

生态条件对籼粳稻杂交后代亚种特性与经济性状的影响^{*}

徐海¹ 刘宏光¹ 朱春杰¹ 杨莉² 郭艳华¹ 王嘉宇¹
杨乾华² 徐正进^{1**} 郑家奎² 陈温福¹

1. 沈阳农业大学农学院, 沈阳 110161; 2. 四川省农科院水稻高粱研究所, 泸州 646100

摘要 以两个典型的籼粳交重组自交系 F₆ 群体(RILSA: 中优早 8 号/丰锦、RILSB: 七山占/秋光)为试材, 分别在四川和辽宁同年种植, 研究亚种特性和经济性状变化规律及其相互关系的结果表明, 不同生态条件下籼粳交后代的亚种特性和经济性状都发生了显著的变化。生态条件对程氏指数和构成性状的影响因群体和性状而异, RILSA 群体在四川和辽宁都呈偏粳分布, RILSB 群体在辽宁接近正态分布, 在四川呈偏粳分布, 总体上四川表现比辽宁更加偏粳。与辽宁相比, 四川穗数、结实率和千粒重降低, 因而产量极显著下降, 而穗粒数在不同地区和不同群体间差异不显著。程氏指数和构成性状与产量和经济性状有正相关的趋势, 据此进行人工选择可能是北方稻区籼粳稻杂交育成品种仍然基本保持粳亚种特性的重要原因。此外, 还讨论了籼粳分化与生态条件的关系等相关问题。

关键词 水稻 生态条件 籼粳杂交 亚种特性 经济性状 重组自交系

籼稻和粳稻是亚洲栽培稻的两个亚种, 在生物学特性上存在明显差别, 在经济性状和生产应用上各有优点^[1,2]。籼、粳稻亚种间杂交可以产生较强的杂种优势和丰富的变异^[3], 以综合亚种优点和利用亚种间杂种优势为目的的籼粳稻杂交育种已成为南北方水稻育种的重要方法之一^[4-8]。从系谱分析上看, 北方粳稻区生产上推广的优良品种绝大多数都是通过籼粳稻杂交育成的^[9], 南方种植的粳稻品种中多数也带有籼稻和粳稻的混合血缘^[8]。研究大量籼粳稻杂交育成品种的维管束性状^[10]、程氏指数^[11]和叶片气孔^[12]的结果表明, 籼粳稻杂交育成品种并没有像预期那样综合亚种特性, 而是保持典型粳稻的基本特性。在没有有意识直接选择的条件下, 籼粳稻杂交育成品种基本保持亚种特性, 可能是因为亚种特征性状与生态适应相联系, 或者与亚种间遗传上某种程度的生殖隔离有关。迄今相关

研究大多集中在亲本籼粳分化程度与杂种优势和 F₁ 分类的关系, 重在探讨亚种间杂种优势的利用途径、遗传机理与亲本选配^[13-15]。近年来研究发现, 籼粳稻杂交 F₁ 及其育成品种的程氏指数和亚种特性与经济性状关系不密切, 而 F₂ 的相关性明显增大^[16], 籼粳交 DH 和 RIL 群体籼粳分化基本表现为连续的正态分布^[17,18]。但对籼粳稻杂交后的高世代分离群体亚种特性与经济性状的关系研究极少^[19], 特别是迄今未见不同生态条件下亚种特性与经济性状的变化规律及相互关系的报道。

1 材料与方法

试验采用两个典型的籼粳稻杂交衍生的重组自交系 F₆ 群体, 一群体的亲本是中优早 8 号(程氏指数 8)和丰锦(程氏指数 21), 共计 175 个株系, 以下以 RILSA 代替; 另一群体的亲本是七山占(程氏指

2006 11 15 收稿, 2007 02 05 收修改稿

^{*} 国家自然科学基金(批准号: 30370866)和教育部博士点基金(批准号: 20050157001)资助项目

^{**} 通信作者, E-mail: xuzhengjin@126.com

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

数 7) 和秋光(程氏指数 22), 共计 180 个株系, 以下以 RILSB 代替. 两个群体分别按株系编号, 每个株系一分为二, 于 2005 年分别在四川省德阳市($N30^{\circ}31'-31^{\circ}42'$, $E103^{\circ}45'-105^{\circ}15'$)和辽宁省沈阳市($N41^{\circ}11'-43^{\circ}2'$, $E122^{\circ}25'-123^{\circ}48'$)两个不同的生态地区种植. 在四川省农科院水稻高粱研究所德阳育种基地, 4 月 26 日播种, 5 月 27 日插秧, 每株系种 20 株, 行距 26.6 cm, 株距 16.5 cm. 在辽宁沈阳农业大学水稻研究所试验田, 4 月 13 日播种, 5 月 15 日插秧, 每株系种 10 株, 行距为 30 cm, 株距为 13.3 cm. 栽培管理完全按当地生产田.

籼粳亚种属性判定采用程氏指数法^[20]. 于抽穗期调查抽穗时壳色和叶毛性状. 成熟期每株系调查 10 株的有效穗数, 并取长势中等的 5 株, 风干后, 于室内考种. 按程氏指数法调查 1—2 穗节长、籽粒长宽比、稃毛、酚反应, 分别评分; 测穗重、生物产量、经济系数(因条件所限, 四川材料未测生物产量和经济系数); 按一次枝梗众数取 10 穗考查穗粒数、实粒数、秕粒数、结实率、千粒重.

2 结果与分析

2.1 不同生态条件下亚种特性的变化

从程氏指数的次数分布看(图 1), 无论在四川还是辽宁, 所有类型间均呈连续变异, 说明籼粳稻杂交后代的各分离类型间在亚种属性上并无截然分开的界限, 籼粳亚种特性可以重新组合. 程氏指数 0 至 24 代表由粳向偏粳、偏粳、粳逐渐过渡, RILSA 在两地都呈明显的偏粳趋势分布, RILSB 在辽宁接近正态分布, 在四川呈明显的偏粳分布. 从次数分布峰值的偏移上可以认为四川的 RILSA 和 RILSB 比辽宁的更偏向粳型分布.

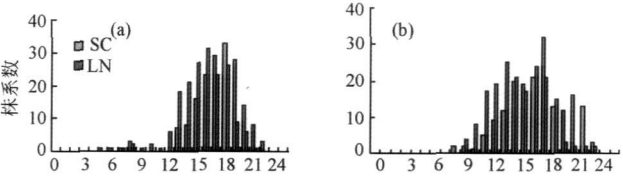


图 1 程氏指数次数分布图
(a) RILSA; (b) RILSB; SC: 四川; LN: 辽宁

表 1 不同生态条件下籼粳稻杂交后代亚种特性的变化

性状	组合	地区	评分					平均数	标准差	变异系数 /%	差异 ^{a)}
			0	1	2	3	4				
稃毛	RILSA	四川	4	23	82	50	16	2.03	0.83	40.79	-1.11
		辽宁	3	28	66	60	18	2.08	0.87	41.99	
	RILSB	四川	7	38	64	54	17	1.92	0.99	51.73	1.61
		辽宁	7	33	66	49	25	1.86	0.99	53.23	
酚反应	RILSA	四川	1	12	7	17	138	3.58	0.92	25.62	-1.07
		辽宁	2	10	8	13	142	3.61	0.91	25.10	
	RILSB	四川	1	17	31	16	115	3.07	1.25	40.85	4.59**
		辽宁	10	22	28	17	103	2.84	1.34	47.15	
1—2 穗节长	RILSA	四川	6	36	81	26	26	2.17	1.03	47.47	7.52**
		辽宁	25	61	67	14	8	1.54	0.99	64.21	
	RILSB	四川	33	46	50	37	14	1.74	1.20	69.14	9.88**
		辽宁	67	59	36	14	4	1.05	1.04	99.29	
抽穗时壳色	RILSA	四川	3	22	17	69	64	2.95	1.06	36.09	-2.63**
		辽宁	0	0	5	111	59	3.13	0.48	15.38	
	RILSB	四川	10	28	11	59	72	2.85	1.25	43.85	-1.92
		辽宁	1	3	16	100	60	3.00	0.69	22.90	
叶毛	RILSA	四川	5	3	3	28	136	3.64	0.85	23.22	17.85**
		辽宁	6	42	56	39	32	2.20	1.17	53.06	
	RILSB	四川	3	5	4	31	137	3.63	0.81	22.44	13.74**
		辽宁	0	34	40	59	47	2.56	1.12	43.69	
籽粒长宽比	RILSA	四川	0	9	82	84	0	2.43	0.59	24.35	-7.55**
		辽宁	0	1	47	125	2	2.73	0.48	17.64	
	RILSB	四川	0	6	58	105	11	2.67	0.64	24.01	-1.73
		辽宁	1	4	56	98	21	2.74	0.71	25.87	

a) *, ** 分别代表 0.05 和 0.01 水平上差异显著, 下同

从程氏指数构成性状的次数分布上看(表 1), 秈毛在四川和辽宁都接近正态分布, 酚反应、抽穗时壳色、籽粒长宽比都呈偏粳分布, 叶毛在四川偏粳, 在辽宁接近正态分布. 程氏指数构成性状中 1—2 穗节长、叶毛性状四川极显著高于辽宁, 两群体表现一致. 不同的是 RILSA 在四川抽穗时壳色和籽粒长宽比极显著低于辽宁, RILSB 酚反应在四川极显著高于辽宁, 其他性状无显著变化.

2.2 不同生态条件下经济性状的变化

不同生态条件下 RILSA 和 RILSB 中大多数经济性状发生了极显著地变化. 四川 RILSA 的穗数、结实率和千粒重极显著低于辽宁, RILSB 也表现相似趋势, 但是结实率和千粒重没有达到显著水平, 不同生态条件下 RILSA 和 RILSB 每穗粒数都没有显著变化. 产量结构的上述变化, 导致两个辽宁 RILSA 和 RILSB 产量都极显著高于四川.

按程氏指数分别将 RILSA 和 RILSB 分成粳、偏粳、偏籼、籼 4 种类型(图 2). 可以看出, 两个组合不同类型穗数都表现为辽宁高于四川, 不同生态条件下类型间每穗粒数差异不显著; RILSB 结实率表现为籼型 < 偏粳型 < 偏籼型 < 粳型, 而且不同生态条件下类型间每穗粒数差异不显著; RILSB 结实率表现为籼型 < 偏粳型 < 偏籼型 < 粳型的趋势, 受生态条件的影响相对较小. RILSB 产量籼型 < 偏粳型 < 偏籼型 < 粳型的趋势明显, RILSA 类型间产量变化较小, 但是粳型(粳型+偏粳型)明显高于籼型(籼型+偏籼型), 而且不同类型都是辽宁明显高于四川.

2.3 不同生态条件下亚种特性与经济性状间的关系

相关分析的结果(表 2), RILSB 在四川和辽宁程氏指数与产量都呈极显著正相关, RILSA 在四川程氏指数也与产量呈显著的正相关, 但是在辽宁没有达到显著水平. 无论辽宁还是四川, 两个组合程氏指数与结实率和千粒重均呈极显著的正相关. 尽管个别性状也有例外, 但是总体看程氏指数构成性状与产量和经济性状有正相关的趋势.

3 讨论

水稻的生长离不开具体的生态环境, 优良品种

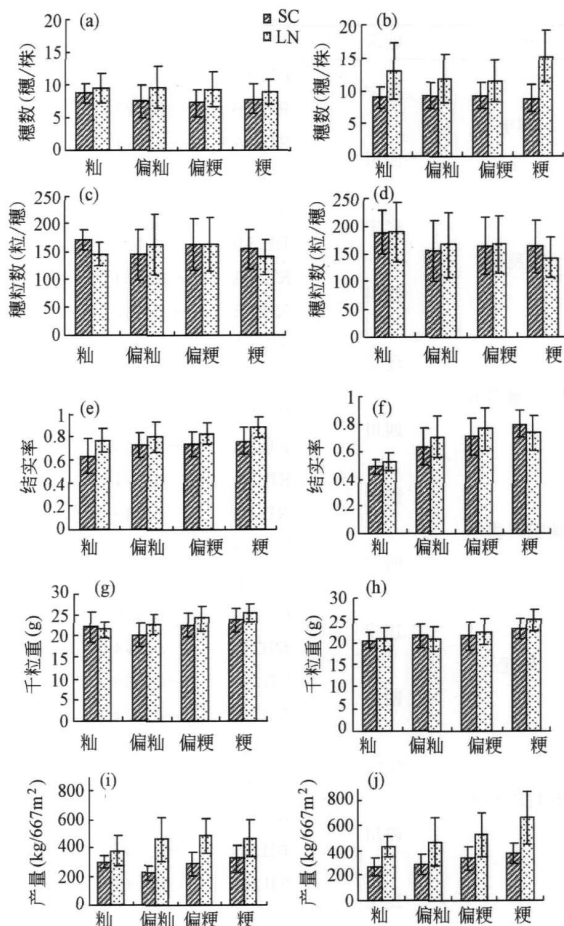


图 2 亚种内类型间经济性状的变化

(a) RILSA 穗数; (b) RILSB 穗数; (c) RILSA 穗粒数; (d) RILSB 穗粒数; (e) RILSA 结实率; (f) RILSB 结实率; (g) RILSA 千粒重; (h) RILSB 千粒重; (i) RILSA 产量; (j) RILSB 产量; SC: 四川; LN: 辽宁

潜力的发挥取决于对当地生态条件的利用程度^[8]. 几十年来, 科研工作者对生态环境与经济性状的关系研究较多, 并提出不同地区间引种的基本原则和穿梭育种的概念, 但对不同生态环境下育成品种亚种特性的变化研究极少. 这与长期以来我国水稻南粳北籼的种植格局不无关系. 籼稻多分布于低纬度低海拔的南方, 耐湿耐热耐强光, 粳稻多分布于高纬度高海拔的北方, 耐旱耐寒耐弱光^[1], 过去的育种研究多集中于亚种内, 籼粳亚种间很少交融, 这是长期自然选择和人为选择综合作用的结果. 自从杨守仁等上世纪 50 年代初开创籼粳稻杂交育种以来^[3], 籼粳稻血缘开始逐渐渗透融合, 并由此选育

表 2 不同生态条件下亚种特性与经济性状间的关系

性状	地区	组合 ^{a)}	穗数	穗粒数	结实率	千粒重	生物产量	经济系数	产量
稈毛	辽宁	RILSA	0.037	-0.138	0.074	0.209 **	0.095	-0.118	0.038
		RILSB	0.027	-0.047	0.081	0.012	0.134	-0.020	0.089
	四川	RILSA	0.011	-0.147	0.285 **	0.207 **			0.172 *
		RILSB	-0.087	0.076	0.309 **	0.045			0.300 **
酚反应	辽宁	RILSA	-0.145	0.194 *	0.135	0.249 **	0.038	0.284 **	0.175 *
		RILSB	0.024	0.056	0.062	0.232 **	0.067	0.181 *	0.174 *
	四川	RILSA	-0.214 **	0.152	0.060	0.227 **			0.092
		RILSB	-0.147	0.220 **	0.086	0.217 **			0.255 **
1—2 穗节长	辽宁	RILSA	-0.218 **	0.104	0.136	0.065	-0.103	0.046	-0.020
		RILSB	0.035	0.024	0.313 **	0.215 **	0.331 **	0.041	0.330 **
	四川	RILSA	-0.041	0.034	0.217 **	0.026			0.087
		RILSB	-0.105	0.073	0.357 **	0.016			0.307 **
抽穗时壳色	辽宁	RILSA	0.171 *	-0.222 **	0.146	0.232 **	0.034	0.043	0.106
		RILSB	0.049	-0.127	0.218 **	0.205 **	-0.006	0.193 **	0.135
	四川	RILSA	0.227 **	-0.147	-0.025	0.104			0.155
		RILSB	0.034	-0.294 **	0.393 **	0.167 *			0.092
叶毛	辽宁	RILSA	0.116	-0.321 **	0.114	0.108	-0.124	-0.130	-0.133
		RILSB	0.044	-0.223 **	0.241 **	0.125	-0.010	-0.039	0.039
	四川	RILSA	-0.056	-0.081	0.209 **	0.067			0.021
		RILSB	-0.024	-0.182 *	0.152	0.077			-0.060
籽粒长宽比	辽宁	RILSA	-0.012	0.022	-0.032	0.159 *	0.017	0.022	0.022
		RILSB	0.053	0.100	-0.115	0.328 **	0.032	0.284 **	0.089
	四川	RILSA	0.064	-0.055	-0.017	0.055			0.033
		RILSB	-0.003	0.079	0.047	0.355 **			0.134
程氏指数	辽宁	RILSA	-0.043	-0.128	0.210 **	0.324 **	-0.043	0.033	0.032
		RILSB	0.079	-0.072	0.298 **	0.381 **	0.213 **	0.199 **	0.316 **
	四川	RILSA	0.001	-0.074	0.238 **	0.220 **			0.189 *
		RILSB	-0.124	-0.010	0.494 **	0.274 **			0.375 **

a) RILSA $n=175$, RILSB $n=180$

出大批的籼粳稻杂交后代品种, 在生产上的地位越来越重要。前已述及, 从常用分类性状和已经证明亚种间存在显著差异的性状分析, 我国特别是北方稻区籼粳稻杂交育成品种并没有像预期那样综合亚种特性, 而是基本保持亚种固有特性^[10-12]。可能是因为亚种特征性状与生态适应相联系, 或者与亚种间遗传上某种程度的生殖隔离有关。本研究结果表明, 在没有人工选择条件下, 籼粳稻杂交重组自交系总体上明显偏粳。进一步分析可以发现, 尽管籼粳稻杂交重组自交系总体上明显偏粳, 但是表现连续的正态分布, 大量株系为中间类型。因此, 理论上应该可以育成不同类型品种, 不足以解释上述现象。同时也表明, 就本研究的两个组合而言, 遗传上都不存在因生殖隔离产生的两极分化现象。

从宏观上看, 亚种特性与经济性状间并无必然

联系, 南方籼稻和北方粳稻中都有许多高产品种, 而这些高产品种的类型也多种多样。对某一特定的群体, 亚种特性又可能与经济性状特别是产量密切相关。本研究表明, 不同生态条件下籼粳稻杂交重组自交系程氏指数本身及其构成性状与产量和经济性状间有正相关的趋势。而且两个组合的产量, 在四川和辽宁均表现为粳型高于籼型。这种关系可能对自然选择影响不大, 但是在人工选择条件下, 经济性状好、产量高的粳或偏粳类型势必更多入选, 相反, 籼或偏籼类型将被逐渐淘汰。因此就辽宁而言, 尽管育种过程中并没有对亚种特性进行直接选择, 通过经济性状对其的间接选择, 使得北方通过籼粳稻杂交育成的品种均为粳型或偏粳型。由此推断, 即使籼粳稻杂交育种的技术路线被广泛应用, 受南北方生态环境的限制, 南籼北粳的种植

格局仍将长期保持下去。作物的生态适应性是个漫长的渐变的过程,不同亚种类型产量构成特点可能不同^[21, 22],不同品种与不同生态环境间的互作效应可能有显著的差异^[23],一些结论还需要多年多点试验和采用更多的籼粳组合去验证。

上述分析比较合理地解释了北方籼粳稻杂交育成品种仍然基本保持粳稻特性的原因。但是,为什么四川和辽宁籼粳稻杂交重组自交系程氏指数本身及其构成性状与产量和经济性状的关系类似呢?一种可能是北方在构建籼粳交重组自交系过程中虽然不加入人为选择,但是粳型或偏粳型中对光周期敏感的株系在北方长日照条件下不能正常抽穗,不耐寒的株系在北方早春低温下不能正常发芽,这些粳型或偏粳型株系会逐渐被自然淘汰。不适合辽宁生态条件被淘汰的粳或偏粳型株系可能更适合四川生态条件,而保留下来的粳型或偏粳型株系对四川生态条件适应性较差。另一种可能是四川的生态条件更适合粳型或偏粳型株系生长发育,有待进一步深入研究。籼粳稻分属于不同的气候生态型,但是长期以来我国水稻南粳北籼的种植格局,并不完全是生态适应性的结果,可能还有社会因素的影响。如历史上韩国和我国台湾籼粳稻的变迁,当然也包括籼粳交错地带籼粳稻的消长。能否利用籼粳稻杂交后代在不同生态条件下亚种特性和经济性状的变化及其相互关系,客观评估不同地区的籼粳稻适应性,是值得探讨的问题。

籼粳杂交的 F_1 群体性状不分离,不适合进行亚种分类特性评价。 F_2 , F_3 等低世代群体基因型杂合,性状尚不稳定,结实性变化幅度大,而且还存在较大的杂种优势,部分对温光敏感的株系在高纬度地区不能正常抽穗结实,实验结果重复性差。高世代(F_6 以上)重组自交系群体基因型接近纯合,性状稳定而且籼粳分化接近连续的正态分布^[17],实验结果具有代表性且可重复性好,因此是研究不同生态条件下亚种特性与经济性状变化规律及其相互关系的理想材料。另外,高世代群体受自然选择及生殖隔离等影响,容易出现偏分离现象^[17]。

程氏指数法属于形态标记方法,简便、快速而且与同工酶、RFLP、SSR 分类法有较高的一致性^[24],成为同行普遍采用的基本方法,但其应用数量性状较多,受主观经验影响较大。20 世纪 80 年代

以来分子标记技术飞速发展,简便快捷、客观性强、不受环境影响,在稻属分类^[25-28]和系统演化^[29-32]等研究上得到广泛应用。但当前分子标记法尚未形成一套可独立应用的分类系统,众多籼粳分化型标记还离不开传统形态分类法的验证。籼粳分化涉及多个位点,可能遍布整个基因组,而且大量籼粳稻杂交育成品种具有复杂的血缘,仅依据少数形态或分子标记进行分类难以全面反映整个基因组的差异。目前,本实验室正在将形态标记与分子标记相结合,研究不同生态条件下亚种间杂交后代籼粳分化规律,利用分子标记追踪籼粳双亲遗传物质分离、重组,以进一步揭示籼粳分化的遗传特别是分子遗传基础。

4 结论

试验结果表明,辽宁育成的两个典型籼粳稻杂交重组自交系群体在四川和辽宁两个生态区种植,亚种特性和经济性状都发生了显著的变化。生态条件对程氏指数和构成性状的影响因群体和性状而异,RILSA 群体在四川和辽宁都呈偏粳分布,RILSB 群体在辽宁接近正态分布,在四川呈偏粳分布,总体上四川表现比辽宁更加偏粳。与辽宁相比,四川穗数、结实率和千粒重降低,因而产量极显著下降,而穗粒数在不同地区和不同群体间差异不显著。程氏指数和构成性状与产量和经济性状有正相关的趋势,育种过程中人工选择可能是北方稻区籼粳稻杂交育成品种仍然基本保持粳亚种特性的重要原因。本试验为进一步研究不同生态条件下亚种间杂交后代籼粳分化规律及其遗传机制奠定了基础。

参 考 文 献

- 1 中国农业科学院. 中国稻作学. 北京: 农业出版社, 1984. 309—316
- 2 松尾孝嶺. 稻学大成 第三卷 遗传编. 东京: 农山渔村文化协会, 1990. 661—664
- 3 杨守仁, 赵纪书. 籼粳稻杂交问题之研究. 农业学报, 1959, 10(4): 256—268
- 4 袁隆平. 杂交水稻超高产育种. 杂交水稻, 1997, 12(6): 1—4
- 5 杨守仁, 张龙步, 陈温福, 等. 水稻超高产育种的理论和方法. 作物学报, 1996, 22(3): 295—304
- 6 周开达, 汪旭东, 李仕贵, 等. 亚种间重穗型杂交稻研究. 中

- 国农业科学, 1997, 30(5): 91—93
- 7 熊振民, 程式华, 曹立勇. 水稻籼粳杂种优势利用研究的现状与展望. 水稻文摘, 1989, 5: 1—4
- 8 邹江石, 吕川根. 水稻超高产育种的实践与思考. 作物学报, 2005, 31(2): 254—258
- 9 林世成, 闵绍楷. 中国水稻品种及其系谱. 上海: 上海科技出版社, 1991, 106—138
- 10 徐正进, 陈温福, 张龙步, 等. 水稻穗颈维管束性状的类型间差异及其遗传的研究. 作物学报, 1996, 22(2): 167—172
- 11 徐正进, 李金泉, 黄瑞冬, 等. 籼粳稻杂交后代亚种特性表现与分类研究. 中国农业科学, 2003, 36(12): 1571—1575
- 12 陈温福, 徐正进, 张龙步. 水稻超高产育种生理基础. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2003, 146—155
- 13 李任华, 徐才国, 何予卿, 等. 水稻亲本遗传分化程度与籼粳杂种优势的关系. 作物学报, 1998, 24(5): 564—576
- 14 孙传清, 姜廷波, 陈亮, 等. 水稻杂种优势与遗传分化关系的研究. 作物学报, 2000, 26(6): 641—649
- 15 杨振玉, 刘万友. 籼粳亚种间 F_1 的分类及其与杂种优势关系的研究. 中国水稻科学, 1991, 5(4): 151—156
- 16 徐正进, 李金泉, 姜健, 等. 籼粳稻杂交育成品种的亚种特征性状及其与经济性状的关系. 作物学报, 2003, 29(5): 735—739
- 17 程式华, 毛传澡, 占小登, 等. 籼粳交 DH 群体和 RIL 群体的构建及籼粳分化. 中国水稻科学, 2001, 15(4): 257—260
- 18 梅捍卫, 黎志康, 王一平, 等. “Lemont/特青”重组自交系六性状籼粳分类研究. 中国水稻科学, 1997, 11(4): 193—197
- 19 吴长明, 孙传清, 付秀林, 等. 稻米品质性状与产量性状及籼粳分化度的相互关系研究. 作物学报, 2003, 29(6): 822—828
- 20 程侃声. 亚洲栽培稻籼粳亚种的鉴别. 昆明: 云南科技出版社, 1993, 1—23
- 21 何光华, 郑家奎, 李耘, 等. 不同类型水稻产量组分研究. 西南农业大学学报, 1993, 15(5): 438—440
- 22 彭俊华, 李有春. 水稻籼粳两亚种产量构成特点的剖析与比较. 四川农业大学学报, 1990, 8(3): 162—168
- 23 彭俊华. 水稻产量的基因型 $\times$ 环境互作分析及生态类型区的划分. 四川农业大学学报, 1991, 9(3): 327—333
- 24 王象坤, 李任华, 孙传清, 等. 亚洲栽培稻的亚种及亚种间杂交稻的认定与分类. 科学通报, 1997, 42(24): 2596—2603
- 25 陈立云, 熊炜, 阳菊华, 等. 水稻籼粳成分判定及亚杂组合结实率稳定性与亲本亲缘关系. 湖南农业大学学报, 2002, 28(2): 89—92
- 26 祁仲夏, 宋文芹, 金刚, 等. 稻属基因组间相关性的 AFLP 分析. 南开大学学报(自然科学版), 2001, 34(3): 74—80
- 27 Qian HR, Zhuang JY, Lin HX, et al. Identification of a set of RFLP probes for subspecies differentiation in *Oryza sativa* L. Theor Appl Genet, 1995, 90: 878—884
- 28 王松文, 刘霞, 王勇, 等. RFLP 揭示的籼粳基因组多态性. 中国农业科学, 2006, 39(5): 1038—1043
- 29 Sun CQ, Wang XK, Li ZC, et al. Comparison of the genetic diversity of common wild rice(*Oryza rufipogon* Griff.) and cultivated rice(*Oryza sativa* L.) using RFLP markers. Theor Appl Genet, 2001, 102: 157—162
- 30 Nonnatus SB, Renando S, Osamu K, et al. RAPD, RFLP and SSCP analyses of phylogenetic relationships between cultivated and wild species of rice. Genes Genet, 2001, 76: 71—79
- 31 王振山, 陈洪. 中国普通野生稻遗传分化的 RAPD 研究. 植物学报, 1996, 38(9): 749—752
- 32 蔡星星, 刘晶, 仇吟秋, 等. 籼稻 9311 和粳稻日本晴 DNA 插入缺失差异片段揭示的水稻籼—粳分化. 复旦学报(自然科学版), 2006, 45(3): 309—315