

## e-杂交稻若干生物学特性研究

张书标 杨仁崔\*

(福建农林大学作物遗传育种研究所,福建福州 350002)

**摘要** 研究了 e-杂交稻的株形、产量构成、茎秆抗倒性,并分析了 e-杂交稻的稻米品质。结果表明,与原杂交稻相比, e-杂交稻具有与原杂交稻相似的株叶形态和生育期外;植株生长较繁茂,各个生育期的植株高度略有增加,但分蘖数略有降低;构成产量因素中的有效穗、结实率和穗粒数略有降低,但千粒重增加,保持原杂交稻的产量水平。茎秆的倒伏指数略有增加。稻米米粒变长、变宽,长宽比增加,稻米的外观品质有所改良。统计分析表明,所研究的 e-杂交稻各性状与原杂交稻性状间的差异都达不到显著水准。本文还就 eui 种质的育种应用作了进一步讨论。

**关键词** e-杂交稻;株形;产量构成;抗倒性;品质

中图分类号: S511 文献标识码: A

## Some Biological Character of eui-hybrid Rice

ZHANG Shu-Biao YANG Ren-Cui

(Institute of Genetics and Crop Breeding, FAFU, Fuzhou, Fujian 350002, China)

**Abstract** Plant type, yield components, lodging resistance as well as grain quality of eui-hybrid rices were investigated. The results indicated that the plant type and growth duration of eui-hybrids was closed to original hybrids compared with the original non-eui-hybrids. The eui-hybrids showed a little bit increased heterosis in plant height, and a little bit decreased in tillers. For yield components, the eui-hybrids had less productive panicle, seed setting, grain number, but more grain weight and yield level same as original hybrids. Its grain was longer, wider and the L/W ratio was increasing. The lodging index of it increased a little. Statistical results showed there was no significant difference in the agronomic traits investigated between the eui-hybrid and the original hybrid. The utilization of the eui-stock in hybrid rice breeding was also discussed in this paper.

**Key words** eui-hybrid rice; Plant type; Yield components; Lodging resistance; Grain quality

eui 基因具有遗传解除不育系包穗的功能。自 20 世纪 80 年代初发现 eui 种质以来<sup>[1]</sup>,国内外不少学者都尝试利用 eui 种质选育长穗颈不育系<sup>[2]</sup>;或选育高秆隐性恢复系<sup>[3]</sup>,但都未能获得成功。杨仁崔采取直接诱变 B 系、R 系和 S 系,选育长穗颈不育系(eA 系、eS 系)、高秆隐性恢复系(eR),进而育成 e-杂交稻的技术路线,初步建立起 e-杂交稻育种技术体系<sup>[4,5]</sup>。这一技术体系的技术目标是建立不用或少用赤霉素的高产、优质、低耗、无污染、可持续发展的杂交稻种子生产技术,和选育优势更强、更高产、品质改良的 e-杂交稻,从而推进水稻育种技术

及生产的发展,获得更大经济效益。

自 e-杂交稻育种技术体系初步建立以来,已育成了若干长穗颈不育系并对它们的特征特性进行了研究<sup>[6-8]</sup>。为此,本文研究 e-杂交稻的株形、产量构成、茎秆抗倒性,并分析了 e-杂交稻的稻米品质,以期 e-杂交稻的选育及其栽培提供理论基础。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

不育系:协青早 eA2(含 eui2 基因)、协青早 A、-32eA1(含 eui1 基因)及 -32A。

\*基金项目:国家自然科学基金(30070470)。

作者简介:张书标(1972-),男,福建屏南人,博士,从事水稻遗传育种研究。

Received(收稿日期):2001-11-29,Accepted(接受日期):2002-10-05。

恢复系:明恢 63、明恢 86、皖恢 57 及密阳 46。

## 1.2 试验方法

上述 4 个不育系为母本和 4 个恢复系为父本,按  $p \times q$  模式配置的 16 个杂种。试验于 2000 年在福建农林大学实验田进行。田间设计采取 4 区组随机排列,每个小区  $10 \times 17$  株,株行距  $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ ,单本插。田间管理同一般大田。

成熟期每个小区取 10 株考察株高、穗长、剑叶长、倒二叶长、倒三叶长、各节间长、有效穗、穗粒数、结实率、千粒重、一次枝梗、二次枝梗及着粒密度、生育期等性状并实割测产。

插秧后 10 d,定期跟踪各组合的苗高和株高及分蘖动态。

成熟期抗倒性的测定。每个组合取 10 个茎秆,测定倒 3 节间、倒 4 节间及倒 5 节间的粗度、茎秆壁厚、节间长、各节至穗顶的高度及其鲜重和各节间中部的抗折力,计算各组合倒 5 节至倒 3 节的弯曲力矩和倒伏指数<sup>[9]</sup>。

稻米品质分析在菲律宾国家水稻研究所进行(参照 Guidelines and policies,PhilRice. Rice technical working group)。

## 2 结果与分析

### 2.1 $e$ -杂交稻生物学特性

#### 2.1.1 $e$ -杂交稻的株叶形态

将 16 个组合分为两组:一组为含有 *eui* 基因的  $e$ -杂交稻组合;另一组为不含 *eui* 基因的原杂交稻组合,分析两类杂交稻性状的差异性。从两类杂交稻性状对比表中可以看出, $e$ -杂交稻的株叶形态和生育期似同于原杂交稻,只是株高比对照高出近 4 cm,穗颈伸出度、叶片长、各节间略有增长,其中倒 1 节间长增加 1.34 cm,占总增长量的 33.75%。基部各节增幅都在 0.3 cm 范围之内,差异都不显著。穗部性状的穗粒数、结实率、有效穗及着粒密度略有降低,但千粒重增加 0.37 g(表 1)。统计分析表明,两类杂交稻所有性状间差异均不显著。

表 1  $e$ -杂交稻性状对比表

Table 1 Comparison of some agronomic traits between *eui*-hybrid and its original hybrid

	株高 Plant height (cm)	穗颈伸出度 Panicle exsertion (cm)	剑叶长 Length of flag leaves (cm)	倒二叶长 Length of second leaves (cm)	倒三叶长 Length of third leaves (cm)	穗长 Panicle length (cm)	倒 1 节间长 First internode length (cm)	倒 2 节间长 Second internode length (cm)	倒 3 节间长 Third internode length (cm)	倒 4 节间长 Fourth internode length (cm)
$e$ -杂交稻	119.18a	2.69a	35.48a	47.60a	47.00a	25.39a	37.58a	23.89a	16.72a	8.37a
	5.46	3.00	2.68	3.90	4.67	1.06	3.12	1.59	0.85	1.13
原杂交稻	115.21a	1.98a	34.26a	46.62a	45.97a	24.88a	36.24a	23.84a	16.48a	8.07a
	6.55	2.45	2.94	4.02	4.17	1.18	2.59	1.87	0.92	1.11
	倒 5 节间长 Fifth internode length (cm)	穗粒数 Grain number (No.)	一次枝梗 Primary branch (No.)	二次枝梗 Secondary branch (No.)	有效穗 Productive panicle (No.)	结实率 Seed setting (%)	着粒密度 Seed density (No./cm)	千粒重 1000-grain weight (g)	生育期 Growth duration (d)	
$e$ -杂交稻	3.95a	154.54a	10.72a	27.31a	11.04a	1.12a	6.09a	28.43a	115.04a	
	1.16	24.39	0.90	4.89	1.32	0.09	0.94	1.84	3.87	
原杂交稻	3.72a	157.62a	10.73a	27.53a	11.20a	1.14a	6.35a	28.04a	115.08a	
	1.07	28.62	1.02	6.23	1.24	0.07	1.20	2.04	2.60	

注:相同字母表示差异不显著,下同。第二行为各性状的标准差。

Note: the same letter indicates no significant different at 5% level, same as below. The SD of each trait is in second line.

#### 2.1.2 $e$ -杂交稻产量构成

表 2 可以看出,含有协青早  $eA2$  的组合与原组合相比,不论理论产量及实际产量都比原组合高。但含有  $-32eA1$  的组合理论产量和实际产量都比原组合低( $-32eA1$ /明恢 86 除外)。有的  $e$ -杂交稻组

合略有增产,有的略有减产,取决于  $e$ -杂交稻组合产量构成 4 个因素的变化,但差异都不显著。协青早  $eA2$  组合的增产是由于千粒重和有效穗增加,而  $-32eA1$  组合的减产是由于有效穗减少。统计两类杂交稻的产量,可以看出  $e$ -杂交稻和原杂交稻之间

表 2 *e*-杂交稻产量构成  
Table 2 The yield components of *eui*-hybrids and its original hybrids

组合 Combination	穗粒数 Grain number (No.)	有效穗 Productive panicle (No.)	千粒重 1000-grain weight (g)	结实率 Seed setting (%)	实际产量 Yield (t/hm <sup>2</sup> )	理论产量 Theory yield (t/hm <sup>2</sup> )
协青早 eA2/明恢 63	123.52	12.87	30.82	84.05	9.017	8.824
协青早 A/明恢 63	122.88	12.60	30.98	85.48	8.274	8.786
协青早 eA2/明恢 86	133.33	11.77	31.18	83.31	8.733	8.735
协青早 A/明恢 86	135.09	11.33	30.98	84.05	8.612	8.540
协青早 eA2 皖恢 57	150.67	11.87	26.97	78.61	8.570	8.125
协青早 A/皖恢 57	157.73	10.90	26.62	81.01	8.415	7.945
协青早 eA2/密阳 46	128.82	13.00	28.57	85.48	8.050	8.764
协青早 A/密阳 46	128.89	13.07	27.53	86.18	7.689	8.565
-32eA1/明恢 63	165.20	10.80	28.12	64.25	7.746	6.908
-32A/明恢 63	153.85	11.20	28.41	68.97	8.285	7.235
-32eA1/明恢 86	166.58	10.07	28.42	84.77	8.311	8.660
-32A/明恢 86	177.89	9.93	27.38	81.79	8.779	8.477
-32eA1/皖恢 57	189.95	9.53	25.65	86.18	7.793	8.575
-32A/皖恢 57	205.78	9.33	25.11	86.18	8.098	8.903
-32eA1/密阳 46	178.26	10.10	27.74	79.42	7.236	8.500
-32A/密阳 46	178.82	11.27	27.35	84.05	7.254	9.927
<i>e</i> -杂交稻	154.45	11.04	28.43	80.76	8.067	8.387
原杂交稻	157.62	11.20	28.04	82.21	8.067	8.548

的实际和理论产量都没有差异。

### 2.1.3 *e*-杂交稻植株生长动态

分别统计两类杂交稻不同时期的株高。表 3 可以看出,从苗期到成熟的各个生长发育阶段 *e*-杂交稻的植株高度都比原杂交稻略有增加。随着生长发育,*e*-杂交稻的生长优势更加明显。说明 *eui* 基因能够提高水稻群体的生长势,从而增加水稻的生物产量。

### 2.1.4 *e*-杂交稻分蘖动态

从 *e*-杂交稻和原杂交稻分蘖动态对比表可以看出,*e*-杂交稻的分蘖数在各个时期都比原杂交稻略有减少,但差异都不显著(表 4)。可以认为,*eui* 基因并没有改变原杂交稻的分蘖特性,具有与原组合相似的分蘖动态。同原杂交稻相比,*e*-杂交稻组合的最后有效穗减少了 0.18 穗。

表 3 *e*-杂交稻植株生长动态  
Table 3 The growth developing of the plant height of the *eui*-hybrids

类别 Type	时期 Period							成熟期 Maturing stage
	06/13	06/20	06/25	07/03	07/09	07/20	08/01	
<i>e</i> -杂交稻	35.97a	42.03a	50.80a	58.77a	65.39a	81.27a	88.56a	119.18a
原杂交稻	35.51a	41.47a	49.58a	58.49a	63.41a	79.24a	85.62a	115.21a

表 4 *e*-杂交稻分蘖动态  
Table 4 The developing of the tillering of the *eui*-hybrids

类别 Type	时期 Period									成熟期 Maturing stage
	06/13	06/20	06/24	06/29	07/02	07/06	07/10	07/18	07/24	
<i>e</i> -杂交稻	2.43a	3.92a	6.17a	12.12a	16.70a	17.98a	17.79a	15.88a	14.79a	11.02a
原杂交稻	2.65a	3.99a	6.53a	12.64a	17.59a	18.75a	18.42a	16.02a	15.68a	11.20a

## 2.2 e-杂交稻抗倒性分析

茎秆的抗倒伏能力,是由茎秆的粗度、秆壁的厚度、节间长、秆高和秆重等相协调的一个综合指标。e-杂交稻与原杂交稻相比,倒5节、倒4节和倒3节抗倒性的各项指标都没有显著的差异。抗折力略有

增加,但弯曲力矩由于秆高和秆重而加大,导致倒伏指数略有增加。e-杂交稻秆粗、壁厚有轻微降低,但抗折力却略有增加,可能是因为秆内机械组织发达。表5表明,e-杂交稻并没有改变原杂交稻茎秆的抗倒特性。

表5 两类杂交稻茎秆抗倒性  
Table 5 Lodging resistant ability of two-type hybrid rice

类别 Type	节间 Internode	秆粗 Thickness of culm (mm)	壁厚 Thickness of culm wall (mm)	节间长 Internode length (cm)	秆重 Weight of culm (g)	秆高 Culm height (cm)	抗折力 Breaking resistant strength (g)	弯曲力矩 Bending moment	倒伏指数 Lodging index
原杂交稻	倒5节	5.82a	0.93a	4.09a	18.64a	113.09	1032.60a	2115.64a	205.75a
e-杂交稻	倒5节	5.77a	0.92a	4.36a	19.49a	117.76	1057.60a	2309.43a	220.39a
原杂交稻	倒4节	5.54a	0.72a	7.83a	17.59a	109.10	901.31a	1926.10a	215.97a
e-杂交稻	倒4节	5.42a	0.71a	8.65a	18.62a	113.28	919.87a	2119.83a	233.00a
原杂交稻	倒3节	5.12a	0.57a	15.08a	16.07a	101.42	750.31a	1635.33a	221.53a
e-杂交稻	倒3节	5.09a	0.58a	16.13a	16.59a	104.74	796.60a	1747.39a	224.22a

## 2.3 e-杂交稻稻米品质分析

由表6中可以看出,e-杂交稻与原杂交稻的稻米品质区别最大的是外观品质上,谷粒增长增大,长宽比加大。糙米和精米略有下降,但整精米却增加

了3.22%。淀粉含量降低0.2%,粗蛋白含量增加0.22%。总的说,除外观品质其余稻米品质的指标基本上没有变化。

表6 e-杂交稻稻米品质对比表  
Table 6 Comparison of rice quality between eui-hybrid and original hybrid

类别 Type	谷壳 Hull (%)	糙米 Brown rice (%)	精米 Milled rice (%)	整精米 Head rice (%)	垩白 Chalky (%)	谷粒长 Length (cm)
原杂交稻	20.60	79.4	67.84	29.77	42.00	5.97
e-杂交稻	21.05	78.95	67.39	32.99	42.65	6.13

  

类别 Type	谷粒宽 Width (cm)	长宽比 Shape	淀粉 Amylose (%)	粗蛋白 Crude protein (%)	胶稠度 Gel consistency (mm)	糊化温度 Gel-Temp
原杂交稻	2.28	2.63	20.88	8.58	50.68	3.20
e-杂交稻	2.30	2.69	20.61	8.80	52.13	3.45

## 3 讨论

研究表明,e-杂交稻和原杂交稻具有一样(相近)的半矮秆株形、生育期、生长发育特性、抗倒性以及相同的稻米品质,所考察的19个性状都不存在显著差异。但又因e-杂交稻含有eui基因,使得其又具有与原杂交稻不同的生物学特性。研究e-杂交稻生物学特性,对于指导e-杂交稻的选育和栽培具有重要的意义。本研究表明,与原杂交稻相比,e-杂交稻植株繁茂性较好,各个生育期的植株高度略有增加,分蘖数略有降低;构成产量因素中的有效穗、

结实率和穗粒数略有降低,但千粒重增加,具有原杂交稻的产量水平;稻米米粒变长、变宽,长宽比增加,稻米的外观品质有所改良;茎秆抗折力和植株倒伏指数略有增加。

随着高产育种的深化,人们认识到过矮的品种虽有利于抗倒,但不利于丰产性的提高。因此人们对水稻抗倒性又提出了新的要求,即在不倒伏的前提下,如何矮中求高。水稻超高产育种的发展趋势是适当提高株高。矮秆有使叶片密集、叶片易于早衰、穗型变小、病虫危害较重,影响籽粒性状等不利之处,也不利于生物产量的提高<sup>[10]</sup>。矮秆可提高抗

倒性和收获指数<sup>[11]</sup>,但在不倒伏的前提下,增加现有半矮秆水稻的株高将有利于其产量的提高<sup>[12]</sup>。许多研究也都认为,要进一步提高水稻产量,主要取决于生物产量的提高<sup>[13-15]</sup>。前人的研究已证明,生物产量与植株高度呈显著或极显著正相关<sup>[16,17]</sup>,而稻谷产量与经济产量呈显著或极显著正相关<sup>[18,19]</sup>。徐正进等认为,从长远的观点,适当增加株高可能是高产更高产的方向<sup>[20]</sup>。 $e$ 杂交稻的株高略有增加主要是由于穗长和倒 1 节的增加,二者增加的比例占总增长量的 46.60%,而基本上没有改变基部节间的结构,对基部节间的抗倒性影响不大。 $e$ 杂交稻株高略有增加,将有利于改善目前杂交稻上部冠层结构,以利于通风透光,减少后期病虫害的发生,增加生物学产量而提高稻谷产量。因此,选育  $e$ 杂交稻对于进一步提高水稻的产量具有重要的意义。

现在的新株型稻是对大穗、少蘖、壮秆种质的利用<sup>[21-23]</sup>。Khush<sup>[24]</sup>指出,玉米、高粱等其他禾本科作物产量的潜力的提高是伴随着库容量的加大,而库容量的加大是伴随着分蘖的减少。与玉米、高粱相比,目前水稻的无效分蘖太多。过多的分蘖,会形成一个良好的微环境以利于一些内生性病原体病害的发生<sup>[25]</sup>。Janoni<sup>[22]</sup>指出少蘖有利于水稻集中开花和成熟一致。因此,水稻今后的育种应注重少蘖大穗的选择。 $eui$ 基因具有使杂种株高略有增加分蘖略有减少的特性,选育含有  $eui$  基因的  $e$ 杂交稻将会有助于现在新株型稻的发展。

$e$ 杂交稻产量构成四个因素中的有效穗、结实率和穗粒数略有降低,千粒重增加。从中可以说明, $e$ 杂交稻产量的变化是通过这一增三减来协调的。有的组合增产,有的组合减产,主要取决于增与减的程度,依不同  $e$ 杂交稻组合而变化,但产量的增减都没有达到显著水平。从总体来看, $e$ 杂交稻具有与原杂交稻相同的产量潜力。如今,杂交稻产量构成的四个因素,单一的结实率、有效穗、穗粒数和千粒重已不再是杂种优势利用的一个限制因素。杂种优势的进一步利用是怎样的去协调这四者的关系。 $e$ 杂交稻的产量有增有减,因此,改造结实率高、有效穗多、穗粒数多的组合为  $e$ 杂交稻是今后选育  $e$ 杂交稻的一个方向。徐正进等<sup>[20]</sup>认为,在现有高产品种的基础上,提高每穗粒数和千粒重是进一步高产的主要途径,而增加单位面积穗数的潜力可能不大。

水稻抗倒性的内在因素主要是茎的抗倒性和根系发达与否,本文研究了茎的抗倒性。影响茎的抗倒性的因子很多,主要包括茎长、茎的机械强度及茎的负重三者。茎的机械强度一般与茎的抗倒性成正比,它与节间粗、节间厚、维管束的大小及分布都有密切的关系。孙旭初<sup>[26]</sup>、杨惠杰等<sup>[27]</sup>也得出相似的结论。茎秆较高、秆较重、抗折力较低,倒伏指数就高,植株茎秆抗倒伏能力就弱,反之亦然。 $e$ 杂交稻茎的抗折力并不低,但因茎的负重增加,致使倒伏指数变大,抗倒性能略有下降。

随着人们生活水平的提高,水稻稻米品质改良已成为水稻育种中的一项重要任务。稻米的品质主要由碾磨品质、外观品质、蒸煮品质和营养品质所组成。通过对  $e$ 杂交稻的稻米碾磨品质、外观品质和营养品质的综合评价。结果表明, $eui$ 基因没有改变  $e$ 杂交稻稻米的理化品质,但使米粒变长、变宽、长宽比增加,因而利用  $eui$ 基因将会有助于稻米外观品质的改良。

本研究表明,通过辐射直接诱变 B 系,选育长穗颈不育系,组配的  $e$ 杂交稻能够直接应用于生产,这也说明了通过辐射诱变的方法利用  $eui$ 基因遗传解除不育系包穗选育  $e$ 杂交稻的技术路线和方法是可行、有效的<sup>[28]</sup>。

$e$ 杂交稻虽然具有与原杂交稻相近的半矮秆株叶形态,但由于  $eui$ 基因的存在使得杂种株高略有增加,虽没有改变茎秆的结构,也使得各节间略有增长,茎秆的负重增加,抗倒性有所下降。生产上有必要通过相应的栽培措施来克服  $e$ 杂交稻株高略高的缺陷,发挥  $e$ 杂交稻的产量潜力。

本研究可以看出,不同的  $eui$ 基因对杂种的影响(特别是产量的影响)不同,同样的  $eui$ 基因于不同的遗传背景下对杂种的效应不一样,不同的  $eui$ 基因于相同的遗传背景下的效应也不一样,即  $eui1$ 基因可能在某一遗传背景下能使杂种增产,在另一遗传背景下使杂种减产; $eui2$ 基因也存在同样的问题。产量的增减是通过其构成因素间相互协调的结果,可能  $eui$ 基因使穗数减少和千粒重增加在某遗传背景下是正效应,而在另一遗传背景下是负效应。在今后的  $e$ 杂交稻育种工作中要注意不同  $eui$ 种质于不同遗传背景的利用,筛选强优势的组合,选育高产、更高产的  $e$ 杂交稻。

因研究的局限性而不能用量化的指标来勾画出  $e$ 杂交稻的理想株形。初步认为将具有以下几个指

标的种质改造为  $e$  杂交稻是近期育种的主要目标: 基部 3 个伸长节间短、茎秆粗壮、穗大、粒数多、剑叶较厚。

## References

- [1] Rutger J N, Carnahan H L. Fourth genetic element to facilitate hybrid cereal production - recessive tall in rice. *Crop Science*, 1981, 21: 373—376
- [2] Shen Z-T(申宗坦), Yang C-D(杨长登), He Z-H(何祖华). Studies on eliminating panicle enclosure in WA-type CMS line of rice (*Oryza sativa* subsp. *indica*). *Chinese J Rice Sci* (中国水稻科学), 1987, 1(2): 95—99
- [3] Virmani S S, Dalmacio R D, Lopez, M T. *eui* gene for elongated uppermost internode transferred to *indica* rice. *IRRN*, 1988, 13(6): 6
- [4] Yang R-C(杨仁崔). A breeding method of non panicle enclosure in CMS lines. Invention Patent Bulletin(发明专利公报). Patent Bureau of People's Republic of China, 1998, 14(45): 2—3
- [5] Yang R-C(杨仁崔), Huang R-H(黄荣华), Yang S-L(杨蜀岚), Zhang Q-Q(章清杞). A breeding method of hybrid rice. Invention Patent Bulletin(发明专利公报). Patent Bureau of People's Republic of China, 1999, 15(43): 5
- [6] Zhang Q-Q(章清杞), Huang R-H(黄荣华), Zhang S-B(张书标), Liang K-J(梁康迳), Wang N-Y(王乃元), Yang R-C(杨仁崔). Development of CMS line XieqingzaoeA(1) with *eui* gene. *Journal of Fujian Agricultural University* (福建农业大学学报), 2000, 29(4): 411—415
- [7] Huang R-H(黄荣华), Zhang Q-Q(章清杞), Zhang S-B(张书标), Yang S-L(杨蜀岚), Yang R-C(杨仁崔). A preliminary study on the development of *eui*-CMS lines in rice by radiation-induced mutation. *Journal of Fujian Agricultural University* (福建农业大学学报), 2001, 30(2): 133—137
- [8] Zhang S-B(张书标), Yang R-C(杨仁崔), Huang R-H(黄荣华), Zhang Q-Q(章清杞). Development of *eui*-T(P) CMS line Peiai64eS(1) of rice. *Acta Agriculture Nucleatae Sinica* (核农学报), 2001, 15(4): 193—198
- [9] 濑古秀生. 水稻の倒伏に関する研究. 九州农试汇报, 1962, 7: 419—495
- [10] Yang S-R(杨守仁). Rice Monograph of Yang Shouren(杨守仁水稻文选). Shenyang: Liaoning Sciencetech Press, 1998, 270
- [11] Tsunoda S. A developmental analysis of yielding ability in varieties of field crops ( ): Quantitative and spatial development of the stem system. *Jpn J Breeding*, 1962, 12: 49—56
- [12] Peng S, Khush G S, Cassman K G. Evolution of the new plant ideotype for increased yield potential. In: Edited by Cassman K G. Breaking the yield barrier. 1994, 5—19
- [13] Cai J-Z(蔡建中), Wang Y-I(王余龙), He J-S(何杰升), Zou L-H(邹来福), Zou D-H(邹德和), Yuan H-G(袁汉根), Ni J-H(倪加宏), Zhu H-W(朱红文). The relationship between the yield component and the dry matter production of the population and their effects on the grain yield. *Journal of Jiangsu Agricultural College* (江苏农业学报), 1989, 10(4): 9—12
- [14] Wang B-L(王伯伦), Dong K(董克), Liu X-A(刘新安), Yu G-R(于贵瑞), Chen Z-W(陈振武), Cai W-C(蔡文春), Gao F-X(郭凤仙), Cao H-Y(曹洪印), Chen S(陈松). Studies on the ideotype of rice plants from cultural point of view. *Journal of Shenyang Agricultural University* (沈阳农业大学学报), 1991, 22(suppl): 61—68
- [15] Jiang P-Y(蒋彭炎). The some biological characters of high yield rice. *China Rice* (中国稻米), 1994, 1(2): 43—45
- [16] Yang S-R(杨守仁), Zhang L-B(张龙步), Wang J-M(王进民). The theory and method of ideal plant morphology in rice breeding. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 1984, 3: 6—11
- [17] Xiong Z-M(熊振民), Min S-K(闵绍楷). Analysis of the yield component of newly-released and its future prospect. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 1986, 6: 17—23
- [18] Lei X-S(雷宏淑), Xi D-B(奚鼎保). The relationship between economic yield and biological yield of rice. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 1964, 12(3): 263—266
- [19] Yan Z-D(颜振德). The progress of rice varieties and development of cultural technique. Monograph of Ideotype of Rice(水稻理想株型座谈会论文集). Shenyang: Rice Research Group of Shenyang Agricultural University Press, 1986
- [20] Xu Z-J(徐正进), Zhang L-B(张龙步), Chen W-F(陈温福), Wang J-M(王进民), Dong K(董克). Judging the way forward of breeding *japonica* rice for high yield from the advance of breeding super-high yield varieties in Japan. *Journal of Shenyang Agricultural University* (沈阳农业大学学报), 1991, 22(suppl): 27—33
- [21] Vergara B S. Raising the yield potential of rice. *Philipp Tech J*, 1988, 13: 3—9
- [22] Janoria M P. A basic plant ideotype for rice. *Int Rice Res Newsl*, 1989, 14(3): 12—13
- [23] Dingkuhn M, Penning de Vries F W T, De Datta S K, van Laar H H. Concepts for a new plant type for direct seeded flooded tropical rice. In: Direct seeded flooded rice in tropics, IRRI, Los Banos, Philippines, 1991, 17—38
- [24] Khush G S. Variety needs for different environments and breeding strategies. In: K Muelidhen, E Siddiq, ed. New Frontiers in rice Research. Directorate of Rice Research, Hyderabad, India. 1990, 68—75
- [25] Mew T. Disease management in rice, In: D Pigmentel ed. CRC handbook of pest management in Agriculture, Second Edition, Vol. III. CRC Press Inc, Boston. 1991, 279—299
- [26] Sun X-C(孙旭初). Studies on the resistance of the culm of rice to lodging. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 1987, 20(4): 32—37
- [27] Yang H-J(杨惠杰), Yang R-C(杨仁崔), Li Y-Z(李义珍), Jiang Z-W(姜照伟), Zheng J-S(郑景生). The relationship between culm traits and lodging resistance of rice. *Fujian Journal of Agricultural Sciences* (福建农业学报), 2000, 15(2): 1—7
- [28] Gao M-W(高明尉). The transvers  $e$ -penetrate of crop induced breeding technique. *Journal of Nuclear agricultural Science* (核农学通报), 1987(3): 1—6