

水旱栽培条件下水、陆稻品种产量和生理性状比较

凌祖铭 李自超* 余荣 穆平

(中国农业大学作物学院, 北京 100094)

摘要 选用来自日本、中国华北、东北、西北等地的早熟粳型水稻品种 8 个和陆稻品种 7 个, 在盆栽保水、盆栽旱种和大田旱种 3 种栽培条件下, 比较水稻品种和陆稻品种的穗长、穗粒重、实粒数、结实率、百粒重和株粒重等产量性状, 叶片水势、叶片鲜重、气孔阻力、植株高度和叶片卷叶度等生理及其它地上部性状的差异。结果表明: 旱种条件下水稻、陆稻产量都低于保水栽培的产量, 水稻品种的抗旱系数(旱种产量/保水产量)低于陆稻; 旱种下株高低于保水种植; 陆稻品种的叶片水势均高于水稻品种, 且叶片水势与抗旱系数密切相关; 旱种条件下陆稻气孔阻力低于水稻品种, 保水条件下并无规律性; 品种间叶片鲜重差异不大, 但陆稻品种稍大于水稻品种; 陆稻的叶片卷叶度低于水稻。此外还提出苗期通过根系或旱种卷叶度, 后期通过叶片水势鉴定水陆稻抗旱性的方法。

关键词 水稻; 陆稻; 抗旱性; 产量性状; 生理性状

中图分类号 S511.6

Comparison of Yield and Physiological Characters Between Upland Rice and Paddy Rice Cultivars Under Submerged and Rain-fed Conditions

Ling Zuming Li Zichao Yu Rong Mu Ping

(College of Crop Science, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract Some yield and physiological characters, including panicle length, weight of panicle, kernel number per panicle, percent of seed-setting, 100-kernel weight, weight of grain per plant, plant height, leaf water potential, flesh leaf weight, stomata resistance and degree of leaf-rolling, were compared between a set of 8 paddy rice cultivars and a set of 7 upland rice cultivars. They are all early-mature japonica type, which are come from Japan, Northeast China, North China and Northwest China respectively, and were cultivated under 3 different conditions, i.e. submerged in pot, rain-fed in pot and rain-fed in field. The results showed the yield of paddy and upland rice under submerged condition were higher than that under rain-fed condition. Index of drought-resistance (yield per plant under rain-fed cultivation/yield per plant under submerged cultivation) of upland rice cultivars were higher than that of paddy rice cultivars. Plant height under rain-fed condition were lower than that under submerged condition. Leaf water potential of upland rice cultivars were all higher than that of paddy rice cultivars, and there was a significant correlation between leaf water potential and index of drought resistance. Stomata resistance of upland rice cultivars was lower than that of paddy rice cultivars under rain-fed condition, however there was no fixed

收稿日期: 2001-08-06

国家自然科学基金资助项目(30070464), 国家 863 计划资助项目(2001AA 211091)

* 李自超, 教授, 博士生导师, 研究方向为稻种遗传资源、水稻陆稻抗旱机理研究和分子育种。联系作者。北京圆明园西路 2 号

trend if the two kinds of cultivars were cultivated under submerged condition. The difference in flesh leaf weight were not significant among cultivars, though the upland ones were little higher for upland rice cultivars. The degree of leaf-rolling of upland rice cultivars were lower than that of paddy rice cultivars. In addition, an approach of drought-resistant evaluation for upland and paddy rice cultivar is proposed, i.e., firstly investigating roots growth and degree of leaf-rolling under rain-fed condition during seedling period, then testing water potential of leaf in the later period.

Key words paddy rice; upland rice; drought resistance; yield character; physiological character

在我国,水资源短缺和粮食需求量增加的矛盾越来越突出^[1]。据统计我国用水量的80%是农业用水,农业用水的80%是种植水稻用水。在北方地区由于干旱严重,水稻种植面积逐年减少。由于传统的旱稻品种产量低,品质差,而水稻品种旱种产量不稳定。因此,开展水、陆稻抗旱性研究,寻找抗旱品种的遗传特性和遗传规律,很有必要。水、陆稻是由于水的供应状况不同而分化出来的2个生态类型,二者在形态特征、生理生化过程等方面都有较大的分化。本研究是根据水、陆稻品种在水、旱栽培条件下产量和生理性状的差异,寻找抗旱品种的遗传特性和抗旱鉴定指标,为栽培稻的抗旱性研究、抗旱资源鉴定和抗旱品种的选育提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试品种

试验选用来自日本、中国华北、东北、西北等地的早熟粳型水稻和陆稻品种15个,其中水稻品种8个为长白6号、坊主2号、石狩、荣光、寒九、合江20、双丰8号、北丰3号;陆稻品种7个为东农896-4、水陆5号、77-7-1-1、小白旱稻、秦爱、白大肚、白芒稻。

1.2 试验设计

试验采用盆栽和大田栽培。盆栽用塑料薄膜防雨,栽培方式采用保水(下称“盆水”)和干旱(下称“盆干”),保水栽培是在水稻全生育期中保持水层,旱栽是指不保持水层,人工浇水保持湿润,每个处理3个重复;大田栽培是在大田旱种管理,完全随机区组设计,3次重复,小区面积为 1.2 m^2 。

1.3 测定方法

叶片水势、叶片鲜重和气孔阻力分别采用北京农业大学监制的ZS-I型植物水势仪、XQ-OIA型植物鲜重水分仪^[2,3]和LZ-160Q Li-CoR ZncliconNB气孔阻力仪测定,每天中午测定保水和干旱各一个重复。剑叶叶片卷叶度分5个级别,1级为完全平展,5级为完全卷叶。产量性状的考种采用每处理每品种选取5株进行考种,性状有穗长、穗粒重、株粒重、实粒数、结实率和百粒重等。

2 结果与分析

2.1 水旱栽培条件下水、陆稻品种产量性状比较

2.1.1 盆栽的保水和干旱条件下水、陆稻品种产量性状比较 通过方差分析可知,在盆栽的保水和干旱条件下,水、陆稻各品种产量性状差异均达到显著水平。从表1、2可以看出,几乎所有参试品种产量性状盆水值都高于盆干值,这说明所有品种的产量性状都受到干旱的影响。

表 1 不同栽培条件下水稻品种性状比较

性 状	处 理	长白 6 号	坊主 2 号	石 狩	荣 光	寒 九	合江 20	双丰 8 号	北丰 3 号	平均数	相关 系数
穗长/cm	旱田	15.70	14.60	15.10	16.00	13.80	15.90	15.30	17.20	15.45	0.790*
	盆干	12.80	11.10	13.95	15.60	12.00	12.87	15.00	17.35	13.83	0.818**
	盆水	14.17	13.40	13.27	14.13	13.10	13.97	15.20	17.60	14.36	
	比值	0.90	0.83	1.05	1.10	0.91	0.92	0.99	0.98	0.96	
穗粒重/g	旱田	1.64	0.85	1.27	1.44	1.28	1.39	1.86	1.38	1.39	0.810**
	盆干	0.86	0.30	1.00	1.10	0.94	0.78	1.32	1.10	0.93	0.609
	盆水	1.34	0.60	0.67	1.41	1.24	1.55	1.51	1.69	1.25	
	比值	0.64	0.44	1.49	0.78	0.76	0.50	0.87	0.65	0.77	
实粒数	旱田	64.10	41.30	59.40	48.90	48.00	69.90	71.20	47.60	56.30	0.598
	盆干	47.80	16.40	45.30	47.90	43.30	46.30	66.80	57.00	46.35	0.856**
	盆水	77.20	29.30	51.90	57.20	52.40	75.50	79.60	70.70	61.73	
	比值	0.62	0.56	0.87	0.84	0.83	0.61	0.84	0.81	0.75	
结实率/%	盆干	0.87	0.83	0.88	0.95	0.85	0.91	0.93	0.88	0.89	0.617
	盆水	0.93	0.93	0.93	0.96	0.91	0.96	0.95	0.88	0.93	
	比值	0.93	0.90	0.95	0.99	0.93	0.95	0.98	1.00	0.95	
百粒重/g	旱田	2.47	2.72	2.44	3.00	2.60	2.40	2.60	2.94	2.65	0.084
	盆干	1.97	2.00	2.25	2.20	2.20	1.67	2.20	1.80	2.04	0.627
	盆水	2.17	2.40	2.37	2.65	2.43	2.29	2.65	2.30	2.41	
	比值	0.91	0.83	0.95	0.83	0.90	0.73	0.83	0.78	0.85	
株粒重/g	旱田	2.56	1.58	2.00	1.64	1.86	1.89	2.72	1.69	1.99	0.317
	盆干	0.86	0.30	0.84	1.29	0.94	1.10	1.32	1.10	0.97	0.411
	盆水	1.70	1.42	1.21	1.41	1.78	1.96	1.81	1.80	1.64	
	比值	0.51	0.21	0.69	0.91	0.53	0.56	0.73	0.61	0.59	
叶片水势/ kPa	旱田	-1.242	-1.220	-1.242	-1.217	-1.142	-1.167	-1.240	-1.16	-1.204	0.227
	盆干	-1.070	-1.250	-1.150	-1.117	-1.180	-1.100	-1.100	-0.925	-1.112	0.649
	盆水	-0.940	-1.000	-1.130	-0.925	-0.960	-0.870	-0.960	-0.825	-0.951	
气孔阻力/ $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	旱田	5.82	4.09	4.41	4.38	4.94	3.87	5.26	5.43	4.78	0.504
	盆干	3.11	3.95	3.65	4.16	4.75	4.56	3.96	4.24	4.06	0.513
	盆水	1.90	2.50	2.26	3.12	2.54	3.03	2.30	4.30	2.74	
叶片鲜重/ $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$	旱田	9.87	10.48	10.30	10.19	9.30	9.83	10.42	10.68	10.13	0.534
	盆干	8.69	10.60	10.39	10.45	9.73	9.51	10.58	9.86	9.98	0.869**
	盆水	9.47	10.90	10.47	10.17	9.53	9.86	10.60	9.97	10.12	
株高/cm	盆干	56.00	63.01	63.50	77.20	63.10	59.30	68.00	64.00	64.26	0.426
	盆水	65.00	74.50	62.00	79.10	90.90	68.80	78.90	76.20	74.43	
叶片卷叶度		3.40	2.50	2.00	3.30	2.00	1.80	2.10	3.20	2.54	

水稻和陆稻品种所受干旱影响的程度是不同的,除穗长外,穗粒重、每穗实粒数、结实率、百粒重和株粒重等产量性状水稻品种盆干值与盆水值之比都低于陆稻品种,从反映实际产量的株粒重看,8个水稻品种平均比值为0.59,其中荣光最高,达0.91,是水稻中的抗旱品种,曾在生产上用于水稻旱种,其次是双丰8号,达0.73,也有一定的抗旱性,其他品种都低于0.70,最低为坊主号,为0.21。7个陆稻品种的平均比值为0.82,其中有5个品种在0.80以上,2个品种在0.70以上。总之,由于水稻和陆稻品种在以上2种栽培条件下其产量都是有差异的,而且与各品种本身产量潜力有关,所以用旱栽下品种产量的绝对值衡量品种的抗旱性是不准确的,用旱栽与水栽条件下产量性状的作为抗旱系数鉴定品种的抗旱性可能更为确切。

表2 不同栽培条件下陆稻品种性状比较

性状	处理	东陆 896-4	水陆 5号	77-7- 1-1	小白 旱稻	秦爱	白大肚	白芒稻	平均数	相关 系数
穗长/cm	旱田	15.60	18.80	16.10	17.50	16.10	16.80	19.40	17.19	0.702
	盆干	11.50	15.07	16.57	15.20	13.70	13.70	18.60	14.91	0.952**
	盆水	11.87	15.30	17.17	15.90	15.80	15.20	19.00	15.75	
	比值	0.97	0.98	0.96	0.96	0.87	0.96	0.98	0.95	
穗粒重/g	旱田	2.00	1.25	1.37	1.10	1.60	0.99	2.03	1.48	0.431
	盆干	0.89	1.00	1.40	0.85	1.23	0.86	1.38	1.09	0.968**
	盆水	1.05	1.12	1.57	0.89	1.52	0.91	1.48	1.22	
	比值	0.85	0.89	0.89	0.96	0.81	0.94	0.93	0.90	
实粒数	旱田	63.70	58.00	64.50	58.20	69.10	30.50	72.10	59.44	0.649
	盆干	40.60	40.80	90.90	38.20	68.70	28.50	65.10	53.26	0.997**
	盆水	46.70	49.50	99.90	41.70	76.90	32.20	70.10	59.57	
	比值	0.87	0.82	0.91	0.92	0.89	0.88	0.93	0.89	
结实率/%	盆干	0.92	0.89	0.95	0.93	0.94	0.91	0.93	0.92	0.675
	盆水	0.93	0.91	0.95	0.94	0.95	0.96	0.95	0.94	
	比值	0.99	0.98	1.00	0.99	0.99	0.95	0.98	0.98	
	旱田	2.93	2.59	2.63	3.00	2.67	2.12	2.73	2.67	0.239
百粒重/g	盆干	2.07	2.23	2.10	2.40	1.97	1.97	1.50	2.03	0.873**
	盆水	2.30	2.30	2.13	2.25	2.19	2.00	1.73	2.13	
	比值	0.90	0.97	0.98	1.07	0.90	0.98	0.87	0.95	
	旱田	2.85	1.68	1.85	2.03	2.75	1.17	4.69	2.43	0.605
株粒重/g	盆干	0.90	1.20	1.50	1.10	1.35	1.30	2.00	1.34	0.970**
	盆水	1.23	1.37	1.80	1.26	1.75	1.51	2.82	1.68	
	比值	0.81	0.88	0.83	0.87	0.77	0.86	0.71	0.82	
	旱田	-1.000	-0.990	-0.948	-0.825	-0.865	-0.920	-0.860	-0.915	0.874**
叶片水势/kPa	盆干	-1.000	-1.050	-0.925	-0.830	-0.900	-0.860	-0.800	-0.909	0.311
	盆水	-0.670	-0.880	-0.730	-0.780	-0.760	-0.870	-0.625	-0.759	
	旱田	4.32	3.00	3.25	3.35	3.88	3.79	3.22	3.54	0.398
	盆干	6.48	4.24	5.50	3.10	3.58	3.16	3.00	4.15	
气孔阻力/ cm·s ⁻¹	盆水	1.83	2.82	2.46	2.90	3.00	2.72	2.80	2.65	
	旱田	11.24	10.50	11.25	10.28	11.00	9.85	11.60	10.82	0.733*
	盆干	10.58	11.45	11.00	10.18	11.24	9.39	11.50	10.76	0.764*
	盆水	10.89	10.67	11.14	10.50	11.50	10.31	11.70	10.96	
株高/cm	盆干	62.70	78.20	74.50	69.45	68.20	65.70	80.20	71.28	0.858**
	盆水	66.70	80.50	87.50	71.30	75.10	76.40	90.40	78.27	
叶片卷叶度		1.00	1.40	1.80	1.00	1.40	1.00	1.00	1.23	

从盆干值与盆水值的相关系数来看,水稻品种只有穗长达到显著水平,陆稻品种除结实率外其它性状都达到极显著水平,相关系数分别为穗长 0.952、穗粒重 0.968、实粒数 0.997、百粒重 0.873、株粒重 0.970,结实率为 0.675,也接近显著水平,这些说明陆稻品种的产量潜力在保水栽培和旱栽培条件下是一致的,而水稻品种的产量潜力在 2 种栽培条件下并不一致,可能是不同的水稻品种其抗旱能力上的差异引起的。在所考查的产量性状中,仅有穗长在水、陆稻中均达到显著水平,可能干旱对穗长这一性状影响较小。

另外,水稻品种株粒重盆干的变异系数(0.34)明显高于盆水的变异系数(0.16),说明不同的水稻品种的株粒重对于干旱反映不同,而陆稻品种株粒重盆干的变异系数(0.26)低于盆水的变异系数(0.33),说明陆稻品种株粒重的差异可能主要是品种潜力所致,并非干旱处理引起。

2.1.2 盆栽干旱与大田旱种条件下产量性状的比较 从表 1 和表 2 可以看出,大多数水、陆稻品种的穗长、穗粒重、实粒数、百粒重和株粒重等性状的大田值都高于盆栽值;2 种干旱条件

下, 水稻品种只有穗长($r=0.790$)和穗粒重($r=0.810$)2 个性状达到显著相关, 说明变化趋势一致, 其它产量性状都未达到显著水平; 陆稻品种所有产量性状均未达到显著水平, 说明该试验中盆栽干旱和大田旱种 2 种条件下, 各品种的产量性状的变化趋势并不一致。这可能是盆栽试验中, 每盆栽种株数过多造成与大田实际种植条件差异太大引起的。

2.2 水、旱条件下生理性状及比较

在盆栽的保水、干旱及大田旱种等 3 种条件下, 研究了水、陆稻品种的叶片水势、气孔阻力、叶片鲜重、植株高度和叶片卷叶度等地上部性状, 通过方差分析可知, 品种间各性状有显著差异。

2.2.1 叶片水势 从表 1 和表 2 可以看出, 在相同栽培条件下陆稻品种叶片水势基本上全部高于水稻品种的叶片水势, 在旱田、盆干和盆水 3 种栽培条件下陆稻品种的平均叶片水势分别为-915、-909 和-759, 而水稻品种分别为-1204、-1112 和-951。旱田条件下陆稻品种的叶片水势全部大于-1000, 而水稻的叶片水势全部小于-1100, 这表明水稻和陆稻叶片水势有一定差异, 陆稻品种叶片水势一般都高于水稻品种。用水、陆稻 15 个品种计算相关系数可得, 旱田与盆干的相关系数为 $r=0.843$, 盆干与盆水的相关系数为 $r=0.779$, 都达到极显著水平, 用水稻和陆稻品种分别计算其相关系数, 除陆稻的旱田与盆干达到极显著外 ($r=0.874^{**}$), 其他相关系数不显著, 一方面可能是所用的水陆稻品种较少, 另一方面说明水稻和陆稻品种的叶片水势在不同的栽培条件下表现并不完全一致。因此, 在相同条件下, 特别是在干旱处理条件下测定水、陆稻品种的叶片水势, 用以比较其抗旱性较为可靠。

2.2.2 气孔阻力 该性状在品种间差异较大, 盆水条件下的气孔阻力基本都低于干旱下的气孔阻力, 这说明气孔阻力的大小能反映出土壤水分和水、旱条件下植株体内的水分状况差异。干旱条件下水稻品种气孔阻力高于陆稻品种, 而在保水条件下则无这样的趋势。相关分析可知, 3 种栽培条件无相关性, 说明在不同的土壤水分状况下, 不同品种间气孔阻力的增加或减小并无一致性。

2.2.3 叶片鲜重 保水条件下多数品种叶片鲜重略高于干旱条件下相应品种的鲜重, 水稻和陆稻品种间无明显区别, 3 种栽培条件下品种间变异趋势基本一致, 15 个水稻和陆稻品种的相关系数为旱田与盆干 $r=0.747$, 盆干与盆水 $r=0.862$, 均达极显著水平, 它与叶片水势一样, 在不同水分状况下所反映的品种间差异是基本一致的。

2.2.4 株高 干旱各品种株高均低于相应保水品种的植株高度, 2 种水分状况下水稻和陆稻品种间变异系数差异不大, 说明在干旱条件下不同品种株高的降低基本相同, 2 种水分状况下, 15 个品种的相关系数为 $r=0.640$ (达显著水平), 7 个陆稻品种的相关系数为 $r=0.858$ (达极显著水平), 8 个水稻品种的相关系数不显著 ($r=0.426$)。说明陆稻品种在不同水分处理条件下株高的变化趋势一致。

2.2.5 叶片卷叶度 由表 1 和表 2 可以看出, 所有陆稻品种的叶片卷叶度都低于水稻品种, 说明陆稻品种在土壤相对缺水时, 叶片细胞还能保持较高的膨压, 使叶片卷叶度降低, 因此叶片卷叶度可用作鉴定耐旱性的指标之一。

2.3 生理性状及株高与抗旱系数的相关性分析

以株粒重为产量, 盆干与盆水条件下的产量比为抗旱系数, 计算与叶片水势、气孔阻力、叶片鲜重、植株高和叶片卷叶度的相关系数。15 个品种的相关系数中, 叶片水势与抗旱系数 $r=0.57^*$, 盆干下的株高与抗旱系数 $r=0.59^*$, 株高的盆干/盆水值与抗旱系数 $r=0.52^*$ 均达显著水平, 株粒重与各性状相关不显著, 说明干旱下植株的产量是一个复杂的性状, 受多种因素

的影响,干旱下的绝对产量难以反映其抗旱能力,抗旱系数的大小反映其受干旱的影响程度,可一定程度的反映其抗旱能力的大小。因此,抗旱系数、叶片水势、干旱与保水下的株高比值、叶片卷叶度等可作为水、陆稻抗旱鉴定的形态和生理指标。

3 讨论

3.1 品种间叶片水势与抗旱性

叶片水势反映了植株在干旱条件下植株体内的水分状况,许多土壤学家和生理学家采用植物的水势表示植物的受旱程度,能保持较高的植株水势的植物具有较强的抗旱性。农学家和育种家认为,在一定干旱条件下能获得相对高的产量的品种具有较强的抗旱性,即采用抗旱系数(干旱条件下的产量/保水条件下的产量)来表示不同品种的抗旱程度^[4]。事实上这2种抗旱定义是一致的,本试验研究表明,叶片水势与抗旱系数相关显著。

参试品种可根据叶片水势的高低分为3类:

第1类 高叶片水势品种:东农896-4,水陆5号,77-7-1-1,小白旱稻,秦爱,白大肚,白芒稻等,这类品种全为陆稻,其水势高于-1 000 kPa。

第2类 中叶片水势品种:寒九,合江20,北丰3号等,该类品种都是水稻品种,叶片水势在-1 000~-1 200 kPa之间。

第3类 低叶片水势品种:长白6号,坊主2号,石狩,荣光和双丰8号等,这类品种也全为水稻品种,叶片水势均在-1 200 kPa以下。

3.2 水、陆稻的抗旱性及其鉴定

植物的抗旱性是众多形态性状、生理生化性状的综合表现,水、陆稻资源丰富,由水稻到陆稻生态适应性极其复杂,其抗旱机制也极其复杂,因此任何单一指标都难以准确地衡量品种的抗旱性,有关水陆稻的抗旱性主要集中在根系性状、气孔行为及叶片水势等方面,孙传清、葛圣伦等研究表明^[5,6],根基粗,最长根长与水陆稻的抗旱性关系密切。有系统地研究水陆稻干旱后原生质体特性、质膜特性、细胞的渗透势、渗透调节、压力势、细胞弹性等方面的资料较少,有待借鉴其它植物的抗旱性研究方法和结果,以加强水陆稻抗旱性研究及抗旱品种的鉴定。

从本研究及其他相关研究可以提出以下抗旱鉴定方法:(1)苗期选择幼根粗(根基粗、根中粗)的幼苗,淘汰细根苗;后期(孕穗期或灌浆期)测定其叶片水势,选择高水势株,淘汰低水势株,或(2)旱种条件下在苗期选择低卷叶度株,淘汰中、高卷叶度株;后期再测定叶片水势,从中选择高水势株。

参 考 文 献

- 1 Hengsdijk H, Bindraban P. Water-saving rice production systems. Proceeding of an international workshop on water-saving rice production systems at Nanjing University, China, April 2- 4, 2001: 3~ 4
- 2 凌祖铭,彭运生,张运荣,黄亚平. 用XQ-01A型鲜重水分仪测定水陆稻在水分亏缺下叶片含水量的变化. 北京农业大学学报, 1986, 12(4): 439~ 445
- 3 凌祖铭,才宏伟,彭运生,郑建光. 水陆稻叶片鲜重和测定方法及剑叶日变化的研究. 作物抗逆性鉴定技术与原理论文集. 1987
- 4 高勇. 水稻抗旱性鉴定指标探讨. 辽宁农业科学, 1991, (1): 16~ 20
- 5 孙传清,张文绪. 水稻根系性状和叶片水势的遗传及相关研究. 中国农业科学, 1996, 28(1): 42~ 48
- 6 葛圣伦. 不同环境条件下水陆稻根系发育若干形态指标及其分类. [学位论文]. 北京:北京农业大学 1992