

文章编号:1003-8701(2012)05-0075-06

黑龙江省玉米气候适宜度变化分析

宫丽娟,李宇光,王 萍,纪仰惠,朱海霞

(黑龙江省气象科学研究所,哈尔滨 150030)

摘 要:运用黑龙江省6个农业气象观测站玉米平均物候资料及64个气象站1961~2009年的逐日气象资料,对玉米全生育期及各主要玉米生育阶段的气候因子及综合气候适宜度进行了计算分析。结果表明,自1961年以来,玉米各发育期对气候因子适宜程度不同,播种期-出苗期、出苗期-开花期、开花期-成熟期温度适宜度呈上升趋势,日照适宜度呈下降趋势,除播种期-出苗期降水呈上升趋势,其余玉米各发育期降水均为下降趋势。玉米全生育期降水、日照适宜度呈下降趋势,温度适宜度呈上升趋势,综合气候适宜度呈下降趋势。各气候因子组合效果较好。

关键词:玉米;气候适宜度;黑龙江

中图分类号:S513

文献标识码:A

Variation of Climate Suitability of Maize in Heilongjiang Province

GONG Li-juan, LI Yu-guang, WANG Ping, JI Yang-hui, ZHU Hai-xia

(Institute of Meteorological Sciences of Heilongjiang Province, Harbin 150030, China)

Abstract: 6 agricultural meteorological observatories and 64 meteorological stations in Heilongjiang Province of China were chosen. With maize phenology data and climate data from 1961 to 2009, the maize climate suitability degrees of these stations were calculated, especially in whole growth and each periods of maize. The result indicated the suitability degrees in each period of maize were different from 1961. Temperature suitability degree had increased with year, but sunshine suitability degree had decreased in sowing to emergence, emergence to flowering and flowering to mature. The precipitation suitability degree had declined except sowing to emergence. In whole growth of maize, the precipitation and sunshine suitability degrees were decreased, and temperature suitability degree improved with year. Integrated climate suitability degrees had dropt. The combination of climate factors was effective.

Keywords: Maize; Climate suitability; Heilongjiang province

玉米是黑龙江省主要的粮食作物。近年来,随着规模养殖、饲料和玉米淀粉深加工等产业的迅速发展,玉米的需求量日益加大,品质要求不断提高^[1]。据统计,2009年东北3省玉米播种面积为485.4万hm²,已占到全省粮食作物播种面积的35%。种植

面积比1985年增长了3倍。玉米在黑龙江省粮食作物生产中具有举足轻重的作用。气候环境适宜程度直接制约着玉米物质循环、能量流动、信息传递和价值增生。对于高纬度的黑龙江省来说,气候环境的影响较为突出,起着其他条件不可替代的作用。

农业气候资源是指那些属于某种物质或能量的农业气候要素,它们不仅影响而且直接参与农业生产过程,能为农业生产对象所利用^[2]。农业气候资源的量化评价与分析主要是利用数学方法,在多年平均气候资料的基础上,通过建立一些量化指数或数学模型来综合评价与分析农业气候资源^[3]。农作物的气候适宜度是把气候因子(温度、光

收稿日期:2012-04-12

基金项目:公益性行业(气象)科研专项“农用天气预报关键技术研究”(GYHY200906021);黑龙江省气象局课题“黑龙江省气候适宜度趋势及区划”资助(HQ20120604);公益性行业(气象)科研专项“东北地区土壤墒情监测预报及其对主要农作物的影响分析”(GYHY201106026)

作者简介:宫丽娟(1982-),女,工程师,硕士,主要从事农业气象研究。

照、降水等)的数量变化,通过模糊数学中的隶属函数的方法转化成对作物生长发育、产量形成、质量优劣的适宜程度。随着农业气候适宜度的提出,国内不少学者对不同尺度区域的农业生态气候适宜度进行了系统的分析探讨^[4-8]。近 20 年来,国内学者在该领域的研究主要集中在 4 方面:(1)气候要素的适宜度曲线、适宜态与隶属函数的建立^[9-10];(2)农业气候适宜度模型的建立^[11-13];(3)不同尺度农业生态气候资源的分区与评价研究^[14];(4)运用农业生态气候适宜度理论指导农业生产实际方面的研究^[15-17]。冶明珠等^[3]系统的总结了这一方面的研究成果。农作物气候适宜度由于其机理和物理意义明确而得到了广泛的应用。其中魏瑞江等^[16]以气候适宜度模型为基础建立了不同时段的夏玉米产量预报模型,结果指出,该方法能够满足业务服务的需求。罗怀良等^[2]对四川洪雅县农业气候适宜度进行了评价,分析主要农作物气候适宜度的变化原因,同时提出了主要农作物的农业生产管理措施以及作物结构调整对策。建立农业气候适宜度模型,并开展气候变化背景下农业气候资源的适宜性评估,是农业应对气候变化,合理开发和高效利用农业气候资源的重要前提和

基础,可进一步提升气候变化背景下农业的可持续发展能力,为农业适应气候变化政策的制定和适宜措施的选择提供决策依据。

为了定量分析气候条件对黑龙江省玉米生长的满足程度,本文引入气候适宜度模型。根据前人的研究成果,结合黑龙江省玉米的生理特性和气候特点,得出气温、降水、日照和综合气候适宜度模型。由于黑龙江省大多数站点没有玉米历年发育期资料,本文根据地理位置和品种熟性用临近有观测资料的站点来代替,分析了黑龙江省玉米气候适宜度变化趋势,旨在为玉米生产决策和合理调整种植结构等方面提供依据。

1 资料和方法

1.1 资料

以黑龙江省 6 个农业气象观测站和 64 个基本气象站 1961~2009 年经过审核的逐日平均气温、日降水量、日日照时数以及同期的玉米单产资料为基本分析资料。表 1 是黑龙江省观测站点的玉米平均发育期,没有发育期资料的站点,由临近有观测资料的站点代替。黑龙江省地理位置和站点分布见图 1。取各站点气候适宜度平均值,作为

表 1 黑龙江省玉米观测站点平均发育期月·日

站点	纬度(°N)	经度(°E)	播种	出苗	开花	成熟
龙江	47.33	123.18	05·10	05·26	07·30	09·23
海伦	47.43	126.97	05·08	05·25	07·27	09·26
泰来	46.40	123.42	05·05	05·16	07·27	09·25
巴彦	46.08	127.35	05·01	05·19	07·25	09·19
集贤	46.72	131.13	05·09	05·23	07·28	09·24
勃利	45.78	130.55	05·07	05·27	07·27	09·18

本省气候适宜度时间序列值。

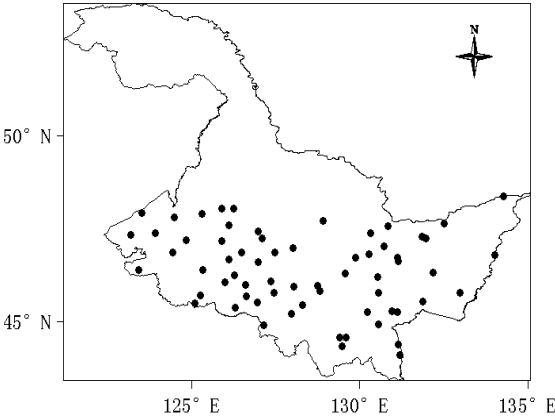


图 1 研究区气象站点分布

1.2 方法

1.2.1 温度适宜度模型

结合黑龙江省热量资源对玉米各生育期生长发育的满足程度^[18],逐旬计算温度适宜度。

$$T(t)=\frac{(t-t_i)(t_h-t)^B}{(t_0-t_i)(t_h-t_0)^B}$$
$$B=\frac{t_h-t_0}{t_0-t_i}$$

(1)

式中, $T(t)$ 为玉米生育期旬平均气温适宜度; t 为某旬的旬平均气温; t_i 、 t_h 、 t_0 分别为东北地区玉米某发育期所需的下限温度、上限温度和最适温度。 t_i 、 t_h 、 t_0 的确定分别参照黑龙江省玉米各发育期对温度的需求,见表 2。当 $t \leq t_i$ 或 $t \geq t_h$ 时, $T(t)=0$;当 $t=t_0$ 时, $T(t)=1$;当 $t_i < t < t_h$ 时, $T(t)$ 的值在 0 和 1 之间^[16]。

表 2 玉米不同发育期的下限、上限及最适温度(℃)及日照适宜度计算式的 b 值

发育期	播种	出苗	开花	成熟
t_i	7	8.0	14.0	10.0
t_h	40.0	40.0	32.0	30.0
t_0	22.0	20.0	25.5	19.0
b	4.77	5.08	5.17	5.24

1.2.2 降水适宜度模型

玉米需水量用下式计算^[19]

$$ET_c = k_c ET_0 \quad (2)$$

式中 ET_c 为玉米生育期的需水量(mm/d) k_c 为玉米不同生育期的作物系数 ET_0 为参考作物蒸散量也称潜在蒸散量(mm/d)。利用上式计算每个站点每旬的玉米需水量,为了计算方便,求出全省平均旬需水量,见表3。根据文献[16],当玉米生育期内降水量/需水量 < 70%时,玉米出现轻旱,即 0.7 倍为旱与正常的分界线。由于东北地区的土壤类型为壤土,当遇有较大降水时,水分能够在较短时间内下渗,被土壤贮存接纳,所以定义降水量 ≥ 0.7 倍需水量时,为降水适宜玉米生长发育。因此,降水适宜度模型为:

$$R(r) = \begin{cases} \frac{r}{ET_c} & r < 0.7 ET_c \\ 1 & r \geq ET_c \end{cases} \quad (3)$$

式中 $R(r)$ 为玉米生育期旬降水适宜度 r 为某旬的旬降水量 ET_c 为玉米发育期内某旬的需水量(表3)。

表3 黑龙江省玉米生长季各旬的需水量 mm

旬	需水量
4月上旬	17
4月中旬	21
4月下旬	24
5月上旬	26
5月中旬	29
5月下旬	34
6月上旬	33
6月中旬	33
6月下旬	35
7月上旬	34
7月中旬	33
7月下旬	34
8月上旬	30
8月中旬	28
8月下旬	29
9月上旬	23
9月中旬	21
9月下旬	20
10月上旬	17
10月中旬	15
10月下旬	14

1.2.3 日照适宜度模型

与温度和降水一样,日照也是玉米高产的必要条件。日照时间长,有利于玉米进行光合作用,累积更多的干物质,对提高玉米产量有利。日照适宜度模型为:

$$S(s) = \begin{cases} e^{-[(s-s_0)/b]^2} & s < s_0 \\ 1 & s \geq s_0 \end{cases} \quad (4)$$

式中 $S(s)$ 为玉米生育期旬日照时数适宜度,以日照百分率达到 70% 为临界点。日照时数 > 日照百分率 70% 时适宜度为 1, 小于 70% 其对作物

的适宜程度小于 1。 s 为某旬的旬日照时数(h) s_0 为玉米生育期内某旬旬日照百分率为 70% 的时数(h) b 为常数^[20]。

1.2.4 综合气候适宜度模型

由于玉米在各个生育阶段的生理特性不同,致使其对周围环境条件的需求不同。同时,各个时段环境生态因子对玉米生长发育和产量形成的满足程度亦有差别。因此,为客观反映不同时期生态环境因子对玉米生长发育的影响强度,需首先为玉米生育期内的各旬及各生育期适宜度设定权重。本文采用加权平均法,权重系数的确定运用一元积分回归法。分别计算逐旬平均气温、旬降水量、旬日照时数对玉米产量的影响系数(a_{ij} 、 a_{rj} 、 a_{sj}),每旬影响系数的绝对值除以全生育期或各发育期所有旬的影响系数绝对值的总和,分别作为当旬平均气温、旬降水量、旬日照时数适宜度的权重系数,每旬的旬平均气温、旬降水量、旬日照时数适宜度乘以对应的权重系数,然后相加,得到玉米全生育期或各发育期的温度、降水、日照适宜度^[11](表4)。即:

$$b_{ij} = \frac{|a_{ij}|}{\sum_{j=m_1}^{m_2} |a_{ij}|} \quad b_{rj} = \frac{|a_{rj}|}{\sum_{j=m_1}^{m_2} |a_{rj}|} \quad b_{sj} = \frac{|a_{sj}|}{\sum_{j=m_1}^{m_2} |a_{sj}|}$$

$$T_m(t) = \sum_{j=m_1}^{m_2} b_{ij} T_j(t) \quad R_m(r) = \sum_{j=m_1}^{m_2} b_{rj} R_j(r)$$

$$S_m(s) = \sum_{j=m_1}^{m_2} b_{sj} S_j(s) \quad (5)$$

式中 b_{ij} 、 b_{rj} 、 b_{sj} 分别为第 j 旬旬平均温度、旬降水量、旬日照时数适宜度的权重系数 $T_j(t)$ 、 $R_j(r)$ 、 $S_j(s)$ 分别表示第 j 旬旬平均气温、旬降水量、旬日照时数适宜度。 $T_m(t)$ 、 $R_m(r)$ 、 $S_m(s)$ 为第 m 个生育期温度、降水、日照适宜度 m_1 、 m_2 分别表示第 m 个生育期的开始旬和结束旬,当 $m_1=1$ 、 $m_2=n$ (玉米全生育期的旬数) 时 $T_m(t)$ 、 $R_m(r)$ 、 $S_m(s)$ 为全生育期的温度、降水、日照适宜度。

玉米的生长发育及最终产量的形成受光、温、水综合生态因子的影响,其关系比较复杂。一个因子对玉米生长的正影响可能被其它一个或几个因子加强,也可能减弱,甚至完全抵消。以温度、降水、日照单因子建立的玉米适宜度模型假定除考虑因子本身变化外,其它环境因子对玉米生长发育均适宜。这种假想只能表现单个因子的影响变化,不能反映各因子的综合效应。而玉米的生长发育及产量的形成是生态因子的综合作用^[21]。

根据文献[11],建立了玉米气温、降水、日照

综合气候适宜度模型。

$$S_m = \sqrt[3]{T_m(t) \times R_m(r) \times S_m(s)} \quad (6)$$

式中, S_m 为第 m 旬的气候适宜度。

表 4 各发育期权重系数

项目	播种 - 出苗	出苗 - 开花	开花 - 成熟
b_{ij}	0.06	0.46	0.48
b_{ij}	0.11	0.48	0.41
b_{ij}	0.20	0.45	0.35

2 结果与分析

2.1 黑龙江省气候变化基本特征

近 47 年黑龙江省玉米生长季 (主要集中在 4~10 月) 气候变化基本特征表现为温度升高, 降水减少。1961~2009 年生长季平均气温呈线性趋势升高 (图 2)。为 $0.34^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ($R=0.708$, $P<0.01$)。对农业有指导意义的 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温普遍显著升高, 且稳定通过 10°C 和 0°C 积温的持续天数也普遍显著增加^[22]。

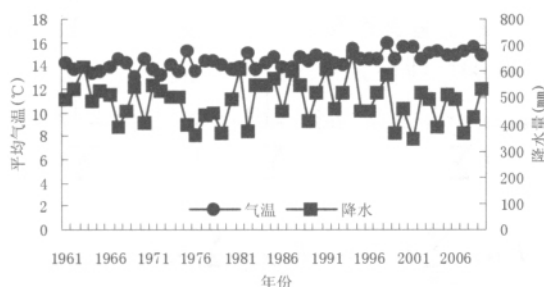


图 2 黑龙江省玉米生长季气温、降水量变化

生长季降水量以 $5\text{ mm}/10\text{ a}$ ($R=0.107$, $P>0.1$) 线性趋势减少。1971~1980 年是少雨期, 1981~1990 年是相对多雨期, 1991~2007 年降水呈明显减少趋势^[23]。气候暖干化对作物的生长发育产生较大影响。

2.2 气候适宜度的年际变化

黑龙江省玉米全生育期气温、降水、日照适宜度均在 0.50 以上变化, 适宜度平均值分别为 0.63, 0.65, 0.76。在近 47 年中, 温度适宜度呈逐年升高趋势 (为 $0.02/10\text{a}$), 降水和日照适宜度均呈下降趋势, 分别为 $0.007/10\text{a}$ 和 $0.016/10\text{a}$, 日照适宜度的下降趋势大于降水的趋势。综合气候适宜度均呈下降趋势 (图 3)。20 世纪 70 年代温度负距平较强, 进入 90 年代后正距平加强。降水适宜度负距平出现在 20 世纪 60 年代中期至 70 年代和 90 年代中期后, 较强负距平集中在 21 世纪。日照适宜度在 20 世纪 80 年代前以正距平为主, 较强负距平出现在 80 年代后。可见, 气温、降水、日照

及综合气候适宜度都在 0.50 以上, 基本可以满足黑龙江省玉米的生长发育需求, 但在气候变化影响下的黑龙江省日照和降水变化对玉米生长发育产生的负效应在进一步增强, 这在一定程度上增加了对黑龙江省粮食生产的影响。

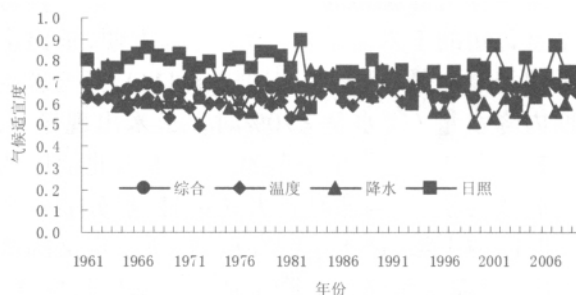


图 3 玉米全生育期气候适宜度的年际变化

2.3 不同生育阶段各气候因子适宜度的变化

2.3.1 播种期 - 出苗期适宜度的变化

玉米在播种期 - 出苗期日照适宜度最好, 平均适宜度为 0.78。其次为温度适宜度平均为 0.51, 降水适宜度为玉米全生育期最低的时段, 平均为 0.44。播种期 - 出苗期的 4~5 月是冷空气活动频繁, 降水量较少且时间分布不均匀的时段, 低温和春旱发生频率较高。气温较低, 降水量少且分布不适时比较频繁地影响玉米的播种及出苗时间。温度适宜度负距平分布在 20 世纪 90 年代以前, 此后以正距平为主。降水适宜度年际变化幅度较大。日照适宜度在 20 世纪 80 年代前以正距平为主, 90 年代后出现负距平。自 1961 年以来, 黑龙江省温度和降水适宜度均呈上升趋势, 日照适宜度呈下降趋势。综合气候适宜度呈上升趋势 (为 $0.009/10\text{a}$) (图 4)。

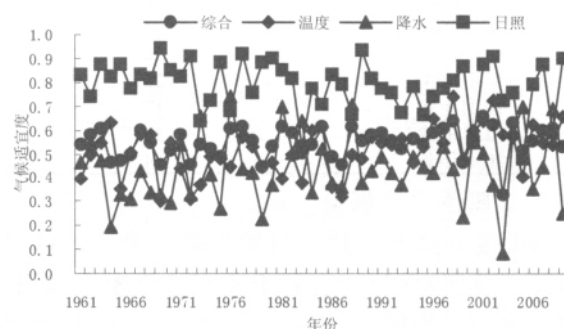


图 4 玉米播种期 - 出苗期气候适宜度的年际变化

2.3.2 出苗期 - 开花期适宜度变化

出苗期 - 开花期温度适宜度是玉米全生育期最高的时段, 平均为 0.91, 日照适宜度为 0.71, 降水适宜度 0.69。在出苗期 - 开花期玉米对温度的

适宜性较好,且随年份线性上升。适宜度正距平集中在 20 世纪 70 年代中~90 年代初和 21 世纪,负距平出现在 20 世纪 90 年代。降水适宜度呈下降趋势,正距平集中在 20 世纪 70~90 年代,负距平出现在 20 世纪 90 年代以后。日照适宜度随年份呈递减趋势,适宜度正距平集中在 20 世纪 80 年代以前,负距平集中在 80 年代后。综合气候适宜度呈递减趋势(图 4),为 0.013/10a。

2.3.3 开花期 - 成熟期适宜度变化

玉米开花期 - 成熟期温度、降水及日照适宜度平均分别为 0.54、0.68 及 0.79。玉米对日照和降水的适宜性较好,对温度的适宜性较差。开花期

- 成熟期的温度、降水及日照适宜度均为全生育期第二高,仅次于出苗期 - 开花期及播种期 - 出苗期。20 世纪 60 年代以来温度适宜度呈上升趋势,为 0.035/10a,适宜度负距平集中在 20 世纪 70 年代以前,正距平集中在 90 年代后期,较强正距平多出现在 20 世纪 90 年代末到 21 世纪初。降水适宜度随年份呈下降趋势,在 20 世纪 80~90 年代正距平较多,20 世纪 90 年代末负距平出现年份增多。日照适宜度呈下降趋势,正距平主要集中在 20 世纪 70~80 年代,负距平主要集中在 20 世纪 80~90 年代。综合气候适宜度呈上升趋势,为 0.01/10a(图 5)。

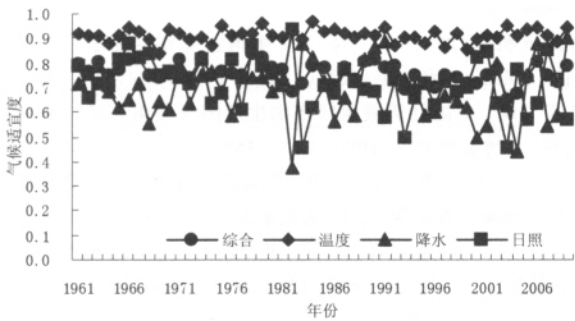


图 5 玉米出苗期 - 开花期气候适宜度的年际变化

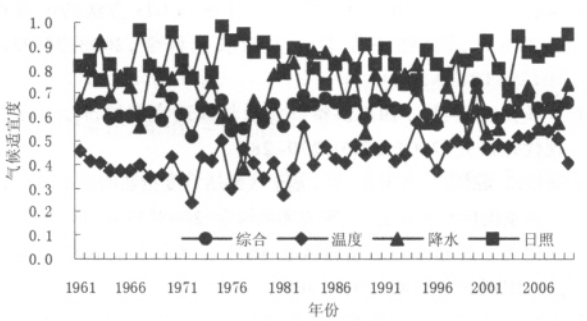


图 6 玉米开花期 - 成熟期气候适宜度的年际变化

2.4 玉米生育期气候适宜度对产量的影响

玉米各生育期气候适宜度与单产做相关分析表明(表 5),全生育期温度及日照适宜度与产量的相关性显著。播种期 - 出苗期温度是关键因子。出

苗期 - 开花期日照影响玉米的正常抽雄、开花^[24],适宜度与产量相关关系比较显著。开花期 - 成熟期是玉米产量形成的主要发育阶段,综合气候适宜度与产量相关性显著。

表 5 玉米不同生育阶段气候适宜度与单产的相关系数

适宜度	播种期 - 出苗期	出苗期 - 开花期	开花期 - 成熟期	全生育期
温度适宜度	0.351*	0.008	0.473	0.490**
降水适宜度	0.063	0.106	0.009	0.049
日照适宜度	0.292	0.361*	0.096	0.398**
综合气候适宜度	0.171	0.232	0.305*	0.031

注:*,** 分别表示通过 0.05 和 0.01 的显著性检验。

3 结论与讨论

3.1 通过数据处理结果与区域农业气候资源的对比分析,认为玉米气候适宜度模型用于评价黑龙江省玉米气候适宜性动态变化是合理的。经与历年产量的检验分析,此模型较为客观地反映了气候因子对玉米生长发育及产量形成的影响。

3.2 黑龙江省玉米种植区对日照的适宜性最高,其次为温度,对降水的适宜程度最低,水分是影响玉米生长发育的主要气候因子。近 47 年中,温度适宜度呈上升趋势,降水和日照适宜度呈下降趋势。气温上升对玉米比较有利,但综合气候适宜度呈下降趋势,对玉米的生长发育不利。

3.3 玉米发育期对各气候因子适宜程度不同,播种期 - 出苗期温度和降水适宜度呈逐年上升趋势,日照适宜度呈下降趋势,综合气候适宜度逐年降低。出苗期 - 开花期、开花期 - 成熟期温度和日照适宜度呈线性上升,降水适宜度呈减少趋势。在出苗期 - 开花期综合气候适宜度呈下降趋势。在开花期 - 成熟期综合气候适宜度呈增加趋势。玉米产量与各生育阶段的不同气候因子的适宜度相关性差异较大。

3.4 本文分析了黑龙江省玉米各生育阶段及全生育期的气候适宜度变化情况,为制定新的玉米区划、选择新品种和实际生产过程中防灾工作提供了一定的依据。但是由于时间和经验不足,本文

在计算降水适宜度时,没有考虑洪涝现象,同时忽略了温度、降水、日照和水蒸气含量等变化因子的共同作用对玉米个体生理的影响,及不同玉米品种对气候的不同要求,所以这些都有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 刘明春,邓振镛,李巧珍,等.甘肃省玉米气候生态适应性研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(3):112-117.
- [2] 李继由.农业气候资源理论及其充分利用[J].自然资源,1995(1):1-9.
- [3] 冶明珠,郭建平,蒋跃林,等.气候变化对农作物气候适宜度影响研究进展[J].安徽农业科学,2011,39(15):9104-9105,9134.
- [4] 晏路明.福建省中亚热带农业气候系统功能评价的数学模型[J].自然资源,1991(1):41-47.
- [5] 郝君明,赵军,刘红兵,等.基于 FIS 与 GIS 方法的山西省玉米气候适宜性评价[J].安徽农业科学,2008,36(23):10129-10130.
- [6] 罗怀良,陈国阶.四川洪雅县农业气候适宜度评价[J].农业现代化研究,2001,22(6):279-282.
- [7] 刘伟昌,陈怀亮,余卫东,等.基于气候适宜度指数的冬小麦动态产量预报技术研究[J].气象与环境科学,2008(31):21-24.
- [8] 贾建英,郭建平.东北地区近 46 年玉米气候资源变化研究[J].中国农业气象,2009,30(3):302-307.
- [9] 王丽霞,任志远.山西省大同市农业生态气候适宜度评价[J].地理研究,2007,26(1):53-59.
- [10] 罗怀良,陈国阶.四川省洪雅县农业气候适宜度评价[J].农业现代化研究,2001,22(5):279-282.
- [11] 魏瑞江,张文宗,康西言,等.河北省冬小麦气候适宜度动态模型的建立及应用[J].干旱地区农业研究,2007,25(6):5-15.
- [12] 俞芬,千怀遂,段海来.淮河流域水稻的气候适宜及其变化趋势分析[J].地理科学,2008,28(4):537-542.
- [13] 刘国成,杨长保,刘万崧,等.基于模糊数学的农业气候适宜度划分研究及应用[J].吉林农业大学学报,2007,29(4):460-463.
- [14] 任玉玉,千怀遂.河南省棉花气候适宜度变化趋势分析[J].应用气象学报,2006,17(1):87-93.
- [15] 马兴祥,邓振镛,李栋梁,等.甘肃省春小麦生态气候适宜度在种植区划中的应用[J].应用气象学报,2005,16(16):820-827.
- [16] 魏瑞江,宋迎波,王鑫.基于气候适宜度的玉米产量动态预报方法[J].应用气象学报,2009,20(5):622-627.
- [17] 千怀遂,焦士兴,赵峰.全球气候变化对作物气候适宜性的影响——以河南省冬小麦为例[J].农业现代化研究,2004,25(2):106-110.
- [18] 马树庆.吉林省农业气候研究[M].北京:气象出版社,1994:33.
- [19] 陈玉明,郭国兴,王广兴,等.中国主要作物需水量与灌溉[M].北京:水利水电出版社,1995.
- [20] 黄璜.中国红黄壤地区作物生产的气候生态适应性研究[J].自然资源学报,1996,4(11):340-346.
- [21] 姚小英,蒲金勇,姚茹莘,等.气候暖干化背景下甘肃旱作区玉米气候适宜性变化[J].地理学报,2011,1(66):59-67.
- [22] 刘实,王勇,缪启龙,等.近 50 年东北地区热量资源变化特征[J].应用气象学报,2010,3(21):266-278.
- [23] Li Xiu-fen, Li Shuai, Ji Rui-peng, et al. Temporal and spatial variation characteristics of precipitation during crop growing season in northeast China [J]. Agricultural science and technology, 2010, 11(6):137-140, 168.
- [24] 山东省农业科学院玉米研究所编译.玉米生理[M].上海:上海科技出版社,1981:176-188.

(上接第 70 页)

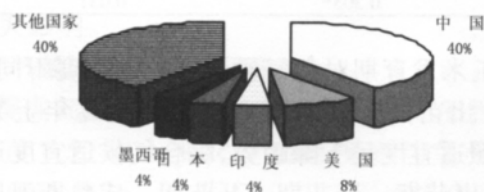


图 8 2007 年世界禽蛋产量大国

参考文献:

- [1] 周鑫宇,杨君香,黄文明,等.对我国规模奶牛养殖模式的思考[J].中国畜牧杂志,2010,12(46):35-41.
- [2] 冯艳秋,陈慧萍,彭华,等.2011 年我国奶业主产区奶牛不同养殖模式生产管理状况调查与分析[J].中国乳业,2012(122):2-7.
- [3] 郭冬生,彭小兰,夏维福.我国家畜业的现状及其发展趋势[J].畜牧业,2007(7):26-27.
- [4] 刘海良.我国养猪业现状及国外养猪业发展趋势[A].现代化养猪企业经营管理研讨会论文集[C].2004,7:218-224.
- [5] 杨寿国.农区三种奶牛养殖模式中存在的问题及其对策[A].第三届中国奶牛发展大会论文集[C].2008:58-60.
- [6] 郭长华.国内外养猪生产比较[J].中国畜牧杂志,2003(4):43-44.
- [7] 李胜利,苏华维,王立斌,等.规模奶牛场标准化饲养关键技术研究[A].中国畜牧兽医学会养牛学分会 2011 年学术研讨会论文集[C].2011:169-178.
- [8] 中国统计数据库: <http://www.infobank.cn/irisbin/select.dll?special?db=TJ>.