

大豆产量动态预报模型研究

郑昌玲,王建林,宋迎波,陈 晖

(国家气象中心,北京 100081)

摘 要:近年来,受进口大豆的冲击,中国大豆产业面临着严重挑战。为了给政府决策提供可靠的依据、保障中国粮食安全,每年能准确地进行大豆产量预报具有重要意义。利用大豆不同生育阶段气象因子的综合聚类指标选择气象相似年型,再根据相似年的产量变化确定预报年的产量气象影响指数,建立全国大豆单产动态预报模型。通过对 1995~2004 年大豆产量进行动态预报,结果表明:5 月 31 日、6 月 30 日、7 月 31 日、8 月 31 日和 9 月 30 日大豆产量预报准确率分别为 97.0%、93.8%、94.9%、93.7%、95.1%,实现了大豆产量的连续、动态、定量预报。

关键词:大豆;产量动态预报;气象因子综合聚类

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-9841(2008)06-0943-06

Dynamic Prediction Model of Soybean Yield Per Unit

ZHENG Chang-ling, WANG Jian-lin, SONG Ying-bo, CHEN Hui

(National Meteorological Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

Abstract: In recent years, Chinese soybean product faces serious challenge because of the impacts of imported soybean. It is important to provide credible information for government decision-making and ensure the security of food supplies in China that soybean yield is predicted accurately in advance every year. Based on the synthesized cluster indicators of meteorological factors at different growing period of soybean, the similar meteorological years were chosen to calculate meteorological impacts index of yield for the predication, and a dynamic prediction model of the soybean yield per unit was established. The soybean yield per unit of ten years was dynamically predicted from 1995 to 2004. The results showed that the average accuracy of ten years was 97.0%, 93.8%, 94.9%, 93.7% and 95.1% for May 31, June 30, July 31, August 31 and September 30 respectively. The dynamic prediction model realized a successive dynamic quantitative prediction of soybean.

Key words: Soybean; Yield dynamic prediction; Synthesized of meteorological factors

中国是大豆之乡,有着五千多年的大豆种植历史。但是,近些年来,受进口大豆的冲击,国产大豆发展缓慢,对进口大豆的依存度在逐年提高,使中国的大豆产业面临着严重挑战^[1]。为了提前了解每年大豆生产情况,我国从 20 世纪 80 年代开展大豆产量气象预报服务,至今已有 20 多年的历史,预报准确率也在不断提高。大豆产量预报的基本方法是统计预报^[2],预报的时效一般在大豆收获前 1~2 个月;虽然准确率较高,但在短时间内有筛选预测因子难的缺点,不适于产量动态预报。近年来,作物产量动态预报模式不断发展,并在业务服务中得到应用,其中有利用计算气候生产力的方法建立西北旱地玉米产量动态预报模型^[3],也有利用相似聚类方法动态预测棉花、晚稻等作物产量的动态预测^[4-5],均取

得了较好的效果。模型利用大豆产量资料、发育期资料和逐日气象资料,考虑历史生产力水平和预报年生产力水平的差异,用连续 3 年作物平均单产代表平均生产力水平,通过相似系数和相似距离建立大豆产量气象影响指数,确定了中国大豆从播种到成熟收获期间的气象预报因子和预报方法,实现了大豆产量连续、动态、定量地预报,改进和完善粮食安全气象服务工作,为政府决策部门提供服务,更好地保障我国粮食安全。

1 资料来源与处理方法

1.1 资料来源

研究资料为国家统计局公布的 1960~2004 年全国大豆平均单产、种植面积和总产量;1960~2004 年大豆

收稿日期:2008-06-18

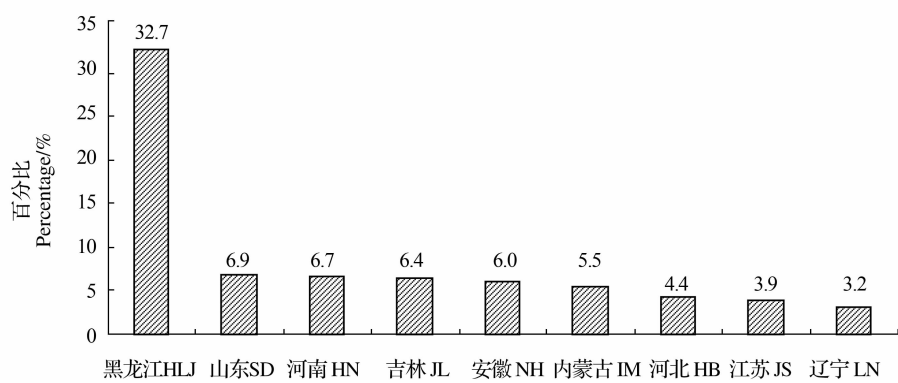
作者简介:郑昌玲(1980-),女,硕士,从事农业气象业务和科研工作。E-mail:zhengcl@cma.gov.cn。

主产省份(区)气象观测站点的逐日气象资料,包括最高气温、最低气温、降水量和日照时数资料。

1.2 大豆的主产省及代表站点的确定

全国区域大豆主产省是根据 1994 ~ 2003 年各

省大豆 10 年平均总产量占全国平均总产量达 2% 以上确定的(图 1);以各主产省大豆总产量分别占全国的百分率为权重,结合资料的完整状况,在不同省份选取一定数量的代表站,总共 61 个站点。



HLJ: Heilongjiang, SD: Shandong, HN: Henan, JL: Jilin, AH: Anhui, IM: Inner Mongolia, HB: Hebei, JS: Jiangsu, LN: Liaoning

图 1 各省份(区)大豆产量占全国大豆总产比例

Fig. 1 The proportion of soybean yield of different provinces to the yield of whole country

1.3 资料处理方法

1.3.1 产量资料处理 研究表明,一定区域内,相邻两年单位面积作物产量的变化主要是由相邻两年的气象条件差异引起的。但由于农业生产技术水平或是作物品种的改进,可能导致某些作物相邻两年间产量发生很大变化。因此,考虑大豆历史生产力和预报年生产力水平的差异,研究气象条件对大豆产量丰歉的影响,用连续 3 年作物平均单产代表生产力水平。与上一年平均生产力水平相比,大豆单产增减率($\Delta Y_i, \%$)为

$$\Delta Y_i = (Y_i - \bar{Y}_{i3}) / \bar{Y}_{i3} \times 100\% \tag{1}$$

其中: $\bar{Y}_{i3} = (Y_{i-1} + Y_{i-2} + Y_{i-3}) / 3$

式中 i 代表 1964 ~ 2004 年的任一年, $i-1$ 、 $i-2$ 、 $i-3$ 分别为第 i 年的前 1 年、前 2 年和前 3 年, Y_i 、 Y_{i-1} 、 Y_{i-2} 和 Y_{i-3} 分别为第 i 年、第 $i-1$ 、第 $i-2$ 、第 $i-3$ 年大豆平均单产。

1.3.2 发育期资料处理 发育期资料统一采用 2002 ~ 2004 年 3 年的平均值,主要用来判断预测时大豆所处的发育阶段,根据该发育阶段的生理指标计算当天的有效温度。

$$\hat{t}_a = \begin{cases} \frac{(t_{\max} + t_l)}{2} \times \left[1 - \frac{(t_h - t_{\max})}{k_1} \right] & (t_{\max} + a > t_h > t_{\max} \text{ 或 } t_h \geq t_{\max} + a \text{ 不超过 } 3 \text{ d}) \\ 0 & (t_h \geq t_{\max} + a \text{ 连续 } 3 \text{ d 以上}) \end{cases} \tag{4}$$

式中, $t_{\max} + a$ 为大豆不同发育期的最小致死上限温度,采用最优化方法进行计算机模拟,取 $a = 5$,

1.3.3 气象资料处理 根据模型需要,确定各气象因子及其计算方法。

1.3.3.1 日平均温度($t_a, ^\circ\text{C}$)。根据日最高温度、最低温度计算:

$$t_a = \frac{(t_h + t_l)}{2} \tag{2}$$

式中, t_a 为日平均温度, t_h 为日最高温度, t_l 为日最低温度。

1.3.3.2 日有效温度($\hat{t}_a, ^\circ\text{C}$)。大豆发育期为播种、出苗、第三真叶、开花、结荚和成熟,各个发育期需要的上限温度分别为 40°C 、 36°C 、 36°C 、 29°C 、 29°C 、 25°C ,下限温度为 6°C 、 8°C 、 8°C 、 17°C 、 13°C 、 8°C [6-7]。日有效温度的计算方法为:

当日最高温度低于大豆生长的上限温度,日最低温度高于大豆生长的下限温度时:

$$\hat{t}_a = \frac{t_h + t_l}{2} \quad (t_h \leq t_{\max} \text{ 且 } t_l \geq t_{\min}) \tag{3}$$

式中, t_{\max} 为大豆生长的上限温度, t_{\min} 为大豆生长的下限温度。

当日最高温度高于上限温度时:

认为连续 3 d 以上超过大豆各发育期上限温度 5°C 即导致大豆死亡; k_1 为日最高温度高于大豆上限温

度时计算有效温度的折算系数,取 $k_1 = 5$,即温度每高于大豆各生育期上限温度 1°C ,温度有效性减

少 20%。
当日最低温度低于大豆的下限温度时:

$$\hat{t}_a = \begin{cases} \frac{(t_h + t_{\min})}{2} \times \left[1 - \frac{(t_{\min} - t_l)}{k_2} \right] & (t_{\min} - b < t_l < t_{\min} \text{ 或 } t_l \leq t_{\min} - b \text{ 连续 3 d 及以下, 且 } \frac{t_h + t_l}{2} > 0) \\ 0 & (\frac{t_h + t_l}{2} \leq 0) \\ 0 & (t_l \leq t_{\min} - b \text{ 连续 3 d 以上}) \end{cases} \quad (5)$$

式中, $t_{\min} - b$ 为大豆各发育期最大致死下限温度,取 $t_{\min} - b = -3$; k_2 为最低温度低于大豆的下限温度时计算有效温度的折算系数,取 $k_2 = t_{\min} + 3$ 。

1.3.3.3 区域平均温度。根据各站点温度值用算术平均方法分别计算全国平均值,当日平均气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 时,此站点温度不参加平均。

1.3.3.4 积温。从播种日开始,每 5 d (月末为 6 d 或 4 d) 累计逐日区域平均温度,全国大豆从 4 月 25 日开始,分别计算到 4 月 30 日、5 月 5 日、5 月 10 日、5 月 15 日、……的积温,形成积温序列。根据同样方法和区域平均日有效温度计算得到有效积温序列。

1.3.3.5 分段累积降水量和分段累积日照时数。利用区域平均降水量分时段计算逐日降水量和日照时数累积值。播种日至预报日的时段累积值分别称作累积降水量和累积日照时数。

1.3.3.6 标准化降水量、分段标准化降水量、标准化日照时数和分段标准化日照时数。在大豆的生长发育过程中,降水量的时间分布和降水量具有同样的重要性,为了考虑降水量及其时间分布差异对大豆生长发育的影响,将累积降水量进行标准化处理,处理后的降水量称之为标准化降水量(\hat{p}_i)。

$$\hat{p}_i = \frac{p_i}{S_{pi}} \quad (6)$$
$$S_{pi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (p_i - \bar{p})^2}{m - 1}}$$

式中, \hat{p}_i 为标准化降水量, p_i 为累积降水量, S_{pi} 为累积降水量的标准差, m 为样本长度, \bar{p} 为累积降水量平均值。分段标准化降水量、标准化日照时数和分段标准化日照时数计算方法与此类似。

2 动态预报模型构建

2.1 基本原理

研究认为,作物单位面积产量主要受土壤类型、作物品种、农业投入、气象条件等因素的影响。相邻

两年间,土壤类型、作物品种、农业投入均相对较稳定,而据研究气象因子成为决定相邻两年间单位面积产量波动的主要影响因素^[8]。因此,相邻两年产量的变化可以表示为气象因子的函数。但由于农业技术改革或是品种变化的突然改进,导致一些年份相邻两年作物产量变化很大。为了减少这种生产力水平的变化对作物产量气象影响指数的影响,采用连续 3 年的产量平均来代表平均生产力的影响。

$$\Delta Y = F(m) \quad (7)$$

式中, ΔY 为相邻两年产量的变化,即作物产量气象影响指数, m 为气象因子。参考以往研究成果^[3-5],先通过气象因子综合聚类方法筛选气象相似年,再根据相似年产量变化特点计算分析年作物产量气象影响指数,建立大豆产量预报模型。采用气象因子综合聚类方法计算 ΔY 。

2.1.1 计算气象因子综合聚类指标

$$\text{相似距离 } d_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^N (X_{ij} - X_{kj})^2} \quad (8)$$

$$\text{相关系数 } r_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_i)(X_{kj} - \bar{X}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 \sum_{j=1}^N (X_{kj} - \bar{X}_k)^2}} \quad (9)$$

$$\text{综合聚类指标 } C_{ik} = \frac{r_{ik}}{d_{ik}} \times 100\% \quad (10)$$

式中, k 为预报年, i 为历史上的任意一年, j 为气象要素的序号, X_{kj} 为预报年作物播种后至发布预报时的第 j 个气象要素, X_{ij} 为历史上任意一年同一时段同类气象要素。 C_{ik} 为预报年 (k 年) 与历史上任一年 (i 年) 的综合聚类指标, C_{ik} 越大,则预报年 (k 年) 与历史某一年的相似程度越高。

2.1.2 选择相似年型 在不考虑作物品种变化的条件下,同一地区的不同年份,相邻两年的气象条件变化如果相似,则其产量的变化也应相近。但由于作物品种的不断更新、农业生产水平力的不断提高、发布预报时刻之后气象条件的不断变化等诸多原因,使得虽然气象条件变化最相似的年份,而作物产

量的变化却不一定最接近。因此,选取 C_{ik} 值最大的 3 个相似年型,通过分析 3 个相似年型作物产量的变化与预报年作物产量的实际变化,最终确定具体的计算方法。

根据以上原理,从日照、温度和降水三类因子中分别选取 1 个因子,组成各种组合,通过对比分析作物的预报结果与实际值,确定作物产量动态气象预报的预报因子和具体方法,可用以下分析方法。

2.1.2.1 单因子分析 根据 32 种组合的预报结果,对每种组合中某个单因子的 3 个相似年型预报结果与实际产量丰歉值进行分析对比,可选择 3 个预报试验结果的平均值,也可选择预报结果中符号一致结果的平均值,以此确定预报方法。

2.1.2.2 两种因子的组合分析 根据 32 种组合的预报结果,对每种组合的某两个单因子的 6 个预报结果与实际产量丰歉值进行分析对比,可选择 6 个预报结果的平均值,也可选择同类要素预报结果中符号一致结果的平均值,以此确定预

报方法。

2.1.2.3 综合影响指数分析 分别计算日照、温度和降水三类因子 C_{ik} 值,并求其和得到 $C_{ik综}$,把最大的 3 个 $C_{ik综}$ 值所对应 3 年的作物产量丰歉作为气象影响指数。可选取 3 个结果的平均值,也可选取 3 个气象影响指数结果中符号一致的预报结果的平均值,确定预报方法。

$$C_{ik综} = C_{ik光} + C_{ik温} + C_{ik水}$$

(11)

式中 $C_{ik综}$ 为光温水综合聚类指标, $C_{ik光}$ 、 $C_{ik温}$ 、 $C_{ik水}$ 分别为任一组合中的光照、温度和降水的三种因子的聚类指标。

2.2 全国大豆产量动态预报模型

根据上述原理和分析方法,对 1995 ~ 2004 年大豆进行了播种一个月开始(5 月 31 日)到收获时(9 月 30 日)逐月的动态预报试验,在研究分析所有预报结果的基础上,根据气象因子影响指数确定了 5 月 31 日、6 月 30 日、7 月 31 日、8 月 31 日和 9 月 30 日全国大豆动态预报因子和方法。结果见表 1。

表 1 大豆气象影响指数动态预报所选因子及预报方法

Table 1 The factors and methods of soybean yield prediction month by month

预报日期 Time of prediction	所选因子 Factor	预报方法 Method
5 月 31 日 May 31	分段标准化日照 Staged standardized solar	分段标准化日照预报中 3 个预报结果的平均 Mean of 3 solar prediction results
6 月 30 日 June 30	累积降水 Accumulated precipitation	累积降水预报中 3 个预报结果的平均 Mean of 3 precipitation prediction results
7 月 31 日 July 31	分段标准化日照 Staged standardized solar	分段标准化日照预报中 3 个预报结果的平均 Mean of 3 prediction results
8 月 31 日 August 31	累积日照 Accumulated solar	累积日照预报中两个以上符号一致结果的平均 Mean of 2 or 3 solar prediction results signs of which are same
9 月 30 日 September 30		1. 分段累积降水预报中两个以上符号一致结果的平均 Mean of 2 or 3 precipitation prediction results signs of which are same
	分段累积标准化降水 Staged standardized precipitation	2. 累积日照预报中 3 个预报结果的平均 Mean of 2 or 3 solar prediction results signs of which are same
	累积日照 Accumulated solar	3. 产量丰歉预报结果选择 1、2 的平均 Mean of above results

3 模型验证

利用以上 5 月 31 日~9 月 30 日逐月大豆产量预报方法,对 1994 ~ 2004 年全国大豆单产丰歉趋势

进行逐月动态预报回代检验,以预测结果符号一致为预报“正确”,则 10 年的趋势动态预报结果见表 2。除了 7 月 31 日以外,其余时段的准确率在 80% 以上。

表2 大豆单产丰歉动态预测
Table 2 The prediction of increasing or decreasing tendency for soybean yield per unit/%

年代 Year	实际增减 Actual yield change	增减趋势预报 The prediction of increasing or decreasing tendency				
		5月31日	6月30日	7月31日	8月31日	9月30日
		May 31	June 30	July 31	August 31	September 30
1995	4.3	5.7	9.1	7.3	10.9	12.0
1996	5.9	5.4	4.1	4.9	5.8	7.0
1997	2.5	7.2	5.9	7.1	5.3	6.6
1998	2.9	3.4	15.1	2.2	9.6	5.9
1999	0.7	1.2	18.3	5.2	-11.8	1.9
2000	-6.8	-5.2	-3.0	5.1	-1.5	-0.2
2001	-6.7	1.7	2.9	6.3	-3.8	9.2
2002	12.1	5.3	11.0	11.0	4.5	12.0
2003	-4.2	-5.2	-0.2	2.4	11.8	-0.7
2004	5.3	0.2	1.7	2.6	8.4	10.4
趋势平均正确率 Mean/%		90	90	70	80	90

实际增减由公式(1)计算得出。 Actual yield change was caculated from formula(1).

根据趋势预测结果,气象影响指数利用(12)式
方法
$$Y_i = \bar{Y}_{i3} \times (1 + \Delta Y_i) \tag{12}$$
对 1995~2004 年大豆单产进行了逐月动态预

报,准确率见表 3。准确率计算方法:准确率 =
$$\left(1 - \left| \frac{Y_{\text{预报}} - Y_{\text{实际}}}{Y_{\text{实际}}} \right| \right) \times 100\%$$
;其中, $Y_{\text{预报}}$ 为预报的某
年产量值, $Y_{\text{实际}}$ 为统计局公布此年的实际产量。

表3 大豆单产动态预测结果(kg·km⁻²)和准确率
Table 3 The accuracy of dynamic prediction for soybean yield per unit

年代 Year	实际值 Actual yield	5月31日 May 31		6月30日 June 30		7月31日 July 31		8月31日 August 31		9月30日 September 30	
		预报值 Predicted yield	准确率 Accuracy	预报值 Predicted yield	准确率 Accuracy	预报值 Predicted yield	准确率 Accuracy	预报值 Predicted yield	准确率 Accuracy	预报值 Predicted yield	准确率 Accuracy
		/kg·km ⁻²	/%	/kg·km ⁻²	/%	/kg·km ⁻²	/%	/kg·km ⁻²	/%	/kg·km ⁻²	/%
1995	1661.4	98.6	1684.5	1738.7	95.3	1710.0	97.1	1767.4	93.6	1784.9	92.6
1996	1770.2	99.5	1762.1	1740.3	98.3	1753.7	99.1	1768.8	99.9	1788.8	98.9
1997	1765.1	95.4	1846.2	1823.8	96.7	1844.4	95.5	1813.4	97.3	1835.8	96.0
1998	1782.0	99.5	1791.1	1993.8	88.1	1770.3	99.3	1898.5	93.5	1834.4	97.1
1999	1785.0	99.5	1793.7	2096.8	82.5	1864.6	95.5	1563.3	87.6	1806.1	98.8
2000	1656.7	98.3	1684.9	1724.0	95.9	1868.0	87.2	1750.7	94.3	1773.8	92.9
2001	1624.8	91.0	1770.8	1791.7	89.7	1850.9	86.1	1675.1	96.9	1901.4	83.0
2002	1892.9	93.9	1778.3	1874.6	99.0	1874.6	99.0	1764.8	93.2	1891.5	99.9
2003	1652.9	98.9	1635.1	1721.4	95.9	1766.2	93.1	1928.3	83.3	1712.7	96.4
2004	1814.8	95.2	1727.0	1752.8	96.6	1768.3	97.4	1868.3	97.1	1902.8	95.2
平均准确率 Mean/%		97.0		93.8		94.9		93.7		95.1	

从表 3 中看出,10 年平均准确率为 93.7%~
97.0%,综合平均为 94.9%。表 3 和表 4 的结果表
明,10 年全国大豆单产预报研究中,产量增减趋势
预报正确率和产量预报准确率达到了较高的水平,

可在业务中应用。
利用大豆单产动态预报方法,对 2005 年和
2006 年全国大豆进行逐月动态预报,进一步检验模
型的适用性和准确率,预报准确率见表 4。

表4 大豆单产预报结果(kg·km⁻²)和准确率
Table 4 The accuracy of dynamic prediction for soybean yield per unit

年代 Year	实际值 Actual yield	5月31日 May 31		6月30日 June 30		7月31日 July 31		8月31日 August 31		9月30日 September 30	
		预报值 Predicted yield/kg	准确率 Accuracy	预报值 Predicted yield/kg	准确率 Accuracy	预报值 Predicted yield/kg	准确率 Accuracy	预报值 Predicted yield/kg	准确率 Accuracy	预报值 Predicted yield/kg	准确率 Accuracy
		• km ⁻²	/%	• km ⁻²	/%	• km ⁻²	/%	• km ⁻²	/%	• km ⁻²	/%
2005	1704.5	1923.3	87.2	1914.3	87.7	1719.0	99.2	1980.4	83.8	1939.0	86.2
2006	1720.6	1863.1	91.7	1914.3	88.7	1745.3	98.6	1790.2	96.0	1690.3	98.2
平均准确率 Mean/%		89.4		88.2		98.9		89.9		92.2	

从表4看出,2006年全国大豆单产逐月预报结果的准确率都比较高,平均准确率在96%左右;对2005年预报准确率较低,主要是因为2004年全国大豆单产为历史第二高水平(仅低于2002年),虽然通过模型找出的与2005年气象条件相似的历史年是增产年,但在实际上很难突破前一年的高产,因此出现较大误差。

4 结论与讨论

利用大豆生育期、气象资料与大豆的生理指标结合作相应的处理,根据相似系数和相似距离方法对大豆生育阶段的气象因子进行综合聚类分析,建立大豆产量气象影响指数,进而产量预测。解决了常规统计方法在短时间内筛选预报因子难的问题,使预报时效明显提前,还通过考虑平均生产力水平对大豆单产变化的影响,克服农业生产技术或作物品种突变给相邻两年气象影响指数带来的误差,进一步提高预报准确率,在大豆播种一个月后每5 d动态滚动预报,实现了大豆产量的连续、动态、定量预报,具有重要价值。

但模型未考虑到重大灾害天气对产量的影响,计算有效积温时的折算系数的取值主要是根据大豆各发育期上下限温度和模拟确定的,还有待进一步的探讨。另外,此方法是否适用于区域的大豆产量预报和其它作物产量动态预报,还需进一步研究。

参考文献

[1] 肖伶俐. 中国大豆国际贸易弊端及其对策分析[J]. 大豆通报, (上接第942页)

[13] 董钻,那桂英. 大豆叶-粒关系的研究[J]. 大豆科学,1993,12(1):26-29. (Dong Z,Na G Y. Study on relationship of soybean Leaf and seed[J]. Soybean Science,1993,12(1):26-29.)

[14] Koller H . R. Analysis of growth within distinct strata of the soybean community[J]. Crop Science,1971,11:400-402.

[15] Willcott J,Herbert S J,Zhi-yi L. Leaf area display and light interception in short season soybeans[J]. Field Crops Research,1984(9):173-182.

[16] 张大勇,姜新华. 对于作物生产的生态学思考[J]. 植物生态学报,2000,24(3):383-384. (Zhang D Y,Jiang X H. Ponder on ecology of crop production[J]. Acta Phytoecologica Sinica,2000,24

2007(4):41-25. (Xiao L L. Analysis on the disadvantages of Chinese soybean international trade and its counter measures[J]. Soybean Bulletin,2007(4):41-25.)

[2] 钱栓,王建林. 农业气象作物产量预报的特点和思考[J]. 气象科技,2003,31(5):257-261. (Qian S,Wang J L. Special aspects of agrometeorological crop yields forecast and discussion[J]. Meteorological Science and Technology,2003,31(5):257-261.)

[3] 王建林,杨霏云,宋迎波. 西北地区玉米产量动态业务预报方法探讨[J]. 应用气象学报,2004,15(1):51-57. (Wang J L,Yang F Y,Song Y B. Method research for operational dynamic forecasting of maize yield in North-West of China[J]. Journal of Applied Meteorological Science,2004,15(1):51-57.)

[4] 王建林,宋迎波. 棉花产量动态预测方法研究[J]. 中国棉花,2002,29(9):5-7. (Wang J L,Song Y B. Method research for dynamical predication of cotton yield[J]. Chinese Cotton,2002,29(9):5-7.)

[5] 杨霏云,王建林. 晚稻单产动态预测研究方法[J]. 气象科技,2005,33(5):433-436. (Yang F Y,Wang J L. A study of the method for dynamic prediction of late harvest-rice's unit yield[J]. Meteorological Science and Technology,2005,33(5):433-436.)

[6] 中国农业百科全书(农业气象卷)[M]. 北京:中国农业出版社,1986:277. (Chinese agriculture cyclopaedia(Vol. Agro-meteorology)[M]. Beijing: Agricultural Press,1986:277.)

[7] 王维金. 作物栽培学[M]. 北京:科学技术文献出版社,1998:110-113. (Wang W J. Crop planting[M]. Beijing: Scientific and Technical Press,1998:110-113.)

[8] 王馥堂,李郁竹,王石立. 农业产量气象模拟与模型引论[M]. 北京:科学出版社,1990:5. (Wang F T,Li Y Z,Wang S L. Introduce to meteorological simulation and model of agricultural yield [M]. Beijing: Science Press,1990:5.)

(3):383-384.)

[17] 杨从党. 作物研究过程中生态场理论的应用[J]. 中国生态农业学报[J]. 2002,10(4):108-109. (Yang C D. Application of ecological field theory to research of crops[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2002,10(4):108-109.)

[18] 何世炜,常生华. 大豆播种密度对子实产量及其构成因素影响的研究[J]. 草业科学,2005,14(5):43-47. (He S W,Chang S H. The effect of *Glycine max* sowing density on seeds yield and plant morphology [J]. Acta Prataculturae Sinica,2005,14(5):43-47.)