

研究论文

东北地区农业气候生产潜力
及其开发利用对策郭建平 高素华 潘亚茹¹⁾

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

提 要

利用东北地区100个气象台站1971—1990年气象和产量等资料,分析了东北地区主要粮食作物的气候适应性,并计算了气候生产潜力。结果表明:东北地区中部平原区的气候生产潜力在区内都是较高或最高的,而50°N以北的北部地区和东部长白山天池附近,作物的气候生产潜力在区内最低。最后,用线性规划对东北地区部分县的主要农作物结构提出了调整意见。理论分析结果表明:结构调整更有利于农作物高产、稳产和高效。

关键词: 东北地区 生产潜力 结构调整 对策

前 言

东北地区是我国重要的粮豆生产基地,粮豆总产占全国的12.1%,商品率达40%左右,高于全国平均水平,其中玉米出口量占全国总出口量的一半以上。

已有研究表明,东北地区的农业自然资源潜力远没有得到充分发挥,即使粮食生产水平较高的中部平原地区,其农业气候资源和农业技术开发的潜力也是很大的。东北地区粮食总产进一步提高的关键是提高作物单产^[1];或者通过农作物结构的调整,达到高产和稳产的目的^[2],即通过提高农业技术和改善农业生态环境条件,合理布局作物,提高作物生产中气候和土壤等农业自然资源的利用率,同时减轻自然灾害对农作物生长发育的影响,从而达到高产、稳产和高效的目的。

本文利用东北地区100个气象站的气象资料,首先分析了东北地区主要农作物的气

候适应性,然后计算作物的气候生产潜力,最后进行农作物结构调整及对策分析。

1 主要农作物的气候适应性分析

国内外计算作物生产潜力时常采用对光合生产潜力逐步进行温度订正和水分订正方法。温度订正值和水分订正值的大小与温度和水分条件对作物产量形成的限制程度成反比。因此,温度订正值和水分订正值不仅可用于定量地评价整个生育期气候适应性,而且能用于评价作物各个生育时段热量、水分要求的满足程度。此外,还可以用于不同作物之间的比较。

1.1 温度订正函数 $f(T)$

东北地区主要以单茬作物为主。我们以各种主要作物生长发育和实现高产的三基点温度指标为基准,按下式确定 $f(T)$:

$$f(T) = \frac{[(T - T_1)(T_2 - T)^B]}{[(T_0 - T_1)(T_2 - T_0)^B]} \quad (1)$$

1) 参加本项目的还有马树庆、郭顺姬、戴阁文、孙玉亭、白雅梅、黄朝迎、杨贤为、张强和周曙光等。

$$B = (T_2 - T_0) / (T_0 - T_1)$$

式中, T 是某一时段的平均气温, T_1 、 T_2 和 T_0 分别是该时段内作物生长发育的下限温度、上限温度和产量形成的最适温度^[3-5](表

1)。且令当 $T \leq T_1$ 时, $f(T) = 0$ 。这样, $f(T)$ 是由 T 、 T_0 、 T_1 和 T_2 决定的值为 0—1 的不对称抛物线^[3]函数。

表1 东北地区主要作物的三基点温度指标

月	生长发育时期	玉米、高粱			水稻			大豆		
		T_0	T_1	T_2	T_0	T_1	T_2	T_0	T_1	T_2
5	苗期	20.0	8.0	27.0	21.0	9.0	28.0	18.5	7.5	26.0
6	营养生长期	24.5	11.5	30.0	25.0	12.5	32.0	23.5	10.0	30.0
7	营养生殖并进期	27.0	14.0	33.0	27.8	15.0	33.0	26.0	13.0	32.0
8	开花—灌浆期	25.5	14.0	32.0	26.3	15.0	33.0	24.5	14.0	30.5
9	灌浆成熟期	19.0	10.0	30.0	19.3	10.5	30.0	18.0	10.0	30.0

1.2 水分订正函数 $f(R)$

$f(R)$ 是作物生长发育和产量形成的水分订正函数, 采用下式计算:

$$f(R) = 1 - |\Delta W_j| / W_j \times K \quad (2)$$

式中, $\Delta W_j = R_j - W_j$, $W_j = \alpha_j \times E_j$, R_j 是 j 时段的降水量, W_j 是农作物理论需水量, ΔW_j 是农田水分盈亏, K 是与径流有关的参数^[7], 当 $\Delta W_j > 2\text{mm}$ 时, $K < 1$, 表明由于径流的存在使农田涝灾减轻; 当 $\Delta W_j \leq 2\text{mm}$ 时, 降水适中或偏少, 没有径流, $K = 1$ 。 α_j 为作物系数^[8,9]。

1.3 计算结果

1.3.1 玉米全生育期 $f(T)$ 平均值的地区分布特点

为南部高, 向北逐渐减小; 同纬度地区西部较高, 东部较低。齐齐哈尔经哈尔滨、吉林、辽源到通化一线西南地区, $f(T) > 0.8$; 讷河、海伦、铁力至鹤岗一线以北地区, $f(T) > 0.6$ 。 $f(T)$ 的月际变化特点是热量资源少的地区变化大, 热量资源充足的地区变化小。

玉米全生育期内水分供应情况比较好, 除吉林西部和长白山等少数地区外, 玉米全生育期的 $f(R)$ 平均值 > 0.8 。

1.3.2 大豆全生育期 $f(T)$ 平均值和各时段内 $f(T)$ 的分布

都是由南向北降低。其中吉林省受长白山地的影响, 东西差异明显, 西部最高的通榆达 0.93, 东部最低的长白只有 0.58。黑龙江省的南部呈现高一低一高一低

的分布。 $f(T)$ 的月际变化较小, 表明大豆全生育期内各月热量条件的满足程度都较高。

$f(R)$ 的分布除降水量少而干旱的西部和降水量多而过湿的山区外, 中部地区普遍大于 0.8。大豆前期需水少, 后期需水多时, 正是东北地区降水量最多的时期, 一般都能满足大豆的需要, 所以 $f(R)$ 的月际变化也不大。

1.3.3 东北地区主要种植一季稻。水稻全生育期 $f(T)$ 的平均值分布趋势

与玉米相似, 也是南部高、北部低, 西部高、东部低。两者的区别在于水稻的 $f(T)$ 平均值 0.8 线向南移到白城、扶余、长春、清原和宽甸以南, 说明水稻要求的温度条件比玉米高。大、小兴安岭以及长白山地区则在 0.6 以下。 $f(T)$ 的月际变化也是热量资源少的地区变化大, 热量资源充足的地方变化小。

水稻 $f(R)$ 的平均值比玉米低, 全区都 < 0.8 , 但大部分地区 > 0.7 。 $f(R) < 0.7$ 的地区主要分布在黑龙江省的西南部和东北部、吉林省的西部和辽宁大部, 其中辽宁东部主要是降水过多所致。 $f(R)$ 的月际变化较大, 5 月大都 < 0.7 , 6 和 7 月全区大部分地区都较高, 除个别地区外, $f(R) > 0.8$, 8 和 9 月也基本上在 0.8 左右。

1.3.4 高粱 $f(T)$ 全生育期的平均值分布

是, 辽宁、吉林西半部和黑龙江西南部都在 0.8 以上, 其中辽宁 > 0.9 。 $f(T)$ 的月际变化

不大,大多在0.8左右,极有利于高粱生长。长白山区和大、小兴安岭 $f(T) < 0.6$, 不利于高粱生长。

$f(R)$ 的分布除少数地区较低外,大部地区 > 0.8 , 部分地区达0.9以上,有利于高粱的生长。辽宁、吉林两省东部降水多,水分过剩, $f(R) < 0.6$ 。 $f(R)$ 的月际变化,平均值高的地区月际变化小;平均值小的地区,月际变化大。

2 农业气候生产潜力的计算

关于气候生产潜力的计算问题,国内外已有不少研究^[8,9-12]。计算东北地区农业气

候生产潜力的目的在于分析目前生产水平与气候生产潜力之间的差距,为提出农业综合开发对策提供科学依据。

2.1 计算方法

光合生产潜力用下式计算:

$$Y_1 = C \cdot f(Q) \\ = K \Omega \varepsilon \varphi (1 - \alpha)(1 - \beta)(1 - \rho) \\ (1 - \gamma)(1 - \omega)(1 - \eta)^{-1}(1 - \xi)^{-1} \\ \cdot s \cdot q^{-1} f(L) \sum Q_j \quad (3)$$

式中, C 为单位换算系数, K 为面积系数, Q_j 为各月太阳总辐射 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$), 其它参数列于表2。

表2 光合生产潜力计算时所用参数的意义和取值^[8-12]

参数	物理意义	玉米	水稻	大豆	高粱	谷子
ε	光合辐射占总辐射的比例	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
φ	光合作用量子效率	0.224	0.224	0.224	0.224	0.224
α	植物群体反射率	0.08	0.06	0.10	0.09	0.08
β	植物繁茂群体透射率	0.06	0.08	0.10	0.10	0.10
ρ	非光合器官截获辐射比例	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
γ	超过光饱和点光的比例	0.01	0.05	0.10	0.03	0.05
ω	呼吸消耗占光合产物的比例	0.30	0.33	0.35	0.30	0.30
η	成熟谷物的含水率	0.15	0.14	0.15	0.15	0.15
ξ	植物无机灰分含量比例	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
s	作物经济系数	0.40	0.45	0.35	0.35	0.35
q	单位干物质含热量 ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)	17.2	16.9	23.1	17.8	20.0
Ω	作物光合固定 CO_2 能力的比例	1.00	0.90	0.60	1.00	1.00
$f(L)$	作物叶面积动态变化订正值	0.58	0.56	0.50	0.52	0.44

在光合生产潜力的基础上进行温度和生育日数的订正,得到光温生产潜力 Y_2 :

$$Y_2 = f(T) \cdot f(N) \cdot Y_1 \quad (4)$$

式中, $f(T)$ 是温度订正函数; $f(N)$ 是生育日数订正函数,根据东北地区的实际情况,采用如下形式计算:

$$f(N) = 1 + (N - N_0)/(1.7N_0) \quad (5)$$

式中, N 为作物有效生育日数(日平均气温 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的日数), N_0 为5—9月的日数(165)。因为它可完全满足作物最晚熟品种的要求,故 $f(N > 165) = f(165)$ 。

在光温生产潜力的基础上,进行水分订正可得到气候生产潜力 Y_3 :

$$Y_3 = f(R) \cdot Y_2 \quad (6)$$

式中, $f(R)$ 为水分订正函数。

需要指出的是水稻以灌溉为主,根据实际调查和经验表明,目前东北地区的水利设施水平较低,各地水田通过自然降水和灌溉对水稻需水的满足程度达92%左右,即 $f(R) = 0.92$ 。因此,在计算水稻气候生产潜力时,取 $f(R) = 0.92$ 是可信的。

2.2 气候生产潜力分析

图1—5列出玉米、水稻、大豆、高粱和谷子的气候生产潜力。由图可以看出,由于温度和水分条件的地区差异较大,各地气候生产潜力的差异也较大。中部平原地区和西南地区气候生产潜力较高,玉米、水稻、大豆、高粱和谷子的气候生产潜力依次为20000、19000、5500、13000和10000 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 左右;黑龙江省南半部、吉林省西部和东部部分半

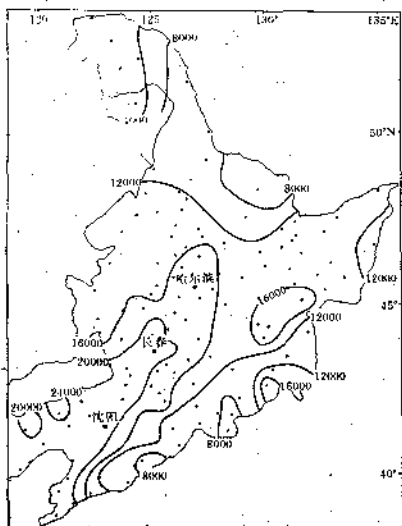


图1 玉米气候生产潜力分布
单位: $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

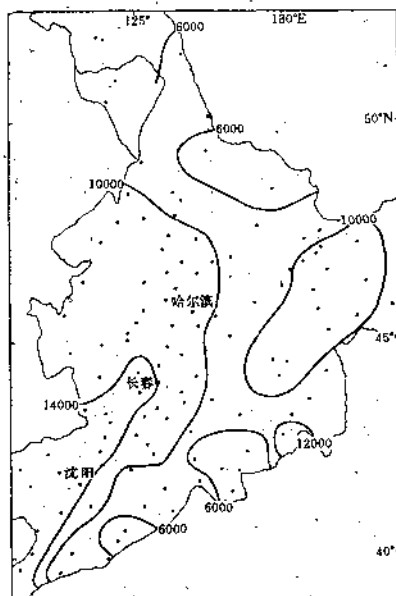


图3 高粱气候生产潜力分布
单位: $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

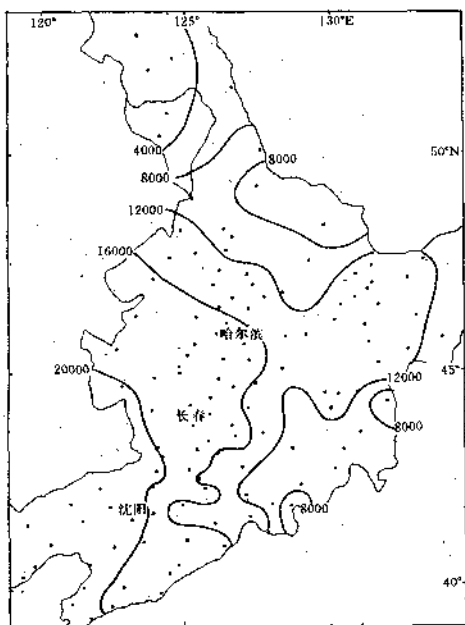


图2 水稻气候生产潜力分布
单位: $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

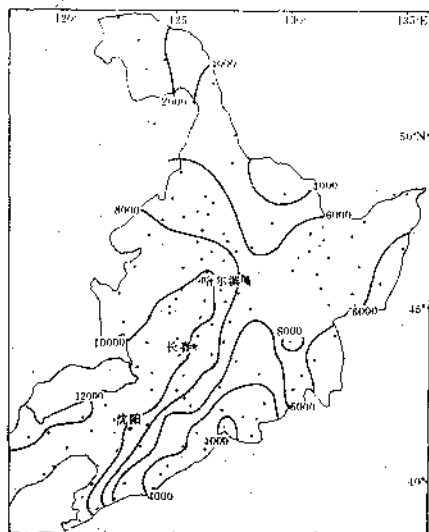


图4 谷子气候生产潜力分布
单位: $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

山区次之,5种作物的气候生产潜力依次为15000、16000、4500、10000和7000 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 左右;黑龙江省北部和长白山区的高寒地带

气候生产潜力最低,5种作物依次为3000—12000、2000—12000、1200—4000、2200—8000和1500—6000 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 。按照作物气候

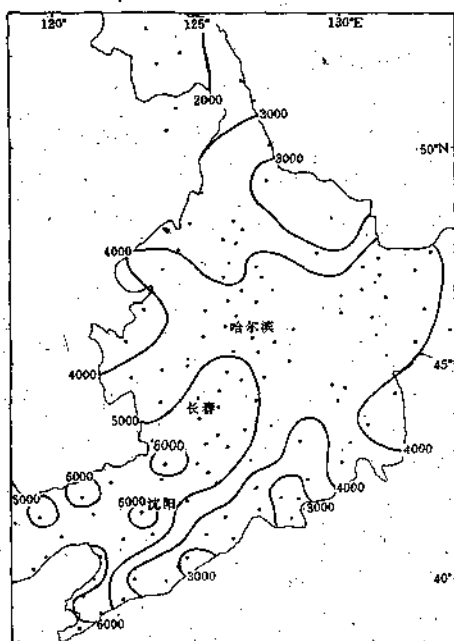


图5 大豆气候生产潜力分布

单位: $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

生产潜力的大小排序是玉米最大,依次为水稻、高粱、谷子和大豆。这种差异除与光合生理因素有关外,还与作物气候生态适应性有关。

几种作物在中部平原地区的气候生产潜力都是较高或最高的,说明这一地区有良好的农业生态环境条件。在 50°N 以北的北部地区和长白山天池附近,几种作物的气候生产潜力都为最低,这是由于这里热量条件难以满足主要作物的生长发育要求。

3 农业气候资源开发利用对策分析

3.1 农业气候资源开发利用潜力分析

Y_1 、 Y_2 、 Y_3 以及实际产量 Y_4 之间的递减数额,实际上就是开发利用气候资源的增产潜力。其中通过改善热量条件可能获取增产潜力 $\Delta Y_1 = Y_1 - Y_2$; 兴修水利可获取增产潜力 $\Delta Y_2 = Y_2 - Y_3$; 提高农业技术措施可获得增产潜力 $\Delta Y_3 = Y_3 - Y_4$ 。

3.1.1 改善热量条件的增产潜力

ΔY_1 的地理分布与热量条件的地理分布一致,是由南向北、由西向东递增的。其中辽西和辽南地区热量条件已接近主要作物最晚熟品种对热量的要求, ΔY_1 值很小。这些地区在一茬作物条件下改善热量条件的余地很小,因此可采用两年三熟或一年两熟间套作,以提高热量利用效率。辽东山区、吉林中部、西部、南部地区及黑龙江西南部地区,玉米、水稻、大豆、高粱和谷子改善热量条件的增产潜力依次为现实产量的 70%、80%、40%、80% 和 100% 左右。黑龙江省南半部和吉林省东部山区可提高 1—2 倍。黑龙江省北部和吉林省长白山高海拔地带 ΔY_1 值很大,增产潜力可达现实产量的几倍。

各作物光温生产潜力占光合生产潜力的比例,东北地区的西南部为 89% 左右,中部大部分地区为 75% 左右,北部和长白山高寒地区为 20%—50% 之间。也就是说,由于热量条件的限制,使各地区产量相应下降了。热量越贫乏的地区,改善热量条件的效果越明显,增产幅度越大。

3.1.2 改善水分条件的增产潜力

西部干旱区和东部易涝区,玉米、大豆、高粱和谷子 4 种旱地作物的 ΔY_2 较大,4 种作物气候生产潜力占光温生产潜力的比例在 50%—60% 之间。所以在这些地区兴修水利可使农业产量提高约一倍。此外,由于作物抗旱涝能力的不同,西部谷子和高粱的 ΔY_2 相对较小,而东南部则是大豆的 ΔY_2 相对较小。其它地区的农田水分条件较好,光温生产潜力与气候生产潜力的差异不大,约为 10%—20%。

3.1.3 农业技术的开发利用潜力

从总体上看, ΔY_3 是由西向东、由南向北递减。辽西和辽南的 ΔY_3 最大,玉米、水稻和大豆在这一地区的现实产量仅为气候生产潜力的 20% 左右。通过农业技术综合开发和利用,可以使目前的粮食单产提高 3—4 倍;吉林省中部地区和黑龙江省中南部地区农业技

术开发利用潜力较大,这些地区土壤条件较好、生产水平也较高;吉林省西部地区和黑龙江省西南部地区,玉米、水稻、大豆、高粱和谷子的 ΔY_i 依次为现实产量的2.3、2.2、2.2、2.7和3.5倍,其农业技术开发利用潜力也较大;黑龙江省北部地区和东部长白山高海拔地区,由于温度条件差,气候生产潜力低,因而 ΔY_i 也较小, ΔY_i 是现实产量的2倍左右。

作物之间的比较显示,经营粗放、现实生产力较低的作物,农业技术开发利用的潜力就更大。反之,现实生产水平高的作物,现实产量比较接近气候生产潜力,农业技术开发利用的潜力就小。

3.2 农作物结构调整分析

进行农作物结构调整是希望农作物受天气、气候条件的影响小,在有利的天气、气候条件下能获得最大的经济效益,在不利的天气、气候条件下所受的损失也最小,从而达到高产和稳产的目的。本文采用文献[13]的方

法,对东北地区33个抽样县进行农作物结构调整研究。

3.2.1 农作物优化结构

表3列出了部分抽样县在不分年型情况下的优化结构。产量高,经济价值高的作物,播种面积大,受气候条件影响小的作物,播种面积比现实状况要大。

表3 部分抽样县的优化结构 单位:ha

县名	水稻	玉米	高粱	大豆	春小麦
新民	27231.3	72200.0	9054.8	9490.4	5521.1
榆树	23758.8	152740.0	11400.0	38905.5	3000.0
海伦	17238.9	70982.7	4813.0	57343.9	10489.7
木兰	27770.9	14137.8	353.5	11208.7	311.0
五常	47072.3	58439.3	5649.7	26245.7	737.9

3.2.2 结构调整的效益分析

要进行效益分析,首先要确定比较的标准。我们选用1986—1990年的年平均总产量和总产值作为标准。因为近几年的产量和产值能够较好地反映当前的生产水平,用来作为比较标准比较客观和可信。表4列出了部分抽样县不分年型下的效益情况。

表4 优化方案的效益比较

抽样县	总产量/kg			总产值/元		
	1986—1990年平均	优化方案	增减(%)	1986—1990年平均	优化方案	增减(%)
新民	572758703	623523856	8.86	161419796	174282000	7.97
榆树	1414752250	1440756532	1.84	380539949	385151300	1.21
海伦	403743380	512813028	27.01	127080444	156516800	23.16
木兰	145767308	150516813	3.26	46867068	47633580	1.64
五常	571562473	641089162	12.16	154216751	191136400	23.94

从表4看出,优化方案的效益十分明显。对东北地区33个抽样县的计算表明:1986—1990年年平均生产粮食1332.614万吨,经济产值372100万元,如果采用不分年型的方案,优化方案的粮食总产和产值分别为1502.525万吨和418752万元,分别比1986—1990年平均增长12.75%和12.54%。在丰年情况下可增长20%左右,效益十分可观。

3.3 实现高产、稳产和高效的对策

从上述各项分析看出,各地气候、土壤、农业技术都有较大的差别。因此,实现高产、

稳产和高效,进行农业综合开发有共同途径,又有地区特点。主要概括如下:

3.3.1 根据气候特点,进行农作物和品种的合理布局。西部地区以谷子、高粱和经济作物为主,东部和北部地区以大豆和水稻为主,中部和南部以玉米和水稻为主,建立相对集中的农业开发区。南部和西南部地区以最晚熟品种为主,中部以中熟和中晚熟品种为主,东部山区和黑龙江省南半部山区应以中熟和中早熟品种为主,长白山等高海拔地区,黑龙江省三江平原和北部地区以早熟和极早熟品种为主,其中热量条件相当贫乏的地区应以林

牧业为主,农业为辅。

3.3.2 充分利用西部地区的光热资源,采用主体栽培技术,在热量充足的地区还可实行一年两熟间套作或两年三熟制,可提高粮食总产。

3.3.3 在长白山区进行立体农业开发,根据山区气候的立体变化规律,安排作物、品种布局和林产经济的开发,建立山区立体农业的生态经济系统。

3.3.4 加强农田水利建设,这是解决旱涝问题的主要途径。同时应广泛研究和推广抗旱和节水保水技术,提高降水利用效率。

3.3.5 加强农业生态环境建设,特别是加强土壤改良、培肥地力,增加对耕地的有机质投入,可有效地增加农田保水能力,提高水分利用效率。

3.3.6 研究、开发和引进新品种,搞好品种更新是增产的重要措施。近年来,玉米和水稻新品种的引进已使粮食产量提高了10%—20%。

3.3.7 改进栽培方式,加强农田管理和病虫害防治;加强气象服务,提高对不利气候条件和农业气象灾害的抗御能力。

3.3.8 进行农作物结构调整,可有效地利用农业气候资源,使粮食总产量和总产值有效

地增长。

参考文献

- 1 竺可桢,论我国气候的几个特点与粮食作物生产的关系,科学通报,1964,(3).
- 2 郭建平,东北地区主要粮食作物的气候适应性及最优结构分析,自然资源,1993,(2).
- 3 丁士晨,东北地区低温冷害的气候分析,东北夏季低温长期预报文集,北京:气象出版社,1983.
- 4 北京农业大学主编,农业气象学,北京:科学出版社,1984.
- 5 韩湘玲主编,作物生态学,北京:气象出版社,1991.
- 6 邓根云等,我国光温资源与气候生产力,自然资源,第4期,1980.
- 7 马树庆,吉林省农田水分资源农业气候鉴定方法研究,自然资源,第3期,1988.
- 8 于沪宁等,光热资源和农作物光热生产潜力——以莱城为例,气象学报,1982,42(3).
- 9 侯光良,关于我国作物气候生产力估算问题的讨论,中国农业气候资源和农业气候区划文集,北京:气象出版社,1986.
- 10 霍治国,亚热带东部丘陵山区作物气候生产力研究,气象科学研究院院刊,1989,4(3).
- 11 叶修琪,大豆的温度效率单位,农业气象,1983,(2).
- 12 Cutforth, H. W. and Shay Kewitch, C. F., A temperature responses function for corn development, Agric For Meteorol, 1990, 50: 159—171.
- 13 郭建平,农作物结构调整在农业减灾决策中的应用,生态农业研究,1993,1(3).

Agroclimatic Potentiality Development Application and Countermeasures in Northeast China

Guo Jianping Gao Suhua Pan Yaru

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract

Using the data of meteorology and crop yield in 100 meteorological stations in Northeast China from 1971 to 1990, the climatic adaptability of main food crops are analysed and the climatic productivity are calculated. The results showed that the agroclimatic productivities for each crop are higher or highest in the middle plain part of Northeastern China. But in the northern part of 50°N and near by the Tianchi of Changbai Mountain are the lowest. At last, the structure patterns of main crops are adjusted by using linear programming. The theory analysis of results showed that the structure adjustment is more beneficial to higher yield, stability and higher value.

Key Words: Northeast China productivity structure adjustment countermeasure