

其变差分别为:
$$V_{1,c} = \sum_{k=1}^c (X_k - \bar{X}_{1,c})^2 \quad (3)$$

$$V_{c+1,79} = \sum_{k=c+1}^{79} (X_k - \bar{X}_{c+1,79})^2,$$

总变差
$$S_{(c)} = V_{1,c} + V_{c+1,79} \quad (4)$$

最优二分割就是取最小总变差, 即

$$S_{(c^*)} = \text{Min } S_{(c)}, \quad 1 \leq c \leq 79, \quad (5)$$

经计算, $S_{(c^*)}$ 最小的 $c^* = 24$ 。于是, 分割出西部地区和富锦、宝清、鸡西等县组成的二个少雨低产区, 其余为降水较多产量较高的地区, 它们的界限相当于1961~1970年平均降水量为523 mm的等值线。经检验, 少雨区与多雨区的产量差异十分显著, $F = 29.82$, α 检验信度0.01, β 检验信度0.10以上。

对于年降水量523 mm以上的55个县, 再按 T_{5-9} 顺序排列, 同样地将其产量进行最优二分割。结果分出黑龙江北部和长白山地二个低温低产地区, 其余为温度较高地区。经检验, 低温区与温度较高区的产量差异也十分显著, F 值为32.83, α 检验信度0.01, β 检验信度0.10以上。分割后, 低温区与高温区的界限相当于 T_{5-9} 为88.4℃的等值线。

年降水量523 mm以上的地区, 各县水稻单产与 T_{5-9} 的相关系数为0.6129 ($r_{0.001} = 0.4673$), 呈高度正相关, 并有关系式:

$$y = 10.44T_{5-9} - 521.69 \quad (6)$$

据丁士晟分析⁽²⁾, 本区 T_{5-9} 随海拔高度和纬度的变化, 呈现高程每升高100 m下降3.2℃, 纬度向北推进1°降低1.94℃。按式(6), 产量水平变化的趋势是: 高程升高100 m, 产量降低33.4斤/亩, 纬度向北推1°, 降低20.3斤/亩。当然, 这种变化趋势还受栽培技术水平等因素的影响, 从产量与 T_{5-9} 关系图(图略)上看出, 牡丹江和延边盆地、第二松花江中游和辉发河流域以及辽宁的营口、丹东、沈阳稻区, 栽培技术水平较高。

2、产量的年际波动与气候

根据各地1964~1978年的历年单产资料, 用加权滑动平均法求算趋势产量(\hat{y})。按下式计算各县的稳产度:

$$C = 1 - \frac{1}{\bar{y}} \sqrt{\frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n-1}} \quad (7)$$

式中 y 为实际产量, \bar{y} 为多年平均产量, n 为资料年代数($n = 15$)。

在降水量少于523 mm地区, C 值都较低, 即稳产度差。而在降水较多地区, C 值与各地 T_{5-9} 有密切关系, 二者相关系数达0.6659, 信度0.001以上。把各县按 T_{5-9} 顺序排列, 对 C 值进行最优二分割, 亦分割出黑龙江北部和长白山地二个不稳产地区, 其余为较稳产地区, 进行检验的结果, $F = 18.03$ ($F > \alpha_{0.01}, > \beta_{0.10}$), 有明显差异, 分割的区域界限, 相当于 $T_{5-9} = 87.6^\circ\text{C}$ 的等值线, 这与高产区和低产区的界限很接近。因此, 可以说东北地区水稻的高产区域就是较稳产区, 而低产地区正是不稳产区。

为了查明产量年际波动在空间分布上的差异性, 采用计算欧氏距离的方法进行了聚类分析。欧氏距离的计算式为:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (\Delta y_{ik} - \Delta y_{jk})^2 / m} \quad (8)$$

式中 Δy 为各县单产的趋势离差, Δy_{ik} 和 Δy_{jk} 分别为 i 和 j 县第 k 年之值, m 为年数。

根据聚类分析的结果, 把东北区产量的年际波动划分为 4 个区 (分析步骤、计算结果和分区图均见⁽¹⁾), 各区之间的差别在于产量年际波动的不一致, 而各区之内则是比较一致的, 特别是大丰、大欠年更是同步的。产量年际波动的不一致性, 主要是由于气象条件 (温度、降水等) 年际变化的区间差异引起的。

在年际波动分区图中, I 区集中了绝大多数稻区, 所以全东北区产量的年际变化, 基本为该区产量的升降所左右。因此, 全东北区的总产或单产的年际变化, 主要是该区气象条件的年际波动所引起的。若以哈尔滨、长春和沈阳的 5~9 月平均气温总和代表全区的温度状况, 则东北区历年平均单产与三站 T_{5-9} 呈高度正相关, 并有如下关系式:

$$\Delta y = 13.77 \Delta T_{5-9} \quad (9)$$

式中 Δy 为平均单产的趋势离差, ΔT_{5-9} 为三站平均 T_{5-9} 的距平。1949~1978 年间, 东北区平均单产的标准偏差为 58.45 斤/亩, T_{5-9} 的标准偏差 2.72°C, 据 (9) 式, 水稻单产年际变化的 64% 左右是因生长季的温度变化而造成的。大后美保计算了日本在本世纪二十年代到四十年代间水稻产量的标准偏差, 大约三分之二是受夏季温度的控制, 与我们的计算结果很接近。

3、水稻分布与径流

水层灌溉, 是水稻栽培的突出特点, 它既是生长发育不可缺少的生活生态条件, 又是生产上实施“促控”栽培技术的一部分。因此, 水资源的多寡是水稻栽培的限制因子之一。年径流量是各地的水储量, 可以作为各地水资源多寡的指标, 它也是当前稻田用水的主要来源。分析各县水稻面积占粮豆面积百分率与年径流深的关系表明, 二者呈显著的正相关, 年径流深较大地区水田比例大, 反之年径流深小的地区水田比例小, 差异很显著。将各县按年径流深按顺序排列后对水田比例进行最优二分割, 把东北区划分为水资源较多和较少二个区域, 其水田比例差异很显著, 二个区域的界限相当于年径流深 170 mm 的等值线。

4、品种与气候

由于各地生长季的长短和温度条件有很大差别, 本区栽培的水稻品种类型较多, 从生育期 105 天的极早熟种到 170 天左右的晚熟种均有栽培。为了合理地安排品种, 作者曾将东北区水稻品种分为五个类型, 分析其产量水平与 T_{5-9} 的关系, 并讨论了品种安排的温度保证率标准⁽³⁾。结果表明, 在 $T_{5-9} \leq 84^\circ\text{C}$ 时, 极早熟种最高产; T_{5-9} 为 $84.0 \sim 88.4^\circ\text{C}$, 早熟种最高产; T_{5-9} 为 $88.4 \sim 92.5^\circ\text{C}$, 中熟种最高产; T_{5-9} 为 $92.5 \sim 97.0^\circ\text{C}$, 中晚熟种最高产; $T_{5-9} \geq 97.0^\circ\text{C}$, 晚熟种最高产。据此, 确定了东北区各地适宜的主栽品种类型, 即品种适应性的农业生态区域 (图略, 详见⁽¹⁾)。当然, 实际生产中的品种布局要复杂得多, 还要考虑品种的搭配; 要根据冷暖年的变化和土壤肥力及栽培技术水平加以调整。

对此，作者曾研究了冷暖年的品种搭配方案及品种安排的决策⁽³⁾⁽⁴⁾，这里不拟详述。

5、冷害与气候

与其他作物相比，水稻因冷害而减产的幅度最大。东北地区水稻单产在1954、1957、1969、1972和1976这五个严重冷害年，比其前一个丰收年平均减产达31.2%，其中1969和1972年减产在40%以上。因此，在本区水稻农业气候区划中，必须考虑冷害在地区分布上的差异性。在前述的产量水平和稳产状况的分析中，已经反映了冷害的影响，这里将进一步阐明冷害的地区分布规律。

由于生育期温度较低，致使作物生育迟缓，最终表现为秋霜之前未能完全成熟，引起秕粒多、粒重降低而造成减产，称为延迟型冷害。现以产量的趋势离差与该年趋势产量之比的百分数 $(\Delta y_i / \hat{y}_i \times 100)$ 来表示减产率，以 T_{5-9} 表示各地水稻生育期的温度条件，其距平值 ΔT_{5-9} 表示该年的冷害程度，三者关系如图1（该图的详细绘制方法见⁽¹⁾）。由图1可见，在同样的 ΔT_{5-9} 距平值下，减产率随着 T_{5-9} 的增高而降低，即以某一减产率为冷害的标准，则冷害的指标要随 T_{5-9} 而改变，该图可用来查算各地的冷害指标，结果如表

1。根据这些指标计算了各地延迟型冷害的频率，一般冷害和严重冷害的频率分布都呈由南向北和从平原向山区增高的趋势（图略，详见⁽¹⁾）。严重冷害频率最高的地区是大小兴安岭地区、蒙古高原东部、长白山地和黑龙江省东部，平均四年左右一次；辽宁省的南部和西部最低，在10%以下，其余地区的频率在10~20%之间，即平均十年里有1~2次。一般冷害（包括严重冷害）的总频率分布形势也与严重冷害频率相似，但频率增高10~20%。近十年来气候异常，冷害次数增加，其频率超过了长年代的平均状况。

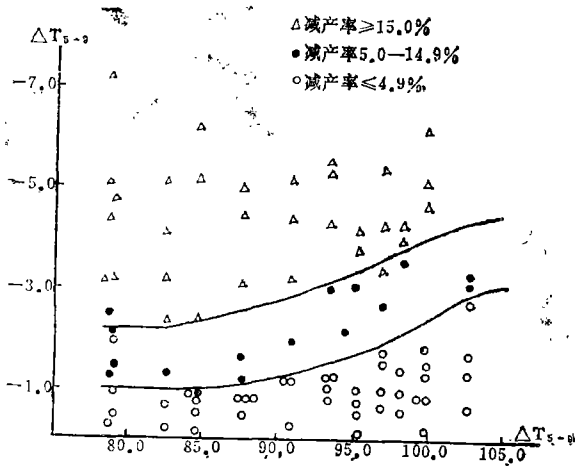


图1 水稻减产率与 ΔT_{5-9} 关系

表1 冷 害 指 标

T_{5-9}		80	85	90	95	100	105
ΔT	一般冷害	-1.0	-1.0	-1.3	-1.7	-2.4	-3.0
	严重冷害	-2.2	-2.4	-2.8	-3.3	-4.0	-4.3

水稻从幼穗分化到开花期，如遇短时期的异常低温，使其在对温度敏感的时期里生殖器官直接受害，引起花粉发育不良或授精过程受阻，造成空壳率增加导致减产，称为障碍型冷害，一般可分为孕穗期冷害和花期冷害。作者曾分析了在安全出穗期内出穗的前提下，东北地区障碍型冷害的分布，以及在提早或延迟出穗情况下障碍型冷害频率的变化规律⁽⁵⁾⁽⁶⁾。使用的指标是：安全出穗期之前20天，连续2天以上日平均气温 $\leq 17^\circ\text{C}$ ，为孕穗期冷害；安全出穗期前后各10天里，连续2天以上日平均气温 $\leq 19^\circ\text{C}$ ，为花期冷害。

东北区水稻孕穗期冷害的频率，各主要稻区均在20%以内，其中辽宁省、吉林省的中

西部平原、昭乌达和哲里木盟的东南部，基本没有孕穗期冷害，频率为零；佳木斯和富锦一带稻区，频率较高，在20%以上。高寒地区频率在40%以上。关于花期冷害，其频率均高于孕穗期冷害，辽宁省的大部和吉林省西部平原及哲、昭盟的南部，频率低于20%；辽宁省北部、吉林省中东部及黑龙江省南部，频率20~40%；三江平原和松嫩平原的北部，频率为40~60%；高寒山区的频率在60%以上，但这里种植水稻很少。

应该着重指出，延迟型与障碍型冷害是相互联系的，其表现有二：第一、在出现延迟型冷害的低温年里，往往也在孕穗期和花期出现异常低温，引起障碍型冷害。经计算，在延迟型冷害年中，全区平均有一半年份都伴随着障碍型冷害发生，而二型冷害在同一年出现的频率，与各地 T_{5-9} 呈高度显著的负相关(相关系数 -0.8111 ，信度 0.001)，即越是生育期总热量低的地方，二型冷害同时出现的频率也越高。在 $T_{5-9} \leq 88.7^\circ\text{C}$ 的地区，混合型冷害的频率占延迟型冷害的73%以上；反之，生育期总热量较高的地方，混合型冷害频率则较低，在 $T_{5-9} > 88.7^\circ\text{C}$ 地区，它平均占延迟型冷害的27%以下。第二，在延迟型冷害年，由于气温低引起出穗延迟，孕穗和开花期相应地推迟，更容易遇到异常低温导致障碍型冷害。例如，在公主岭和延吉如在安全出穗的晚限期后3天出穗，障碍型冷害的频率分别增高11.5%和7.7%；若晚6天出穗，则障碍型冷害频率分别增高20.7%和11.5%。

一般说来，障碍型冷害年份受害的只是低温敏感期恰与异常低温相遇的部分品种和地块，而不是全部，延迟型冷害则危害地域广。因此，普遍认为本区冷害以延迟型为主。根据二型冷害相互联系的上述规律，应该说东北区水稻严重减产的年份，实际上多是延迟型和障碍型冷害都出现的混合型冷害所造成的，特别是生育期热量较低的地方，更是以混合型冷害为主。因而，在抗御冷害的措施方面，应该兼顾二种冷害类型。

二、水稻的光温气候潜力

作者曾在分析东北各地水稻生育期太阳辐射的基础上，考虑到温度和作物叶面积增长过程对光合作用的影响，计算了水稻的光温气候潜力^[7]，其计算式为：

$$W(\text{斤/亩}) = \frac{666.7 \times 10^4 \times 2}{C \times 10^8} \times F \times E \times (1 - \alpha) \times P_t \times L_\alpha \times Q \quad (10)$$

式中，C为能量转换系数；E为经济系数； α 为群体反射率； P_t 为温度影响系数，它与同化温度(t)的关系，按 $P_t(\%) = 5.00217t - 0.06941t^2$ 计算； L_α 为叶面积订正系数；Q为总辐射；F为光能利用率。根据国际生物学计划在日本的实测结果，计算了 $F = 2.6\%$ 的光温气候潜力，这是在部分高产地块已经达到或经过努力可在近期内实现的高产目标。

为了比较各地产量水平，使用 $F = 2.6\%$ 情况下的潜在产量(W)与1969~1978年平均实产(y)，计算了各地的高产指数 $\eta = W / (W - y)$ ， η 值越大，当前产量水平愈高。计算结果，高产区为辽宁省的营口、丹东稻区和吉林省的第二松花江中游、辉发河流域以及延边盆地，这与前述栽培技术水平较高区基本一致，低产区为西部易旱区和北部及山区冷凉地区，其栽培技术水平也低。

三、区划的原则、指标及分区结果

在进行区划时，遵循如下原则：

- 3、 $T_{5-9} = 84.0^{\circ}\text{C}$ ，它把高寒地区分割出来，也是极早熟品种主栽区的界限；
- 4、年径流深170mm，它是水稻栽培集中、面积占粮豆总面积比例较大区域的界限；
- 5、年降水量523mm以上地区的水稻生育期（春季 10° 初日到秋季 15° 终日）总辐射60千卡/厘米²，此线以南2.6%的光能利用率下潜在产量为亩产约1100斤，相当于当前小面积高产地块的最高产量，同时也是晚熟品种主栽区的界限。

根据上述原则和指标，将全区划分为13个亚区，经两两之间产量水平的F检验，将差异不显著的亚区合并，且要求同一区内的亚区在地域上是连续的，则全区划分为七个水稻农业气候区（图2）。

I、辽吉二省东南部水稻高产稳产区。此区用生育期总辐射60千卡/厘米²线划分为南北二个亚区；

II、延边、牡丹江水稻较高产稳产区；

III、松辽平原中部水稻较高产稳产区。此区亦用生育期总辐射60千卡/厘米²线分为二亚区；

IV、黑龙江省中东部平原水稻较低产区。此区用年降水量523mm线分为二个亚区；

V、长白山区水稻较低产区；

VI、松辽平原西部水稻低产区；

VII、兴安山区与嫩江平原水稻低产区。此区用年降水量523mm和 $T_{5-9} = 84.0^{\circ}\text{C}$ 线划分为三个亚区。

四、讨 论

1、各区气候条件的差异性

区划的结果，首先应体现各区之间气候条件有着明显的差异。为此，选取24个代表站的资料分别表示各区气候条件，计算了各区平均 T_{5-9} 、最热月平均气温（ T_m ）、7月和8月平均气温差（ $T_7 - T_8$ ）、年降水量（R）、5~9月降水量（ R_{5-9} ）、最多月降水量（ R_m ）和5~9月平均日照百分率（S），共7个项目，其结果列于表2。表2最末一行是差异显著性检验的F值（用24站资料计算），结果表明，区间差异是很显著的。

表2 各区气候条件及其差异性检验

区号	T_{5-9}	T_m	$T_7 - T_8$	R	R_{5-9}	R_m	S	代 表 站
I	97.0	23.3	1.1	766	626	233	56	营口、丹东、沈阳、海龙、通化、吉林
II	88.5	21.7	0.8	536	444	156	50	延吉、牡丹江
III	98.9	23.6	1.3	597	516	194	60	锦州、四平、长春
IV	88.6	22.0	1.5	532	433	150	52	哈尔滨、佳木斯、虎林
V	79.9	20.3	1.3	667	540	171	51	靖宇、敦化
VI	97.4	23.5	1.7	395	357	144	65	赤峰、通辽、白城
VII	80.1	20.7	2.3	463	406	140	56	齐齐哈尔、嫩江、伊春、呼玛、海拉尔
F	7.35**	13.59**	5.47**	5.18**	4.97*	3.08*	3.99*	

备注 **表示信度0.01以上；*为信度0.05以上。

2、各区水稻产量表现的差异性

在前述的各区命名中，曾把产量表现分为高产稳产、较高产稳产、较低产和低产四个

等级,表3中列出了各区水稻平均产量 \bar{x}_i (按县数平均,未考虑各县面积差异)及其对全东北地区平均产量的比值 \bar{x}_i/\bar{x} ,各区水稻面积占粮豆面积百分率及占全东北地区水稻面积的百分率,各区的稳产度C和每亩稻谷的产值(元),为了比较种植水稻与种植其它粮豆作物的产量差异,还计算了各区粮豆平均单产 \bar{y}_i 及其与全东北地区平均产量的比值 \bar{y}_i/\bar{y} 和 $\bar{x}_i/\bar{x} \cdot \bar{y}_i/\bar{y}$ 的值。

表3 各区产量表现、面积

区号	\bar{x}_i	\bar{x}_i/\bar{x}	\bar{y}_i	\bar{y}_i/\bar{y}	$\bar{x}_i/\bar{x} \cdot \bar{y}_i/\bar{y}$	C	稻谷产值 (元/亩)	水稻面积	
								占粮豆 (%)	占全区水稻(%)
I	520	1.39	384	1.39	1.93	0.83	83.20	15.7	51.4
II	464	1.24	273	0.99	1.23	0.82	74.24	16.3	12.5
III	442	1.18	292	1.06	1.25	0.81	70.62	3.9	16.3
IV	323	0.86	249	0.90	0.77	0.80	51.68	3.3	13.5
V	354	0.95	234	0.85	0.81	0.79	56.46	6.8	2.0
VI	299	0.80	232	0.84	0.67	0.76	47.84	5×10^{-3}	2.1
VII	240	0.64	193	0.70	0.45	0.69	38.40	5×10^{-3}	2.2

由表3可见,从I区到VII区,产量和面积的9个指标基本呈逐渐下降的趋势。用139个县的产量资料进行区间产量差异检验表明,水稻产量 $F=35.96$,粮豆产量 $F=40.68$, α 检验信度均超过0.01, β 检验信度均超过0.10。

3、本区划的指标在农业气候生态分析的基础上建立,经统计检验证明各区的气候条件和产量的差异十分显著,可以认为各区气候条件对水稻生育适宜程度的鉴定是可靠的

因为分析证明各地产量水平的差异主要取决于各地气候资源与灾害程度的不同,所以可以预料,今后栽培技术水平不断提高的情况下,其产量水平差异的趋势将基本不变,即现在的高产区将更高产,而现在的低产区仍然是产量较低。因此,本区划的分区结果是比较合理的。

应该说明,本区划在农业气候生态分析中使用的产量资料都是以县为单位统计的,考虑到气候条件变化在空间上的连续性,分区界限并没有按照行政区的县界来划线。因此,在使用时应该充分注意区界上各县以及区内各县范围内气候条件的差别。

五、建 议

1、为加快东北地区商品粮基地的建设,三省都计划扩大水稻种植面积,发展水田生产。根据本区划对各地适宜程度的评价,建议首先考虑在I、II区扩大水田,因为这些地方气候条件适宜,水资源丰富,群众又有种稻经验,栽培技术水平较高,可以在新开的稻田取得较高的产量。其次是III区,应在搞好水利建设的同时扩大水田,该区降水量稍低,地表径流较少,没有水利建设的保障,则难以取得较稳较高的产量。其余地区不宜大量发展水稻。

2、冷害是东北地区水稻生产的主要灾害, T_{5-6} 低的地方危害尤其严重。因此,抗御低温冷害应成为战略指导思想,抗御冷害的措施应贯彻水稻生产的全过程。首先要搞好

品种布局，作到适地适种，切忌盲目扩种晚熟品种，其次应搞好壮秧早插等促进生育的栽培措施。

3、在当前各地产量差异中，栽培技术水平起着很大作用。所以，在全面提高栽培技术水平的同时，更应在提高技术落后地方的栽培水平上下大力气。应该看到，在低产的地方，只要提高了栽培技术水平，增产潜力是相当大的。

4、本区划的分区，气候条件差异明显，粮豆产量水平的区间差异十分显著。因此，在未作出其他作物的区划之前，可以大体上参照本区划来考虑农业布局和调整农业结构，即大力加强 I、II、III、IV 区的粮豆生产，而在 V、VI、VII 区增加林、牧业生产和糖料、油料的栽培。

参 考 文 献

- 〔1〕王书裕：东北地区水稻的农业气候生态，《农业气象》1981（2）。
- 〔2〕丁士晟：东北地区夏季低温的气候分析及其对农业生产的影响，《气象学报》38卷 第3期，1980。
- 〔3〕王书裕：从农业作物品种安排看热量资源的合理利用，《自然资源》1980（3）。
- 〔4〕王书裕：根据生长季热量条件确定吉林省水稻品种布局，《遗传与育种》1977（6）。
- 〔5〕王书裕：东北地区的水稻障碍型冷害（待发表）。
- 〔6〕王书裕：水稻灌浆与气温，《农业气象》1980（1）。
- 〔7〕王书裕：东北地区水稻的光温气候潜力，《自然资源》1981（4）。