

日本的水稻耐冷育种*

金 润 洲

(吉林省农业科学院水稻所)

前 言

冷害是日本水稻生产的大问题。据文献记载,从公元812年至1913年的1101年间冷害欠收有315年次,其中1600年~1913年的313年间的欠收年达230次,几乎平均每1~2年发生一次。1900年至今的85年间也出现过22次,尤其是1931年的特大冷害致使全国减产6成。1931年的冷害减产4成。为抗御水稻冷害,1935年日本在其东北地区设立了青森县藤坂支场等六处欠收防止试验地,正式开展了水稻的耐冷育种。经过十多年的探索和试验,首次鉴定出“爱国”、“陆羽132号”等一批耐冷性较强的品种。1949年选育出有名的耐冷品种“藤坂5号”,为当时的水稻生产起了很大的推动作用。

随着早熟、高产品种的育成以及保温育苗、壮苗早栽等栽培技术的成功,基本上克服了延迟型冷害,逐步提高了水稻单产,使东北水稻由原来30年代日本最低产区变成了现在的最高产区。

随着早熟品种的应用,增加了水稻孕穗期遭遇低温而发生障碍性冷害的危险。为此,近代日本的耐冷育种以耐障碍性冷害作为主要目标,相应地增添了田间鉴定圃及人工气候室等仪器设备,全国建立了11处耐冷鉴定联合试验点(图1),将各地育成的品种、品系进行耐冷

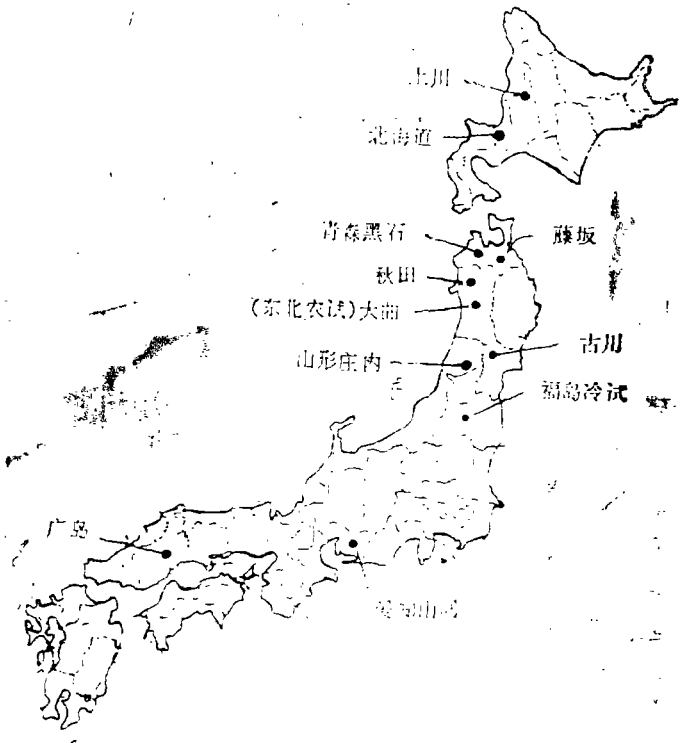


图1 日本耐冷性联合试验点

* 本文由江苏省农科院粮作所邹江石所长,吉林省农科院水稻所曹静明所长予以审阅和修改,在此谨表谢意。

鉴定, 并定期交流鉴定结果及鉴定方法, 积累了丰富的研究资料和经验。本文着重介绍其技术方面的研究结果, 仅供参考。

一、水稻耐冷性的鉴定方法

能否选出符合育种目标的个体或品系, 关键在于鉴定方法的可靠性及准确度。

(一) 发芽期的耐冷性

日本用15℃、10天后的发芽系数来评价水稻发芽期耐冷性的强弱。据北海道佐佐木的

试验结果(图2), 在不同温度下都能鉴定低温下的发芽力(不一定是低温), 鉴定结果(不同品种的耐冷性强弱位次)大致相同。只是粗细不同而已。如在30℃下调查发芽率后用1~3天的发芽势或用第2日、第3日的发芽系数就能鉴别出品种间低温发芽力的差异。这种方法在品种间差异大时可以利用。在品种间差异小时不能用。一般常用的精细的鉴别

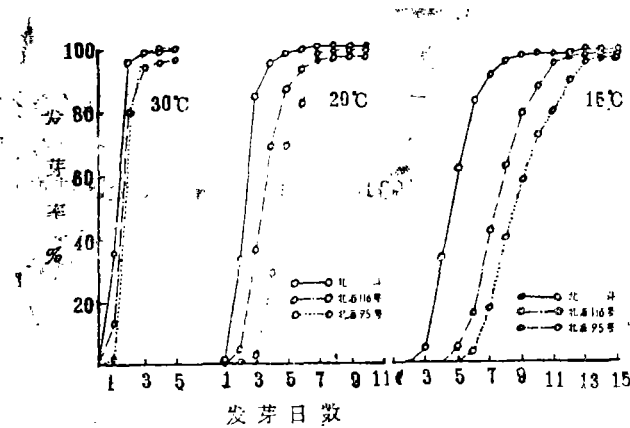


图2 在15、20、30℃温度下的发芽曲线

方法是用15℃下第10天的发芽系数表示耐冷性的强弱。其次, 用20℃下第三天的发芽势, 或用第7天的发芽系数也能较准确地鉴定出品种间的差异, 而且所需要的试验时间较短, 可做为简易法加以利用。除此之外。如表1所示, 还有几种方法。但目前仍认为上述的佐佐木的试验方法是能较准确地鉴定出品种间低温发芽力差异的好方法。

表1 低温发芽力鉴定指标

研究者	指标(鉴定项目)	表现内容
松田(1930), 高桥(1962)	50%发芽所需日数	发芽速度
中村(1938), 永松(1942) 轮田(1948)	最终发芽率, 平均发芽日数	"
原岛(1937)	25%, 50%, 75%发芽所需日数	"
GASSNER(1926)	发芽系数	发芽速度, 发芽力
佐佐木多喜雄(1965)	发芽系数(发芽势)	" , "

注: 1. 平均发芽日数 = $\frac{\sum fu}{n}$ (n : 发芽总数, f : 每日发芽粒数
 u : 发芽日数(试验开始到发芽当天)

2. 发芽系数 = $\frac{\text{发芽率}}{\text{平均发芽日数}}$

(二) 生育期的耐冷性

由于长期选育、应用早熟高产品种的结果, 日本延迟型冷害基本得到解决。因此, 目

表2 日本东北地区耐冷鉴定方法

冷害类型	鉴定方法	处理期间	调查项目
障碍型	长期冷水灌溉法	40天	不实率
	短期冷水灌溉法(田间)	5~7天	
	人工气候室	5~7天	
	水槽冷水灌溉法	5~7天	
	冷水喷雾法	40天	
延迟型	长期冷水灌溉法	50天	出穗期
	晚植法		
	人工气候室	15天	

前日本耐冷育种的重点是抗御障碍性冷害，其主要的鉴定方法如表2所示。其中，真正能应用于育种(对大量品系能进行鉴定)的方法是长期冷水流灌法。

1、长期冷水流灌法

长期冷水流灌法是在田间，进水口设分水板(木板、塑料板等)，有条件的单位用水泥做水渠及池埂，从水稻幼穗形成期到出穗为止，约在40多天的期间，流灌19℃左右的冷水，调查出穗期和不育率，

最后换算成不孕指数(或结实指数)来评价各品种、品系耐冷性的强弱。青森县藤坂支场等多数单位采用的是顺流式流灌法(如图3)，是老方法。现在东北农试、古川农试等设计应用的是循环式流灌法，能节约用水。这两种流灌方式的不同点是水深有差异，其他试验方法完全相同。循环式由于用水泥特制的试验小区，备有贮水池及水泵，能省水，可进行20厘米以上的深水处理。

2、短期冷水流灌法

在温室、网室内或田间，用水槽或大水泥池进行冷水流灌处理。一般用于少量材料的短期处理。处理时期为水稻孕穗期(或开花期)剑叶到下一叶的叶耳间距-5~-2(或0)时进行5天的冷水处理，水深为30~40厘米。水槽为塑料制(或水泥槽)，在槽内底部设有方型水管，管上隔一定距离钻眼，以便各处小孔上出水，保持槽内各部的水温一致(图4)。

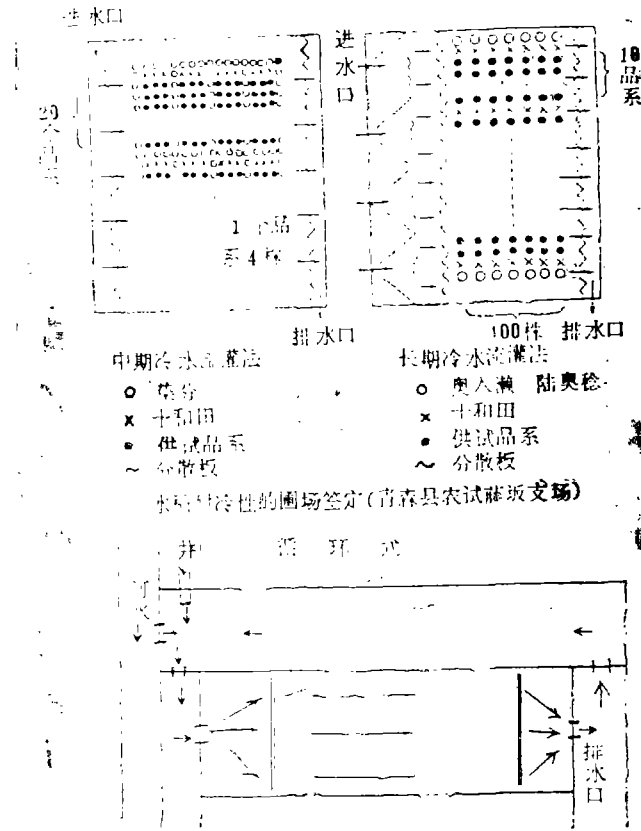


图3 水稻耐冷性田间鉴定法

利用现代化的人工气候室，将已培育好的盆栽水稻放入气候室内，低温处理5天。处理时期为水稻剑叶与下一叶的叶耳间距-5~-2的时期。处理过的茎秆上挂上纸牌，放在自然气温下，调查出穗期及不孕率。这种方法比较可靠，但只能处理少量的试验材料，

3、人工气候室鉴定法

利用现代化的人工气候室，将已培育好的盆栽水稻放入气候室内，低温处理5天。处理时期为水稻剑叶与下一叶的叶耳间距-5~-2的时期。处理过的茎秆上挂上纸牌，放在自然气温下，调查出穗期及不孕率。这种方法比较可靠，但只能处理少量的试验材料，

需要许多劳力，且设备的价
格昂贵。

4、日本各试验场处理 方法的比较

因各试验场的条件和要
求不同，具体的处理方法也
有所不同。其相同点是都用
19℃以下的冷水，处理时
期、处理时间及调查项目等
基本一样，不同点为处理水
深、栽植方法、各品系的个
体数及试验材料的多少有差

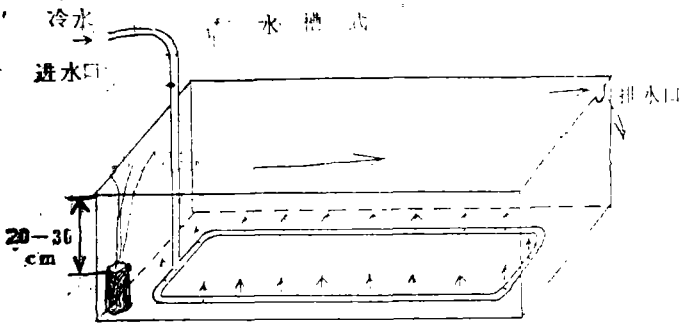


图4 水稻耐冷性室内鉴定法（短冷）模式图

别。各地的长期冷水流灌法请参考表3，短期冷水流灌法请参考表4。

表3 日本东北地区长期冷水灌溉法比较（1983年）

试验地	处理温度		处理水深	一系 栽植数	试验地 面积 (1990m ²)
	进水口	排水口			
青森县、黑石	15℃	20℃	8cm(8)	30穴(30)	0
青森县、藤坂	17(17)	27(20)	6~8(6~8)	70~110(30)	40
宫城县、古川	19(19)	20(20)	20(20)	3	3.2
秋田县、秋田	13(15)	13(18)	15(30)	192	15
山形县、庄内	16(19)	25(23)	3~5(3~5)	30(30)	2
福岛县、郡山	17(17)	19(19)	7~10(12~14)	65(30)	10
东北、大曲	19(19)	20(19.5)	20(20)	8(7)	2

* () 内数字是1984年的数据。

表4 日本东北地区的短期冷水灌溉法比较（1983年）

种类	试验地	处理温度	处理时期	规模
田间	藤坂	14.5℃(15.3)	-5~-2天	43m ²
	古川	19℃		40m ²
室内 (水槽)	秋田	14℃	-5~0	93盆
	庄内	16℃	-5~-2	90盆
	东北	15℃(18)	0	40盆
人工 气候室	藤坂	15	-5~-2	200基(座)300盆
	秋田	15	-5~0	4座 93盆
	古川	16		3座 60盆
	东北	15	0	2座 40盆

* () 内的数是1984年的数。

5、耐冷性的评价

日本各地过去一般用不孕率来表示障碍型冷害抗性的强弱，而最近都用不孕指数。以古川农试为例，耐冷性的强弱共分9级，在各级里都有相应的标准品种（表5），不孕指

数与标准品种相等时属同级的耐冷性。不孕指数是按 $\arcsin^{-1} \sqrt{\text{不孕率}(\%)}$ 的公式计算。

表 5 耐冷性程度的分级标准 (古川农试: 1984)

熟期	←耐冷性→								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
极早熟			奥人	濑滨	旭	京引127			
早熟		中母35米	代陆	奥锦	黎明	秋光			
中熟			奈早生	生	姬	糯丰	锦		

注: 分级依据: ①不孕率(%), ②不孕指数 = $\sin^{-1} \sqrt{\text{不孕率}(\%)}$

$$\text{③结实指数} = \frac{\sin^{-1} \sqrt{\text{冷水区结实率}(\%)}}{\sin^{-1} \sqrt{\text{对照区结实率}(\%)}} \quad (\sin = \arcsin)$$

二、水稻耐冷性研究成果

(一) 基础理论方面的试验结果

1、水稻的冷害感受期

日本根据长期以来各冷害年的7、8月平均气温资料, 判定发生障碍性冷害的临界温度定为20℃。凡是7月份平均气温低于20℃时都发生严重的冷害。用20℃以下的冷水对不同品种进行处理后, 按出穗期早晚调查不孕率的结果, 发现了水稻对低温的最敏感时期为出穗前7—10天的孢子体发育阶段(图5)。

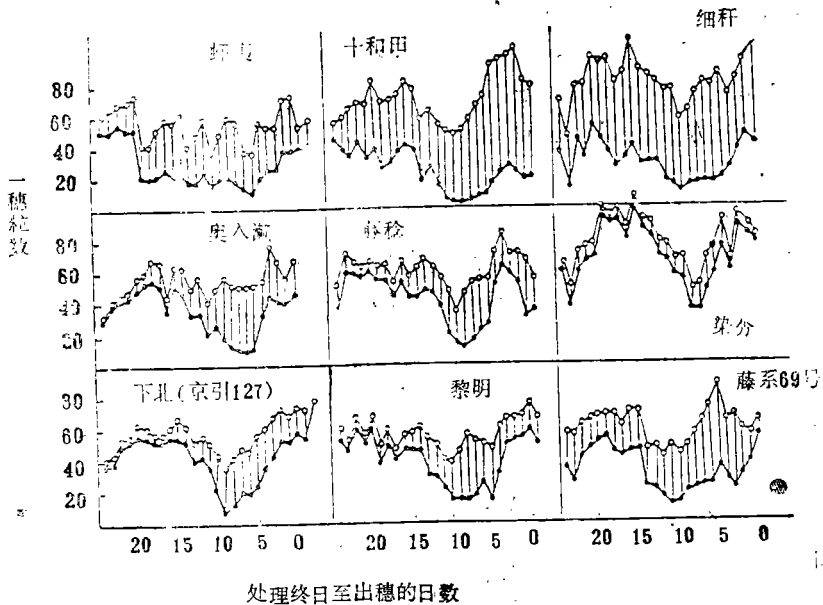


图 5 按出穗日期观察的不同处理期与粒数、结实粒数的关系 (1974)

2、不孕指数与处理日数的关系

在相同的水温条件下不孕指数的高低主要受冷水处理日数长短的影响，不同品种间的差异也明显。如耐冷性较弱的秋光，冷水处理10天左右，不孕指数即达到45，而耐冷性较强的米代则需要处理15天，不孕指数才能达到45。这种达到某一不孕指数所需要的冷水处理的天数也是评价耐冷性强弱的一种有效指标（图6）。

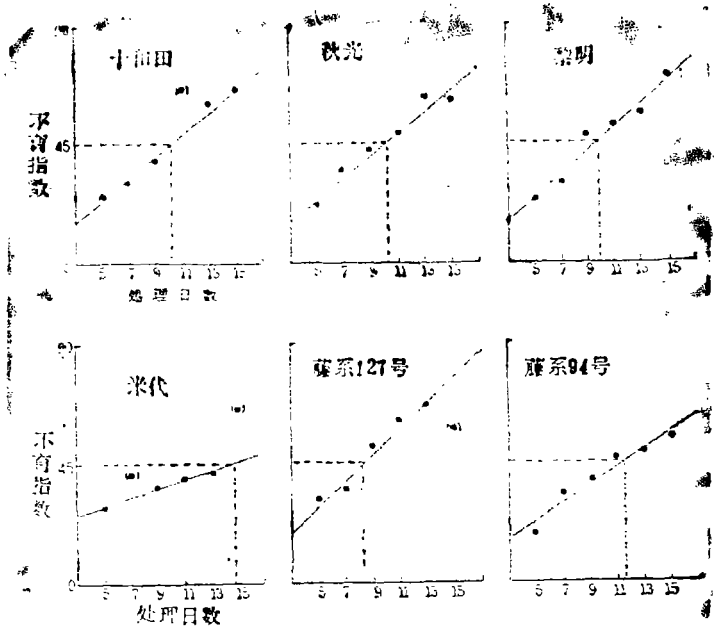


图6 品种的低温处理日数和不孕指数

($\arcsin\sqrt{\text{不孕率}}$)的关系(1983青森藤坂支场)

3、鉴定结果与年度之间的关系

由于气温、处理方法、地力等的差异，同一品种在不同年份不孕指数高低有所不同。为此，对不同年度间的差异进行相互比较结果，如图7所示，不同年度的鉴定结果之间有高度的正相关，即无论哪一年鉴定的结果，都是比较可靠的，能准确反映品种间的差异。

4、不同鉴定方法之间的关系

由于具体处理方法不同，在同一年不孕率也表现有差异。为此，对不同处理方法的鉴定结果加以比较，如

表6所示，各种处理方法之间的相关系数都达到显著标准。其中长期冷灌法与短期冷灌、人工气候室的鉴定结果之间的相关系数达到极显著标准。

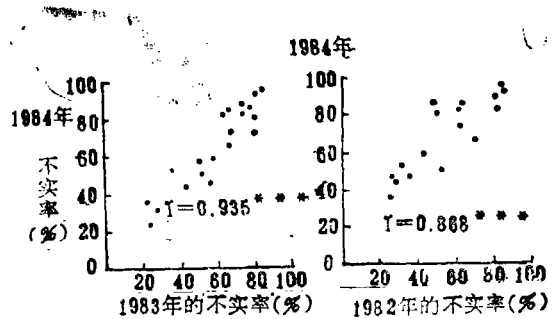


图7 不同年间不实率的相关关系(古川)

表6 根据不孕指数 ($\sin^{-1}\sqrt{\text{不孕率}(\%)}$) 的鉴定法之间的相关

	长冷	中冷	短冷	人气(孕穗)	人气(开花)
长冷	—	0.825 ^{ns}	0.237 ^{ns}	—	0.223 ^{ns}
中冷	0.772 [*]	—	0.449	—	0.434 ^{ns}
短冷	0.823 ^{**}	0.873 [*]	—	—	0.753 ^{ns}
人气(孕穗)	0.733 [*]	0.833 ^{**}	0.760 [*]	—	—
人气(开花)	0.857 ^{**}	0.838 ^{ns}	0.731 [*]	0.713 [*]	—

对角线右上是极早~早熟(n=5)，左下是中熟的相关系数(n=9)。

5、不同研究单位试验结果之间的关系

日本各研究单位的鉴定方法有所不同，所处的气候也不同，因此同一品种的不孕率在各单位表现不一。对各单位的试验结果加以比较，如表7所示除青森县藤坂支场外，各单位鉴定结果之间有高度的相关。

(二) 育种方面的结果

1、育成耐冷品种，减轻冷害。

日本经过多年的耐冷育种，相继选育出耐冷性较强的品种(表8)，大大减轻了危害。

表7 古川鉴定结果与各地耐冷鉴定结果间的相关系数

试验地	年份		
	1982年	1983年	1984年
青森县藤坂△	0.332	0.779**	0.276
福岛县冷试△	0.664*	0.427	0.932***
爱知县山间△△	0.367***	0.695***	0.447*
东北农试△△	0.870***	0.840***	-

△：黎明级；△△：丰锦级。* 5%，** 1%，

*** 0.1%的显著标准

表8 各年代选育的主要耐冷品种

评价	30	40	50	60	70	80
极强	陆羽132号*		凤越光 奥入濑	表早生 早雪 米代		庄内32号 中母35号 中母42号
强	爱国** 陆羽20号**	藤坂5号	鸟海 新雪 新鹤糯	泽花 空地	宾旭	秋誉
较强	农林1号 龟尾** 福坊主*	农林17号 33号 34号 荣光	十和田 片东风不知	下北 藤稔 黎明 清风 盐狩	陆奥锦 秋丰 丰岭 石狩	东风稔
40	6	5	9	10	6	5

注：□内的品种为70年代鉴定结果(7)。*是30年代前的旧品种。

在1900年后的85年间，日本共发生过22次大冷害。但是，近年来其受害程度较轻，在同样的冷害年的产量比过去有很大的提高，如图8所示，1900年的冷害中收成指数只有10，而在80年代的冷害中收成指数一般达80左右，大大减轻了受害。其中主要是由于育成早熟高产的品种，克服了延迟型冷害所致。在障碍性冷害方面，近年的冷害年收成指数也比以前有所提高，但相关系数达不到显著标准。

2、选育出耐障碍性冷害较强的中间亲本。

近年来日本以障碍性冷害为主攻目标，选育出中母35、中母42、庄内32号等耐冷性极强的新品系，做为中间亲本加以利用。用耐冷品种做杂交后，经过几次回交和耐冷鉴定选拔，明显提高了选拔个体的耐冷性。如图9所示，北海道农试经过三次回交后鉴定选拔的绝大多数个体的耐冷性比已有耐冷品种早雪强。

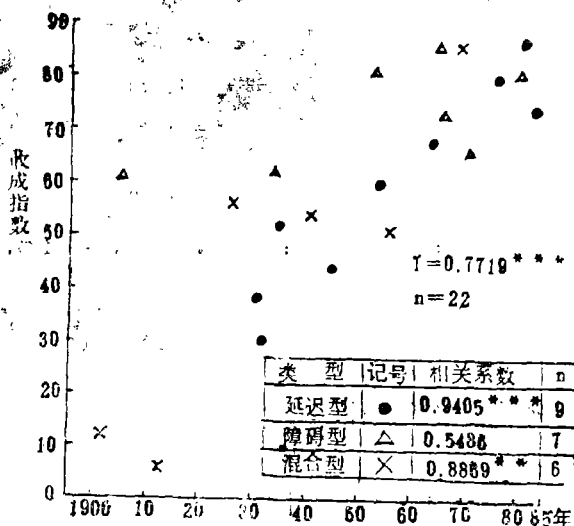


图8 日本大冷害类型、发生年及其收成指数
(根据山本隆一的文章整理)

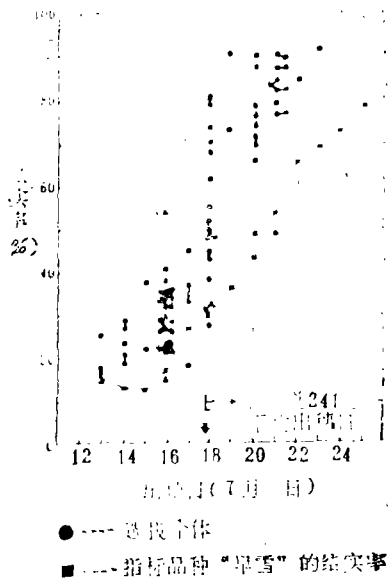


图9 silawat/4 * 北海241号B₃F₁ 世代的选拔个体的结实情况(主茎)

3、东北地区耐冷性鉴定的结果。

据1984年东北农试栽培第一部的试验结果(表9),耐冷性极强的品种有中母35、中母42、米代、轰早生、庄内32、越光、凤、陆羽132号等。其结果与藤坂、古川、秋田、福岛等农试的鉴定结果基本一致。

表9 主要品种的耐冷性评价 (1984年东北农试)

评价	不良指数	品种数	品种名(共50个品种)
极强 (2)	83 (56-85)	9	中母35, 中母42, 米代, 轰早生, 庄内32号, 陆羽132, 越光, 凤
强 (3)	69 (67-70)	7	新岛锦, 幸七, 秋誉, 藤坂5号, 爱国, 陆羽20号, 鸟海, 宾旭
较强 (4)	73 (71-73)	10	东风, 陆奥锦, 藤稔, 土利田, 龟尾, 福坊主, 农林1号, 农林17号, 秋平, 丰铃
中 (5)	79 (73-10)	7	下北, 花光, 初锦, 姬糯, 清锦, 笹锦, 早锦
较弱 (6)	83 (81-85)	11	黎明, 秋光, 笹稔, 黄金光, 里穗波, 羽后锦, 黄金糯, 丰国, 农林41号, 笹时雨, 三吉
弱 (7)	87 (86-38)	6	陆奥穗波, 秀娘糯, 丰锦, 朝明, 农林21号, 大空

三、存在问题

日本虽然在耐冷育种方面取得了不少成果,但是也存在一些问题。

(一) 进展缓慢

日本耐冷育种的历史较长,在解决延迟型冷害方面跨了一大步。然而,在选育耐障碍性冷害的品种方面,见效慢,成果不显著。分析其原因,主要有两条:

