

# 中国柑桔周期性冻害问题的研究

张养才 霍治国  
(国家气象局气象科学研究所)

## 提 要

本文应用负积温(日最低气温 $<0^{\circ}\text{C}$ ) $\leq -90^{\circ}\text{C}$ 和极端最低气温 $\leq -8^{\circ}\text{C}$ 作为柑桔严重冻害指标。计算了不同寒潮路径、强度和极端最低气温的空间分布与柑桔冻害关系。运用谱分析方法,提出引起长江流域柑桔严重冻害的负积温和极端最低气温出现周期的地区差异大;同时,预测到本世纪末,长江中、下游地区柑桔生产中存在着严重的冻害,平原地区更为严重。因此,柑桔栽培应充分利用山体、水域效应,选择暖区、暖带地段建立桔园,不要强求连片种植,更不宜强调建立柑桔种植带。

## 一、引 言

中国栽培柑桔的历史悠久,但柑桔产量和栽培面积长期出现徘徊的局面。这种情况除了品种、栽培技术和种植制度外,其中“南黄北冻”是影响中国柑桔生产发展的障碍因子,特别是长江流域诸省市,在越冬期的周期性冻害是影响发展柑桔生产和获得高产稳产的突出问题。据历史查考,公元1111—1949年期间,苏、浙、皖、湘、鄂等省先后共遭受严重冻害约30多次<sup>[1,2]</sup>,部分地区出现“桔树尽毙无遗种”、“桔皆冻死”或“桔柚橙柑之类尽槁”等记载。以湖南省为例:1955、1969、1977年三次大冻害中,柑桔分别减产55.1%、36.7%和70.6%<sup>[3]</sup>。说明中国的柑桔生产中存在着严重的冻害威胁。因此,研究柑桔周期性冻害规律,加强冻害预测,则对建立柑桔生产基地、扩大外贸市场和发展创汇农业有极其重要的经济效益和社会效益。

## 二、柑桔冻害的低温指标

关于柑桔冻害指标已有一些研究<sup>[3,4]</sup>,基本上是以极端最低气温 $-5^{\circ}\text{C}$ 、 $-7^{\circ}\text{C}$ 、 $-8^{\circ}\text{C}$ 、 $-9^{\circ}\text{C}$ 、 $-10^{\circ}\text{C}$ 反映柑桔受冻害不同等级。但是,Webber的研究指出,连续数小时 $-2.8\sim -3.9^{\circ}\text{C}$ 比短时间的 $-6.6^{\circ}\text{C}$ 低温受害严重<sup>[4]</sup>。这说明引起柑桔冻害,除低温强度外,低温持续时间也是重要因子。在自然条件下,柑桔发生冻害,既与寒潮降温强度有关,又和寒潮南下次数及其低温持续时间密切相关。为了进一步研究柑桔冻害的低温指标,统计了黄岩县、衢县和浏阳县历年(1951—1980年)柑桔产量与越冬期低温的相关分析(表1)。其中

表 1 柑桔产量与越冬期低温因子的相关系数\*

地区 \ 因子	$\Sigma T_m < 0^\circ\text{C}$	$N$	$T_m$	$\bar{T}_{12m}$	$\bar{T}_{1m}$	$\bar{T}_{2m}$	资料年代
黄岩	-0.651***	-0.492***	0.245	0.453***	0.564***	0.241	1951—1980
衢县	-0.602***	-0.334	0.263	0.124	0.213	-0.018	1951—1980
浏阳	-0.508**	-0.432	0.072	-0.258	0.200	0.395	1961—1980

\*  $\Sigma T_m$  为最低温度  $< 0^\circ\text{C}$  累积值;  $N$  为最低温度  $< 0^\circ\text{C}$  的天数;  $T_m$  为极端最低温度;  $\bar{T}_{12m}$ 、 $\bar{T}_{1m}$ 、 $\bar{T}_{2m}$  为 12 月、1 月、2 月月平均最低温度。

\*\*  $\alpha = 0.05$ , \*\*\*  $\alpha = 0.01$

$\Sigma T_m$  相关系数最大,三地区均达到极显著和显著水平。 $\Sigma T_m$  ( $< 0^\circ\text{C}$  负积温,下同)值既可以

表征越冬期寒冷程度和持续时间,又能反映  $N$ 、 $\bar{T}_{1m}$ 、 $\bar{T}_{12m}$ 、 $\bar{T}_{2m}$  等温度因子对产量的影响。因此,可以认为  $\Sigma T_m$  是反映影响柑桔产量的一个较好的气象参数(表 1 中极端低温与产量的单相关不显著。经统计三地区历年出现  $< -5^\circ\text{C}$  以下次数极少造成)。并绘制  $\Sigma T_m$  与柑桔产量年际变化图(图 1)。

由图 1 可见,柑桔产量位相变化与  $\Sigma T_m$  位相相反。当  $\Sigma T_m < -50^\circ\text{C}$ ,柑桔产量开始出现不同程度的减产, $\Sigma T_m$  值越大,减产越严重。经查核 1955、1969、1977 年柑桔三次大冻年;吴县东山、溧阳、衢县、宜昌、长沙、上海、武汉等站负积温均为  $\leq -90^\circ\text{C}$ ,极端最低气温在  $-8 \sim -9^\circ\text{C}$  以下。本文主要探讨中国亚热带地区发生大范围的柑桔冻死或出现严重减产,或对柑桔生产有毁灭性威胁的冻害低温规律。因此,以负积温  $\leq -90^\circ\text{C}$  ( $-50^\circ\text{C}$  是开始受影响)或以极端最低气温  $\leq -8^\circ\text{C}$  作为柑桔严重冻害指标是比较适宜的。经统计,负积温和极端最低气温两者相关不显著。两因子均能引起柑桔出现严重冻害。一般来说,两个指标一般可以同时并用,但也可以根据当地天气气候特征确定主次。在自然条件下,除决定降温强度和持续时间外,在相同的低温条件下,由于品种特性、砧木、树龄、地形、栽培技术和立地条件等不同因素的影响,往往会引起冻害指标有很大差异。

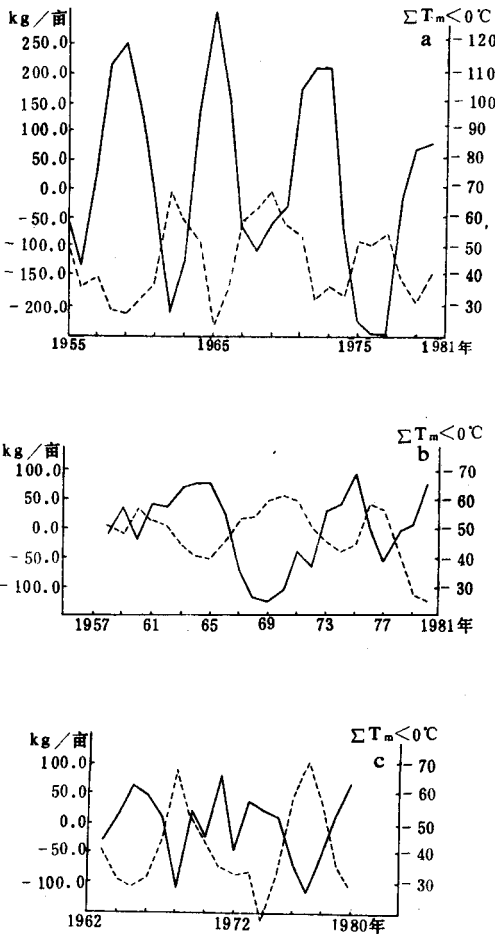


图 1  $\Sigma T_m$  ( $< 0^\circ\text{C}$ ) 三年滑动平均值与柑桔产量年际变化(a)黄岩(b)衢县(c)浏阳(实线为产量,虚线为  $\Sigma T_m$ )

### 三、长江流域冬季低温分布特征与柑桔冻害

#### 1. 寒潮路径、强度与柑桔冻害

经统计,中国亚热带地区在1951—1975年间经历151次寒潮,出现最低气温 $\leq -8^{\circ}\text{C}$ 的强寒潮集中在冬季月份(12—2月)。根据《寒潮年鉴》划分的六种寒潮路径<sup>[5]</sup>,分别按类型统计出六类寒潮爆发过程中极端最低气温降温强度及其影响范围,其中N(北路)、 $NW_1$ (西北一路)两路寒潮降温强度、影响范围最大(图2, 3; 余图略)。 $NW_1$ 类降温中心

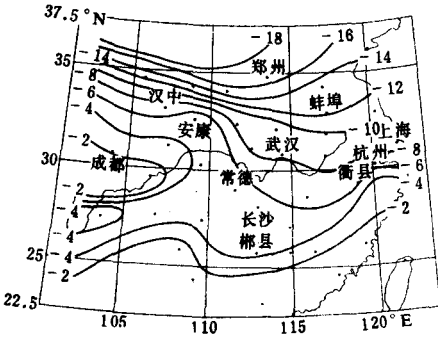


图2 北路(N)寒潮极端最低温度分布

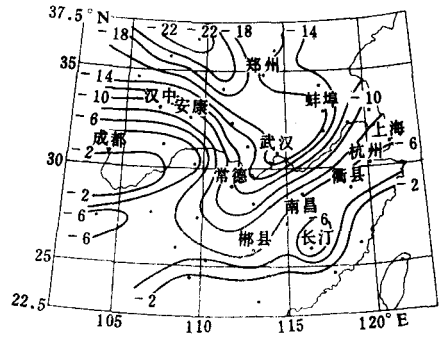


图3 西北一路( $NW_1$ )寒潮极端最低温度分布

( $< -17.0^{\circ}\text{C}$ )向南抵达洞庭盆地,冷空气可以越过南岭而波及华南地区; $N$ 路等值线在东部平原地区呈纬向分布, $-8^{\circ}\text{C}$ 等值线接近嘉兴、九江、武汉、钟祥一线,四川盆地最低气温为 $-3\sim -4^{\circ}\text{C}$ 。两路寒潮在长江流域及其以南地区降温极为显著。1954年12月22—31日,全国性 $N$ 路寒潮爆发南下,紧接1955年1月3—7日、8—11日及14—17日连续三次强冷空气南侵,江淮地区的信阳、合肥、蚌埠最低气温降到 $-19.0^{\circ}\text{C}$ 、 $-20.6^{\circ}\text{C}$ 、 $-19.3^{\circ}\text{C}$ ;长江中游的武汉、钟祥、常德三地最低气温出现 $-14.6^{\circ}\text{C}$ 、 $-14.4^{\circ}\text{C}$ 、 $-7.0^{\circ}\text{C}$ ;南宁、阳江最低气温为 $-2.1^{\circ}\text{C}$ 和 $-1.4^{\circ}\text{C}$ ;长江上游的成都、达县最低气温为 $-1.7^{\circ}\text{C}$ 和 $-3.9^{\circ}\text{C}$ 。1969年1月24—31日爆发全国性 $NW_1$ 路寒潮,长江中下游地区最低气温降到 $-6\sim -10^{\circ}\text{C}$ ,武汉和溧阳最低气温出现 $-17.3^{\circ}\text{C}$ 和 $-14.2^{\circ}\text{C}$ ;桂北、粤北降到 $-1\sim -3^{\circ}\text{C}$ ;四川盆地和鄂西山地最低气温为 $0\sim -1^{\circ}\text{C}$ 。1976年12月26日—1977年1月底,全国性 $NW_1$ 路寒潮后转为 $NW_2$ 路寒潮爆发南下,有连续三次强冷空气南下,降温强度比1955年和1969年大,而降温影响范围相应小于前者,长江中游的武汉、钟祥、常德,最低温度出现 $-18.1^{\circ}\text{C}$ 、 $-15.3^{\circ}\text{C}$ 、 $-13.2^{\circ}\text{C}$ ;下游的溧阳、杭州,最低温度出现 $-15.3^{\circ}\text{C}$ 和 $-8.6^{\circ}\text{C}$ ;上游成都、达县为 $-3.2^{\circ}\text{C}$ 、 $-3.7^{\circ}\text{C}$ 。华南地区最低温度一般在 $0\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。可见, $N$ 、 $NW_1$ 两路寒潮的爆发,在长江中下游地区可以产生急剧降温。降温的地区不仅范围大、气温低,且往往有连续几股冷空气入侵。长时间的持续低温,无论对不耐寒的椪和冇柑、甜橙类,或是耐寒的宽皮桔类、金柑类,都会发生严重的冻害,甚至使其有遭毁灭的可能。

### 2. 低温的空间分布与柑桔冻害

寒潮爆发的强度和入侵路径由于地形和天气形势的影响,各地区间降温的差异悬殊。经统计,从 85 个气象站(1957—1980 年)的极端最低气温分布(图 4)可以看出,柑桔在亚热带大部分地区受冻害威胁。长江上游的四川盆地和下游的东南沿海地区,相应为暖区,中游的江汉平原为冷区。地形对极端最低气温分布有明显的影响。武都、汉中、安康、郧

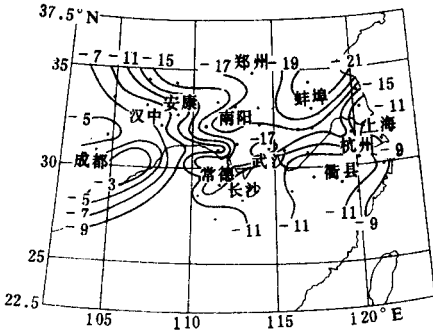


图 4 长江流域极端最低气温分布(1957—1980 年)

县、西峡、南阳、驻马店、蚌埠等站纬度差半度左右,极端最低气温东部比西部低 7~10℃ 以上,连续 2 天以上<-5℃、-7℃、-9℃ 的低温平均出现次数西部比东部更少,-9℃ 低温在蚌埠出现频率为 34.8%,而武都-9℃ 低温已不出现。同样南充、武汉、上海三地纬度基本相同,但上海因受海洋影响,极端最低气温比武汉高 8℃;南充极端最低气温高于武汉 15.3℃。以上说明秦巴山脉对汉中盆地、四川盆地及鄂西南山区的柑桔免受冻害起重要作用。海洋调节使东南沿海地区柑桔

冻害减轻,长江中下游平原地区为冷空气南下通道,柑桔冻害最为严重。

### 3. 冬季低温变化的振幅与柑桔冻害

根据观测资料,长江流域冬季低温变化幅度各地区差异较大(表 2)。

表 2 长江流域冬季低温状况

项 目 地 区	<0℃积温(℃)				≤-90℃ 频率 (%)	极端最低气温(℃)				≤-8℃ 频率 (%)	资料年代
	平均	最高	最低	振幅		平均	最高	最低	振幅		
上海	92.8	29.7	201.8	172.1	39.3	-6.6	-4.3	-10.1	-5.8	14.3	1957—1985
武汉	110.2	22.8	223.8	201.0	53.8	-8.8	-5.9	-18.1	-12.2	64.3	1957—1984
衢县	42.9	11.3	99.0	87.7	7.1	-5.3	-2.8	-10.4	-7.6	10.3	1957—1985
长沙	33.2	3.5	91.3	87.9	3.5	-5.0	-2.0	-11.3	-9.3	10.7	1957—1985
宜昌	27.9	1.6	95.8	94.2	3.5	-4.0	-1.6	-9.8	-8.2	7.1	1957—1984
成都	19.8	5.2	63.5	58.3	0	-3.2	-1.5	-5.9	-4.4	0	1957—1985

由表 2 可以看出,负积温和极端最低气温振幅均大于平均值(上海极端最低气温振幅小于平均值),其负积温振幅为平均值的 2~3 倍以上。这说明长江流域冬季冷暖变化异常,发展柑桔生产不能忽视冻害的威胁。上海、武汉两地负积温平均值低于柑桔严重冻害指标;长沙、衢县、宜昌三地负积温平均值高于柑桔严重冻害指标;长江上游的成都平原 ≤-90℃ 和 ≤-8℃ 的柑桔严重冻害指标均不出现。可见,武汉地区柑桔严重冻害频率无论 ≤-90℃ 负积温或 ≤-8℃ 极端最低气温频率均在 50~60% 以上,为长江流域冻害频

率最高地区。上海近海,  $\leq -8^{\circ}\text{C}$  极端最低气温频率为 14.3%, 但  $\leq -90^{\circ}\text{C}$  负积温频率接近 40%。

统计上海、武汉、长沙、衢县、宜昌、成都的历年负积温, 为消除逐年小波动, 用五年滑动平均值表示(图 5, 6)。由图 5, 6 可见, 负积温变化有地区性波动, 既有不同周期的突然变化, 又有长期的趋势波动。资料年代较长的上海, 负积温平均值  $109.8^{\circ}\text{C}$ , 二十世纪 40 年代中期以前, 平均偏低  $-12.0^{\circ}\text{C}$ , 其中 1915—1936 年负积温均低于平均值, 最低可达  $-185.3^{\circ}\text{C}$ , 这是 100 多年测到的最严重的寒冬时段。40 年代中期以后, 平均偏高  $14.9^{\circ}\text{C}$ , 80 年代均高于平均值, 出现暖冬景象; 武汉负积温平均值为  $90.7^{\circ}\text{C}$ , 在二十世纪 50 年代以前, 高于平均值  $18.2^{\circ}\text{C}$ , 暖冬年负积温仅  $35.1^{\circ}\text{C}$ 。50 年代以后, 平均偏低  $23.8^{\circ}\text{C}$ , 最低达  $-169.8^{\circ}\text{C}$ , 出现寒冬季节。观测年代较短的长沙、衢县、宜昌、成都负积温平均值分别为  $35.1^{\circ}\text{C}$ 、 $42.9^{\circ}\text{C}$ 、 $27.9^{\circ}\text{C}$  和  $19.8^{\circ}\text{C}$ , 同样有波动, 其振幅为  $20\sim 35^{\circ}\text{C}$ 。

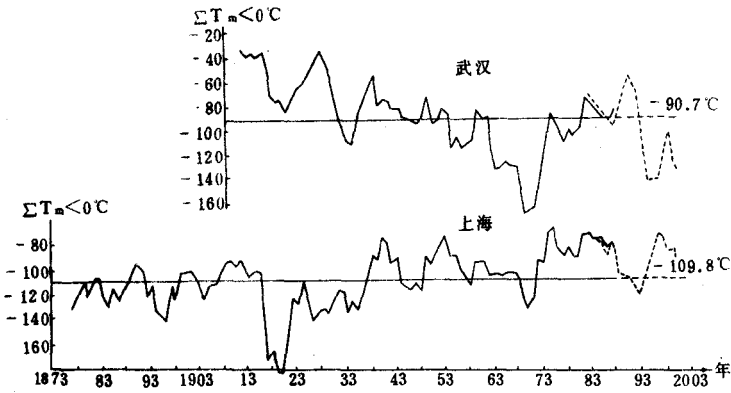


图 5 上海、武汉负积温五年滑动平均曲线  
(实线为实测值, 虚线为预测值)

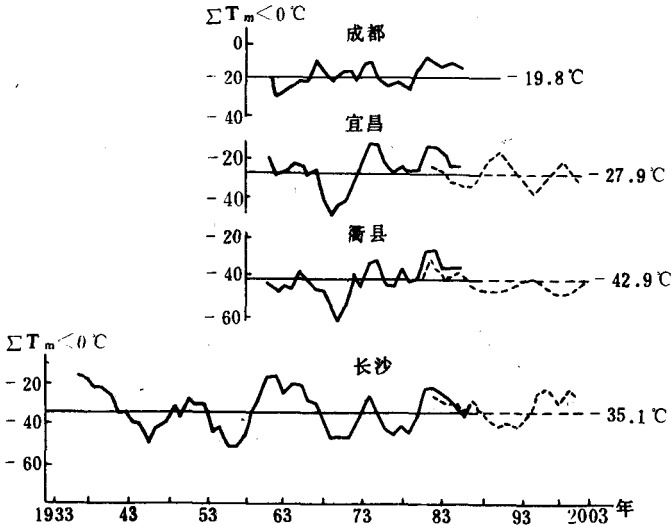


图 6 长沙、衢县、宜昌、成都负积温五年滑动平均曲线(说明同图 5)

## 五、长江中下游地区柑桔冻害周期分析及其预测

关于冬季低温变化,虽从图 5,6 可以直观地看出寒、暖冬交替。我们应用谱分析方法,以富氏级数指数形式展开的随机平稳过程的功率谱为:

$$s(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega\tau} r(\tau) d\tau$$

式中  $\omega$  为圆频率;  $r(\tau)$  为自相关函数;  $\tau$  为落后时间数,自 0 到  $m$  取整数;  $i$  为复数符号。

通过谱分析方法,对柑桔冻害指标时间序列的相关函数进行富氏级数转换,探讨冻害指标各种周期振动的谱分布。每一个周期振动对应一个谱值,哪些周期振动的“能量”最大,附近曲线的峰值就明显,则这些周期振动就越为重要。计算各站负积温和极端最低气温的主要周期(超过标准谱上界)的峰态显示于表 3。由表 3 可以看出,对负积温来说,5 个地区共有的最显著周期为 9—10 年,这种结果与生产中人们熟知的约 10 年一大冻是基本吻合的。但极端低温的周期,上海、武汉为 3.1—3.7 年;衢县、长沙、宜昌为 6—10 年。显然,上海、武汉地区栽培柑桔三年左右即可能遭受短时剧烈降温危害。周期过短,对种植后需 5—6 年开始投产的柑桔没有栽培经济价值;衢县、长沙、宜昌地区遭受低温危害周期在 6 年以上,生产中需重视加强防寒措施,柑桔生产还是可以适当发展,这也与事实基本一致。上述结果,进一步说明持续性低温引起的柑桔冻害是大范围的,各地区冻害周期近于等同;而急剧降温引起的柑桔冻害在长江中下游的平原地区最严重,但地区间差异较大。

表 3 柑桔冻害低温( $<0^{\circ}\text{C}$  负积温,极端低温)的谱分析周期

站点	低温类型( $^{\circ}\text{C}$ )	主要周期*(年)	资料年代
上海	$<-90$	10.0, 8.3	1873—1984
	$<-8$	3.6, 3.3, 3.1	1873—1985
衢县	$<-90$	9.0	1957—1984
	$<-8$	6.0	1957—1984
武汉	$<-90$	19.0, 12.7, 9.5, 7.6, 6.3	1907—1982
	$<-8$	3.7, 3.1	1907—1984
长沙	$<-90$	13.0, 8.7	1933—1984
	$<-8$	10.0	1933—1984
宜昌	$<-90$	9.0	1957—1984
	$<-8$	9.0, 6.0	1957—1985

\*注:表中所列周期均通过 95% 置信限的红噪声检验

根据上述周期分析,负积温是反映大范围地区柑桔严重冻害的一个较好的气象参数。在分析周期变化的基础上,采用三角级数形式的谐波分析,预测长江中下游地区柑桔严重冻害年(见图 5,6)。1980—1987 年作为试报检验。结果冻害年和未冻害年及变化趋势与实况比较一致。长沙、衢县、宜昌地区在 2000 年之前,  $\Sigma T_m$  值在其平均值上下波动,波动幅度约为  $20^{\circ}\text{C}$ , 未来 10 年中不会出现严重冻害。如图 6 中,宜昌在 1985 年左右、衢县在 1988 年左右预测值分别接近大冻的 1977 年,但由于 1977 年后,各地重视避冻栽培及选择耐寒性强的品种,两地未出现严重冻害;上海地区在 1995 年之前,  $\Sigma T_m < -90^{\circ}\text{C}$ , 会有严重冻害;1995—2000 年,  $\Sigma T_m$  基本上在  $-70 \sim -90^{\circ}\text{C}$  之间,冻害略轻;武汉地区在 1993 年之前,  $\Sigma T_m$  值在  $-60 \sim -90^{\circ}\text{C}$  之间,有轻冻害,1993—2000 年之间,  $\Sigma T_m$  值  $< -90^{\circ}\text{C}$ , 将

会发生严重冻害。可见,在长江中下游地区,宜充分利用山体、水域效应,发展柑桔生产,不宜强调连片种植或建立柑桔带。

## 六、结 语

(1)运用负积温作为柑桔冻害因子,不仅与柑桔遭受冻害引起减产欠收有密切关系,且可以反映亚热带大范围地区冬季寒冷的程度和持续时间,是表征柑桔严重冻害的一个较好的气象参数,比极端最低气温稳定。这样用它来预测柑桔生产年景是有重要的实践意义。

(2)纵观观测资料年代较长的上海、武汉两地区,冬季既有不同周期的冷暖变化,又有长期的趋势波动。虽预测到本世纪末尚属正常偏暖时段,但是在严重冻害指标值上下波动。因此,长江中下游地区柑桔生产中存在着严重的周期性冻害,平原地区尤为严重。

(3)持续性低温引起柑桔严重冻害的周期为9—10年,冻害范围大;急剧降温引起的冻害周期短,地区间差异大。针对这样低温规律,亚热带地区柑桔栽培应充分利用山体、水域效应,选择暖区、暖带地段建立桔园,不要强求连片种植,更不宜强调建立柑桔种植带。这样既能找到避免冻害的柑桔栽培区,又正视亚热带地区柑桔冻害的严重性,这是使柑桔获得高产稳产的关键问题。

## 参 考 文 献

- [1] 王道藩等编,柑桔与气象,福建科技出版社,1986年。
- [2] 黄寿波,浙江柑桔越冬区划的探讨,浙江农业大学学报,7,1,1981。
- [3] 张养才,我国亚热带地区冻害气候规律及柑桔冻害区划,农业现代化研究,第4期,1982年。
- [4] 王元裕等,国外柑桔抗寒防冻研究概况,国外农业科技,第9期,1979年。
- [5] 寒潮大风科研协作组,《寒潮年鉴》,气象出版社,1980年。

## A STUDY ON THE PERIODICITY FREEZE INJURY OF ORANGE IN CHINA

Zhang Yangcai Huo Zhiguo

(Academy of Meteorological Science, SMA)

### Abstract

In this paper, the negative accumulated temperature (daily minimum temperature  $< 0^{\circ}\text{C}$ )  $\leq -90^{\circ}\text{C}$  and the extreme minimum temperature  $\leq 8^{\circ}\text{C}$  are used as the orange heavy freeze injury index. The relationship between the orange freeze injury and different cold wave paths, intensity and spatial distribution of the extreme minimum temperature are calculated. Using the spectrum analysis, it is found that there are the period lengths of 9—10 and 3—6 years of orange heavy freeze injury caused by the negative accumulated temperature and the extreme minimum temperature in Yangtze river valley, and their regional difference is bigger. Furthermore, the forecasting for the heavy freeze injury of orange and making proposals for the orange culture have been done.