

汉中水稻秋封及其马尔柯夫链分析*

张嵩午

(西北农学院 基础课部)

摘 要

本文通过统计分析,得出陕西省汉中地区水稻秋封的温度指标是9月2日以前出现连续3天 $\overline{T_d} \leq 20^\circ\text{C}$ 的低温,并对它的生物学意义进行了阐述。又用马尔柯夫链对该地区秋季低温活动规律进行了分析,并用于秋季低温的长期预报,预报准确率达93.1%。

秋封又称寒露风害,是我国水稻生产上的重要气象灾害,对产量影响很大。但是,关于秋封的含义,说法有些不同。中央气象局气象科学研究所指出^[1],夏秋之交,水稻在抽穗扬花盛期与冷空气相遇,往往遭受危害引起减产,这种秋季冷空气南下带来的明显降温称为秋季低温。在我国北方(东北、华北)将此秋季低温称为冷害;长江流域称为秋季低温害;两广、福建则称寒露风害(因多出现在“寒露”节气前后而得名)。本文所沿用的汉中地区的习惯称呼——秋封,以上述说法为准,很显然,它是指夏秋之交抽穗扬花期(有的还涉及到孕穗期)发生的障碍型冷害,并未将灌浆结实期包括在内。这种说法较为普遍,它性质清楚,脉络分明,便于研究。

汉中地区是陕西省水稻主产地区,水稻面积160万公顷左右,约占陕西省水稻总面积的三分之二,总产、单产也均为全省之冠。但是,这个地区8月中旬以后(包括8月中旬在内,下同)冷空气活动频繁,正值麦茬、马铃薯茬水稻抽穗扬花(少量的正在穗分化),结果遭受低温危害,出现大量翘穗头和空粒,产量显著下降。比如1972年,从8月29日到9月7日出现了连续10天 $\overline{T_d}$ (日平均温度,下同) $\leq 20^\circ\text{C}$ 的低温,使全地区水稻大面积秋封,单产比前一年减少14%。类似情况在汉中水稻生产历史上并不罕见,仅五十年代以来就出现七次之多,减产少者不到一成,多者在二成以上。因而,进一步研究秋封活动规律,找出预报方法,采取得力的防御措施是有重要意义的。

资料的处理

汉中为一盆地,巴山、秦岭为其南北屏障,汉江流贯其间,水稻主产在平坝和丘陵

*本文经沈煜清、陈世杰和王谦老师审阅,提出宝贵意见,谨表谢意。

地区, 汉中站位于盆地的中央。通过考察汉中站和地区其它各站的关系, 发现它们在 8 月中旬以后冷空气活动趋势上存在显著一致性, 因而, 本文以汉中站作为代表站, 用它的温度资料来反映整个地区秋季低温的规律。

关于产量资料的选用, 主要有两点: 一取全区水稻平均单产, 二取逐年单产增减的百分率。这是为了排除全区不同地方小气候条件、土壤条件以及栽培措施等对产量的干扰, 取得上述因素在较为稳定条件下的产量数据。同时, 为了突出气象条件和产量的关系, 减弱甚至滤掉非气象因子的影响, 因而不用绝对产量, 用相对产量, 即单产比上年增减的百分率。

关于气象资料选用的时间范围, 考虑到本文所研究的马尔柯夫链是均匀的, 因而选用的时间范围内的气候要尽量属于一个气候类型, 不要把不同气候类型的气象资料联合在一起当作均匀的马尔柯夫链进行分析。张家诚等指出^[2], 本世纪以来我国气温的变化大致可分为两个时期: 第一个时期是从本世纪初到四十年代, 气温总趋势是增暖的; 第二个时期是从四十年代末开始直到现在, 我国气温总的趋势是下降的。但我国各地温度由增暖期到变冷的转折年代却各不相同, 我国东部地区大体上的转折时期在四十年代初期, 有向西推迟的趋势, 如西安、成都的温度转折时期在 1947~1948 年前后。刘子臣也指出^[3], 陕西省三十年代、四十年代 8、9 月气温和几乎全为正距平, 而近三十年来几乎全为负距平, 五十年代开始了冷期, 直到现在还没有结束。由上述可知, 五十年代以来气候变冷, 出现了一次新的气候波动, 因而, 本文马尔科夫链分析部分所用气象资料亦从五十年代开始。

秋季低温和水稻秋封的相关性

考察汉中历年气象资料和水稻产量的变化, 发现以 9 月 2 日为界, 该日以前 (包括 9 月 2 日在内, 下同) 是否出现连续 3 天 (包括 3 天以上, 下同) $\bar{T}_H \leq 20^\circ\text{C}$ 的低温和正个汉中地区水稻单产是否比上年增减有着密切关系。

设 x 为因子, 即 9 月 2 日以前是否出现连续 3 天 $\bar{T}_H \leq 20^\circ\text{C}$ 的低温。

y 为对象, 即汉中地区水稻单产比上年增减的百分率。

9 月 2 日以前出现连续 3 天 $\bar{T}_H \leq 20^\circ\text{C}$ 的低温记作 “0”, 否则记作 “1”, 汉中地区水稻单产比上年减产记作 “0”, 否则记作 “1”。

$P(X=1)$ 为因子出现 “1” 时的气候概率。

$P(Y=1)$ 为对象出现 “1” 时的气象概率。

$P(X=1, Y=1)$ 为因子出现 “1”, 对候也同时出现 “1” 时的气候概率。

按上述规定, 将五十年代以来 (1949~81 年) 汉中地区秋季低温与水稻单产的增减进行 0, 1 资料转换, 得下面 2×2 列联表:

表一：因子和对象的 2×2 列联表

		对 象		
		1	0	
因 子	1	20 (a)	5 (b)	25(a+b)
	0	1 (c)	6 (d)	7 (c+d)
		11(a+c)	21(b+d)	32 (N)

$$\text{知 } P(X=1, Y=1) = P(X=1) \cdot P(Y=1|X=1) = \frac{a+b}{N} \cdot \frac{a}{a+b} = \frac{a}{N}$$

$$P(X=1) = \frac{a+b}{N}$$

$$P(Y=1) = \frac{a+c}{N}$$

$$\text{得 } P(X=0) = \overline{P(X=1)} = 1 - P(X=1) = \frac{c+d}{N}$$

$$P(Y=0) = \overline{P(Y=1)} = 1 - P(Y=1) = \frac{b+d}{N}$$

则事件的相关系数为：

$$R = \frac{P(X=1, Y=1) - P(X=1) \cdot P(Y=1)}{\sqrt{P(X=1) \cdot \overline{P(X=1)} \cdot P(Y=1) \cdot \overline{P(Y=1)}}}$$

$$= \frac{ad - bc}{\sqrt{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}}$$

$$= \frac{20 \times 6 - 5 \times 1}{\sqrt{25 \times 7 \times 21 \times 11}}$$

$$= 0.572$$

$$\chi^2 = \frac{(ad - bc)^2 \cdot N}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}$$

$$= N \cdot R^2$$

$$= 32 \times (0.572)^2$$

$$= 10.470$$

取信度为 0.01，自由度为 $(2-1)(2-1) = 1$

$$\chi^2_{0.01} = 6.635$$

$$10.470 > 6.635 \quad \therefore \text{相关极显著}$$

上面分析说明，9月2日以前是否出现连续3天 $\overline{T_{\text{日}}} \leq 20^\circ\text{C}$ 的低温确实和全地区水稻单产的增减有着密切关系。

这个问题的生物学意义是明显的。汉中地区麦茬稻占平坝、丘陵稻田面积近60%，是主要茬口。麦茬稻从插秧至齐穗约70多天，这样，从5月底开始插秧到夏至全部结束（少量马铃薯茬最晚，插的关门秧）约需20天，麦茬稻齐穗就到了8月分，尤其是8月中、下旬。查历史资料，8月上旬基本没有致害冷空气活动，但8月中、下旬却较为频繁，这时正值麦茬稻抽穗扬花，对低温较为敏感，结果由于花粉粒不能正常成熟，不能正常受精等原因而造成空粒，显著影响产量。尤其近几年，人们为求高产，稻麦品种向晚熟发展，麦茬稻用的是全生育期160天左右的杂交稻，结果齐穗期进一步推迟：抽穗扬花时更易受到冷害^[4]，甚至少数水稻在极为敏感的花粉母细胞减数分裂期（抽穗前10~15天）及小孢子初期（抽穗前9~14天），就受到了秋季低温的危害而出现大量空粒。

需要指出的是，上面提出的温度指标不是单纯的秋季低温对水稻开花危害的农业气象指标，因为它不是在田间或在气候箱内对单独观测的花的鉴定结果，而是用统计方法得出的8月中~9月初出现连续3天 $\overline{T_{日}} \leq 20^{\circ}\text{C}$ 低温对全区水稻单产的影响。很明显，全区从东到西，从平坝到山区，水稻生育期是有差别的，当然穗分化和抽穗扬花的时间也各有异，因而，每次致害冷空气活动对各地穗分化及抽穗扬花的影响是不同的，即就同一地方，同一茬口，由于品种、播期的差异，影响也不尽相同，故，这是一个汇集了不同影响，并导致全区水稻单产降低的具有综合意义的指标，利用它可知秋季低温对水稻产量是否发生了全局性的影响。

秋季低温的活动规律及马尔柯夫链分析

为了研究问题方便，我们规定，9月2日以前（包括9月2日在内，下同）出现连续3天（包括3天以上，下同） $\overline{T_{日}} \leq 20^{\circ}\text{C}$ 的低温，则称该年为早冷年；反之，在9月2日以后出现连续3天（包括3天以上，下同） $\overline{T_{日}} \leq 20^{\circ}\text{C}$ 的低温称为晚冷年。

分析1935~81年四十多年的气象资料（其中1946~48年缺测）发现，1935以来早冷年共出现过9年，占总年分的20.5%，比例是相当大的。每十年中早冷年至少出现1年，五十年代以来，出现次数明显增加，为2~3年，说明气候变冷了（见表二）。

从上表还可看出，每个十年均会在8月中旬到9月初出现致害低温，一般持续3~4天，但五十年代以来低温强度有逐渐变大，降温逐渐加剧的趋势，且低温出现时期越来越集中在8月下旬。

进一步分析8月中旬以后第一次连续3天 $\overline{T_{日}} \leq 20^{\circ}\text{C}$ 频率分布时段（以连续3天低温中第一天所在的候为准，见表三）看出，低温最早出现在8月第3候，最迟出现在9月第5候，频率高峰在9月第2候和第3候，但这时水稻抽穗扬花已告结束，因而真正对这一生育期产生不利影响是在8月第3候到第6候，尤其以第5候和第6候低温更为频繁，影响更大。

为了深入揭示秋季低温随时间演变的规律，现对以年代为顺序的由早冷年和晚冷年组成的随机时间序列进行马尔柯夫链分析。

表二： 每十年秋季低温活动规律表

年代	1935	1940	1950—59		1960—69		1970—79			1980	备注
项目	—39	—49								—81	
早冷年(年)	1936	1940	1952	1956	1960	1968	1972	1976	1979		1946 年— 48年 缺测
低温出现时 期(月/日)	8/18 —20	8/24 —27	8/15 —17	8/12-14 8/30-9/1	8/24 —26	8/31 —9/3	8/29 —9/7	8/22 —26	8/27 —31		
低温连续 天数(日)	3	4	3	3	3	4	10	5	4		
低温期间	19.1 —	17.0 —	18.9 —	18.7— 19.6	18.1 —	17.0 —	14.4 —	17.9 —	17.3 —		
T日范围(℃)	19.8	19.9	19.3	18.5-19.2	19.1	19.4	20.0	19.7	19.7		

表三： 8月中旬以后第一次出现连续3天
 $T_{日} \leq 20^{\circ}C$ 频率分布时段表 (1935—81年)

候	8/11	8/16	8/21	8/26—31		9 / 1—5		9/6—10	9/11—15	9/16—20	9/21—25
项目	—15	—20	—25								
低温次数(次)	2	1	3	3		6		9	9	8	3
低温频率(%)	4.5	2.3	6.8	6.8		13.6		20.5	20.5	18.2	6.8

首先对天气状态作如下划分：

将所有早冷年都定义为状态 S_0 ，早冷年过后的第一个晚冷年定义为状态 S_1 ，第二个晚冷年定义为 S_2 ，依此类推，第七个晚冷年定义为状态 S_7 。

根据定义，将五十年代以来的早冷、晚冷资料作为样本资料排成下表（表四）：

表四： 1950—81年天气状态排列表

年代	1950*	1951*	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958				
天气状态			S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂				
年代	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968			
天气状态	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₀			
年代	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
天气状态	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₀	S ₁	S ₂

*由于1946—48年缺测，因而无法确定1950和1951年的天气状态。

表四所展示的时间离散, 状态离散的随机时间序列是马尔柯夫链吗? 我们分别用两种方法即采用从现实中直接数出状态高阶转移概率的方法和利用马尔柯夫链最基本的一条性质一无后效性来计算状态高阶转移概率的方法得到二阶转移概率矩阵如下:

用第一种方法得到的二阶转移概率矩阵是

$$P^{(2)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1667 & 0 & 0 & 0.8333 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1667 & 0.1667 & 0 & 0 & 0.1667 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.8000 & 0 & 0 & 0 & 0.2000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

用第二种方法得到的二阶转移概率矩阵是

$$P^{(2)} = P^{(1)} \cdot P^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1667 & 0 & 0 & 0.8333 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.6666 & 0.1667 & 0 & 0 & 0.1667 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.8000 & 0 & 0 & 0 & 0.2000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

其它各阶转移概率矩阵不一一列出。可以看出, 用上述两种不同办法得出的高阶转移概率矩阵几乎是相同的, 这表明表四所列的随机时间序列是可以做为马尔柯夫链看的。

下面分别计算出一阶转移概率矩阵和高阶转移概率矩阵。

由表四看出, 因为无连续多于7年的晚冷, 故转移概率的角码 $i, j = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ 。一阶转移概率矩阵是个八阶方阵, 方阵的各个元素计算如下:

$$P_{00} = P_{02} = P_{03} = P_{04} = P_{05} = P_{06} = P_{07} = \frac{0}{7} = 0,$$

$$P_{01} = \frac{7}{7} = 1,$$

$$P_{10} = P_{11} = P_{13} = P_{14} = P_{15} = P_{16} = P_{17} = \frac{0}{7} = 0,$$

$$P_{12} = \frac{7}{7} = 1,$$

$$P_{21} = P_{22} = P_{24} = P_{25} = P_{26} = P_{27} = \frac{0}{6} = 0,$$

$$P_{20} = \frac{1}{6} = 0.1667, P_{23} = \frac{5}{6} = 0.8333$$

其余的元素不一一列出。

因此,一阶转移概率矩阵为:

$$P^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1667 & 0 & 0 & 0.8333 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.8000 & 0 & 0 & 0 & 0.2000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

若知某年的天气状态,利用这个矩阵可以帮助我们判别经一步转移到下年出现何种天气状态,即是早冷年还是晚冷年。

若知某年的天气状态,欲知经过二步、三步……即转移到二年后、三年后……出现何种天气状态,则需要计算出高阶转移概率矩阵,这能为较长时间的低温预报提供依据。

利用数学归纳法可推得:

$$P^{(k)} = P^k$$

则知矩阵 $P^{(1)}$,利用矩阵乘法规则可逐步算得矩阵 $P^{(2)}$ 、 $P^{(3)}$ 、 $P^{(4)}$ 、 $P^{(5)}$ …… $P^{(k)}$ 。

现将 $P^{(2)}$ 至 $P^{(5)}$ 列在下面。

$$P^{(2)} = P^{(1)} \cdot P^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1667 & 0 & 0 & 0.8333 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.6667 & 0.1667 & 0 & 0 & 0.1667 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.8000 & 0 & 0 & 0 & 0.2000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P^{(3)} = P^{(2)} \cdot P^{(1)} = \begin{bmatrix} 0.1667 & 0 & 0 & 0.8333 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.6666 & 0.1667 & 0 & 0 & 0.1667 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6666 & 0.1667 & 0 & 0 & 0.1667 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8000 & 0 & 0 & 0 & 0.2000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P^{(4)} = P^{(3)} \cdot P^{(1)} = \begin{bmatrix} 0.6666 & 0.1667 & 0 & 0 & 0.1667 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6666 & 0.1667 & 0 & 0 & 0.1667 & 0 & 0 \\ 0.0278 & 0 & 0.6666 & 0.1389 & 0 & 0 & 0.1667 & 0 \\ 0.1334 & 0 & 0 & 0.6666 & 0 & 0 & 0 & 0.2000 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1667 & 0 & 0 & 0.8333 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$
$$P^{(5)} = P^{(4)} \cdot P^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & 0.6666 & 0.1667 & 0 & 0 & 0.1667 & 0 & 0 \\ 0.0278 & 0 & 0.6666 & 0.1389 & 0 & 0 & 0.1667 & 0 \\ 0.2222 & 0.0278 & 0 & 0.5555 & 0.0278 & 0 & 0 & 0.1667 \\ 0.7333 & 0.1334 & 0 & 0 & 0.1333 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1667 & 0 & 0 & 0.8333 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.6666 & 0.1667 & 0 & 0 & 0.1667 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

可以证明，继续算下去，再经若干步转移后，转移概率矩阵就变成极限概率矩阵，这时矩阵内每列之元素都相等，是个常数，该常数等于气候概率，此时用马尔柯夫链做予报就和用气候概率做予报一样了，也就不比气候概率更优越了。

从上面计算可以得到如下一些天气状态间的转移规律：

1. 由 $P^{(1)}$ 看出，从状态 S_0 经一步转移到状态 S_1 ，从状态 S_1 经一步转移到状态 S_2 的可能性是极大的，其转移概率均达1。从状态 S_2 经一步转移到状态 S_3 ，从状态 S_3 经一步转移到状态 S_0 的可能性是很大的，其转移概率一为0.8333，一为0.8000。也就是说，早冷年过后必有连续两个晚冷年，第三年继续晚冷的可能性很大，而第四年很可能是早冷。

2. 由 $P^{(2)}$ 看出，从状态 S_0 经二步转移到状态 S_2 的可能性极大，其转移概率为1。从状态 S_1 经二步转移到状态 S_3 ，从状态 S_3 经二步转移到状态 S_1 的可能性很大，其转移概率分别是0.8333和0.8000。也就是说，早冷年出现后，隔一年将出现晚冷年。第一个晚冷年出现后，隔一年很可能仍是晚冷年。连续第三个晚冷年出现后，隔一年也很可能仍是晚冷年。

3. 由 $P^{(3)}$ 看出，从状态 S_0 经三步转移到状态 S_3 ，从状态 S_3 经三步转移到状态 S_2 的可能性很大，其转移概率分别是0.8333和0.8000。也就是说，早冷年相隔二年后很可能出现晚冷年。连续第三个晚冷年相隔二年后仍可能出现晚冷年。

4. 由 $P^{(5)}$ 看出，从状态 S_3 经五步转移到状态 S_0 的可能性较大，其转移概率为0.7333。也就是说，连续第三个晚冷年相隔四年后可能出现早冷年。

根据上述天气状态之间的转移规律，就可以对未来年分秋季早冷还是晚冷做出较准确的予报。为了验证此方法的准确性，笔者对1953—81年的天气进行回报，准确率达93.1%（见表五）。

需要指出的是，上述转移概率矩阵从第4行起，由于天气状态的次数太少，算得的

转移概率不足为凭。可以预料,如果资料的序列更长一些,出现各种状态的次数更多一些,将会使转移概率更为准确可靠,预报价值也就能进一步提高。

表五, 1953—81年天气状况回报验证表

年代	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967
予报状况	晚冷	晚冷	晚冷	早冷	晚冷	晚冷	晚冷	早冷	晚冷	晚冷	晚冷	早冷	晚冷	晚冷	晚冷
实际状况	晚冷	晚冷	晚冷	早冷	晚冷	晚冷	晚冷	早冷	晚冷	晚冷	晚冷	晚冷	晚冷	晚冷	晚冷
正确与否*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+

年代	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
予报状况	早冷	晚冷	晚冷	晚冷	早冷	晚冷	晚冷	晚冷	早冷	晚冷	晚冷	晚冷	晚冷	晚冷
实际状况	早冷	晚冷	晚冷	晚冷	早冷	晚冷	晚冷	晚冷	早冷	晚冷	晚冷	早冷	晚冷	晚冷
正确与否*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+

*正确为“+”, 错误为“-”。

掌握了秋季低温活动规律,就为抗御秋封提供了气象依据。最重要的是春季育秧之前做好当年水稻生产的战略安排,即先要根据茬口早晚,选用生育期适宜的品种,再根据茬口及品种特性,确定适宜的插期和秧令,最后根据插期和秧令,安排适宜的播期,使茬口、品种、播期、秧令、插期互相对口,保证安全齐穗。经研究,汉中地区籼稻安全齐穗期在8月20日,粳初在9月5日^[6]。在品种选用上,多年经验证明以中熟品种为主较为适宜,早茬田插迟中熟品种,麦茬田插早中熟或中熟品种,可以保证全面安全高产^[6]。在早冷年,水稻生产布局尤要认真、谨慎,早茬田应避免使用生育期过长的籼稻品种,麦茬田可多种些早中熟籼稻品种,而晚麦茬田和最晚的马铃薯茬田应以优良的粳性品种为主,务必把住播期,务必保证安全齐穗。

抗御秋封的方法很多,上面仅就布局作些简述,其它限于篇幅从略。我们相信,随着对水稻秋封规律认识的不断深化,这个危害甚大的农业气象灾害将被最终战胜。

参 考 文 献

- 〔1〕寒露风,中央气象局气象科学研究所天气气候研究所,农业出版社,1980年。
- 〔2〕气候变迁及其原因,张家诚等编著,科学出版社,1976年。
- 〔3〕陕西水稻冷害研究,刘子臣,陕西气象,1981年第七期。
- 〔4〕〔6〕汉中稻区的生态特点与水稻品种特性,赵志杰,陕西农业科学,1982

年第二期。

〔5〕作物栽培学（北方本），山东农学院主编，农业出版社，1980年。

Effects of Low Autumn Temperature on Rice in
Hanzhong Area and Analysis of Markvian Links

Zhangsongwu

(Northwestern College of Agriculture)

The low autumn temperature index for rice in Hanzhong area of Shaanxi Province was obtained through statistical analysis, which was $\leq 20^{\circ}\text{C}$ for 3 days in succession before the second of September, and its biological effect was also dealt with in this paper. Furthermore, the changinglaw of the low autumn temperature in this area was also analysed with Markovian links, and the results can be used for a long-term forecasting of the low autumn temperature with an accuracy of 93.3%.