

# 蚕豆生长发育的温度指标分析

王鹏云<sup>1</sup> 曾艳<sup>1</sup> 李万春<sup>1</sup> 田燕<sup>1</sup> 张秋声<sup>2</sup>

(1. 云南省昆明农业气象试验站,650228; 2. 昆明市气象局)

**提 要:** 利用 1971—2006 年蚕豆单产统计资料,采用滑动平均的方法,计算每年蚕豆气象产量,并以此划分丰、平、歉气候年景。以 2001—2006 年田间观测数据和生产实际为基础,确定蚕豆平均生长发育期,分析蚕豆生长与日平均温度、日最高温度、日最低温度之间的关系。通过研究得出蚕豆从播种到成熟的最适温度上限、最适温度下限、最适温度上限极值、最适温度下限极值、受害温度、死亡温度,并以此为基础结合蚕豆生长期的其它气象因子,制定蚕豆生长季气象服务决策表,为规范化、数字化的气象服务业务流程奠定基础。

**关键词:** 蚕豆 生长发育 温度指标

## Analysis of temperature index on growth and development of broad bean

Wang Pengyun<sup>1</sup> Zeng Yan<sup>1</sup> Li Wanchun<sup>1</sup> Tian Yan<sup>1</sup> Zhang Qiusheng<sup>2</sup>

(1. Kunming Agro-meteorological Station, Yunnan Province 650228; 2. Kunming Meteorological Office)

**Abstract:** Based on broad-bean yield data from 1971 to 2006, the meteorological yield of broad bean was calculated by use of smooth average method and furthermore the climatic harvest patterns were classified into high-yielding year, mean-yielding year, and low-yielding years. By using the field observation data from 2001 to 2006, the mean growth period, and the relationship between daily mean temperature, daily maximum temperature, daily minimum temperature and growth of broad-bean was analyzed, and the temperature indexes of growth period of broad-bean were determined, which include the upper limit of optimum temperature, lower limit of lowest temperatures, extreme value of the upper limit of optimum temperatures, extreme value of lower limit lowest temperatures, the harmful temperature, the death temperatures of the development period from sowing to maturation of broad-bean. On this basis, combining with other meteorological factors during the broad-bean growth period, the decision tables of meteorological service of broad-bean growth season were established, which lay foundation for building the normalized digi-

tal business process for meteorological services.

**Key Words:** Broad-bean growth and development temperature index

## 引 言

温度、光照、水分等是影响蚕豆生长的气候因子,这些影响因子在一定条件下都有可能成为主导因子。昆明属低纬高原季风气候,每年的10月至次年4月的蚕豆生长期正值昆明的干季,平均降雨量为128.3mm、占全年雨量的12.7%;日照时数为150~270h;月平均温度8.7~18.3℃。在这一时期,日照充足,而对大面积蚕豆生长产生的影响主要因素是水分和温度。近年来,在蚕豆的生长期,由于温度的冷暖交替急剧,使蚕豆易遭受温度变化的影响,特别是寒潮、低温、倒春寒等灾害造成的危害较大。在对2001—2006年的蚕豆生长田间观测资料与温度、降雨量、日照的相关性分析中发现,蚕豆生长对温度的反应快速,表现力强,当出现低温度时,能在短时间内对蚕豆的生长产生不可逆转的影响,成为蚕豆生长的主要限制因子之一。而水分也是影响作物生长的主导因子之一,主要是以干旱的方式对蚕豆的生长产生影响,但其变化慢,需要一个积累过程,相比温度变化产生的影响而言,可以采取相应的措施,降低危害的程度。因此,分析蚕豆播种至成熟期间各发育期温度的影响程度对昆明地区的蚕豆生产具有重要的意义,通过确定温度影响定量指标,综合蚕豆生长期的其它气象影响因子,建立蚕豆生长季气象服务决策表,从而提出更科学、精准、有效的对策建议。

在蚕豆生长与温度的相关性研究中,国内许多学者对蚕豆生长与温度的关系做了大量的分析研究工作。叶茵<sup>[1]</sup>研究了蚕豆生长的三基点温度范围。臧晓韵<sup>[2]</sup>提出蚕豆的发芽适温、生育适温。刘琼芳<sup>[3]</sup>对蚕豆开花、结

荚的适宜温度、受害温度进行了试验研究。但在分析蚕豆生长季中温度的影响程度,得出蚕豆从播种到成熟各发育期的最适温度上限、最适温度下限、最适温度上限极值、最适温度下限极值、受害温度、死亡温度,并以此为基础结合蚕豆生长期的其它气象因子,制定蚕豆生长季气象服务决策表等方面研究较少。

## 1 资料和方法

### 1.1 资 料

昆明农业气象试验站2001—2006年蚕豆大田发育期观测资料;昆明气象站1971—2006年逐旬平均温度、平均最高温度、平均最低温度、极端最高温度、极端最低温度、降雨量、日照时数、蒸发量资料;2001—2006年逐日平均温度、日最高温度、日最低温度;昆明市统计局1971—2006年蚕豆单产资料;昆明市农业局2001—2006年蚕豆发育期资料。

### 1.2 方 法

(1) 蚕豆发育期田间观测地在昆明市前卫镇红庙村昆明农业气象试验站固定观测点,蚕豆品种为云豆83324。用2001—2006年田间观测的蚕豆发育期计算平均发育期,并用昆明市蚕豆主要种植区的生产实际,对平均发育期进行订正。

(2) 以蚕豆生物学指标为基础指标,表征作物经过长期自然驯化所具备的遗传特性。体现在对温度的反映方面,则表明蚕豆生长发育和产量形成对温度波动和极端温度条件的一种适应能力。因此,在研究中采用温度指标描述蚕豆在生长发育和产量形成中对温度的基本要求。



## 2.2 蚕豆发育期

固定观测点的蚕豆观测资料具有代表性,但也有局限性,需要进行订正。根据

2001—2006 年大田实际观测的蚕豆发育期,计算平均发育期,并用昆明市蚕豆主要种植区蚕豆生长发育的实际情况,采用内插方法对固定观测点的蚕豆发育期进行订正(表 3)。

表 3 昆明市蚕豆发育日期

发育期	播种	出苗	三叶	分枝	开花	结荚	鼓粒	成熟
2001	10.5	10.12	10.25	11.15	12.31	1.31	3.7	4.7
2002	10.13	10.26	10.31	11.10	1.6	2.12	2.28	4.5
2003	10.5	10.20	10.29	11.4	12.30	2.14	3.5	4.10
2004	10.1	10.14	10.22	10.29	12.30	2.24	3.11	3.30
2005	10.2	10.25	11.2	11.7	1.22	2.10	2.26	*
2006	10.8	10.18	10.27	11.10	1.8	2.10	2.27	*
平均发育期	10.6	10.19	10.28	11.7	1.5	2.12	3.3	4.5
发育期订正	10.5	10.20	10.29	11.8	1.5	2.10	3.10	4.10

\* 为在成熟期前,由于采摘鲜食蚕豆,已经提前采收完。

## 2.3 温度定量指标

### 2.3.1 温度定量指标分析

在温度对蚕豆的影响程度定量指标分析中,主要考虑温度影响的强度、持续时间和极端温度等因素。温度强度大、持续时间长,影响程度重,造成的危害大,造成的危害可能出现不可逆的影响,一旦出现,将直接影响后期产量。短时间轻度影响对作物的危害轻,这种影响是可逆的。极端温度是直接导致蚕豆减产的不可逆影响因子,所造成的灾害较重,因此,强调极端温度对蚕豆生长和产量形成的影响,揭示蚕豆受害的关键因子。

在温度定量指标选择中,以蚕豆生长季

温度对蚕豆生长造成影响,最终影响产量作为标准,按所划分的丰、平、歉年景对应的每年生长季的温度变化确定指标值。确定温度指标的基本原则,一是温度在不同发育期影响程度不一样,不同发育期对产量的贡献决定其影响程度;二是根据蚕豆无序花期的特性,突出生殖生长期温度对产量的影响,尤其是盛花期的影响;三是昆明地区有鲜食蚕豆的习俗,需要考虑鲜食蚕豆在产量中的比值。

### 2.3.2 定量指标

蚕豆的生物学零度为 5℃,生物学零度是蚕豆将停止生长的临界指标,低于此温度,将对蚕豆生长产生影响。在蚕豆整个生长发育期间,所需的生物学温度逐渐上升<sup>[2]</sup>(表 4)。

表 4 蚕豆不同生育期间对温度的要求(单位:℃)

温度指标	生育阶段			
	出苗期	营养器官形成期	生殖器官形成及开花期	结荚期
生物学最低温	5~6	5~6	8~10	10
农业上最适温	9~12	14~18	16~20	16~22

昆明实际的蚕豆生长发育期间的温度状况与生物学温度有差异。蚕豆在昆明经过长期培育与驯化,逐渐形成了对环境温度的适应能力,蚕豆各发育期的温度生物学指标也

相应发生变化,产量的丰、平、歉实际体现出了蚕豆对昆明环境温度的适应力。

在蚕豆生长期各发育期温度定量指标的分析中,根据气象产量所确定的气候年景,主

要考虑温度的强度和持续时间,对丰、平、歉年景中蚕豆的每一个发育期间的日平均温度、日最高温度、日最低温度进行分析,以丰年温度确定蚕豆生长期的最适温度上、下限,以平年温度确定蚕豆生长期适宜上、下限,而以歉年确定受害温度与死亡温度。同时,通过对昆明地区蚕豆生长发育期与日平均温度、日最低温度、日最高温度的相关性分析表明,日最高温度低于  $10^{\circ}\text{C}$  蚕豆的生长将受影响,日最低温度低于  $0^{\circ}\text{C}$  蚕豆将受害,而蚕豆的生物学零度为  $5^{\circ}\text{C}$ 。因此,以日平均温度  $5^{\circ}\text{C}$  作为基础指标值,以日最高温度  $\leq 10^{\circ}\text{C}$  和日最低温度  $\leq 0^{\circ}\text{C}$  作为出现低温影响过程的指标,表征蚕豆生长对环境温度的适应和耐受能力。在上述分析的基础上,得出蚕豆生长期的最适温度上限、最适温度下限、最适温度上限极值、最适温度下限极值、受害温度、死亡温度,由此建立蚕豆温度定量指标域。温度定量指标域实质是建立了时间序列上的“三基点温度”,为动态地分析蚕豆生长季中温度的影响程度提供了基础(图 2)。

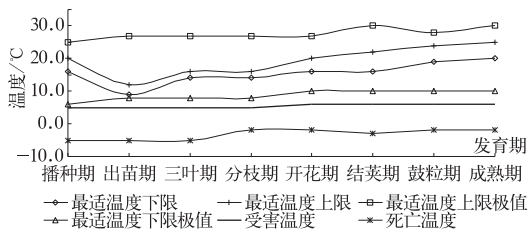


图 2 蚕豆生长期温度指标域

### 2.3.3 蚕豆生长中温度影响程度的判断

在蚕豆生长中温度影响程度的判断主要是根据实际温度波动曲线与蚕豆温度定量指标域间的相位,分析作物的生长发育节律与温度波动间的吻合度,进行蚕豆生长期的温度影响评价,确定蚕豆受影响的大小。

在实际温度的变化过程中,如果处于适宜值的范围内,温度对蚕豆的生长有利。如果蚕豆生长过程中,实际温度指标曲线与指

标域中的某一定量指标曲线相交,这时将出现两种变化类型;一是实际温度波动曲线长时间低于(或高于)指标域中的适宜温度指标曲线或实际温度波动曲线在短时间内急速降至指标域中的极端指标曲线下,而且持续时间较长,表明温度因子影响率大,将导致蚕豆生长受阻和受害,称之为非可逆型影响(图 3);二是实际温度波动曲线低于或高于指标域中的适宜温度指标曲线,但实际温度变化在作物对生理忍受范围内,这种影响称之为可逆型影响(图 4)。

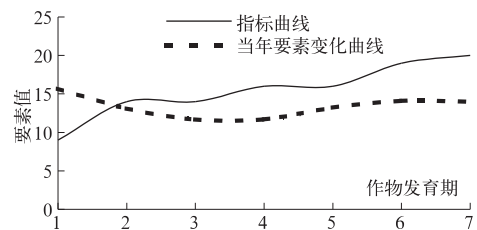


图 3 非可逆型影响

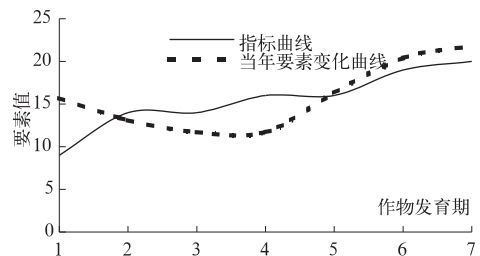


图 4 可逆型影响

## 2.4 蚕豆各发育期温度的影响程度

温度定量指标影响程度的选择最终影响产量的指标作为标准,在对不同的指标和蚕豆生长发育状况、年景、产量间进行关联分析,根据蚕豆的不同发育期,同一指标的影响程度不一样的原则,主要考虑不同发育期对产量的贡献决定其影响程度,在分析蚕豆营养生长期温度对产量影响的基础上,突出温度在蚕豆生殖生长期对产量的影响。由于蚕豆具有无序花期的特性,重点分析温度对蚕

豆盛花期影响。通过对蚕豆播种一成熟的生长过程中,温度影响作用的分析,确定了温度影响指标。

根据确定的“三基点”温度,分发育期建立产量与日平均温度的关系,再考虑日最高温度与日最低温度的影响,只要未出现受害温度及以下指标,采用日平均温度指标确定

温度对蚕豆生长的影响,如果出现受害温度指标及以下指标,还考虑日最高温度与日最低温度的强度和持续时间,在受害温度指标下会同时伴有雪、积雪、霜冻等极端事件,因此雪、积雪、霜冻等极端事件亦作为判断指标,体现出不同发育期间极端温度对产量的影响(表 5)。

表 5 蚕豆气象服务中温度影响指标

发育期	温度指标
播种期	温度<13.0℃,蚕豆播种受到影响,播种期推迟
出苗期	温度<10.0℃,蚕豆出苗缓慢,出苗率、苗情受影响
三叶期	1. 温度<8.0℃,蚕豆生长缓慢,干物质积累受影响;2. 温度<5.0℃,蚕豆停止生长
分枝期	(1)温度<7.0℃,蚕豆生长受到影响,分枝缓慢;(2)日平均温度≤5℃,日最高温度<10℃,日最低温度>0℃,持续天数≤3天,对产量无影响;(3)日平均温度≤5℃,日最高温度<10℃,日最低温度在零下1~3℃之间,出现雪、积雪等天气,持续天数≤2天,对产量略有影响;(4)日平均温度≤5℃,日最高温度<10℃,日最低温度在零下1~3℃之间,出现雪、积雪等天气,持续天数≥3天,对产量有明显影响
开花期	(1)日平均温度<5℃,日最高温度<10℃,日最低温度>0℃,持续天数≤3天,对产量无影响;(2)日平均温度≤5℃,日最高温度<10℃,日最低温度>0℃,出现米雪、雪、积雪等天气,持续天数≤3天,对产量略有影响,如果持续天数>3天,对产量有影响;(3)日平均温度<5℃,日最高温度<10℃,日最低温度<-2℃,持续天数<3天,出现雪、积雪等天气2天,对产量有影响;(4)如果日平均温度<5℃,日最高温度<10℃,日最低温度<-2℃,持续天数在3~5天,或者日平均温度<5℃,日最低温度<0℃,持续天数6天以上,造成减产;(5)如果日平均温度<5℃,日最低温度<-2℃,持续天数7天及以上,严重减产
结荚期	(1)出现米雪、雪、积雪等天气1天,且日最低温度>-1℃,对产量无影响;(2)日平均温度≤5℃,日最高温度<10℃,日最低温度>0℃,出现雪、积雪等天气2天,对产量略有影响;(3)日最低温度<-3℃,持续天数1天,出现雪、积雪等天气1天,对产量有影响;(4)-1<日最低温度<-2℃,持续1~2天,出现雪、积雪等天气3天,对产量有影响;(5)日最低温度<-2℃,持续3天及以上,出现雪、积雪等天气3天及以上,造成减产
鼓粒期	(1)日平均温度≤5℃,日最高温度≤10℃,日最低温度>0℃,持续4天,对产量无影响;(2)日平均温度≤5℃,日最低温度<-2℃,出现雪、积雪等天气1天,对产量有影响;(3)日平均温度≤5℃,日最高温度≤10℃,日最低温度<0℃,出现雪天气,持续天数4天及以上,造成大幅减产;(4)日平均温度≤0℃,持续2天,日最低温度<度-2℃,或者日平均温度≤5℃,日最低温度<度-2℃,持续5天及以上,并出现雪、积雪等天气,严重减产
成熟期	(1)日平均温度≤5℃,日最高温度≤10℃,日最低温度>0℃,持续5天以内,对产量无影响;(2)日平均温度≤5℃,日最高温度≤10℃,日最低温度>0℃,持续5天以上,对产量有影响

2.5 蚕豆生长季中温度指标的应用

在蚕豆生长中,以温度定量指标的研究为基础,综合日照、水分等因子,针对不同的用户,建立了“蚕豆生长季动态气象服务决策表”和“蚕豆生长季静态气象服务决策表”。气象服务决策表将作物生长、气候指标、决策服务对策集成应用体系。对于非计算机的用户,提供“静态气象服务决策表”,使其能准确地得到作物各生长期与气象因子间的关系和作物的适应性指标。对于计算机用户将得到具有自

动分析、预警功能,并提出相应对策、措施的系统化、数字化的“动态气象服务决策表”。

“蚕豆生长季动态气象服务决策表”是以时间为列,建立以月份、旬、节令、蚕豆生长发育期、蚕豆生长定量指标域资料曲线空间、适应性域启动临界值域、对策措施、蚕豆生长状况等组成,形成蚕豆生长季气象决策服务表(表 6)。在气象决策服务表中,建立了蚕豆生长季的定量指标域的几个关键区域,当温度要素在不同的关键区域内变化时,产生不同的影响,出现变化空间小于或大于蚕豆

生长适应性期间时,对蚕豆生长产生危害。气象要素随时间变化的拐点或与关键区域相

交点处是作物生长的关键期,针对可能出现的情况,提供相应的农业生产对策措施。

表 6 蚕豆生长季气象决策服务示意表

月份	旬数	节令	蚕豆生长季定量指标域资料曲线空间	适应性域启动临界值域	对策措施	农业生产或作物生长状况	其它
10 月	上、中、下	冬至、小寒	见图 2	适应性域的一些特殊区域和极限临界值域(数据)。当温度或其他气象要素变化超过这些值时,启动对应的对策措施,形成自动化的气象服务	对不同区域和极限临界值域,建立对应的生产对策措施(文字或图表等)	描述不同时期农业生产和作物生长的特点和状况等(文字或图表等)	其它备注
11 月	...	...					
12 月	...	...					
1 月							
2 月							
3 月							
4 月							

### 3 讨论

(1) 通过对蚕豆播种—成熟不同发育期温度定量指标的研究,确定了蚕豆生长期的最适温度上限、最适温度下限、最适温度上限极值、最适温度下限极值、受害温度、死亡温度,为动态地分析蚕豆生长季中温度的影响程度提供了基础。

(2) 在温度指标分析的基础上,根据当年蚕豆生长过程中实际的温度变化,通过可逆和不可逆影响的分析方法,对蚕豆生长与温度因子间的吻合度进行分析,得出蚕豆生长中温度定量评价。

(3) 蚕豆温度定量指标只适用于昆明地区,但采用的方法是可行的。同时,蚕豆气象服务中温度影响指标考虑了日平均温度、日最高温度与日最低温度的强度、持续时间和天气背景的影响,并在计算机上实现了自动判断的功能,但指标值还需要进一步的细化和优化。

(4) 针对不同的用户研究开发了具有自动分析、预警功能,并提出相应对策、措施的系统化、信息化、数字化的“静态气象服务决策表”和“动态气象服务决策表”,实现农业与气象数据的快速分析和曲线化、农业气象学理论和经验及方法程序化、对策措施专业化、分析过程自动化。

(5) 在蚕豆温度定量指标和蚕豆生长季气象决策服务表研究的基础上,我们已经逐步开发了水稻、小麦、烤烟等作物长季气象决策服务表,为气象服务和业务的发展进行了有效的技术贮备。

### 参考文献

- [1] 叶茵. 中国蚕豆学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 35-42.
- [2] 臧晓韵. 蚕豆的栽培技术[J]. 上海蔬菜, 2007(4): 47-48.
- [3] 刘琼芳. 蚕豆栽培[M]. 昆明: 云南人民出版社, 1984: 27-31.
- [4] 蒋高明, 常杰, 高玉葆, 等. 植物生理生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 150-154.