

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2009.00921

东北地区水稻主要株型性状比较分析

李红宇¹ 侯昱铭¹ 陈英华¹ 权成哲² 闫平³ 刘梦红⁴ 武洪涛³
陈温福¹ 徐正进^{1,*}

¹ 沈阳农业大学水稻研究所 / 农业部作物生理生态与遗传育种重点开放实验室 / 辽宁省北方粳稻育种重点实验室, 辽宁沈阳 110161;
² 吉林省水稻研究所, 吉林公主岭 136100; ³ 黑龙江省五常水稻研究所, 黑龙江五常 150229; ⁴ 黑龙江农垦科学院植物保护研究所, 黑龙江佳木斯 154000

摘要: 以 2006 年和 2007 年辽宁、吉林、黑龙江 3 省水稻区域试验品种(系)为材料, 分别在辽宁沈阳、吉林公主岭和黑龙江五常研究了水稻的株型特征及其与产量的关系。结果表明东北地区多数品种是穗型直到半直立(82.6%)、着粒密度中到稀(80.2%)、穗重轻到中(72.8%)、二次枝梗分布下部优势型(98.8%)。黑龙江主要是弯、半直立穗型品种, 吉林以半直立穗型品种为主, 辽宁则以直立穗型品种为主。吉林和黑龙江品种多数是中、稀穗型和中、轻穗型, 辽宁主要是中、密穗型和中、重穗型。穗颈大、小维管束数和第 2 节间大、小维管束数平均值表现为辽宁 > 吉林 > 黑龙江。辽宁上三叶长、宽大于吉林和黑龙江, 但叶基角较小。穗颈大、小维管束数和第 2 节间大、小维管束数与一、二次枝梗数和一、二次枝梗粒数及二次枝梗粒率呈极显著正相关, 与一、二次枝梗结实率和千粒重呈负相关。聚类分析结果表明, 东北地区育种单位选育的品种多数处于中、高产量水平, 总体上有穗型直立、着粒密度大、重穗型、穗颈维管束数多、上三叶长且宽而角度小、株高和生物产量高有利于高产的趋势。

关键词: 水稻; 株型; 穗部性状; 产量

Comparison of Rice Plant Types in Northeast Region of China

LI Hong-Yu¹, HOU Yu-Ming¹, CHEN Ying-Hua¹, QUAN Cheng-Zhe², YAN Ping³, LIU Meng-Hong⁴, WU Hong-Tao³, CHEN Wen-Fu¹, and XU Zheng-Jin^{1,*}

¹ Rice Institute, Shenyang Agricultural University / Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology, Genetics and Breeding, Ministry of Agriculture / Key Laboratory of Northern Japonica Rice Breeding of Liaoning, Shenyang 110161, China; ² Rice Institute of Jilin Province, Gongzhuling 136100, China; ³ Wuchang Rice Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Wuchang 150229, China; ⁴ Plant Protection Institute, Academy of Heilongjiang Land-Reclaimable Sciences, Jiamusi 154000, China

Abstract: Eighty-one rice cultivars and lines tested in regional trial in Liaoning, Jilin, and Heilongjiang provinces in 2006 and 2007 were used to study the plant-type characteristics and their relationships with yield in Shenyang, Gongzhuling, and Wuchang. The results indicated that the plant-types of most cultivars and lines in northeast region of China were EPT (erect panicle type) or SEPT (semi-erect panicle type) according to PNC (panicle-neck curvature), DPT (dense panicle type) or SDPT (semi-dense panicle type) according to grain density, MPT (middle panicle type) or HPT (heavy panicle type) according to panicle weight and low part panicle superior. Most rice cultivars or lines were CPT (curve panicle type) or SEPT in Heilongjiang, SEPT in Jilin and EPT in Liaoning; semi-dense or loose panicle type, and MPT (middle panicle type) or TPT (thin panicle type) in Jilin and Heilongjiang, and dense panicle type and HPT (heavy panicle type) in Liaoning. Large vascular bundles in neck (LVBN), small vascular bundles in neck (SVBN), large vascular bundles in the second internode (LVBS) and small vascular bundles in the second internode (SVBS) ranked as Liaoning > Jilin > Heilongjiang; length and width of the top three leaves of Liaoning cultivars were the largest, but basic angle less than that of Jilin and Heilongjiang. LVBN, SVBN, LVBS, and SVBS were very positively correlated with

本研究由国家自然科学基金项目(30871468), 引进国际先进农业科学技术计划(948 计划)项目, 农业科技成果转化资金项目(2007GB2B00062)资助。

* 通讯作者(Corresponding author): 徐正进, E-mail: xuzhengjin@126.com

第一作者联系方式: E-mail: ndrice@163.com

Received(收稿日期): 2008-12-04; Accepted(接受日期): 2008-12-24.

primary branches, primary branch grains, secondary branches, secondary branch grains, and secondary branch grain rate, but negatively correlated with seed-setting rate and 1000-grain weight of primary branch and secondary branch. Cluster analysis showed that most cultivars in northeast of China were high-yielding or mid-yielding. With a tendency of more vascular bundles, longer and wider the top three leaves, higher plant, larger biomass and smaller angle of leaf.

Keywords: Rice; Plant type; Panicle trait; Yield

1959 年, 角田重三郎^[1-2]在对水稻、大豆和甘薯的研究中首次提出株型的概念。之后, 澳大利亚学者 Donald^[3]于 1968 年首次提出作物理想株型的概念。理想株型是指在特定生态条件下, 与丰产性有关的各种有利性状的最佳组配, 包括个体和群体两个水平, 可分为狭义株型(plant morphology)和广义株型(plant type)^[4]。一般而言, 株型即指狭义株型, 其中叶片的形态、空间分布和受光姿态是构成株型的主要内涵, 根型、茎型、穗型等则是株型在形态学上的外延。而理想株型就是着眼于塑造优良受光姿态, 使作物在全生育期充分捕获和利用太阳光能, 达到最大限度提高经济产量的目的^[4]。水稻始于 20 世纪 50 年代末的矮化育种和后来的理想株型育种, 都是以株型改良为突破口。20 世纪 80 年代以来兴起的水稻超高产育种, 也是以塑造新株型为主要途径, 并根据生态环境等提出多种超高产株型模式^[5-9]。水稻的株型由基本型和生态型两个部分构成, 基本型是所有理想株型水稻的共性性状, 生态型是因气候等生态环境条件和栽培因素的影响而与之相适应的株型性状^[10]。迄今对水稻株型的基本型进行了广泛研究, 而对不同地区的生态型的比较研究不够深入。

有研究发现, 南方单季稻单位面积穗数自南向北递增, 由低海拔向高海拔递增^[10], 而地理纬度不同, 株型与群体广分布的关系, 以及对株型和田间配置的要求也不同^[11-13]。根据研究结果和生产经验, 分别提出了黄淮地区常规粳稻^[14]、长江下游杂交籼稻^[7,10]的具体株型指标。我国东北生态条件有利于粳稻生产, 历来以高产优质著称, 而且商品率超过 50%, 是我国优势农产品产业带之一, 也是重要的商品粮基地。但从辽宁南部到黑龙江北部, 纬度从大连的 N38°43'到漠河的 N53°27', 生育期从 110 d 到 170 d, 叶片数从 10 片到 17 片, 10℃活动积温从 2 100℃到 3 600℃, 对如此明显差异条件下的水稻形态生理特性及产量和品质, 迄今缺乏系统的研究。为此, 本文研究了东北地区水稻的株型特点, 比较了不同省份和不同产量水平株型性状的差异, 以期确定不同地区最佳株型模式, 充分发挥生态优势提供科学依据。

1 材料与方 法

以 2006 年和 2007 年辽宁、吉林、黑龙江 3 省水稻区域试验品种(系)为试材, 分别在辽宁沈阳、吉林公主岭和黑龙江五常进行试验, 基本情况见表 1。

表 1 试验基本情况
Table 1 Basic information of the experiment

地点 Site	年份 Year	参试品种数目 No. of varieties	小区面积 Plot area (m ²)	播种日期 Sowing date (day/month)	播种量 Seeding rate (kg m ⁻²)	插秧日期 Seeding date (day/month)	行株距 Distance of rows and hills(cm)	土壤类型 Soil type
辽宁沈阳 Shenyang, Liaoning	2006	13	12.6	12/4	0.20	20/5	30×13.3	棕壤土 Brunisolic soil
	2007	14	11.5	13/4	0.25	25/5	30×16.7	棕壤土 Brunisolic soil
吉林公主岭 Gongzhuling, Jilin	2006	12	14.7	11/4	0.20	21/5	30×20.0	黑钙土 Chernozemic soil
	2007	16	15.0	10/4	0.25	23/5	30×20.0	黑钙土 Chernozemic soil
黑龙江五常 Wuchang, Heilongjiang	2006	10	18.0	15/4	0.30	17/5	30×13.3	河积冲壤土 Alluvial soil
	2007	16	18.0	13/4	0.25	15/5	30×16.7	河积冲壤土 Alluvial soil

2006 年和 2007 年取齐穗后 20 d 每小区中等茎 5 个, 测定上三叶基角(叶片基部挺直部分与茎秆的

夹角)上三叶长、宽。成熟期收获前调查每小区除边行外长势均匀的 1 行的穗数, 每小区按平均穗数取

有代表性的中等植株 5 株, 测量穗重并调查所有穗的一次枝梗数, 按一次枝梗众数取其中 10 穗, 将一次枝梗按穗轴自下而上编号, 分别测定每个一次枝梗的二次枝梗数和一、二次枝梗的实粒数及空秕粒数, 分别计算一、二次枝梗结实率、二次枝梗粒率(二次枝梗粒数占总粒数的百分比), 并计算穗型指数(二次枝梗粒数最多的一次枝梗编号与一次枝梗数之比, panicle type index, PTI)^[15]、着粒密度、单穗重、每穗粒数、结实率、千粒重等。2007 年除以上测定项目外, 齐穗期每小区取中等茎 5 个, 采用徒手切片法在解剖镜下计数穗颈和第 2 节间大、小维管束数。齐穗后 20 d 每小区取中等茎 5 个, 测定颈穗弯曲度(剑叶叶枕到穗尖的连线与茎秆的夹角)^[12]。

根据前文^[15]标准, 按穗的直立程度将试材划分直立、半直立和弯曲 3 种穗型, 以穗重、着粒密度、穗型指数为指标, 分别将试材划分为重、中、轻、密、

中、稀、上、中、下部优势各 3 种穗型。文中维管束性状和颈穗弯曲度为 2007 年数据, 其他除特别说明外均为两年平均值。

2 结果与分析

2.1 产量及其相关因素比较

尽管年份间有一定差异, 但是产量及其相关因素两年平均值还是表现出明显规律性(表 2)。辽宁两年平均单产 9.18 t hm⁻², 极显著高于吉林的 7.81 t hm⁻²和黑龙江的 7.39 t hm⁻², 吉林虽略高于黑龙江, 但其差异没有达到显著水平。从产量结构分析, 辽宁省的特点是每穗粒数多、穗数少、千粒重低, 吉林和黑龙江类似, 都表现为每穗粒数少、穗数多、千粒重高。从物质生产与分配分析, 辽宁的特点是生物产量高、收获指数低, 而吉林和黑龙江则是生物产量低、收获指数高。这与笔者等^[15]过去研究结果趋势一致。

表 2 产量及其相关因素比较
Table 2 Comparison of yield and yield components

地点 Site	年份 Year	穗数 No. of panicles (No. m ⁻²)	穗粒数 Grains per panicle	结实率 Seed setting rate (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	生物产量 Biomass (g m ⁻²)	收获指数 Harvest index	产量 Yield (t hm ⁻²)
黑龙江 Heilongjiang	2006	377.3 aA	94.19 aA	88.58 aA	25.30 aA	1620.1 aA	0.56 aA	7.96 aA
	2007	312.7 bA	94.16 aA	90.01 aA	24.95 aA	1295.5 bA	0.56 aA	6.81 bA
	平均 Average	345.0 aA	94.18 cC	89.29 aA	25.12 bB	1457.8 bB	0.56 bA	7.39 bB
吉林 Jilin	2006	363.9 aA	110.65 aA	77.00 bA	26.46 aA	1427.8 aA	0.58 aA	8.02 aA
	2007	300.6 bA	115.94 aA	88.01 aA	25.57 aA	1419.9 aA	0.56 bB	7.61 aA
	平均 Average	332.2 aAB	113.29 bB	82.50 cC	26.01 aA	1423.8 bB	0.57 aA	7.81 bB
辽宁 Liaoning	2006	338.1 aA	131.53 bB	87.14 aA	24.15 aA	1906.2 bA	0.50 bA	9.10 aA
	2007	280.2 bA	167.74 aA	85.46 bA	23.51 bA	1994.0 aA	0.53 aA	9.26 aA
	平均 Average	309.1 bB	149.64 aA	86.30 bB	23.83 cC	1950.1 aA	0.52 cB	9.18 aA

同列中大小写字母不同分别表示 0.01 和 0.05 显著水平。
Means followed by a different capital letter and small letter within a column are significantly different at the 0.01 and 0.05 probability levels, respectively.

2.2 穗部性状的比较

从表 3 可以看出, 颈穗弯曲度是黑龙江 > 吉林 > 辽宁, 相互差异极显著, 黑龙江主要是弯穗、半直立穗型品种, 吉林以半直立穗型品种为主, 辽宁则以直立穗型品种为主。着粒密度是辽宁 > 吉林 > 黑龙江, 相互差异极显著, 吉林和黑龙江品种多数是中、稀穗型, 辽宁主要是中、密穗型。穗重与着粒密度趋势相同, 吉林和黑龙江多数品种是中、轻穗型, 辽宁则以中、重穗型为主。3 省间穗型指数差异不显著。

从表 3 还可以看出, 总体上仅有 1 个品种表现

为中部优势型, 其余品种(98.8%)均为下部优势型; 弯穗型品种有 8 个, 仅占总品种数的 17.3%, 直立穗型品种为 30.4%, 半直立穗型品种 52.3%; 66.7%的品种为稀穗型, 着粒密度小于 7.0 粒 cm⁻¹, 中穗型和密穗型分别占总品种数的 13.6%和 19.8%; 按穗重划分的轻穗型品种有 28 个, 中穗型品种 31 个, 分别占品种总数的 34.1%和 38.3%, 分布比较均衡。

表 4 方差分析结果表明, 3 省各自穗部性状的品种间差异极显著。省份间差异因性状而异, 辽宁一次枝梗数、一次枝梗粒数、二次枝梗数和二次枝梗粒数极显著多于吉林和黑龙江, 吉林和黑龙江之间

表 3 不同省份品种穗型分类
Table 3 Classification of panicle types in different provinces

性状 Trait	分类 Panicle type	标准 Standard	品种数量 Number of cultivars			合计 Total	参数平均值 Mean of parameters		
			黑龙江	吉林	辽宁		黑龙江	吉林	辽宁
			Heilongjiang	Jilin	Liaoning		Heilongjiang	Jilin	Liaoning
穗型指数 Panicle type index	上 SUT	> 0.55	0	0	0	0			
	中 SMT	0.45–0.55	0	0	1	1	0.33 aA	0.32 aA	0.32 aA
	下 SLT	< 0.45	26	28	26	80			
直立程度 Curvature of panicle neck (°)	直 EPT	< 30	0	3	11	14			
	半 SEPT	30–60	9	12	3	24	58.40 aA	42.38 bB	25.04 cC
	弯 CPT	> 60	7	1	0	8			
着粒密度 Grain density (grains cm ⁻¹)	密 DPT	> 8.5	0	2	14	16			
	中 SDPT	7.0–8.5	0	3	8	11	5.56 cC	6.24 bB	8.68 aA
	稀 LPT	< 7	26	23	5	54			
穗重 Weight per panicle (g)	重 HPT	> 2.9	2	5	15	22			
	中 MPT	2.3–2.9	10	11	10	31	2.30 cC	2.48 bB	3.05 aA
	轻 TPT	< 2.3	14	12	2	28			

同列中大小写字母不同分别表示 0.01 和 0.05 显著水平。
Means followed by a different capital letter and small letter within a column are significantly different at the 0.01 and 0.05 probability levels, respectively.
SUT: up-part panicle superior; SMT: middle-part panicle superior; SLT: low-part panicle superior; EPT: erect panicle type; SEPT: semi-erect panicle type; CPT: curve panicle type; DPT: dense panicle type; SDPT: semi-dense panicle type; LPT: loose panicle type; HPT: heavy panicle type; MPT: middle panicle type; TPT: thin panicle type.

表 4 穗部性状的比较
Table 4 Comparison of rice panicle traits

地点 Site		一次枝梗 Primary branches				二次枝梗 Secondary branches				二次枝梗粒率 Secondary branch grain rate(%)
		个/穗 No. per panicle	粒/穗 Grains per panicle	结实率 Seed setting rate (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	个/穗 No. per panicle	粒/穗 Grains per panicle	结实率 Seed setting rate (%)	千粒重 1000-grain weight(g)	
黑龙江 Heilongjiang	平均值 Mean	9.24 cC	50.23 cC	93.70 aA	26.72 aA	16.9 cC	48.75 cC	87.36 aA	23.87 bB	48.50 bB
	标准差 SD	4.54	31.40	8.42	11.68	14.53	49.43	20.00	10.42	31.23
	CV(%)	11.84	13.78	1.86	8.47	22.76	27.10	6.05	8.65	81.32
	F	14.01**	15.89**	2.22**	22.43**	8.69**	9.76**	5.71**	25.41**	13.22**
吉林 Jilin	平均值 Mean	10.00 bB	56.98 bB	92.24 bA	27.16 aA	18.95 bB	55.80 bB	74.51 cC	24.31 aA	49.13 bB
	标准差 SD	5.29	32.69	8.36	8.57	17.80	56.45	40.24	7.32	18.93
	CV(%)	11.97	14.18	3.02	7.34	19.69	21.56	17.19	7.06	87.81
	F	15.93**	14.71**	2.90**	5.68**	8.44**	6.78**	12.19**	4.21**	6.86**
辽宁 Liaoning	平均值 Mean	11.90 aA	67.26 aA	93.06 abA	25.01 bB	27.03 aA	83.00 aA	80.80 bB	22.60 cC	53.72 aA
	标准差 SD	5.33	35.02	13.51	7.08	25.80	93.45	50.98	6.30	36.36
	CV(%)	9.91	11.89	3.46	7.01	27.23	34.00	12.78	6.24	97.54
	F	12.29**	7.61**	5.29**	15.79**	10.66**	12.55**	13.98**	4.40**	25.73**

*和**分别表示达 0.05 和 0.01 显著水平。同列中大小写字母不同分别表示 0.01 和 0.05 显著水平。
* and **: significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. Means followed by a different capital letter and small letter within a column are significantly different at the 0.01 and 0.05 probability levels, respectively.

差异也达到显著或极显著水平。一次枝梗结实率是黑龙江 > 吉林 > 辽宁, 黑龙江与辽宁差异达到显著水平; 一次枝梗千粒重辽宁显著低于吉林和黑龙江, 后二者差异不显著; 二次枝梗结实率黑龙江极显著大于辽宁, 辽宁极显著大于吉林; 二次枝梗千粒重表现为吉林 > 黑龙江 > 辽宁, 相互差异极显著。二次枝梗粒率吉林和黑龙江相近, 都极显著低于辽宁。辽宁穗部性状的特点是一、二次枝梗数及其粒数多, 二次枝梗粒率高。总体看与表 2 和表 3 类似, 各性状都是吉林与黑龙江接近, 而与辽宁差异较大。

2.3 维管束性状的比较

统计分析的结果, 东北地区水稻穗颈大维管束数在 9~16 个之间, 穗颈小维管束数为 15~29 个, 第 2 节间大维管束数 23~35 个, 第 2 节间小维管束数为 23~31 个(图 1)。从图 1 可以看出, 穗颈大、小维管束数和第 2 节间大、小维管束数平均值表现为辽宁极显著大于吉林, 吉林极显著大于黑龙江。这可以

说是东北地区水稻株型随纬度变化的一个重要规律。维管束数与穗型及穗部性状关系密切(表 5), 各维管束参数与颈穗弯曲度极显著负相关, 与着粒密度和穗重极显著正相关, 与穗型指数无显著关系; 与一次枝梗数、一次枝梗粒数、二次枝梗数、二次枝梗粒数和二次枝梗粒率显著或极显著正相关; 与一次枝梗结实率相关不显著, 但与二次枝梗结实率显著或极显著负相关; 与一次枝梗千粒重显著或极显著负相关关系, 与二次枝梗千粒重无显著关系。

2.4 叶部性状的比较

图 2 结果表明, 剑叶基角是吉林 > 黑龙江 > 辽宁, 吉林和辽宁差异达到极显著水平; 第二叶基角是吉林大于黑龙江和辽宁, 黑龙江和辽宁差异不显著; 第三叶基角是吉林 > 黑龙江 > 辽宁, 吉林和辽宁差异显著。黑龙江剑叶和第二叶长显著小于吉林和辽宁, 吉林和辽宁差异不显著, 第三叶长表现为辽宁 > 吉林 > 黑龙江, 辽宁和黑龙江差异达到显著

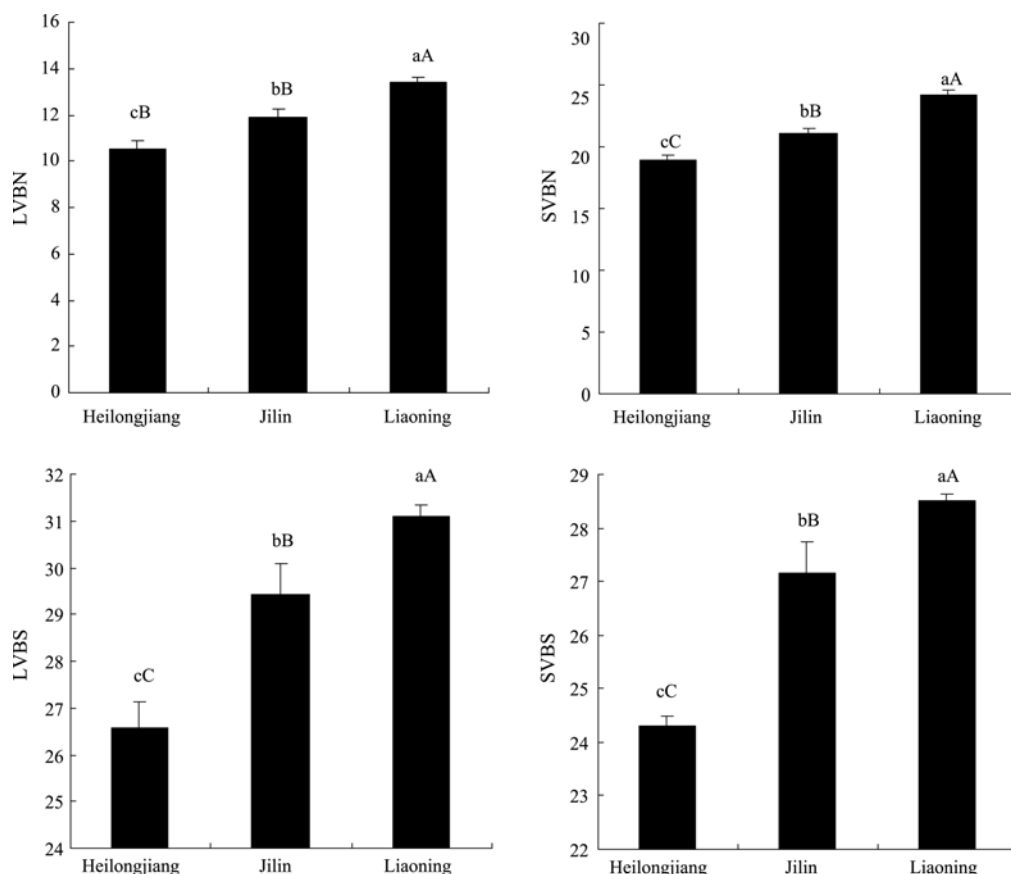


图 1 维管束性状的比较

Fig. 1 Comparison of vascular bundle traits

LVBN: 穗颈大维管束数; SVBN: 穗颈小维管束数; LVBS: 第 2 节间大维管束数; SVBS: 第 2 节间小维管束数。

LVBN: large vascular bundles in neck; SVBN: small vascular bundles in neck; LVBS: large vascular bundles in the second internode; SVBS: small vascular bundles in the second internode. Means followed by a different capital letter and small letter are significantly different at the 0.01 and 0.05 probability levels, respectively.

表 5 维管束与穗部性状的关系
Table 5 Relationship between vascular bundle traits and panicle traits

性状 Trait		穗颈大维管束数 LVBN	穗颈小维管束数 SVBN	第 2 节间大维管束数 LVBS	第 2 节间小维管束数 SVBS
穗型指数	Panicle type index	-0.251	-0.101	-0.064	-0.031
颈穗弯曲度	Curvature of panicle neck	-0.573**	-0.520**	-0.540**	-0.582**
着粒密度	Grain density	0.764**	0.692**	0.771**	0.743**
穗重	Weight per panicle	0.772**	0.753**	0.790**	0.721**
一次枝梗 Primary branches	个/穗 Number per panicle	0.777**	0.672**	0.731**	0.694**
	粒/穗 Grains per panicle	0.774**	0.624**	0.723**	0.712**
	结实率 Seed setting rate	-0.160	-0.133	-0.140	-0.173
	千粒重 1000-grain weight	-0.383**	-0.352*	-0.322*	-0.335*
二次枝梗 Secondary branches	个/穗 Number per panicle	0.744**	0.730**	0.793**	0.724**
	粒/穗 Grains per panicle	0.752**	0.741**	0.781**	0.726**
	结实率 Seed setting rate	-0.374*	-0.412**	-0.534**	-0.477**
	千粒重 1000-grain weight	-0.265	-0.241	-0.251	-0.282
	二次枝梗粒率 Secondary branch grain rate	0.502**	0.592**	0.610**	0.533**

*和**分别表示达 0.05 和 0.01 显著水平。

* and **: significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. LVBN: large vascular bundles in neck; SVBN: small vascular bundles in neck; LVBS: large vascular bundles in the second internode; SVBS: small vascular bundles in the second internode.

水平。上三叶宽是辽宁 > 吉林 > 黑龙江，相互差异显著或极显著，这是东北地区水稻株型随纬度变化的另一重要规律。

2.5 不同产量水平的株型特征

供试品种产量差异较大，最高产量达到 10.99 t hm⁻²，最低产量只有 5.63 t hm⁻²。为阐明不同产量水平品种的株型特征，采用类平均法(UPGMA)根据产量对品种进行聚类分析(表 6)。第一类为超高产品种，平均产量 10.99 t hm⁻²；第二类为高产品种，平均产量 9.29 t hm⁻²；第三类为中产品种，平均产量 7.96 t hm⁻²；第四类为中低产品种，平均产量 6.90 t hm⁻²；第五类为低产品种，平均产量 6.02 t hm⁻²。超高产品种仅有 1 个，占 2.2%，低产品种 5 个，占 10.9%，超高产品种和低产品种合计占品种总数的 13.1%。可见，说明东北地区生产上应用的和育种单位选育的品种中，超高产和低产品种较少，多数品种处于中低产到高产之间。本文产量类型划分是依据统计分析，不同于实际生产中的产量水平划分。

聚类分析后 4 种类型 PTI 无显著差异，但显著或极显著高于超高产类型，由于本试验只有一个品种划入超高产类型，可能缺乏代表性，还需进一步研究，以下分析该类型只作为参考。颈穗弯曲度随产量水平的提高呈下降趋势，着粒密度和穗重则相反，与前面分析结果相互印证。整体看，叶片着生角

度随产量的提高而减小，叶片长宽则随产量的提高而增加。穗颈大、小维管束数和株高也随产量的提高而增大。

3 讨论

对不同地区水稻品种进行比较研究，采用同一地点种植的优点是环境条件一致，但是品种的生态适应性成为限制因素。特别是东北地区南北约 15 个纬度的跨度，在同一地点进行试验，势必有部分材料要么成熟过早，要么不能正常成熟，如果采用分期播种的方式调整，又会使得影响因素复杂化。在试材的选择上，本研究预备试验曾选择各省代表性品种，发现各省同一时期有代表性的推广品种并不多，品种数少和品种间差异较大使得结果规律性不明显。因此，本研究以水稻区域试验多个品种(系)两年平均值综合反映东北三省品种特性及其与环境条件的关系。据统计，2000—2007 年辽宁、吉林和黑龙江平均水稻单产分别为 7.24、6.57 和 6.55 t hm⁻²，2006 年和 2007 年东北三省气象条件和生产情况均属正常年份^[16]。本研究三省单产两年平均值分别为 9.18、7.81 和 7.39 t hm⁻²，与实际产量绝对值有较大差异，但是趋势一致，也与课题组过去研究结果^[15]接近。辽宁省 10 年来水稻区域试验中熟和中晚熟组平均单产 8.81 t hm⁻²(辽宁省水稻区域试验报告)，与

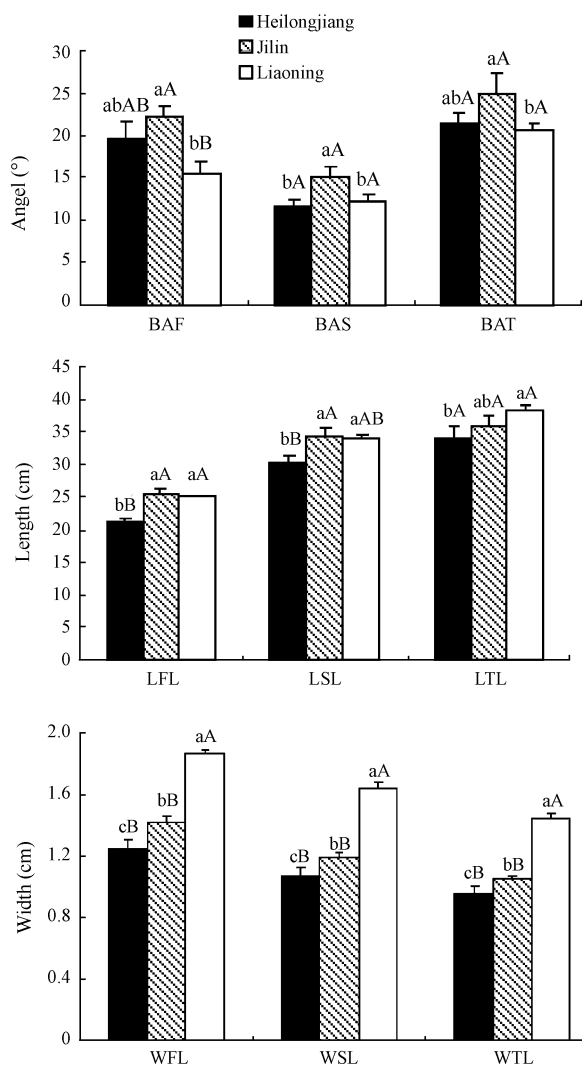


图 2 叶部性状的比较

Fig. 2 Comparison of leaf traits

BAF: 剑叶基角; BAS: 第 2 叶基角; BAT: 第 3 叶基角; LFL: 剑叶长; LSL: 第 2 叶长; LTL: 第 3 叶长; WFL: 剑叶宽; WSL: 第 2 叶宽; WTL: 第 3 叶宽。

BAF: basic angle of the flag leaf; BAS: basic angle of the 2nd leaf; BAT: basic angle of the 3rd leaf; LFL: length of the flag leaf; LSL: length of the 2nd leaf; LTL: length of the 3rd leaf; WFL: width of the flag leaf; WSL: width of the 2nd leaf; WTL: width of the 3rd leaf. Bars superscripted by a different capital letter and small letter are significantly different at the 0.01 and 0.05 probability levels, respectively.

本研究辽宁两年平均单产结果相差不到 5%。

随着生产的发展和研究的深入, 穗的形态与机能成为超级稻株型模式的重要研究内容。本课题组提出了水稻理想穗型的概念, 初步建立了辽宁水稻超高产理想穗型参数, 即穗长 < 17 cm, 颈穗弯曲度 $< 40^\circ$, 穗颈长 3~4 cm, 直径 > 2 mm, 大维管束数和一次枝梗数 > 15 个穗 $^{-1}$, 一次枝梗粒数 > 80 粒穗 $^{-1}$, 二次枝梗籽粒偏向穗轴中上部分布, 穗型指数 $>$

0.5^[17]。本研究结果表明, 东北地区水稻品种(系)以穗型直到半直立、着粒密度中到稀、穗重轻到中、二次枝梗分布下部优势型为特征。进一步研究了不同地区品种的株型特征, 穗长和颈穗弯曲度表现为辽宁 $<$ 吉林 $<$ 黑龙江, 一次枝梗数、一次枝梗粒数表现为辽宁 $>$ 吉林 $>$ 黑龙江, 相互差异显著或极显著。可见, 辽宁品种穗型指标数值趋向于接近上述理想穗型参数分布, 黑龙江品种穗型指标则有较大差异, 吉林有介于二者之间而偏向黑龙江的趋势。前面已经谈到, 东北地区无论地理纬度、有效积温等自然因素, 还是水稻生育期、叶片数等品种特性都有很大差异, 地处高寒地区的黑龙江水稻穗型必然和辽宁有所差别。但迄今为止, 黑龙江品种穗型特征仍缺乏系统研究, 理想穗型模式及参数更亟待建立。

水稻籽粒灌浆物质的 60%~100% 来源于抽穗后的光合产物, 产量水平越高, 抽穗后光合产物对产量的贡献越大^[1,18]。上三叶作为水稻生殖生长阶段的主要功能叶片, 其面积和着生角度对获得高产至关重要。本研究结果表明, 东北高产品种的株型特征为株高相对较高(100~105 cm), 穗型直立或半直立(颈穗弯曲度 $< 60^\circ$), 收获指数 > 0.52 ; 上三叶较长且宽(剑叶长 25 cm 左右、宽 > 1.5 cm)、着生角度小(剑叶角度 $< 20^\circ$), 源的数量和质量高; 着粒密度和穗重较高, 库容量大; 穗颈和第 2 节间维管束数多, 流畅。但产量结构、穗型、叶片性状、株高、维管束性状等的纬度或省份间变化规律及其与产量的关系, 是对生态环境的适应还是人工选择的结果, 有待进一步深入研究。

杜永等^[14]根据对 129 个粳稻品种(系)株型性状与产量关系的研究, 提出了黄淮地区超高产中粳水稻品种的株型和产量构成指标, 其株高 100~108 cm, 穗型半直立, 有效穗 320~340 个 m^{-2} , 穗长 17~18 cm, 一次枝梗 12~15 个; 每穗 160~180 粒, 结实率 $> 85\%$, 千粒重 26~27 g; 上三叶长分别为 26~28、35~40 和 32~38 cm, 剑叶角度 $< 20^\circ$, 收获指数 > 0.50 。徐大勇等^[19]分析江淮地区大面积生产应用的和新近育成的 36 个粳稻品种农艺性状, 也得到类似结果。本文结果不但趋势与上述研究一致, 而且一些指标绝对值也相近, 可以认为是当前条件下粳稻的理想株型最适参数。相比之下, 无论江淮地区和黄淮地区的粳稻, 还是东北的粳稻, 株型和产量构成指标都与南方杂交籼稻株型模式^[7,10]有较大差异。

表 6 不同产量水平水稻品种的株型特征
Table 6 Plant type traits of cultivars with different yield levels

品种类型 Group	平均产量 Average yield (t hm ⁻²)	品种数 No. of cultivars	穗型指数 Panicle type index	颈穗弯曲度 Curvature of panicle neck (°)	着粒密度 Grain density (grains cm ⁻¹)	穗重 Weight per panicle (g)	叶基角 Basic angle of leaf (°)		
							1	2	3
超高产类型 SHY	10.99 aA	1	0.23 bB	25.4 cC	10.84 aA	3.16 bA	12.0 cB	8.5 dD	12.9 cC
高产类型 HY	9.29 bB	12	0.29 aAB	25.4 cC	9.37 bA	3.35 aA	15.6 bB	13.3 bAB	22.6 abAB
中产类型 MY	7.96 cBC	14	0.33 aA	42.7 bB	6.63 cB	2.65 cB	19.8 aA	12.1 bcBC	21.6 bAB
中低产类型 MLY	6.90 dCD	14	0.33 aA	54.2 aA	5.59 cdBC	2.36 dC	21.1 aA	14.8 aA	24.8 aA
低产类型 LY	6.02 dD	5	0.28 aAB	55.6 aA	4.90 dC	1.92 eD	22.6 aA	11.0 cC	19.9 bB

品种类型 Group	叶长 Length of leaf (cm)			叶宽 Width of leaf (mm)			穗颈大维管束 数 LVBN	穗颈小维管束 数 SVBN	株高 Plant height (cm)
	1	2	3	1	2	3			
超高产类型 SHY	27.1 aA	35.8 aA	40.2 aA	1.67 bB	1.48 bB	1.36 aA	12.1 bB	20.7 bB	106.7 aA
高产类型 HY	25.2 bA	34.0 abAB	37.8 abAB	1.86 aA	1.62 aA	1.43 aA	13.5 aA	24.5 aA	105.3 aAB
中产类型 MY	25.0 bA	34.0 abAB	36.8 bcABC	1.46 cC	1.24 cC	1.11 bB	12.1 bB	20.9 bB	98.7 bBC
中低产类型 MLY	22.2 cB	31.4 bcAB	34.6 cdBC	1.33 dD	1.12 dD	0.99 cC	10.9 cC	20.3 bB	94.5 bcCD
低产类型 LY	21.7 cB	29.7 cB	32.7 dC	1.17 eE	1.01 eD	0.89 dD	10.1 dC	17.2 cC	90.9 cD

同列中大小写字母不同分别表示 0.01 和 0.05 显著水平。

Means followed by a different capital letter and small letter within a column are significantly different at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively. SHY: super-high-yielding; HY: high-yielding; MY: mid-yielding; MLY: mid-low-yielding; LY: low-yielding; LVBN: large vascular bundles in neck; SVBN: small vascular bundles in neck.

据此推测,在一定条件和范围内,籼稻与粳稻或杂交稻与常规稻等品种类型对理想株型参数的影响可能大于生态环境,有待进一步验证。此外,进一步分析可以看到,黄淮地区和江淮地区收获指数较低,一般在 0.5 以下,而东北地区普遍超过 0.5,特别是吉林和黑龙江超过 0.55 甚至接近 0.60,可能与株高和生物产量较低及以弯曲或半直立穗型为主有关,有必要深入探讨其遗传和生理生态机制。

4 结论

东北地区水稻品种(系)是穗型直到半直立、着粒密度中到稀、穗重轻到中、二次枝梗分布下部优势型。黑龙江主要是弯穗、半直立穗型品种,吉林以半直立穗型品种为主,辽宁则以直立穗型品种为主。吉林和黑龙江品种多数是中、稀穗型和中、轻穗型,辽宁主要是中、密穗型和中、重穗型。3 省间平均穗型指数差异不显著。穗颈大、小维管束数和第 2 节间大、小维管束数平均值表现为辽宁 > 吉林和黑龙江。相对吉林和黑龙江而言,辽宁上三叶较长且宽,但叶基角较小。穗颈大、小维管束数和第 2 节间大、小维管束数与一、二次枝梗数和一、二次枝梗粒数及二次枝梗粒率呈极显著正相关,与一、二次枝梗结实率和千粒重呈负相关。产量、产量结构、穗部性状和叶片性状都有辽宁与吉林和黑龙江差异较大,而后两者之间差异较小的趋势。东北水

稻高产品种的株型特征为株高 100~105 cm、收获指数 > 0.52、颈穗弯曲度 < 60°,剑叶长 25 cm 左右、剑叶角度 < 20°、剑叶宽 > 1.5 cm。

References

- [1] Matsuo T M. Great Achievement of Rice Science, Vol. 2, Physiology. Tokyo: Nonsangyoson Culture Society, 1990. pp 238–242 (in Japanese)
- [2] Matsuo T M. Great Achievement of Rice Science, Vol. 1, Morphology. Tokyo: Nonsangyoson Culture Society, 1990. pp 419–423 (in Japanese)
- [3] Donald C M. The breeding of crop ideotypes. *Euphytica*, 1968, 17: 385–403
- [4] Chen W-F(陈温福), Xu Z-J(徐正进), Zhang L-B(张龙步). Physiological Basis for Breeding of Super-High-Yield Rice (水稻超高产育种生理基础). Liaoning: Liaoning Science and Technical Publishers, 1995. p 146(in Chinese)
- [5] Yang S-R(杨守仁), Zhang L-B(张龙步), Chen W-F(陈温福), Xu Z-J(徐正进), Wang J-M(王进民). Theories and methods of rice breeding for makimun yield. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 1996, 10(2): 115–120(in Chinese with English abstract)
- [6] Khush G S. Breaking the yield frontier of rice. *GeoJournal*, 1995, 35: 329–332
- [7] Yuan L-P(袁隆平). Hybrid rice breeding for super high yield. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 1997, 12(6): 1–4(in Chinese with English abstract)
- [8] Zhou K-D(周开达), Ma Y-Q(马玉清), Liu T-Q(刘太清), Shen M-S(沈茂松). The breeding of subspecific heavy ear hybrid rice—Exploration about super-high yield breeding of hybrid rice.

- J Sichuan Agric Univ* (四川农业大学学报), 1995, 13(4): 403–407(in Chinese with English abstract)
- [9] Huang Y-X(黄耀祥), Lin Q-S(林青山). Thinking and a practice on rice breeding method for high yield and good grain quality. *Guangdong Agric Sci* (广东农业科学), 1994, (4): 1–6 (in Chinese with English abstract)
- [10] Zou J-S(邹江石), Lü C-G(吕川根). Practice and thinking on rice breeding for high yield. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2005, 31(2): 254–258(in Chinese with English abstract)
- [11] Wang Y-Y(王延颐). A preliminary study on the relationship between plant type and the incident radiation in rice. *Chin J Agrometeorol* (中国农业气象), 1982, 3(1): 29–36 (in Chinese with English abstract)
- [12] Xu Z-J(徐正进), Chen W-F(陈温福), Zhang L-B(张龙步), Yang S-R(杨守仁). Comparative study on light distribution in rice canopies with different panicle typies. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1990, 23(4): 6–10 (in Chinese with English abstract)
- [13] Feng Y-X(冯永祥), Xu Z-J(徐正进), Yao Z-J(姚占军). Studies on effects of micrometeorological characters of row directions in rice populations with different panicle types: I. Theoretical analyses of effects of row directions on immediate radiation of sun in the rice populations. *Chin J Agrometeorol* (中国农业气象), 2002, 23(3): 18–21(in Chinese with English abstract)
- [14] Du Y(杜永), Wang Y(王艳), Wang X-H(王学红), Sun N-L(孙乃立), Yang J-C(杨建昌). Comparisons of plant type grain yield and quality of different japonica rice cultivars in Huanghe-Huai River Area. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2007, 33(7): 1079–1085 (in Chinese with English abstract)
- [15] Xu Z-J(徐正进), Shao G-J(邵国军), Han Y(韩勇), Zhang X-J(张学军), Quan C-Z(全成哲), Pan G-J(潘国君), Chen W-F(陈温福). A preliminary study on yield and quality of rice and their relationship with panicle characters in northeast region of China. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2006, 32(12): 1878–1883 (in Chinese with English abstract)
- [16] The Editorial Committee of China Agricultural Yearbook. China Agricultural Yearbook (中国农业年鉴). Beijing: China Agriculture Press, 2007. pp 120–135(in Chinese)
- [17] Xu Z-J(徐正进), Chen W-F(陈温福), Zhang L-B(张龙步), Yang S-R(杨守仁). Theories and parameters of rice ideal panicle type design. *Chin Sci Bull* (科学通报), 2005, 50(18): 2037–2039(in Chinese)
- [18] Xu Z-J(徐正进), Chen W-F(陈温福), Zhang L-B(张龙步), Zhou H-F(周洪飞), Yang S-R(杨守仁). Characteristics of rice with erect panicle and prospects of their utilization. *Chin Sci Bull* (科学通报), 1996, 41(12): 1122–1126(in Chinese with English abstract)
- [19] Xu D-Y(徐大勇), Du Y(杜永), Fang Z-W(方兆伟), Pan Q-M(潘启民), Yang J-C(杨建昌), Zhu Q-S(朱庆森). Comparison on main agronomical and quality characters between cultivars with different panicle types in Jiang-Huai Area. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2006, 32(3): 379–384(in Chinese with English abstract)