

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2010.01011

## 水稻氮高产高效与低产低效两类品种株型特征差异研究

张庆<sup>1</sup> 殷春渊<sup>1</sup> 张洪程<sup>1,2,\*</sup> 魏海燕<sup>1,2</sup> 马群<sup>1</sup> 杭杰<sup>1</sup> 李敏<sup>1</sup>  
李国业<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室; <sup>2</sup> 农业部长江流域稻作技术创新中心, 江苏扬州 225009

**摘要:** 以氮利用高产高效型和低产低效型的 12 个粳稻品种的大田试验研究了 225 kg hm<sup>-2</sup> 纯氮水平下株型特征的类型间差异, 以及株型特征、倒伏性状、产量和氮肥利用率的相互关系。结果表明, 水稻上三叶的叶长、叶披垂度, 氮高产高效型品种显著低于氮低产低效型, 平均分别低 9.29%、65.3%; 上三叶的叶宽、群体 LAI、有效 LAI、高效 LAI 和比叶重, 氮高产高效型平均分别比氮低产低效型高 29.25%、8.27%、13.32%、6.66% 和 5.82%。相对于氮低产低效型品种, 氮高产高效型品种植株茎秆节间配置合理, 抗倒能力增强。水稻的产量、氮肥利用效率与植株上三叶的叶长、叶披垂度均呈显著或极显著负相关, 与上三叶的叶宽、群体 LAI、有效 LAI、高效 LAI 和比叶重呈显著或极显著正相关, 与抗折力、弯曲力矩和秆型指数呈显著或极显著正相关。尤其是剑叶、倒三叶的叶长和叶宽对氮素利用效率的作用较大。说明良好的株型结构是氮肥利用效率提高的前提。

**关键词:** 水稻; 株型特征; 氮效率; 产量

## Differences of Plant-Type Characteristics between Rice Cultivars with High and Low Levels in Yield and Nitrogen Use Efficiency

ZHANG Qing<sup>1</sup>, YIN Chun-Yuan<sup>1</sup>, ZHANG Hong-Cheng<sup>1,2,\*</sup>, WEI Hai-Yan<sup>1,2</sup>, MA Qun<sup>1</sup>, HANG Jie<sup>1</sup>, LI Min<sup>1</sup>, and LI Guo-Ye<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Key Laboratory of Crop Genetic and Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou University; <sup>2</sup> Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Cultivation in Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture, Yangzhou 225009, China

**Abstract:** A field experiment with 225 kg ha<sup>-1</sup> N fertilizer application was carried out in 2006 and 2007 on the farm of Yangzhou university, Jiangsu province, China. Using 12 rice genotypes (six N-efficient and six N-inefficient) selected from 120 rice cultivars grown in Yangzhou during 2004 and 2005 to investigate the relationship among the plant-type characteristics, N use efficiency and yield performance. The results showed that the top three leaves length and drop-angle of high yield and N-efficient rice genotypes were 9.29%, 65.30% lower than those of the low yield and N-inefficient ones, and the width of the top three leaves, population LAI, valid LAI, high valid LAI, and LW/LA (leaves weight/leaves area) of the former of were 29.25%, 8.27%, 13.32%, 6.66%, and 5.82% higher than those of the latter on average respectively. The high yield and N-efficient genotypes had higher lodging resistance capability and more reasonable distribution for the length of internodes on stem than the low yield and N-inefficient ones. Yield and N use efficiency negatively correlated (significantly at  $P < 0.05$  or  $P < 0.01$ ) with the length and drop-angle of the top three leaves, while positively correlated (significantly at  $P < 0.05$  or  $P < 0.01$ ) with the width of the top three leaves, population LAI, valid LAI, high valid LAI, SLW, anti-broken strength, bender moment, and lodge index. Especially, the length and width of the flag and top 3rd leaves played an important role in the N use efficiency. It was indicated that good plant-type structure is a prerequisite for N use efficiency.

**Keywords:** Rice; Plant-type characteristics; N use efficiency; Yield

高产优质一直是水稻栽培研究的永恒主题, 从中国水稻品种的演变历程可以看出, 在品种改良、产量提高的背后总是伴随着株型的优化。水稻株型

的好坏与产量的高低及品质的优劣有着密切的联系, 因而关于水稻株型的研究, 近年来越来越受到人们的重视, 尤其围绕理想株型的探讨已开展了大量的

本研究由国家自然科学基金项目(30971732)和国家粮食丰产科技工程项目(2006BAD02A03)资助。

\* 通讯作者(Corresponding author): 张洪程, Tel: 0514-87979220

第一作者联系方式: E-mail: yzuzhangqing@sina.com

Received(收稿日期): 2009-10-21; Accepted(接受日期): 2010-02-08.

研究工作<sup>[1-3]</sup>。不同学者根据不同地域特点和品种特性提出了多种高产株型模式,有国际水稻研究所的超级稻新株型模式、国家杂交稻研究中心的超级杂交稻株型模式、广东省农业科学院提出的半矮秆丛生型模式、四川农业大学的重穗型及沈阳农业大学提出的直立大穗型模式等<sup>[4-7]</sup>。以上各类模式就水稻的株高、穗型、分蘖力、产量结构、叶型等提出了较为具体的量化范围。就理想株型的基本特征可概括为植株株高适中,根系发达,分蘖力中等,茎秆粗壮,基部节间短,穗下节间所占比例大,叶片厚、挺直、穗型大,后期不早衰,生物产量高,收获指数较高。这些特征特性对指导水稻高产优质育种与栽培发挥了重要的作用<sup>[2,8-9]</sup>。纵观前人研究结果可知,关于水稻株型特征特性的研究多围绕产量展开,而株型与营养元素相结合的研究鲜见报道。氮素是影响水稻产量形成最敏感的元素<sup>[10-11]</sup>,同时又是调控株型的有效手段<sup>[12]</sup>。前人研究表明,高产水稻一般

表现株型理想<sup>[2,8-9]</sup>,那么氮高效品种株型特征如何?理想株型的品种是否高效?在2004年和2005年对长江中下游地区种植较广的120份水稻基因型于4种施氮水平下(0、150、225、300 kg hm<sup>-2</sup>纯氮)氮效率及产量分类评价<sup>[13-14]</sup>的基础上,筛选出了氮高产高效型与氮低产低效型两类水稻品种。本文研究两类株型特征差异及其与氮素利用效率的关系,明确氮高产高效水稻品种的株型特征,以期筛选和培育氮素利用高产高效型水稻品种提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

选用迟熟中粳氮利用高产高效型品种淮稻9号、武育粳3号、扬粳9538,低产低效型品种农垦57、武农早、郑稻5号;早熟晚粳氮利用高产高效型品种武粳15、南粳44、运2674,低产低效型品种香粳20-18、香粳T31、T1-56,共12个品种(表1)。

表1 不同基因型水稻氮肥利用效率(2006-2007)  
Table 1 N use efficiency in different genotypes of rice (2006-2007)

氮效率类型 N use efficiency type	基因型 Genotype	育成年代 Breeding time	氮肥利用率 N use efficiency (%)		
			2006	2007	平均 Average
氮低产低效 Low N use efficiency	农垦 57 Nongken 57	1950s	31.98	38.84	35.41
	武农早 Wunongzao	1960s	34.81	37.93	36.37
	郑稻 5 号 Zhengdao 5	1990s	34.01	41.41	37.71
	香粳 20-18 Xiangjing 20-18	1990s	40.67	39.89	40.28
	香粳 T31 Xiangjing T31	1990s	38.54	39.58	39.06
	T1-56	1990s	37.11	40.89	39.00
氮高产高效 High N use efficiency	淮稻 9 号 Huaidao 9	2000s	46.59	48.07	47.33
	武育粳 3 号 Wuyujing 3	1980s	44.13	41.83	42.98
	扬粳 9538 Yangjing 9538	1990s	45.41	42.45	43.93
	武粳 15 Wujing 15	1990s	49.10	44.36	46.73
	南粳 44 Nanjing 44	2000s	43.25	44.85	44.05
	运 2674 Yun 2674	2000s	44.06	47.88	45.97

### 1.2 试验设计

试验于2006—2007年在扬州大学农学院试验农场进行。土质为沙壤土,地力中等、平衡,前茬小麦。土壤含全氮0.14%、碱解氮90.15 mg kg<sup>-1</sup>、速效磷34.1 mg kg<sup>-1</sup>、速效钾88.2 mg kg<sup>-1</sup>。设N0(不施氮)和N1(225 kg hm<sup>-2</sup>)两个处理。采用裂区设计,以肥料水平为主区,品种为裂区,裂区面积15 m<sup>2</sup>,重复3次。主区间作埂隔离,并用塑料薄膜覆盖埂体,保证各小区单独排灌。于5月13日播种,6月10日移栽,栽插密度为27万穴 hm<sup>-2</sup> (14.4 cm × 26.0 cm),双本栽插。基

肥 蘖肥 穗肥=2.5 2.5 5.0,其中穗肥分别于倒四叶和倒二叶叶龄期等量施入,以过磷酸钙和氯化钾的形式基施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg hm<sup>-2</sup>、K<sub>2</sub>O 150 kg hm<sup>-2</sup>。其他管理措施按常规栽培要求实施。

### 1.3 测定内容与方法

于抽穗期,每小区选取生长基本一致的植株5穴用于测定植株的受光姿态及倒伏性状的相关指标。植株受光姿态主要指标包括叶长、叶宽、叶披垂度,叶基角和叶张角及各叶叶枕距地面的高度,各节间的长、宽。植株倒伏性状主要指茎秆物理力

学指标, 参照李红娇的方法<sup>[15]</sup>。保留叶鞘、叶片和穗子, 并保持不失水。将待测定的节间置测定器上, 该节间中点与测定器中点对应, 在中点挂一盘子, 逐渐加入砝码至茎秆要折断还没折断时, 向盘中加入沙子直至茎秆折断, 此时砝码、沙子及盘子的重量即为该节间的抗折力。

弯曲力矩=节间基部至穗顶长度(cm)×该节间基部至穗顶鲜重(g)

倒伏指数=弯曲力矩/抗折力×100 (其值越大, 水稻抗倒伏的能力越弱)

秆型指数 = 基部节间外径(cm)/秆长(cm)×100

成熟期每小区收割 50 穴, 测定实际产量; 每小区选取生长基本一致的植株 5 穴用于测定穗长、每穗一次枝梗数、二次枝梗数、单穗重和着粒密度等。

### 1.4 数据分析

采用 DPS 数据处理系统进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同氮效率类型水稻产量及其穗型结构差异

表 2 表明, 两个生育类型的氮高产高效型水稻产量平均分别比氮低产低效型高 27.78%、19.00%,

表现在穗部结构上, 每穗一次枝梗数和每穗二次枝梗数均高于氮低产低效型(早熟晚粳一次枝梗数除外), 其中迟熟中粳差异不显著, 早熟晚粳差异达显著水平; 而穗长表现为氮高产高效型低于氮低产低效型, 但差异未达显著水平; 单穗重和着粒密度, 氮高产高效型平均分别比氮低产低效型高 29.47%和 43.34% (迟熟中粳), 20.51%和 8.12% (早熟晚粳)。说明氮高产高效型水稻品种穗短、二次枝梗数多、籽粒分布较集中, 穗型结构趋向于密穗型; 而氮低产低效型品种穗长、二次枝梗数少、籽粒分布相对较松散, 穗型结构趋向于散穗型。

### 2.2 不同氮效率类型水稻叶片形态特征的差异

2.2.1 叶片受光姿态 分别从叶片大小、叶片空间伸展形态等方面进行阐述, 结果见表 3、表 4 和表 5。从表 3 可以看出, 叶片的宽度不论是迟熟中粳还是早熟晚粳均表现为氮高产高效型显著高于氮低产低效型, 倒一、倒二、倒三叶的宽度于迟熟中粳平均分别高 21.52%、25.56%和 33.62%, 于早熟晚粳平均分别高 11.30%、13.92%和 14.89%; 而叶片的长度在迟熟中粳间表现为氮低产低效型显著高于氮高产高效型, 倒一、倒二、倒三叶的长度平均分别高

表 2 不同氮效率类型水稻产量及其穗部性状  
Table 2 Yield and panicle traits in rice with different N use efficiencies

生育期类型 Growth type	氮效率类型 N use efficiency type	基因型 Genotype	穗长 Panicle length (cm)	每穗一次枝梗数 First branch number per panicle	每穗二次枝梗数 Second branch number per panicle	单穗重 Panicle weight (g)	着粒密度 Density of grain setting (grain cm <sup>-1</sup> )	产量 Yield (t hm <sup>-2</sup> )		
迟熟中粳 LMMJ	氮低产低效型 LNUE	农垦 57 Nongken 57	22.19	9.09	25.32	2.79	5.66	7.65		
		武农早 Wunongzao	21.80	10.36	25.60	3.34	6.59	8.26		
		郑稻 5 号 Zhengdao 5	24.88	11.36	26.55	3.43	6.45	8.38		
		平均 Mean	22.96 a	10.27 a	25.46 a	3.19 b	6.23 b	8.10 b		
	氮高产高效型 HNUE	淮稻 9 号 Huaidao 9	21.18	13.65	34.65	4.60	8.77	11.25		
		武育粳 3 号 Wuyujing 3	17.40	11.00	27.04	3.79	8.49	9.60		
		扬粳 9538 Yangjing 9538	17.62	13.80	32.90	4.01	9.52	10.20		
		平均 Average	18.73 a	12.82 a	31.53 a	4.13 a	8.93 a	10.35 a		
		早熟晚粳 EMLJ	氮低产低效型 LNUE	香粳 20-18 Xiangjing 20-18	19.85	14.43	29.13	3.99	9.14	8.86
				香粳 T31 Xiangjing T31	20.30	13.60	30.50	3.87	8.74	9.16
T1-56	19.13			13.81	31.56	3.84	9.08	8.98		
平均 Mean	19.76 a			13.95 a	30.35 b	3.90 b	8.99 b	9.00 b		
氮高产高效型 HNUE	武粳 15 Wujing 15		20.08	13.00	35.87	4.82	9.46	11.07		
	南粳 44 Nanjing 44		19.35	12.47	34.53	4.57	9.54	10.37		
	运 2674 Yun 2674		18.97	13.28	36.79	4.70	10.16	10.66		
	平均 Average		19.47 a	12.92 b	35.73 a	4.70 a	9.72 a	10.70 a		

标以不同字母的数值差异达 0.05 显著水平。

Values followed by different small letters are significantly different at  $P < 0.05$ . LMMJ: late maturing medium japonica rice; EMLJ: early maturing late japonica rice; LNUE: low N use efficiency; HNUE: high N use efficiency.

表 3 不同氮效率类型水稻上三叶大小差异  
Table 3 Diversity of top three leaves in rice with different N use efficiencies (cm)

生育期类型 Growth type	氮效率类型 N efficiency type	基因型 Genotype	长 Length			宽 Width				
			倒一叶 FL	倒二叶 SL	倒三叶 TL	倒一叶 FL	倒二叶 SL	倒三叶 TL		
迟熟中粳 LMMJ	氮低产低效型 LNUE	农垦 57 Nongken 57	46.2	48.45	46.85	1.44	1.21	1.01		
		武农早 Wunongzao	47.74	46.99	45.11	1.64	1.43	1.25		
		郑稻 5 号 Zhengdao 5	49.98	51.84	50.32	1.66	1.36	1.23		
		平均 Average	47.97 a	49.09 a	47.43 a	1.58 b	1.33 b	1.16 b		
	氮高产高效型 HNUE	淮稻 9 号 Huaidao 9	39.74	41.34	40.68	2.00	1.86	1.72		
		武育粳 3 号 Wuyujing 3	37.84	40.38	38.85	1.89	1.58	1.47		
		扬粳 9538 Yangjing 9538	38.30	41.24	40.98	1.88	1.57	1.46		
		平均 Average	38.63 b	40.99 b	40.17 b	1.92 a	1.67 a	1.55 a		
		早熟晚粳 EMLJ	氮低产低效型 LNUE	香粳 20-18 Xiangjing 20-18	43.45	47.53	45.34	1.81	1.56	1.34
				香粳 T31 Xiangjing T31	42.17	45.06	43.17	1.77	1.58	1.42
T1-56	37.64			41.57	39.95	1.73	1.61	1.47		
平均 Average	41.09 a			44.72 a	42.82 a	1.77 b	1.58 b	1.41 b		
氮高产高效型 HNUE	武粳 15 Wujing 15		43.08	45.33	44.18	2.00	1.85	1.65		
	南粳 44 Nanjing 44		41.80	43.65	43.14	1.92	1.74	1.57		
	运 2674 Yun 2674		39.39	42.09	41.53	1.99	1.80	1.63		
	平均 Average		41.42 a	43.69 a	42.95 a	1.97 a	1.80 a	1.62 a		

标以不同字母的数值差异达 0.05 显著水平。

Values followed by different small letters are significantly different at  $P < 0.05$ . FL: first leaf to top; SL: second leaf to top; TL: third leaf to top. Abbreviations are the same as given in Table 2.

表 4 不同氮效率类型水稻上三叶受光姿态  
Table 4 Lightened position of top three leaves in rice with different N use efficiencies

生育期类型 Growth type	氮效率类型 N use efficiency type	基因型 Genotype	叶基角 Leaf basic angle (°)			叶披垂度 Leaf drop angle (°)				
			倒一叶 FL	倒二叶 SL	倒三叶 TL	倒一叶 FL	倒二叶 SL	倒三叶 TL		
迟熟中粳 LMMJ	氮低产低效型 LNUE	农垦 57 Nongken 57	22.78	15.44	26.86	4.19	5.48	5.86		
		武农早 Wunongzao	21.22	16.00	27.33	4.89	3.33	4.56		
		郑稻 5 号 Zhengdao 5	20.20	15.10	23.56	3.30	2.60	3.11		
		平均 Average	21.40 a	15.51 a	25.92 a	4.13 a	3.80 a	4.51 a		
	氮高产高效型 HNUE	淮稻 9 号 Huaidao 9	12.57	14.30	17.70	0.83	1.15	1.45		
		武育粳 3 号 Wuyujing 3	12.50	14.00	18.60	1.36	1.45	1.72		
		扬粳 9538 Yangjing 9538	11.58	13.76	18.08	1.23	1.32	1.63		
		平均 Average	12.22 b	14.02 b	18.13 b	1.14 b	1.31 b	1.60 b		
		早熟晚粳 EMLJ	氮低产低效型 LNUE	香粳 20-18 Xiangjing 20-18	14.90	17.30	18.80	3.43	2.93	2.07
				香粳 T31 Xiangjing T31	15.73	16.09	17.64	4.00	3.64	3.82
T1-56	15.23			17.90	20.20	3.80	4.20	3.70		
平均 Average	15.29 a			17.10 a	18.88 a	3.74 a	3.59 a	3.20 a		
氮高产高效型 HNUE	武粳 15 Wujing 15		11.60	13.30	15.00	1.00	1.24	1.38		
	南粳 44 Nanjing 44		12.30	13.80	16.60	1.14	1.26	1.46		
	运 2674 Yun 2674		12.50	13.90	15.10	1.23	1.30	1.52		
	平均 Average		12.13 b	13.67 b	15.57 b	1.12 b	1.27 b	1.45 b		

标以不同字母的数值差异达 0.05 显著水平。其余缩写同表 2。

Values followed by different small letters are significantly different at  $P < 0.05$ . FL: first leaf to top; SL: second leaf to top; TL: third leaf to top. Abbreviations are the same as given in Table 2.

表 5 不同氮效率类型水稻上三叶着生高度  
Table 5 Inserted height of top three leaves in rice with different N use efficiencies

生育期类型 Growth type	氮效率类型 N use efficiency type	基因型 Genotype	株高 Plant height(cm)	着生高度 Inserted height (cm)			相对着生高度 Relative inserted height (%)				
				FL	SL	TL	FL	SL	TL		
迟熟中粳 LMMJ	氮低产低效型 LNUE	农垦 57 Nongken 57	98.00	73.00	49.48	36.97	74.49	50.49	37.72		
		武农早 Wunongzao	106.03	74.82	50.10	38.17	70.56	47.25	36.00		
		郑稻 5 号 Zhengdao 5	108.58	71.80	44.84	32.02	66.13	41.30	29.49		
		平均 Average	104.20 a	73.21 a	48.14 b	35.72 a	70.39 b	46.34 b	34.40 a		
	氮高产高效型 HNUE	淮稻 9 号 Huaidao 9	107.50	82.44	58.30	42.35	76.69	54.23	39.40		
		武育粳 3 号 Wuyujing 3	95.62	75.67	53.58	40.26	79.14	56.03	42.10		
		扬粳 9538 Yangjing 9538	100.33	78.86	58.40	38.51	78.60	58.20	38.39		
		平均 Average	101.15 a	78.99 a	56.76 a	40.38 a	78.14 a	56.16 a	39.96 a		
		早熟晚粳 EMLJ	氮低产低效型 LNUE	香粳 20-18 Xiangjing 20-18	100.25	76.41	53.46	37.49	76.22	53.33	37.40
				香粳 T31 Xiangjing T31	102.16	77.13	54.05	38.95	75.49	52.91	38.13
T1-56	99.19			75.49	52.37	39.49	76.11	52.80	39.81		
平均 Average	100.53 a			76.34 a	53.29 b	38.64 b	75.94 b	53.01 b	38.45 b		
氮高产高效型 HNUE	武粳 15 Wujing 15		106.80	82.43	57.87	43.43	77.18	54.18	40.66		
	南粳 44 Nanjing 44		102.36	79.44	56.21	42.97	77.61	54.91	41.98		
	运 2674 Yun 2674		100.52	77.80	56.38	41.33	77.40	56.09	41.12		
	平均 Average		103.23 a	79.89 a	56.82 a	42.58 a	77.40 a	55.06 a	41.25 a		

标以不同字母的数值差异达 0.05 显著水平。其余缩写同表 2。

Values followed by different small letters are significantly different at  $P < 0.05$ . FL: first leaf to top; SL: second leaf to top; TL: third leaf to top. Abbreviations are the same as given in Table 2.

24.18%、19.76%和 18.07%，在早熟晚粳间基本表现为氮低产低效型高于氮高产高效型，但差异不显著。

从表 4 可以看出，倒一、倒二、倒三叶的叶基角和叶披垂度均表现为氮高产高效型显著低于氮低产低效型品种，迟熟中粳平均分别低 42.90%、18.39%和 30.05%，72.39%、65.53%和 64.52%，早熟晚粳平均分别低 20.67%、20.06%和 17.53%，70.05%、64.62%和 54.69%。说明氮低产低效型品种上三叶张开角度较大，叶片披垂度大，遮阴，不利于通风透光，导致下部叶片受光较弱；而氮高产高效型品种，叶张开角度较小，叶片挺立，有利于下部叶片的受光。

进一步对水稻上三叶着生高度进行分析，从表 5 可以看出，两类品种株高差异均不显著，叶片的着生高度为氮高产高效型高于氮低产低效型，但差异显著性在两类品种间表现稍有不同。而相对着生高度在两类品种间的差异均达显著水平，倒一、倒二、倒三叶的相对着生高度，氮高产高效型平均分别比氮低产低效型品种于迟熟中粳高 11.01%、21.18%和 16.16%，于早熟晚粳分别高 1.92%、3.87%和 7.30%。说明在株高基本相同的情况下，氮高产高效型相对于氮低产低效型品种上三叶的叶位较高，受其他叶片遮挡的影响较小，同样表现较好的通风

透光特性。

2.2.2 叶面积指数和比叶重 表 6 表明，对于抽穗期的群体 LAI、有效 LAI 和高效 LAI，氮高产高效型品种显著高于氮低产低效型，迟熟中粳分别高 7.96%、12.95%和 4.91%，早熟晚粳分别高 8.64%、13.69%和 8.41%。从差异百分比可以看出，有效 LAI 在两氮效率类型水稻间差异较大，其次为群体 LAI。叶面积率表现有所不同，有效叶面积率为氮高产高效型显著高于氮低产低效型，而叶面积率则高产高效型低于氮低产低效型。上三叶的比叶重氮高产高效型显著高于氮低产低效型，迟熟中粳和早熟晚粳平均分别高 7.90%、3.74%。说明氮高产高效型品种不仅具有较高的 LAI，而且具有较高的比叶重，表现为叶面积较大，叶片较厚，从而有利于后期的光合作用。

2.3 不同氮效率类型水稻植株茎秆特征及倒伏性状的差异

2.3.1 不同部位节间长度及其配置 从表 7 可以看出，水稻茎秆长(不包括穗长)在氮高产高效型与氮低产低效型品种间差异不显著；穗下节间长及穗下节间长占秆长的比例，氮高产高效型品种显著低于氮低产低效型，而倒二、倒三节间的长度，氮高产高效

表 6 不同氮效率类型水稻抽穗后 LAI 和比叶重  
Table 6 LAI and LW/LA in rice with different N use efficiencies at heading stage

生育期类型 Growth type	氮效率类型 N use efficiency type	基因型 Genotype	群体叶面积指数 Population LAI	有效叶面积指数 Valid LAI	高效叶面积指数 High valid LAI	有效叶面积率 Valid LA rate (%)	高产高效叶面积率 High LA rate (%)	比叶重 LW/LA (mg cm <sup>-2</sup> )
迟熟中粳 LMMJ	氮低产 低效率 LNUE	农垦 57 Nongken 57	6.81	6.13	4.42	90.03	72.15	4.87
		武农早 Wunongzao	6.76	6.15	4.57	91.00	74.36	4.72
		郑稻 5 号 Zhengdao 5	6.92	6.25	4.46	90.35	70.87	5.01
		平均 Average	6.83 b	6.18 b	4.48 a	90.45 b	72.46 a	4.87 b
	氮高产 高效率 HNUE	淮稻 9 号 Huaidao 9	7.48	7.23	4.84	96.69	66.91	5.37
		武育粳 3 号 Wuyujing 3	7.28	6.81	4.60	93.54	67.57	5.21
		扬粳 9538 Yangjing 9538	7.36	6.90	4.66	93.71	67.55	5.27
		平均 Average	7.37 a	6.98 a	4.70 a	94.65 a	67.34 b	5.25 a
早熟晚粳 EMLJ	氮低产 低效率 LNUE	香粳 20-18 Xiangjing 20-18	6.92	6.40	4.53	92.45	70.78	5.07
		香粳 T31 Xiangjing T31	6.85	6.37	4.26	92.98	71.75	5.12
		T1-56	6.73	6.16	4.40	91.49	73.44	5.18
		平均 Average	6.83 b	6.28 b	4.40 b	92.31 b	71.99 a	5.13 b
	氮高产 高效率 HNUE	武粳 15 Wujing 15	7.54	7.35	5.09	97.51	69.23	5.41
		南粳 44 Nanjing 44	7.34	6.94	4.76	94.49	68.57	5.25
		运 2674 Yun 2674	7.37	7.12	4.85	96.67	68.14	5.31
		平均 Average	7.42 a	7.14 a	4.90 a	96.25 a	68.65 b	5.32 a

标以不同字母的数值差异达 0.05 显著水平。其余缩写同表 2。

Values followed by different small letters are significantly different at  $P < 0.05$ . FL: first leaf to top; SL: second leaf to top; TL: third leaf to top. LW/LA: leaf weight/leaf area. Abbreviations are the same as given in Table 2.

表 7 不同氮效率类型水稻秆长及节间长  
Table 7 Stalk length and internodes length in rice with different N use efficiencies

生育期类型 Growth type	氮效率类型 N use efficiency type	基因型 Genotype	秆长 Stalk length (cm)	上部节间长 Top internode length (cm)			基部节间长 Basal internode length (cm)		穗下节/秆长 Neck internode to stalk length (%)
				穗下节 Neck internode	倒二节 Second node	倒三节 Third node	第一节 First node	第二节 Second node	
迟熟中粳 LMMJ	氮低产 低效率 LNUE	农垦 57 Nongken 57	75.81	35.67	17.20	10.99	3.43	7.22	47.05
		武农早 Wunongzao	84.23	36.32	18.01	11.14	3.20	7.50	43.12
		郑稻 5 号 Zhengdao 5	83.70	43.44	18.23	9.89	3.65	8.49	51.90
		平均 Average	81.25 a	38.48 a	17.81 b	10.67 b	3.43 a	7.74 a	47.36 a
	氮高产 高效率 HNUE	淮稻 9 号 Huaidao 9	86.32	30	19.63	16.32	2.78	6.86	34.75
		武育粳 3 号 Wuyujing 3	78.22	26.78	19.37	14.57	3.06	6.64	34.24
		扬粳 9538 Yangjing 9538	82.71	27.25	19.27	15.78	2.83	6.93	32.95
		平均 Average	82.42 a	28.01 b	19.42 a	15.56 a	2.89 b	6.81 a	33.98 b
早熟晚粳 EMLJ	氮低产 低效率 LNUE	香粳 20-18 Xiangjing 20-18	80.72	31.86	17.83	11.26	3.54	7.03	39.47
		香粳 T31 Xiangjing T31	81.86	32.70	16.39	12.15	3.26	7.13	39.94
		T1-56	78.87	30.55	17.36	12.53	3.01	7.54	38.73
		平均 Average	80.48 a	31.70 a	17.19 b	11.98 b	3.27 a	7.23 a	39.38 a
	氮高产 高效率 HNUE	武粳 15 Wujing 15	86.52	27.06	18.35	14.86	2.60	5.70	31.28
		南粳 44 Nanjing 44	83.01	27.91	20.03	14.51	2.98	6.78	33.62
		运 2674 Yun 2674	81.55	26.55	20.00	15.73	2.53	6.94	32.56
		平均 Average	83.69 a	27.17 b	19.46 a	15.03 a	2.70 a	6.47 a	32.48 b

标以不同字母的数值差异达 0.05 显著水平。其余缩写同表 2。

Values followed by different small letters are significantly different at  $P < 0.05$ . FL: first leaf to top; SL: second leaf to top; TL: third leaf to top. Abbreviations are the same as given in Table 2.

型显著高于氮低产低效型品种, 迟熟中粳平均分别高 9.04%、45.83%, 早熟晚粳平均分别高 13.21%、25.46%。基部第一、第二节间的长度, 氮高产高效型品种显著低于氮低产低效型, 迟熟中粳和早熟晚粳平均分别低 15.74%、12.02%和 17.43%、10.51%。一般认为, 穗下节间越长及占秆长的比例越大, 基部节间越短, 植株的秆型性状越好, 植株越不易发生倒伏。

2.3.2 植株倒伏特性的差异 从表 8 可以看出, 水稻的抗折力、弯曲力矩表现为氮高产高效型高于

氮低产低效型, 迟熟中粳和早熟晚粳平均分别高 67.37%、5.86%和 37.88%、9.78%。倒伏指数各基因型均低于 200, 氮高产高效型显著低于氮低产低效型品种, 迟熟中粳和早熟晚粳平均分别低 36.67%、20.53%, 其值越低植株抗倒能力越强。秆型指数表现为氮高产高效型显著高于氮低产低效型, 迟熟中粳和早熟晚粳平均分别高 13.43%、11.67%, 其值越高植株抗倒能力越强。说明氮高产高效型品种相对于氮低产低效型更抗倒。

表 8 不同氮效率类型水稻倒伏性状  
Table 8 Characters of lodging in rice with different N use efficiencies

生育期类型 Growth type	氮效率类型 N use efficiency type	基因型 Genotype	抗折力 Anti-broken strength (g)	弯曲力矩 Bender moment	倒伏指数 Lodge index	秆型指数 Stalk type index	
迟熟中粳 LMMJ	氮低产低效型 LNUE	农垦 57 Nongken 57	722.60	881.90	122.05	0.86	
		武农早 Wunongzao	847.70	1152.94	136.01	0.86	
		郑稻 5 号 Zhengdao 5	816.20	1249.06	153.03	0.84	
		平均 Average	795.50 b	1094.63 a	137.03 a	0.85 b	
	氮高产高效型 HNUE	淮稻 9 号 Huaidao 9	1409.89	1368.88	97.09	0.96	
		武育粳 3 号 Wuyujing 3	1221.90	1016.17	83.16	0.97	
		扬粳 9538 Yangjing 9538	1362.40	1091.17	80.09	0.96	
		平均 Average	1331.40 a	1158.74 a	86.78 b	0.96 a	
	早熟晚粳 EMLJ	氮低产低效型 LNUE	香粳 20-18 Xiangjing 20-18	1021.22	1210.52	118.54	0.87
			香粳 T31 Xiangjing T31	1133.70	1228.86	108.39	0.88
			T1-56	1056.18	1133.52	107.32	0.88
			平均 Average	1070.37 b	1190.97 a	111.42 a	0.87 b
氮高产高效型 HNUE		武粳 15 Wujing 15	1507.10	1414.29	93.84	0.94	
		南粳 44 Nanjing 44	1448.88	1273.65	87.91	0.96	
		运 2674 Yun 2674	1471.50	1234.42	83.89	1.02	
		平均 Average	1475.83 a	1307.45 a	88.55 b	0.98 a	

标以不同字母的数值差异达 0.05 显著水平。其余缩写同表 2。

Values followed by different small letters are significantly different at  $P < 0.05$ . Abbreviations are the same as given in Table 2.

### 2.4 水稻植株形态与产量和氮肥利用效率的关系

表 9 和表 10 表明, 水稻产量及其产量构成因素和氮肥利用率与倒一叶、倒二叶和倒三叶的叶长, 及其各自的叶张开角、叶披垂度基本上呈显著或极显著负相关, 与倒一叶、倒二叶和倒三叶的叶宽、叶面积指数和比叶重基本上呈显著或极显著正相关。抗折力、弯曲力矩和秆型指数与产量和氮肥利用率均呈显著或极显著正相关, 与产量构成因素除结实率外呈显著或极显著正相关, 与穗数和穗长差异不显著; 倒伏指数与产量和氮肥利用率则呈显著或极显著负相关。由此可知, 倒一叶、倒二叶和倒三叶的叶长, 及其各自的叶张开角、叶披垂度对产量及氮肥利用率的影响是负向的; 而上三叶的叶

宽、叶面积指数和比叶重对产量及氮肥利用率的影响则是正向的。说明上三叶的叶长和叶张开角度的增加不利于产量及氮肥利用率的提高, 而上三叶的叶宽和叶面积指数越大, 产量及氮肥利用率越高。

以氮肥利用率为因变量, 以叶片形态和倒伏性状与氮肥利用率关系显著的指标为自变量分别进行逐步回归表明, 倒一、倒三叶的长宽对氮肥利用率的作用较大, 回归方程决定系数达 0.8355<sup>\*\*</sup>; 叶张开角和叶披垂度与氮肥利用率的回归方程决定系数达 0.9569<sup>\*\*</sup>; 叶面积指数和比叶重与氮肥利用率的回归方程决定系数达 0.9626<sup>\*\*</sup>; 倒伏性状指标与氮肥利用率的回归方程决定系数达 0.9408<sup>\*\*</sup>。这表明氮肥利用率的大小与植株形态特征有着密切的联系。

表 9 植株叶片受光姿态与产量及氮肥利用率的关系  
Table 9 Relationship of pose of leaf with yield and N use efficiency

性状 Trait	穗长 Panicle length	穗数 Panicle number	一次枝梗数 First branch number	二次枝梗数 Second branch number	穗粒数 Spikelets per panicle	结实率 Seed setting rate	千粒重 1000-grain weight	理论产量 Theoretical yield	实际产量 Actual yield	氮肥利用率 N use efficiency
FLL	0.753**	-0.089	-0.558*	-0.572*	-0.506	-0.153	-0.037	-0.640*	-0.638*	-0.610*
SLL	0.800**	-0.159	-0.427	-0.561*	-0.412	-0.237	-0.192	-0.694**	-0.685**	-0.643*
TLL	0.828**	-0.150	-0.418	-0.471	-0.383	-0.213	-0.126	-0.610*	-0.591*	-0.558*
FLW	-0.489	-0.439	0.657*	0.836**	0.722**	0.087	0.672*	0.945**	0.933**	0.957**
SLW	-0.486	-0.495	0.674*	0.906**	0.805**	-0.044	0.631*	0.934**	0.904**	0.915**
TLW	-0.513	-0.454	0.675*	0.883**	0.790**	-0.033	0.630*	0.947**	0.922**	0.923**
FLSA	0.623*	0.486	-0.853**	-0.738**	-0.828**	0.100	-0.271	-0.744**	-0.744**	-0.753**
SLSA	0.394	0.442	-0.775**	-0.650*	-0.798**	0.196	-0.046	-0.573*	-0.561*	-0.573*
TLSA	0.417	0.595	-0.814**	-0.726**	-0.889**	0.293	-0.181	-0.646*	-0.643*	-0.645*
FLDA	0.375	0.376	-0.563*	-0.746**	-0.610*	-0.223	-0.652*	-0.889**	-0.870**	-0.923**
SLDA	0.367	0.313	-0.397	-0.638*	-0.463	-0.255	-0.717**	-0.824**	-0.822**	-0.847**
TLDA	0.359	0.518	-0.667*	-0.616*	-0.639*	-0.029	-0.616*	-0.775**	-0.766**	-0.823**
PLAI	-0.211	-0.321	0.514	0.856**	0.624*	0.174	0.661*	0.914**	0.895**	0.935**
HELAI	-0.200	-0.126	0.194	0.696**	0.338	0.383	0.707**	0.807**	0.786**	0.829**
LW/LA	-0.318	-0.362	0.708**	0.909**	0.789**	-0.007	0.458	0.899**	0.902**	0.902**

\* 表示相关达显著水平( $P < 0.05$ ), \*\* 表示相关达极显著水平( $P < 0.01$ )。FLL: 倒一叶长; SLL: 倒二叶长; TLL: 倒三叶长; FLW: 倒一叶宽; SLW: 倒二叶宽; TLW: 倒三叶宽; FLSA: 倒一叶叶张角; SLSA: 倒二叶叶张角; TLSA: 倒三叶叶张角; FLDA: 倒一叶叶披垂度; SLDA: 倒二叶叶披垂度; TLDA: 倒三叶叶披垂度; PLAI: 群体叶面积指数; HELAI: 高效叶面积指数; LW/LA: 比叶重。

\*, \*\* denote significance correlation at  $P=0.05$  and  $P=0.01$ , respectively. FLL: length of first leaf to top; SLL: length of second leaf to top; TLL: length of third leaf to top; FLW: width of first leaf to top; SLW: width of second leaf to top; TLW: width of third leaf to top; FLSA: spreading angle of first leaf to top; SLSA: spreading angle of second leaf to top; TLSA: spreading angle of third leaf to top; FLDA: dropping leaf angle of first leaf to top; SLDA: dropping leaf angle of second leaf to top; TLDA: dropping leaf angle of third leaf to top; PLAI: population LAI; HELAI: high valid LAI; LW/LA: leaf weight/leaf area.

表 10 植株倒伏性状与产量及氮肥利用率的关系  
Table 10 Relationship of characters of lodge traits with yield and N use efficiency

性状 Trait	抗折力 Anti-broken strength	弯曲力矩 Bender moment	倒伏指数 Lodge index	秆型指数 Stalk type index
穗长 Panicle length	-0.548	-0.003	0.724**	-0.498
穗数 Panicle number	-0.276	-0.445	-0.148	0.055
一次枝梗数 First branch number	0.590*	0.581*	-0.422	0.319
二次枝梗数 Second branch number	0.913**	0.66*	-0.701**	0.751**
穗粒数 Spikelets per panicle	0.697**	0.735**	-0.439	0.414
结实率 Seed setting rate	0.163	-0.407	-0.407	0.423
千粒重 1000-grain weight	0.579*	0.669*	-0.263	0.524
理论产量 Theoretical yield	0.970**	0.603*	-0.801**	0.887**
实际产量 Actual yield	0.972**	0.589*	-0.804**	0.876**
氮肥利用率 N use efficiency	0.957**	0.601*	-0.781**	0.889**

\* 表示相关达显著水平( $P < 0.05$ ), \*\* 表示相关达极显著水平( $P < 0.01$ )。

\*, \*\* indicate significance of correlation at  $P=0.05$  and  $P=0.01$ , respectively.

### 3 讨论

#### 3.1 关于水稻叶片形态特征

叶片形态是影响株型的主要因素,冠层叶片大小是理想株型的关键因素。早在 1973 年松岛省三<sup>[16]</sup>

就提出了理想株型水稻的叶片尤其是上部 3 张功能叶片(剑叶、倒二叶、倒三叶)短、宽、厚和直立一般是高产的表现<sup>[1-2,5-6]</sup>。苏祖芳等认为高产株型的上部 3 张叶片要长、挺、直且较厚,并给予了确定的指标<sup>[6,17-21]</sup>。凌启鸿<sup>[22]</sup>从功能和生理上论证了水稻上



三叶为高效叶面积叶, 高产水稻茎生叶长配置为倒二、三、四、一、五或三、二、一、四、五的排列, 有利于光合作用。本研究结果表明, 氮高产高效型水稻品种抽穗期叶片特征为, 上三叶较长、宽、厚, 叶基角和叶片披垂度小, 这与前人研究结果相一致<sup>[5-7]</sup>。茎生叶片在茎秆上的着生高度适宜, 层次明显, 并有较高的 LAI、有效 LAI 和高效 LAI。氮高产高效型水稻上三叶直、立, 并从上往下依次适当增大, 这种冠层结构利于形成较理想的受光姿态, 截获更多的光能, 从而提高光能利用率。

### 3.2 关于水稻茎秆特征及倒伏性状

水稻茎秆节间配置的合理性决定着植株茎秆的倒伏特性。一般认为, 随着株高和穗重的增加, 茎秆的抗倒伏能力会降低<sup>[6,23]</sup>。杨建昌等<sup>[20]</sup>研究表明, 现代品种各节间粗度和节间重量均较早期品种有所增加, 穗下节间和基部第一节间尤为明显, 杂交稻组合各项指标又显著优于常规品种。说明现代品种的茎秆物理性状得到明显改善, 这是现代品种抗倒性较强的重要基础。张忠旭等<sup>[24]</sup>研究发现, 抗倒能力与基部第一伸长节间长度呈显著负相关, 而与基部茎秆粗度、秆壁厚度呈极显著正相关。杨惠杰等<sup>[25]</sup>认为适当控制株高, 增加茎秆填充物质积累量有利于抗倒; 凌启鸿<sup>[22]</sup>则认为, 株高在一定的范围内与产量成正比, 高产水稻的穗下节间加穗的长度为株高的 45%~50% (5 个伸长节间品种) 或 40%~50% (6 个伸长节间品种)。苏祖芳等<sup>[7]</sup>研究认为高产水稻的穗下节间占秆长的比例并不是越大越好, 而是存在一个相对适宜的范围 32%~35% 之间, 比值过大植株的秆型性状会变劣。本研究的氮高产高效品种的穗下节间长占秆长的比例大部分在此范围内, 氮低产低效型品种大部分超过适宜的范围。氮高产高效型水稻品种相对于氮低产低效型水稻的茎秆特征表现为, 株高适宜, 穗下节间长占秆长的比例适当, 在 30%~35% 之间, 上部 3 个节间的长度较长, 基部节较短、粗, 抗折力强, 倒伏指数小, 抗倒能力增强, 株型理想从而易获高产。

### 3.3 水稻株型特征与氮肥利用效率的关系

作物要高产和高效, 株型和氮素是影响作物群体发展的重要因素<sup>[26-27]</sup>, 而氮素又是调控株型的有效因素<sup>[12]</sup>, 不同的水稻类型及不同的氮素施入方式均会产生不同的群体结构, 而良好的个体株型是提高群体质量的必备条件<sup>[28]</sup>。当今, 在以提高氮素利用效率为研究热点的时代, 人们在追求氮高效的同

时, 水稻的株型特征是否得到了改良, 对此研究报道较少。叶全宝<sup>[13]</sup>通过多年大田试验研究发现, 目前生产上出现了个别高产水稻品种在抽穗期株型理想, 但到了成熟期, 由于气候等因子造成籽粒灌浆速度过快, 干物质积累和运转迅速, 为满足大库的形成, 大量生产物质进入籽粒库容, 进而造成后期单位茎秆长度的干物质质量减少, 茎秆较细、轻, 易倒伏, 早衰现象严重, 氮素吸收量减少, 利用率降低, 因此, 前期株型好产量高的品种未必能高效; 对于个别低产品种, 在气候良好的情况下籽粒灌浆速度慢, 干物质积累均匀, 后期株型结构保持良好, 氮素吸收量增加, 利用率提高, 因此, 低产品种可以高效。据此, 前人<sup>[13-14]</sup>把不同水稻品种又详细划分为高产高效、高产低效, 低产低效、低产高效等不同类型。那么, 就氮素利用效率来讲, 是否可以说氮高效品种的株型一定优于氮低效品种, 而株型好的品种未必高效, 但是一个氮效率提高的前提。基于此问题, 笔者开展了相关研究, 为了避免低产高效和高产低效的干扰, 笔者在前人<sup>[13-14]</sup>研究的基础上选用了氮高产高效、氮低产低效相统一的品种。结果表明, 氮高产高效品种的株型明显优于氮低产低效型, 抗倒能力增强。叶片形态和倒伏性状与氮肥利用效率均呈显著或极显著的关系。倒一、倒三叶的长宽对氮肥利用率的作用较大, 回归方程决定系数达 0.8355<sup>\*\*</sup>; 叶张开角和叶披垂度、叶面积指数和比叶重、倒伏性状等与氮肥利用效率的回归方程决定系数分别达到了 0.9569<sup>\*\*</sup>、0.9626<sup>\*\*</sup>、0.9408<sup>\*\*</sup>。说明氮肥利用率的大小与植株形态特征有着密切的联系。也有有力地证明, 高产高效品种株型较低产低效品种理想, 株型理想的品种氮素利用效率一般较高。关于高产低效及低产高效品种的株型特征还有待进一步研究。

## 4 结论

与氮低产低效型水稻品种相比, 氮高产高效型水稻品种株型紧凑、茎秆节间配置合理, 抗倒能力增强。叶片形态、LAI 和倒伏性状均与氮肥利用率呈显著或极显著的关系, 尤其是剑叶和倒三叶的叶长和叶宽对氮素利用效率的作用较大。这说明, 良好的株型结构是氮肥利用效率提高的前提。

## References

- [1] Chen W-F(陈温福), Xu Z-J(徐正进), Zhang L-B(张龙步), Dong

- K(董克), Wang J-M(王进民). The physiology of high-yielding rice. *J Shenyang Agric Univ* (沈阳农业大学学报), 1991, 22(S1): 16–22 (in Chinese with English abstract)
- [2] Xu N-X(许乃霞), Su Z-F(苏祖芳), Zhang Y-J(张亚洁), Sun C-M(孙成明), Sha A-H(沙爱红). Study on the relationship between plant type after heading stage and yield formation. *J Yangzhou Univ* (Agric & Life Sci Edn)(扬州大学学报·农业与生命科学版), 2002, 23(4): 56–60 (in Chinese with English abstract)
- [3] Zhang Z-J(张子军), Feng Y-X(冯永祥), Jing Y-H(荆彦辉), Ma L-P(马丽萍), Chen L-X(陈丽霞), Xue W-D(薛文多), Wang X-B(王新兵), Zhao H-Y(赵红英). Study on the relationship between rice plant type and quality. *Jiangsu Agric Sci* (江苏农业科学), 2009, (1): 62–65 (in Chinese)
- [4] Zhu D-F(朱德峰). Research status and new trends of new plant type of rice in international rice research institute. *Crop Res* (作物研究), 1996, 10(4): 35–36 (in Chinese)
- [5] Yang J-C(杨建昌), Zhu Q-S(朱庆森), Cao X-Z(曹显祖). Effects of the structure and photosynthetic characters of the canopy on the yield formation in rice plant. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1992, 25(4): 7–14 (in Chinese with English abstract)
- [6] Sun C-M(孙成明), Su Z-F(苏祖芳), Zhang Y-J(张亚洁), Sha A-H(沙爱红), Sang D-Z(桑大志). Study on relationship between characters of plant type in elongation stage and yield in rice. *J Yangzhou Univ* (Agric & Life Sci Edn) (扬州大学学报·农业与生命科学版), 2002, 23(2): 46–49 (in Chinese with English abstract)
- [7] Su Z-F(苏祖芳), Zhang Y-J(张亚洁), Sun C-M(孙成明). Study on plant type index of high-yield rice. *Chin Rice* (中国稻米), 2003, (4): 5–6 (in Chinese)
- [8] Ma J(马均), Ma W-B(马文波), Tian Y-H(田彦华), Yang J-C(杨建昌), Zhou K-D(周开达), Zhu Q-S(朱庆森). The culm lodging resistance of heavy panicle type of rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2004, 30(2): 143–148 (in Chinese with English abstract)
- [9] Chen W-F(陈温福), Xu Z-J(徐正进), Zhang L-B(张龙步), Yang S-R(杨守仁). Studies on canopy properties and its relation to dry matter production in japonica rice varieties with different plant types. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 1991, 5(2): 67–71 (in Chinese with English abstract)
- [10] Jiang L-G(江立庚), Cao W-X(曹卫星), Gan X-Q(甘秀芹), Wei S-Q(韦善清), Xu J-Y(徐建云), Dong D-F(董登峰), Chen N-P(陈念平), Lu F-Y(陆福勇), Qin H-D(秦华东). Nitrogen uptake and utilization under different nitrogen management and influence on grain yield and quality in rice. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2004, 37(4): 490–496 (in Chinese with English abstract)
- [11] Hasegawa H, Furukawa Y, Kimura S D. On-farm assessment of organic amendments effects on nutrient status and nutrient use efficiency of organic rice fields in northeastern Japan. *Agric Ecosyst Environ*, 2005, 108: 350–362
- [12] Feng C-N(封超年), Guo W-S(郭文善), He J-H(何建华), Zhu X-K(朱新开), Ma G-H(马光辉). The characteristics of plant type of high yield in wheat. *J Yangzhou Univ* (Nat Sci Edn) (扬州大学学报·自然科学版), 1998, 1(4): 24–30 (in Chinese with English abstract)
- [13] Ye Q-B(叶全宝). Study on Differences in Response of Rice Genotypes to Nitrogen Fertilization and Nitrogen Use Efficiency. PhD Dissertation of Yangzhou University, 2005 (in Chinese with English abstract)
- [14] Wei H-Y(魏海燕), Zhang H-C(张洪程), Hang J(杭杰), Dai Q-G(戴其根), Huo Z-Y(霍中洋), Xu K(许轲), Zhang S-F(张胜飞), Ma Q(马群), Zhang Q(张庆), Zhang J(张军). Characteristics of N accumulation and translocation in rice genotypes with different N use efficiencies. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2008, 34(1): 119–125 (in Chinese with English abstract)
- [15] Li H-J(李红娇), Zhang X-J(张喜娟), Li W-J(李伟娟), Xu Z-J(徐正进). Initial research on lodging resistance in super high-yielding japonica rice cultivars. *North Rice* (北方水稻), 2008, 1(38): 22–27 (in Chinese with English abstract)
- [16] Matushima S-S(松岛省三), Xiao L-C(肖连成) trans. New Technologies for Rice Cultivation (水稻栽培新技术). Changchun: Jilin People Press, 1978. pp 38–56 (in Chinese)
- [17] Song G-Y(宋桂云), Xu Z-J(徐正进), Su H(苏慧), Wang C-H(王翠花), Gong Y-Q(宫雅琴), Sun H-Y(孙海燕). The study on plant shape of different panicle rice varieties. *J Inner Mongolia Univ Nationalities*(Nat & Sci Edn)(内蒙古民族大学学报·自然科学版), 2006, 21(3): 294–299 (in Chinese with English abstract)
- [18] 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-Huaipei River Area. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2007, 33(7): 1079–1085 (in Chinese with English abstract)
- [19] Zeng Y-J(曾勇军), Shi Q-H(石庆华), Pan X-H(潘晓华), Han T(韩涛). Preliminary study on the plant type characteristics of double cropping rice in middle and lower reaches of Changjiang River. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2009, 35(3): 546–551 (in Chinese with English abstract)
- [20] Yang J-C(杨建昌), Wang P(王朋), Liu L-J(刘立军), Wang Z-Q(王志琴), Zhu Q-S(朱庆森). Evolution characteristics of grain yield and plant type for mid-season indica rice cultivars. *Acta Agron Sin* (作物学报), 32(7): 949–955 (in Chinese with English abstract)
- [21] Ma J(马均), Ma W-B(马文波), Ming D-F(明东风), Yang S-M(杨世民), Zhu Q-S(朱庆森). Studies on the characteristics of rice plant with heavy panicle. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2006, 39(4): 679–685 (in Chinese with English abstract)
- [22] Ling Q-H(凌启鸿). Quality of Crop Population (作物群体质量). Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2000. pp 42–120 (in Chinese)
- [23] Sun X-C(孙旭初). Studies on classification of leaf type of rice and its relation with photosynthesis. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1985, 18(4): 49–55 (in Chinese with English abstract)

- [24] Zhang Z-X(张忠旭), Chen W-F(陈温福), Yang Z-Y(杨振玉), Hua Z-T(华泽田), Gao R-L(高日玲), Gao Y(高勇), Zhao Y-C(赵迎春). Effect of lodging resistance on yield and its relationship with stalk physical characteristics. *J Shenyang Agric Univ* (沈阳农业大学学报), 1999, 30(2): 81-85 (in Chinese with English abstract)
- [25] Yang H-J(杨惠杰), Yang C-R(杨仁崔), Li Y-Z(李义珍), Jiang Z-W(姜照伟), Zheng J-S(郑景生). Relationship between culm traits and lodging resistance of rice cultivars. *J Fujian Agric Sci* (福建农业学报), 2000, 15(2): 1-7 (in Chinese with English abstract)
- [26] Acreche M M, Briceno-Feix G, Martin S J A, Slafer G A. Radiation interception and use efficiency as affected by breeding in Mediterranean wheat. *Field Crops Res*, 2009, 110: 91-97
- [27] Yunusa I A M, Siddique K H M, Belford R K, Karimi M M. Effect of canopy structure on efficiency of radiation interception and use in spring wheat cultivars during the pre-anthesis period in a Mediterranean-type environment. *Field Crops Res*, 1993, 35: 113-122
- [28] Ling Q-H(凌启鸿), Zhang H-C(张洪程), Cai J-Z(蔡建中), Su Z-F(苏祖芳), Ling L(凌励). Investigation on the population quality of high yield and its optimizing control programme in rice. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1993, 26(6): 1-11 (in Chinese with English abstract)

## 科学出版社生物分社新书推介

### 《伏牛山药用植物志 (二)》

尹卫平等著

978-7-03-027023-8 ¥98.00 2010年4月出版

本书是第一卷伏牛山区的原产地保护品种(道地药材篇)之后的大宗药材篇的继续,列为第二卷,其中收录了伏牛山区分布的大宗药材共94种。本书是作者根据多年的研究调查和实地考察结果,并借鉴了前人的文献积累编著而成。书中每个药用植物的描述包括:药材名称、汉语拼音、英文名称、概述、商品名、别名(药材的别名)、基原、原植物(基原中收录的植物)、药材性状、种质来源、生长习性及其基地自然条件(只描述适合本品种的植物生长的土壤情况或土壤类型)、种植方法(包括种植繁育标准和病虫害防治)、采收加工(包括分级标准)、化学成分、鉴别与含量测定、附注(收录一些伏牛山区习用药用植物)和参考文献。所以本卷记载的伏牛山区大宗药用植物,材料丰富,内容翔实,有着重要的科学价值和实用价值。本书是一个具有高度综合利用价值的数据库,可供相关学科的研究生和科技工作者参考。



欢迎各界人士邮购科学出版社各类图书(免邮费)

邮购地址: 北京东黄城根北街16号 科学出版社 科学出版中心 生命科学分社 邮编: 100717

联系人: 周文宇(010-64031535)

网上订购: <http://www.dangdang.com>; <http://www.joy.com>; <http://www.amazon.cn>; <http://www.beifabook.com>

更多精彩图书请登陆网站 <http://www.lifescience.com.cn>, 欢迎致电索要书目