

农业气候资源与作物生态

译文集

刘厚培 侯光良 张宜光

主 编

中国科学院自然资源综合考察委员会

一九八二年

农业气候资源与作物生态

译 文 集

刘厚培 侯光良 张谊光

主 编

中国科学院自然资源综合考察委员会

一 九 八 二 年

编 者 的 话

本译文集主要是从中国科学院农业气候资源和作物生态考察组1981年8月在日本考察访问期间收集到的日文和英文资料中选译的一部分。除中国科学院自然资源综合考察委员会主持外，还组织了东北农学院、吉林省气象科学研究所、内蒙古自治区气象科学研究所、国家气象局气象科学研究院农业气象研究室和中国科学院地理研究所等单位的教师和科研人员共同译出；同时，把英国皇家气象学会理事长、里丁大学教授蒙蒂思1980年6月18日在学会上的演讲“气候变化与作物生长”和《热带作物生理生态学》一书中的“气候”一章也译了出来，一并汇集成册，供科研、教学和生产单位的同志们参考，从中吸取有益的经验，以促进我国农业气候及作物生态科研工作和农业生产的发展，并开创新的局面。但由于我们业务水平和外语水平的局限，一定有不少的错误，恳切地期望读者指正。

编 者

一九八二年十二月

目 录

编者的话

日本国际生物科学研究计划 (JIBP) 关于不同气候区作物生产力与光能利用部分的完

成概况与试验研究方法介绍	(1)
农作物群体结构及生长特征值的测定方法简介	(36)
冬季谷类作物光合作用的生态学研究	(41)
受作物物质和能量交换影响的温室环境模式	(48)
对土壤—植物—大气系统物质与能量流动的研究	(60)
不同高度地区作物栽培期估计方法的农业气象学研究	(70)
气象和农业	(83)
气候	(88)
气候变化与作物生长	(102)
作物最大生长率与气候	(123)
环境变化对植物的影响	(127)
日本北部直播水稻适宜地区和适宜栽培期确定方法的农业气象学研究	(146)
日本作物产量的变异性	(159)
气候条件和水稻生产力	(175)
水稻生长分析	(186)
水稻营养生长的计算机模拟	(195)
关于稻田中碳循环的研究	(208)
谷草比在水稻育种上的意义	(217)
玉米的生长发育分析	(225)
大豆的生长发育分析	(230)
茶园蒸散量的日变化和季节变化	(239)
介绍某些小气候参数的计算方法	(252)
太阳辐射的测定方法	(262)

日本国际生物学研究计划(JIBP)

关于不同气候区作物生产力与 光能利用部分的完成概况 与试验研究方法介绍

日本在1966年至1973年参加了联合国教科文组织主持制定的国际生物学研究计划(The International Biological Program, 简称IBP), 由文部省和农林水产省共同组织全国有关高等院校、农业技术研究所和农事试验场等单位的教师 and 科技人员, 在不同气候区(从北部的北海道到南部的九州)选择了16个试验点和两个付点。对作物、森林、草地和水生生物等生态系统能量转换和物质循环以及光合生产力进行了全面的观测研究, 积累了大量科学资料, 最后由东京大学负责编写和出版了二十卷综合研究报告集, 不仅从生态学理论和研究方法上提出了许多独创性的见解, 而且对指导日本农业生产、提高生物产量起着重大的作用。

作物生产力和光能利用的试验研究是农业气候资源和作物生态研究的一部分(JIBP综合研究报告第十一卷), 是由东京大学农学部著名的农业气候学家和作物生态学家户刘义次教授与村田吉男教授先后主持的。从1966年开始, 第一年是研究方法、仪器和资料的准备工作, 1967—1971年为试验观测阶段, 后两年(1972—1973年)进行补充试验和总结工作。

试验材料和方法

一、试验设计: 分以下两组试验

1. 播种期试验——盆栽(幼苗)试验

2. 最高生长率试验——田间试验

这些试验进行了五年(1967—1971年), 在18个站进行试验, 位于北纬 $31^{\circ}31'$ — $43^{\circ}35'$ 范围内。每组试验有四种作物: 水稻(*Oryza Sativa* L.), 玉米(*Zea mays* L.)和大豆(*Glycine max* (L) Merrill)。在盆栽试验中还有向日葵(*Helianthus annuus* L.), 而在田间试验中还有甜菜(*Beta Vulgaris* L. Var. *Saccharifera* Alef.)。大多数盆栽试验水稻和大豆进行了四年(1967—1970年), 向日葵是三年, 玉米是五年。盆栽试验是用砂培法, 作物整个生长期都生长在木盒内。田间试验是选用当地优良品种, 并且生长在最适宜的栽培条件下, 采取最佳栽培措施, 包括土壤肥力、栽培季节、种植密度、施肥、病虫害防治, 等等。尽可能地获得最高干物质产量和高额经济产量。试验方法和观测项目基本上按照G. E. Blackman教授最先提出的建议进行(表1—4)。

作物生产力试验站分布图

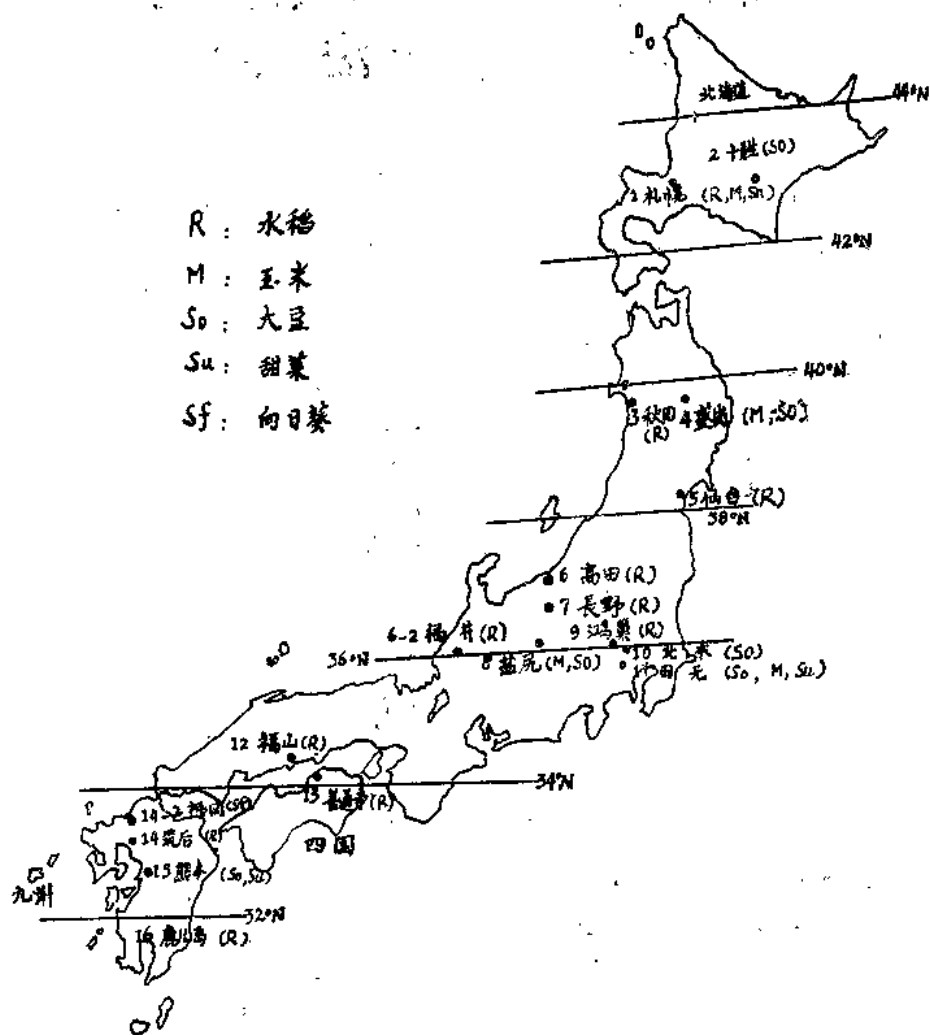


图 1 试验站的地点位置

二、供试作物品种

下列品种用于盆栽试验:

水稻——“Sasanishiki”早熟品种,由仙台县宫城Miyagi农事试验站提供。

大豆——“TZOI”,一种多荚品种,由埼玉县北本(Kitamoto)国立农业科学研究所提供。

玉米——“Koh 7号”中熟品种,由长野县农业试验站盐尻分站提供。

向日葵——“北极星”,广泛适应的品种,由Blackman教授提供。

三、试验方法

1. 盆栽试验

幼苗在 $25 \times 25 \times 25$ 厘米大小的木盒内用 Hewitt 溶液砂培。该溶液成份列于表 5。在发芽期间每天补给仅一半浓度的溶液,在第一次收获后,补给正常浓度的溶液。溶液的 PH 值,水稻是调整到 4—5,其它作物为 6.5。除水稻砂土表面经常淹水外,在每次施加养分以后,要把溶液排掉。一种自动加液装置用于大豆和玉米,其中溶液一天运行几次,并且一月换一次。

每盒苗数,水稻是 9 株,其它作物是 4 株。用于一系列试验的盒数至少是 12 盒。在第一次取样时收获一半,并保留在 7 天以后第二次取样,用以测定 7 天期间的作物生长率。

每个站作物幼苗期大约每隔两周进行一次生长率的测定,在每个重复中,第一次收获是在如下同一生长阶段准确进行的,

水稻——6 叶期(包括初生叶、不完全叶)

大豆——第三个三叶开始展现期

玉米和向日葵——五叶期

用第一次和第二次收获材料测定鲜重、叶面积和干重。用一种自动叶面积仪或晒竺称重法测定叶面积(Murata和Hayashi, 1967)。用 5 株材料测定干重,即在 80°C 干燥箱内烘干 48 小时称至恒重,并测定全株叶片含 N 量,亦即植物生理状态的指标。

进入生长期,每天按如下项目进行气象观测:用自记 Thermopile Solarimeter (Noshi — Denshi Type 日本三重县 Ueno Nakano 公司制造的)测定每天太阳辐射值、日照时数、气温(最高、最低和日平均)、降水量和空气相对湿度。

表 5 用于盆栽试验的 Hewitt 溶液浓度

	克/升	毫克分子 (mM)
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0.656	4
KNO_3	0.404	4
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.368	1.5
$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.208	1.33
Fe · EDTA · 钠盐	0.017	0.05
钾盐	0.018	

续上表

$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.00223	0.01
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.000125	0.0005
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.000290	0.001
H_2BO_3	0.00186	0.03
NaCl	0.00590	0.1
$\text{Na}_3\text{MO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.000121	0.0005

2. 间田试验

作物生长在田间肥沃的土壤上，在四个小区运用当地推荐的标准栽培措施。每个小区面积，水稻至少是4平方米，大豆10平方米。玉米15平方米，甜菜20平方米。水稻采用通常的移栽，其余都是直播。关于作物种植密度、出苗期、移栽期（水稻）、施肥量均列于表6。

每隔三周测定一次植株各部分的干重和总叶面积，每个小区取样20株或20穴测量株高、分蘖数（大豆分枝数）、茎基直径（玉米）、叶片数等。在20穴（株）中再选5穴（株）测定地上部分干重。用这5个样本的两个样本测定根干重，根系是用铁锹挖起土块，水稻大约足15厘米深、大豆18厘米深、玉米30厘米深，把土块装在铁丝篮内，用水冲洗干净，接着把收集的根系烘干称重。以地上部分干重除小区的根干重，计算根—茎比。甜菜不是在株数的基础上取样，而按小区面积取样，每个小区至少取样3平方米。

所有作物的取样材料在测定鲜重后，放在30°C烘箱内烘干2—4天，并测定干重。于是，获得四个小区的平均干重。

在确定取样期方面，把每种作物最特有的重要阶段作为标准的取样时间，比如水稻完全抽穗期（80%分蘖都已抽穗）、玉米吐丝期（有一半的茎数都已吐丝）、大豆植顶叶片展现期，分别作为标准取样时间。在此以前，取二、三次样，在此以后，取二次样，每隔三周取一次，整个生长期取五、六次样。用盆栽试验的同样方法测定叶面积。叶面积的定义在本研究中仅仅包括叶片一边的面积，并不包括叶鞘或叶柄的面积。

为了说明作物生理活性，即植株的光合能力和呼吸能力，正如盆栽试验一样，每次取样都要测定所有活叶的平均含N量。然而玉米仅仅是果穗附近的茎上功能叶测定含N量。除了这些测定以外，按照日本每种作物的通用办法测定经济产量及其组成。气象观测和盆栽试验的观测项目相同。

试验资料总结

一、盆栽试验

1. 各地生长参数的平均值

每个地区四或五年试验期的平均值包括：相对生长率（RGR）、净同化率（ NAR ）和其它生长参数列于表7，并计算了标准差；相应的气候因子平均值列于表8。

（1）地点、气候和生长参数

地点从北到南平均RGR一般趋于增大，叶面积相对生长率（LRGR）的这种趋势更清

楚。RGR和LRGR似乎最密切地取决于温度，因为二者与平均温度（T）呈明显的正相关。

NAR似乎最密切地取决于太阳辐射（S），因为除最寒冷的北方试验站外，NAR与S之间很明显地成正相关。

叶面积比（LAR）与T/S呈最明显的相关，可以认为T对LAR呈正作用，而S则呈负作用，LRGR和特殊叶面积（SLa）正如LAR一样，都表现出同样趋势。

（2）作物和生长参数

如果我们比较四种作物之间地上部分平均值的生长参数，就可得到如下顺序：

RGR：向日葵 > 玉米 > 水稻 > 大豆

NAR：水稻 > 玉米 > 向日葵 > 大豆

LAR：向日葵 > 玉米、大豆 > 水稻

因此，可以认为向日葵的RGR值最高是由于LAR值最高，而玉米的RGR值较高主要是由于其NAR值较高，虽然水稻表现NAR值最高，但其RGR值不是那样高，因其LAR值最低。

各种作物的LRGR值的顺序相似于LAR值。

2. 作物生长参数的最高值

在每个试验站所观测到的各种作物生长参数的最高值比较，列于表9，各种作物所记录的最高值是：

	水稻	大豆	玉米	向日葵
RGR (克·克 ⁻¹ 、日 ⁻¹)	0.302	0.239	0.309	0.358
NAR (克·米 ⁻² 日 ⁻¹)	30.2	18.0	23.7	20.5
LAR (厘米 ² 、克 ⁻¹)	201	191	192	239
SLa (厘米·克 ⁻¹)	477	497	405	443

四种作物生长参数最高值的顺序，大致和平均值相似：

RGR：向日葵 > 玉米 > 水稻 > 大豆

NAR：水稻 > 玉米 > 向日葵 > 大豆

LAR：向日葵 > 水稻 > 玉米、大豆

有趣的是，玉米在生长中期NAR次于水稻，实际上它具有有一种有效的光合作用的CO₂固定途径（Hatch和Stack 1966）。

几种生长参数的计算公式如下：

$$RGR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{克} \cdot \text{克}^{-1} \cdot \text{日}^{-1})$$

$$NAR = \frac{(W_2 - W_1) (\ln A_2 - \ln A_1)}{(t_2 - t_1) (A_2 - A_1)} \quad (\text{克} \cdot \text{米}^{-2} \cdot \text{日}^{-1})$$

$$LAR = \frac{1}{2} \left(\frac{A_1}{W_1} + \frac{A_2}{W_2} \right) \quad (\text{厘米}^2 \cdot \text{克}^{-1})$$

$$LBGR = \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{厘米}^2 \cdot \text{厘米}^2 \cdot \text{日}^{-1})$$

$$SIa = \frac{1}{2} \left(\frac{A_1}{LW_1} + \frac{A_2}{LW_2} \right) \text{ (厘米}^2\text{、克}^{-1}\text{)}$$

式中: W_1 、 W_2 、 A_1 、 A_2 以及 LW_1 、 LW_2 分别是在 t_1 和 t_2 (第一次和第二次取样时间) 时的干重、叶面积和叶干重; $\ln$ 是自然对数。

二、作物最高生长率试验 (即田间试验)

1. 净生产量的平均值和最高值

在本试验中, 各站所有试验年份现存作物全生长期间的净生产 (P_n) 平均值与最高值是相等的, 以及相应的各生长参数、经济产量 (y)、光能利用效率 (Eu) 和重要气候因子亦即日平均温度 (T)、太阳辐射值 (S) 和降水量 (R) 均列于表10—12。

各站每种作物净生产量 (P_n) 的平均值与最高值综合如下 (单位为克·米⁻²·季⁻¹):

作物	各站平均值的幅度	平均值	最高值
水稻	1286—1875	1526	1974
大豆	642—809	717	942
玉米	1381—2041	1598	2651
甜菜	1545—2046	1926	2285

在两个站和两种作物中可看到明显的差异。作物净生产量平均值的顺序是: 甜菜 > 玉米 > 水稻 > 大豆。然而, 在最高值方面玉米居首位。

各种作物平均生长率 (CGR) 的情况是相似的, 某些品种虽有差异, 但其小于 P_n , 表明 P_n 的品种差异部分, 是由于生长期 (t) 的差异所造成的。然而 P_n 的平均值和最高值和 CGR 一样, 未表现出与地理位置或气候因子平均值具有恒定的关系 (除最北部的试验站外)。

2. 经济产量的最高值

作物经济产量 (即在每个站五年观测的每平方米的干重) 的最高值, 用上述同样的方法进行比较, 列于表13。 y 的最高值是甜菜 (1541克·米⁻²), 其次是玉米 (844克·米⁻²), 第三是水稻 (694克·米⁻²), 最后是大豆 (325克·米⁻²)。 y 和其它因子之间没有单一的关系。

3. 最大CGR的平均值和最高值

在每个站五年所观测的生长期间三周最大CGR平均值与最高值以及相应的生长参数、气候因子和光能利用效率 (Eu) 均列于表14。

在最大CGR平均值与最高值中, 水稻可以看到品种或地区的差异, 但其它作物却只看到地区的差异。这些结果归纳如下:

最大CGR (克·米⁻²·日⁻¹)

作物	各站平均值的幅度	最高值
水稻	22.9—25.7	35.79
大豆	11.1—19.0	26.71
玉米	23.0—38.5	51.60
甜菜	19.1—25.0	27.81

不同作物的差异是很明显的，最大CGR平均值与最高值的顺序是，玉米>水稻>甜菜>大豆

4. 最大光能利用率的平均值和最高值

在各站五年所观测的全生长期间，三周最大光能利用率 (max Eu) 的平均值和最高值以及相应的生长参数和气候因子均列于表15，这些结果归纳如下：

作物	最大光能利用率 (%)	
	各站平均值的幅度	最高值
水稻	1.95—3.02	3.32
大豆	1.31—2.74	4.36
玉米	2.71—4.08	4.63
甜菜	2.73—4.52	4.52

最大光能利用率的平均值的顺序是：玉米=甜菜>水稻>大豆。然而，在最高值的情况下，各作物的顺序明显不同，即玉米、甜菜、大豆>水稻。这种差异反映在大豆具有异常高的数值 (4.36%)。

附 JIBP/PP—光合或水平试验使用的省略字、符号、单位：

省略字	含 义	符 号	单 位
DW	干物重	W	克、株 ⁻¹ 或米 ⁻²
	干物质增加量	ΔW	克、株 ⁻¹ 或米 ⁻²
FW	鲜 重		克、株 ⁻¹ 或米 ⁻²
LA	叶面积	A	厘米 ² 或米 ²
	叶面积增加量	ΔA	厘米 ² 或米 ²
LAI	叶面积系数	A	无名数 (米 ² /米 ²)
F	干叶重	F	克
C	非同化部分的干物重	C	克
NAR	净同化率	$\frac{1}{A} \frac{dw}{dt}$	克·分米 ⁻² 、日 ⁻¹ 或周 ⁻¹
CGR	作物生长率	$\frac{1}{S} \frac{dw^*}{dt}$	克·米 ⁻²
RGR	相对生长率	$\frac{1}{W} \frac{dw}{dt}$	克·米 ⁻²
LAR	叶面积比	A/W	厘米 ² ·克 ⁻¹
	叶面积重	A/F	厘米 ² ·克 ⁻¹
LB	叶 片		
LB (d)	枯死叶片		
Pt	叶 柄		
Ls	叶 鞘		
Co	子 叶		

* 占地表面积

S	茎
Pd	荚、果
E	穗、幼穗
G	籽粒
R	根

取样方法：各小区取20株（穴），调查株高、茎粗。每次取样时间在上午9时。选中等植株二株，取土深度水稻为15厘米，大豆和玉米约20厘米，用水冲洗干净，先称根鲜重，然后烘干称重。

刘厚培编译自JIBP综合报告第11卷1975年

表1 盆栽试验的地位点置及工作人员

作物	地点	纬度	经度	海拔高度	工作人员
水稻	(1) 札幌	43°35'N	141°20'E	40 米	T.Kataoka (1966—68年)
	(5) 仙台	38°13'N	140°53'E	15 米	A.Kakimoto (1969—71年)
					M.Kanda (1966—68年)
					(1970—72)
					Y.Kakizaki (1969)
大豆	(9) 鸿巣	36°02'N	139°31'E	14 米	Y.Murata (1966—67)
					A.MiyaSaka (1967—68)
	(13) 善通寺	34°13'N	133°42'E	25 米	I.Tanaka (1969—72)
					Y.Masuo (1966—68)
					Y.Soga (1969—71)
玉米	(16) 鹿儿岛	31°31'N	130°30'E	4 米	T.Oka (1966—68)
					M.Ebata (1969—72)
	(4) 盛冈	39°45'N	141°08'E	178 米	T.Okubo (1966—70)
					S.Sekizuka (1971)
					K.Watanabe (1972)
向日葵	(10) 北本	36°00'N	139°31'E	26 米	R.Kawashina (1966—69)
	(15) 熊本	32°53'N	130°45'E	82.5米	S.Matsumoto (1966—68)
					T.Iguchi (1969—72)
	(4) 盛冈	39°45'N	141°08'E	178 米	同大豆 (4)
	(16) 鹿儿岛	31°31'N	130°30'E	4 米	M.Ebata (1971—72)
	(14—2) 福冈	33°36'N	130°15'E	2 米	Y.Murata (1967)
					T.Takeda (1968—72)

续表2 田间试验的地点位置及工作人员

作物	地点	纬度	经度	海拔高度	工作人员
玉米	(1) 札幌	43°35'N	114°20'E	17 米	K.Taguchi (1966—68) M.Yoshida (1969—72)
	(4) 盛冈	39°45'N	141°08'E	178 米	同大豆 (4)
甜菜	(8) 盐尻	36°07'N	137°57'E	710 米	M.Machida (1966—72)
	(11) 田无	35°33'N	139°33'E	57.7米	K.Tsunoda (1969—72)
	(1) 札幌	43°03'N	141°20'E	40 米	E.Oshima (1966—68)
	(11) 田无	35°33'N	139°33'E	57.7米	K.Tsunoda (1966—68)
	(15) 熊本	32°53'N	130°45'E	82.5米	K.Arashi (1966—67)

表3 几个代表性地点的平均气候条件 (根据气象厅1931—1960年平均资料)

地点	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	全年
(1) 月平均气温 (°C)													
札幌 (1)	-5.5	-4.7	-1.0	5.7	11.3	15.5	20.0	21.7	16.8	10.4	3.6	-2.6	7.6
盛冈 (4)	-3.0	-2.3	1.2	7.5	13.3	17.5	21.7	23.1	18.1	11.5	5.5	-0.1	9.5
福井 (6—2)	2.6	3.3	6.6	11.9	16.7	20.7	24.7	25.9	21.7	15.6	10.3	5.8	13.8
熊谷*	2.5	3.2	6.4	11.9	16.6	20.6	24.7	25.6	21.6	15.6	10.1	5.0	13.7
冈山**	3.7	4.5	7.4	12.7	17.0	21.3	25.6	26.7	22.5	16.2	10.8	6.2	14.5

续表 3 几个代表性地点的平均气候条件 (根据气象厅1931—1960年平均资料)

地 点	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	全年
熊本 (15)	4.6	5.7	9.2	14.1	18.6	22.4	26.5	27.0	23.4	17.4	12.3	7.1	15.7
(2) 月平均降水量 (毫米)													
札幌 (1)	111	83	67	66	59	67	100	107	145	113	112	104	1136
盛冈 (4)	59	57	80	101	92	113	169	154	180	110	85	75	1275
福井 (6-2)	335	202	158	149	124	178	211	144	221	166	188	344	2421
熊谷*	28	42	60	87	103	170	182	158	201	173	61	30	1294
冈山**	36	52	77	100	109	159	166	99	150	94	60	38	1139
熊本 (15)	52	80	109	170	186	345	331	167	199	95	64	72	1869
(3) 月平均日照时数 (小时)													
札幌 (1)	99	112	158	199	213	205	190	201	173	166	112	91	1916
盛冈 (4)	120	140	177	194	213	186	163	183	148	162	136	115	1945
福井 (6-2)	68	90	147	188	212	179	191	234	163	155	128	75	1829
熊谷*	221	199	209	202	207	148	166	190	134	153	172	205	2205
冈山**	159	155	181	208	225	194	222	250	182	183	172	60	2303
熊本 (15)	134	142	180	189	200	173	202	237	184	193	173	143	2148
(4) 月平均空气湿度 (%)													
札幌 (1)	76	75	73	69	72	78	82	82	80	77	75	74	76

续表3 几个代表性地点的平均气候条件 (根据气象厅1931—1960年平均资料)

地 点	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	全年
盛冈 (4)	74	72	70	67	70	78	83	83	82	79	76	75	76
福井 (6-2)	85	82	76	73	74	78	81	79	82	82	83	85	80
熊谷*	61	60	63	68	75	70	83	84	84	80	74	66	73
冈山**	72	71	71	71	74	77	80	78	79	77	73	74	75
熊本 (15)	74	72	71	73	75	79	81	78	79	76	76	76	76

* 靠近巢鸿 (9) **靠近福山 (12)

表4 田间试验所用品种及土壤条件

作物	站 号	品 种		土 壤 条 件	
		名 称	缩 写	土壤类型与特征	排水状况 (渗透量毫米/日)
水稻	(3)	Yoneshiro	Yo	冲积性沙壤土	不良 (10—12)
		Miyoshi	Mi		
	(5)	Fukei No.72	F72	三级排水, 泥炭粘土	不良
		Toyunishiki	To		
		orDewanunori	De		
	(6)	Honenwase	Ho	三级排水, 泥炭粘土	不良 (约10)
		Manryo	Ma		