平均每10年下降0.01~0.49 MJ·m⁻²·d⁻¹,另外20个站呈上升趋势,平均每10年上升0.01~0.3 MJ·m⁻²·d⁻¹,但只有乾安、长岭、扶余、双辽、四平、吉林城郊的下降趋势通过0.05水平的显著性检验,伊通、二道、延吉的上升趋势通过0.05水平的显著性检验,其它大部分站点的变化趋势不显著

(表3)。
水稻灌浆结实期相对湿度的变化趋势比较一致,除个别站全省大部分地区相对湿度呈下降趋势(表2),下降最快的是长春,平均每10年下降1.69%,下降最慢的是汪清,平均每10年下降0.03%,并且有30个站的下降趋势均通过了0.05水平的显著性检验(表3)。

表3 米质气候资源变化的显著性检验

站名	气温	辐射	湿度	站名	气温	辐射	湿度	站名	气温	辐射	湿度
白城	0.38*	-0.20	-0.10	梨树	0.46*	-0.04	-0.36*	柳河	0.21	-0.25	-0.47*
洮南	0.47*	0.04	-0.41*	公主岭	0.35*	0.21	-0.28	桦甸	0.14	-0.06	-0.41*
镇赉	0.40*	0.12	-0.16	四平	0.37*	-0.46*	-0.36*	辉南	0.19	-0.01	-0.47*
大安	0.34*	-0.16	-0.27*	长春	0.47*	0.01	-0.58*	靖宇	0.26	0.18	-0.51*
松原	0.51*	0.01	-0.23	伊通	0.32*	0.32*	-0.43*	东岗	0.12	0.12	-0.27*
乾安	0.43*	-0.34*	-0.27*	双阳	0.25	-0.07	-0.39*	二道	0.24	0.27*	-0.44*
前郭	0.39*	-0.17	-0.28*	烟筒山	0.06	-0.18	-0.17	和龙	0.03	0.11	-0.24
通榆	0.39*	-0.21	-0.32*	吉林城郊	0.28*	-0.29*	-0.47*	龙井	0.15	-0.05	-0.20
长岭	0.41*	-0.39*	-0.35*	蛟河	0.09	-0.13	-0.16	珲春	0.44*	0.14	-0.59*
扶余	0.32*	-0.48*	-0.15	敦化	0.40*	-0.17	-0.66*	延吉	0.14	0.29*	-0.36*
农安	0.11	0.07	0.02	安图	0.23	0.06	-0.31*	通化	0.14	0.07	-0.50*
德惠	0.33*	-0.21	-0.24	汪清	0.16	0.15	-0.02	临江	0.01	0.08	-0.24
九台	0.36*	-0.13	-0.50*	辽源	0.15	0.01	-0.11	集安	0.11	-0.06	-0.36*
榆树	0.26	0.04	-0.19	东丰	0.16	-0.07	-0.36*	长白	0.32*	0.26	-0.62*
舒兰	0.36*	-0.02	-0.48*	磐石	0.13	-0.04	-0.11				
双辽	0.15	-0.27*	0.09	梅河口	0.25	-0.06	-0.40*				

注:*表示通过0.05水平的显著性检验

2.2 米质气候资源的评价结果分析

从近5年,即2011~2015年平均米质气候资源综合评价结果来看(图1),吉林省各地的米质气候资源十分优越,大部分地区有利于稻米优质的气候条件综合评价达到I~II级,占所统计站点的91.3%,其中I级占到所统计站点的80.4%。从各项具体的米质气候条件看,灌浆结实期的平均气温达到I~II级的占91%,达到I级的占80%;平均日太阳总辐射量达到I~II级的占100%,达到I级的占100%;平均相对湿度达到I~II级的占100%,达到I级的占60%。可见吉林省米质资源优越,非常有利于水稻的优化。
从各个年代米质气候资源综合评价结果的变化情况来看(表4),20世纪60年代米质气候资源非常优越,大部分都能达到I~II级,并且以I级为主,占所统计站点的78.3%;70年代I级占32.6%,主要原因是70年代灌浆结实期平均气温较60年代普遍稍微偏低,为II级的较多,由于平均气温所占的权重较大,因而拉低了气候资源综合评价结果;80年代米质气候资源为I级的占82.6%,I~II

级的占89.1%,米质气候资源相比前两个年代优越;90年代达到米质气候资源为I级的占80.4%,I~II级占87.0%;21世纪00年代I级占76.1%,I~II级占89.1%。2011~2015年为I~II级的站点占91.3%,其中I级占80.4%。总体上看,吉林省中、西部米质气候资源均为I级,东部部分地区主要由于气温的影响米质气候资源在II级、III级之间演变。

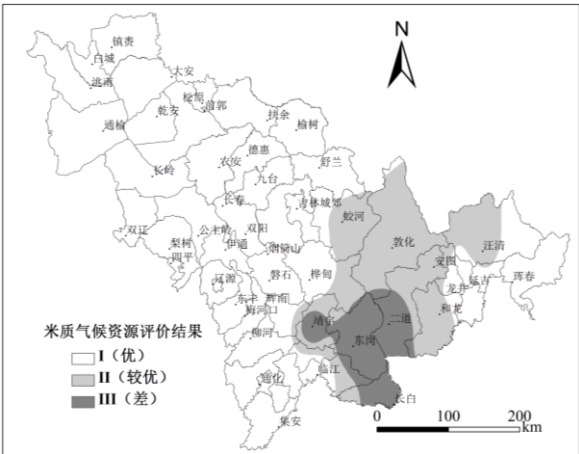


图1 2011~2015年平均米质气候资源综合评价结果

表4 各年代各地米质气候资源综合评价结果

站名	60s	70s	80s	90s	00s	2011 ~ 2015 年	站名	60s	70s	80s	90s	00s	2011 ~ 2015 年
白城	I	I	I	I	I	I	吉林城郊	I	II	I	I	I	I
洮南	I	I	I	I	I	I	蛟河	II	III	II	II	II	II
镇赉	I	I	I	I	I	I	敦化	III	III	III	III	III	II
大安	I	I	I	I	I	I	安图	III	III	II	III	II	II
松原	I	I	I	I	I	I	汪清	II	III	I	II	II	II
乾安	I	I	I	I	I	I	辽源	I	II	I	I	I	I
前郭	I	I	I	I	I	I	东丰	I	II	I	I	II	I
通榆	I	I	I	I	I	I	磐石	I	II	I	I	II	I
长岭	I	I	I	I	I	I	梅河口	I	II	I	I	I	I
扶余	I	II	I	I	I	I	柳河	I	II	I	I	I	I
农安	I	I	I	I	I	I	桦甸	I	II	I	I	I	I
德惠	I	II	I	I	I	I	辉南	I	II	I	I	I	I
九台	I	II	I	I	I	I	靖宇	III	III	III	III	III	III
榆树	I	II	I	I	I	I	东岗	III	III	III	III	III	III
舒兰	II	III	I	I	I	I	二道	III	IV	III	III	III	III
双辽	I	I	I	I	I	I	和龙	II	III	II	II	II	II
梨树	I	I	I	I	I	I	龙井	I	II	I	I	I	I
公主岭	I	I	I	I	I	I	琿春	I	II	I	I	I	I
四平	I	I	I	I	I	I	延吉	I	II	I	I	I	I
长春	I	II	I	I	I	I	通化	I	II	I	I	I	I
伊通	I	II	I	I	I	I	临江	I	II	I	I	I	I
双阳	I	II	I	I	I	I	集安	I	I	I	I	I	I
烟筒山	I	II	I	I	I	I	长白	III	IV	IV	III	III	III

3 结论与讨论

本研究基于前人的研究成果分析了吉林省近几十年来米质气候资源随年代的变化情况。研究结果表明,1961~2015年吉林省水稻灌浆结实期平均气温全省各地均呈上升趋势,全省平均每10年上升0.16℃,并且中西部大部地区上升趋势通过了0.05水平的显著性检验。这种平均气温的上升趋势在一定范围内对提升水稻品质是十分有利的。水稻灌浆结实期平均日太阳总辐射各地变化不一致,其中有26个站呈下降趋势,其它站呈上升趋势,但大多数变化不显著。水稻灌浆结实期相对湿度的变化趋势比较一致,普遍呈下降趋势,并且有30个站通过了0.05水平的显著性检验。

吉林省2011~2015年平均米质气候资源综合评价情况来看,大部分地区综合评价达到I~II级,占所统计站点的91.3%,其中I级占到所统计站点的80.4%。从各个年代米质气候资源综合评价结果的变化情况来看,各个年代米质气候资源都非常优越,除了70年代以外,其它各年代米质

气候资源综合评价达到I级的站点均在76%以上,达到I~II级均在87%以上。70年代I级占32.6%,主要原因是70年代灌浆结实期平均气温较60年代普遍稍微偏低,为II级的较多,由于平均气温所占的权重较大,因而拉低了气候资源综合评价结果。因此,在当前气候变化背景下,吉林省的米质气候资源对稻米品质的影响正朝着有利方向发展。

本研究在前人的研究成果基础上对吉林省的米质气候资源变化情况进行分析,研究为了解水稻气候品质的演变情况提供一定的依据。影响水稻品质的因素很多,在以后的研究中应进一步结合各个影响因素综合进行水稻品质相关研究。

参考文献:

[1] 陆秀明,黄庆,刘怀珍,等.不同肥料对稻米产量和食用安全的影响[J].广东农业科学,2007(6):39-41.

[2] 宋继娟,周柏明,崔明元,等.气象因素演变对水稻产量形成的分析[J].中国稻米,2011,17(5):42-43.

[3] 王彤,阙补超,夏明,等.水稻产量和品质的研究进展[J].北方水稻,2017,47(2):51-55.

[4] 从夕汉,施伏芝,阮新民,等.氮肥水平对不同基因型水稻

- 氮素利用率、产量和品质的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(4): 1219-1226.
- [5] 李 辉, 张瑞英, 戴常军, 等. 东北三省水稻品质差异性比较[J]. 中国稻米, 2013, 19(2): 18-22.
- [6] 王万成, 黄 文, 王成媛, 等. 吉林省一级优质水稻品种产量与品质的相关性研究[J]. 现代农业科技, 2012(20): 11-12.
- [7] 孙亚莉, 徐庆国, 刘红梅, 等. 不同品种和地区对稻米镉含量与品质的耦合影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(17): 1-7.
- [8] 刘婷婷, 王立群, 王 辉, 等. 大气 CO₂ 浓度对水稻食味品质的影响[J]. 东北农业科学, 2017, 42(2): 49-52.
- [9] 曲红岩, 张 欣, 施利利, 等. 水稻食味品质主要影响因子分析[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(6): 172-175.
- [10] 宋广树, 孙忠富, 王 夏, 等. 不同生育时期低温处理对水稻品质的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(18): 174-179.
- [11] 胡培松, 唐绍清, 罗 炬, 等. 美国光身稻品种的利用与超高产品种的选育[J]. 作物学报, 1999, 25(1): 32-38.
- [12] 钟秉强, 杨正林, 冉启良, 等. 美国水稻品种农艺性状和品质性状的温度钝感特性研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(2): 118-121.
- [13] 罗利军, 应存山, 梅捍卫, 等. 14 份美国水稻品种的研究与评价[J]. 中国水稻科学, 1993, 7(3): 179-182.
- [14] 司徒志谋, 罗森辉, 蔡惠娇. 广东省优质水稻生产现状与发展策略[J]. 中国稻米, 2004, 10(2): 41-42.
- [15] 施 标, 万常照, 全立勇, 等. 日本水稻保优栽培中的氮肥施用技术研究[J]. 上海农业学报, 2001, 17(1): 45-48.
- [16] 汤海涛, 马国辉, 廖育林, 等. 土壤营养元素对稻米品质的影响[J]. 农业现代化研究, 2009, 30(6): 735-738.
- [17] 李洪亮, 孙玉友, 曲金玲, 等. 土壤类型对东北粳稻光合物质生产特征及稻米品质的影响[J]. 中国水稻科学, 2013, 27(3): 287-296.
- [18] 唐海明, 汤文光, 肖小平, 等. 双季稻区 6 种不同稻田土壤类型对晚稻产量及稻米品质的影响[J]. 农业现代化研究, 2012, 33(5): 628-631.
- [19] 胡家权, 李建云, 王月英. 不同土壤类型及灌溉对稻米品质的影响研究[J]. 云南农业科技, 2006(2): 19-20.
- [20] 王秋菊, 张玉龙, 赵宏亮, 等. 黑龙江省不同类型土壤微量元素含量及对稻米品质的影响[J]. 作物杂志, 2011(6): 46-48.
- [21] 陶孝平, 张 龙, 吴海锁, 等. 奎河水灌溉对农作物生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(6): 310-312.
- [22] 辛本田. 江水灌溉与井水灌溉水稻性状对比研究[J]. 农民致富之友, 2012(11): 51.
- [23] 房志勇, 唐保军, 李春喜, 等. 黄河水灌溉对水稻根系生长发育的影响[J]. 中国农学通报, 2002, 18(4): 4-6.
- [24] 焦伯臣, 孙宇峰, 袁昊鹏, 等. 白城市井水灌溉与江水灌溉对水稻生产的影响[J]. 现代农业科技, 2012(14): 48-49.
- [25] 董元香, 周鸿章, 贾春水. 影响水稻品质的因素分析[J]. 北方水稻, 2014, 44(1): 78-80.
- [26] 唐永红, 张嵩午, 高如嵩, 等. 温度对稻米品质的时段效应分析[J]. 中国农业气象, 1997, 18(1): 9-12.
- [27] 吴永常, 张嵩午, 程方民. 齐穗 30 d 温度对稻米品质形成的影响[J]. 西北农业大学学报, 1996, 25(5): 21-24.
- [28] 程方民, 张嵩午. 水稻籽粒灌浆过程中稻米品质动态变化及温度影响效应[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 1999, 25(4): 347-350.
- [29] 张嵩午. 我国东北地区的米质气候资源[J]. 国土与自然资源研究, 1993(2): 43-47.
- [30] 张嵩午, 程方民, 吴永常. 稻米品质温光潜势的估算及其在我国的地域分布[J]. 自然资源学报, 1997, 12(4): 323-328.
- [31] 程方民, 钟连进. 不同气候生态条件下稻米品质性状的变异及主要影响因子分析[J]. 中国水稻科学, 2001, 15(3): 187-191.

(责任编辑:王 昱)