

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2011.00309

稻麦两熟地区不同栽培方式超级稻分蘖特性及其与群体生产力的关系

李 杰 张洪程* 龚金龙 常 勇 吴桂成 郭振华 戴其根 霍中洋
许 轲 魏海燕

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

摘 要: 为探明不同栽培方式水稻在长江下游稻-麦两熟制条件下的分蘖特性及其与群体生产力的关系, 以超级稻淮稻 9 号和徐稻 3 号为材料, 比较研究旱育中苗壮秧精量手栽、小苗机插、直播 3 种栽培方式水稻分蘖发生与成穗特点及其生产力和对产量的贡献。结果表明, 不同栽培方式水稻产量差异极显著, 手栽稻最高, 直播稻最低。机插稻和直播稻主茎和一次分蘖群对产量贡献大, 尤其是直播稻, 主茎产量比例达 27.5%, 二次分蘖群仅 5% 左右, 而手栽稻主茎产量比例小(16.7%), 二次分蘖群产量占近 20%。一次分蘖群产量比例不同栽培方式间变化幅度较小, 都在 65.84%~67.09% 之间。手栽稻分蘖发生叶位数多, 且茎蘖成穗率高, 单株成穗数多; 一次分蘖群发生在主茎第 1 至第 10 叶位, 其中第 5 至第 8 叶位分蘖发生率与成穗率较高, 二次分蘖群以 1/5、1/6、1/7 发生和成穗为主。机插稻分蘖发生比较集中, 一次分蘖群发生在主茎第 3 叶至第 7 叶位, 第 4 至第 7 叶是分蘖发生与成穗的优势叶位, 二次分蘖群发生以 1/4、2/4、1/5 为主, 但主要依靠 1/4 成穗。直播稻一次分蘖群发生在主茎第 1 至第 5 叶位, 其中第 1 至第 4 叶位分蘖发生率与成穗率较高, 二次分蘖发生较多, 但仅在 1/1、2/1、1/2 有成穗, 且成穗率很低。3 种栽培方式均未见三次及三次以上分蘖发生。各栽培方式主茎及优势叶位分蘖群生产力高、穗部性状好, 对产量贡献大, 产量的 85% 以上来自这些茎蘖。说明不同栽培方式水稻分蘖发生与成穗规律是不同的, 提高茎蘖成穗率, 增加单株成穗数, 充分发挥分蘖群的调控作用, 对提高产量具有重要意义; 同时生产中应根据各种栽培方式的实际, 应用各自配套的管理技术措施, 通过密、肥、水等的精确合理调控, 促进优势叶位分蘖早发、多发, 抑制无效叶位分蘖发生, 提高群体质量, 发掘优势叶位的增产潜力, 从而实现不同栽培方式水稻的高产高效生产。

关键词: 栽培方式; 超级稻; 分蘖特性; 群体生产力

Tillering Characteristics and Its Relationships with Population Productivity of Super Rice under Different Cultivation Methods in Rice-Wheat Cropping Areas

LI Jie, ZHANG Hong-Cheng*, GONG Jin-Long, CHANG Yong, WU Gui-Cheng, GUO Zhen-Hua, DAI Qi-Gen, HUO Zhong-Yang, XU Ke, and WEI Hai-Yan

Innovation Center of Rice Cultivation Technology in Yangtze River Valley, Ministry of Agriculture / Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China

Abstract: To explore tillering characteristics and its relationships with population productivity of rice under different cultivation methods in the rice-wheat cropping system in the lower Yangtze River, we compared the characteristics of rice tillering and panicle formation and its productivity and contribution to yield with two super rice cultivars Huaidao 9 and Xudao 3 by using three cultivation methods, precision artificial transplanting with dry nursery middle and strong seedlings, mechanical transplanting with small seedlings and direct seeding. Results showed that rice yields by using different cultivation methods were significantly different, artificial transplanting rice was the highest, while direct seeding rice was the lowest. The great contribution to yields of mechanical transplanting rice and direct seeding rice were mainly from main stem and primary tillers group, in particular for the direct seeding rice, the proportion of stem yield was up to 27.5%, that of secondary tillers group only about 5%. However, for

本研究由国家“十一五”科技支撑计划重大项目(2006BAD02A03), 江苏省科技支撑计划重大项目(BE2008355, BE2009425)和超级稻配套栽培技术开发与技术集成(农业部专项)资助。

* 通讯作者(Corresponding author): 张洪程, E-mail: hc Zhang@yzu.edu.cn, Tel: 0514-87979220

第一作者联系方式: E-mail: lijie0558@163.com, Tel: 0514-87979220

Received(收稿日期): 2010-07-06; Accepted(接受日期): 2010-09-30.

artificial transplanting rice the stem yield proportion was small (16.7%), yield of secondary tillers group accounted for nearly 20%. The proportion of primary tillers group yield was relatively stable among the different cultivation methods and it ranged from 65.84% to 67.09%. The number of tiller leaf position of artificial transplanting rice was more, earbearing tiller percentage was higher and panicle number per plant was more. The primary tillers group emerged from leaf 1 to leaf 10 on main stem, among them the tillers from leaf 5 to leaf 8 had higher emerging rate and more panicles, secondary tillers group emerged and earbeared mainly in 1/5, 1/6, and 1/7. Tillers of mechanical transplanting rice had a more concentrated emergence, the primary tillers group emerged from leaf 3 to leaf 7 on main stem, among them leaves 4 to 7 were the superior positions for tiller emerging and panicle formation, secondary tillers group emerged mainly in 1/4, 2/4, 1/5, but earbeared mainly in 1/4. The primary tillers group of direct seeding rice emerged from leaf 1 to leaf 5 on main stem, among them the leaf positions of 1 to 4 had higher rate of tiller emerging and panicle formation, secondary tillers emerged more, but earbeared only in 1/1, 2/1, 1/2, with a very low earbearing percentage. These three cultivation methods did not give tillering three times and more than three times. The tillers group of main stem and superior leaf positions in each cultivation method had higher population productivity and better panicle traits, made great contributions to the yield, and more than 85% of the yield came from these stems and tillers. The results suggested that the tillering and panicle formation law by different cultivation methods is different. It is indicated that increasing percentage of earbearing tiller and panicle number per plant and playing regulation fully of tillers group will improve the yield. In rice production, we should enhance the superior leaf position tillers' emergence and flowering frequency, inhibit invalid tillers, improve the population quality, explore the way to increase yield potential of the superior leaf position by using the consequentially supporting management measures and through the precise regulation of density, fertilizer application and irrigation based on the actual various cultivation methods, consequently, achieve the target of high yield and efficient production under different cultivation methods.

Keywords: Cultivation method; Super rice; Tillering characteristics; Population productivity

水稻单位面积穗数作为产量构成要素之一,主要取决于分蘖的发生数量与成穗率的高低。在以往产量水平不高的时候,“增穗增产”的模式可以显著提高水稻产量;在产量水平较高的今天,增穗不一定能进一步提高产量,尤其是在高产栽培条件下,甚至有遭减产的危险^[1]。保证足穗的基础上攻取大穗,是当前提高水稻单产的主攻方向^[2]。因此,合理利用分蘖,达到高产所需穗数和粒数的协调发展,是水稻高产栽培的基本环节,也是难点所在^[3]。分蘖是水稻固有的特性,其发生遵循 N-3 的叶蘖同伸规律^[4]。分蘖性强弱主要由品种基因型决定^[5],栽培管理措施对分蘖的发生与成穗亦有较大的调控作用^[6]。前人围绕秧苗结构^[7-9]、栽插规格^[10-13]和肥水管理^[13-16]等对水稻分蘖发生与成穗及与产量的关系进行了大量的研究,取得了许多重要的进展。研究表明,水稻不同次级和叶位分蘖发生与成穗及其生产力存在较大差异,具有明显的蘖位优势^[8,11-12,16],并认为中部蘖位优势>下部蘖位>上部蘖位^[17];培育带蘖壮秧,充分利用有效分蘖叶位,促进低位分蘖早生快发,提高成穗率,有利于优化群体质量,进而提高产量^[9,16,18-19]。尽管前人对水稻分蘖发生与成穗规律及其生产力进行了较多的研究,但上述研究大都是在单一栽培方式下进行的。近年来随着农村经济的发展和产业结构的调整,水稻栽培方式呈现多元化发展的趋势,而关于不同栽培方式下水稻分蘖发生与成穗及与产量关系的研究目前较少^[20-22],且这些研究往往仅从某一方面进行笼统的分析,缺乏系统的比较研究。为此,本研究在长江下游稻-麦两

熟制条件下,以超级稻淮稻9号和徐稻3号为材料,采用目前生产上应用面积比较广泛的手栽、机插、直播三种栽培方式,设置各栽培方式与当地大面积生产适中的播栽期,并配套各自相应的高产栽培管理技术,对不同栽培方式水稻的分蘖发生与成穗规律、不同次级和叶位分蘖的生产力及与产量的关系进行了系统的比较研究,以期探明不同栽培方式超级稻分蘖生成穗特点及对产量贡献的大小,为不同栽培方式水稻分蘖合理利用及群体调控提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点及供试品种

2008 和 2009 两年在扬州大学农学院的校外试验基地江苏省兴化市钓鱼镇基地进行试验。该区位于江苏里下河腹部,属北亚热带湿润气候区,雨量充沛,日照充足。年平均温度 15℃左右,年降水量 1 024.8 mm,日照 2 305.6 h,无霜期较长。试验地前茬为小麦(产量 6 750 kg hm⁻²),土壤类型黏土,质地黏性。0~20 cm 土层含有机质 28.21 g kg⁻¹、全氮 1.85 g kg⁻¹、速效磷 13.9 mg kg⁻¹、速效钾 162.8 mg kg⁻¹。

供试超级稻品种为淮稻9号(农业部审定)、徐稻3号(江苏省审定)。

1.2 试验设计

在长江下游稻麦两熟制条件下,根据小麦常年收获让茬时间,以及水稻及时抢栽抢播的要求,各栽培方式分别设计当地大面积生产有代表性的适中

播栽期,并根据高产栽培要求,配套能充分发挥各栽培方式水稻产量潜力的密、肥、水等高产栽培管理技术措施。具体设计如下。

1.2.1 育秧标准与栽插规格 早育中苗壮秧精量手栽于5月11日播种,6月15日移栽,移栽叶龄6.2~6.7叶,单株平均带分蘖1.5~2.1个,栽插行株距为30 cm×13 cm,2本栽插;采用塑料软盘早育秧小苗机插,落谷量干种子每盘110 g,5月26日播种,6月15日移栽,秧龄20 d,移栽叶龄3.2~3.5叶,行株距为30 cm×13 cm,3本栽插;于6月13日旱直播,行距为30 cm,基本苗 9×10^5 株 hm^{-2} 。

1.2.2 田间管理 总施纯氮量270 kg hm^{-2} ,对于基肥:分蘖肥:穗肥之比,手栽为3:2:5,分蘖肥于移栽后7 d一次性施用,穗肥于倒四叶期和倒二叶期分2次施用;机插为2:4:4,分蘖肥于栽后7 d和15 d分2次施用,穗肥于倒四叶期和倒三叶期分2次施用;直播为2:4:4,分蘖肥于三叶一心期施用,穗肥在叶龄余数3.5~3.0和1.5~1.0时分2次施用。氮:磷:钾比例为1.0:0.5:0.5,磷肥一次性基施,钾肥分别于耕翻前、拔节期等量施入。水分管理及病虫草害防治等相关的栽培措施均按照各自的高产栽培要求实施。

1.2.3 小区设置 采取裂区设计,栽培方式为主区,品种为裂区。不同栽培方式间用塑料薄膜包埂隔离,保证可以进行单独肥水管理。每小区面积25 m^2 ,3次重复。

1.3 测定内容与方法

1.3.1 分蘖发生与成穗的追踪 从每个小区选取长势比较一致的连续15株,标记叶龄,并对分蘖的发生情况挂牌追踪标志。为每个主茎和分蘖挂上标签,在标签上写好分蘖的次级和叶位,每5天标记叶龄、挂牌一次。成熟期根据各分蘖的标记牌将各级分蘖分开,单独收获,记录各级各叶位分蘖的发生数、成穗数,然后单独考种,分穗长、一次枝梗数、二次枝梗数等考察穗部性状,测定结实率和千粒重,并单独称重,计算各蘖位穗重。

各蘖位分蘖的发生率指该蘖位分蘖的实际发生数量与观察株数的百分比,各蘖位分蘖的成穗率指该蘖位分蘖的成穗数与分蘖实际发生数的百分比。 $X/0$ 分蘖指着生在主茎第 X 叶位上的一次分蘖, $X/1$ 分蘖指主茎第1叶位一次分蘖的第 X 叶位上的二次分蘖,如1/1分蘖为主茎第1叶位一次分蘖的第1叶位上的二次分蘖,2/1分蘖为主茎第1叶位一次分

蘖的第2叶位上的二次分蘖,其他依次类推。

1.3.2 茎蘖动态 定点定时调查记载茎蘖的消长动态。从每个小区另选长势比较一致的连续15穴,拔节前每5 d调查1次,拔节后每7 d调查1次。

1.3.3 计产 普查成熟期每小区90穴,计算有效穗数,取5穴调查每穗粒数、结实率和测定千粒重,测理论产量,并实收核产。

1.4 数据计算和统计分析

使用Microsoft Excel 2003进行数据处理和图表绘制,DPS软件进行其他统计分析。2年试验结果趋势一致,本文以2年数据平均值进行分析,仅在1年试验中出现的分蘖,按出现年度计算平均值。

2 结果与分析

2.1 不同栽培方式超级稻分蘖发生叶位及发生率的差异

水稻分蘖发生叶位及各叶位上分蘖的发生率,不同栽培方式间差异明显,品种间有所不同,但趋势一致(表1)。直播稻没有移栽过程,分蘖发生叶位低,一次分蘖共有第1至第5叶5个叶位,其发生率都在60%以上,1/0~4/0较高,平均分别为82.2%、97.2%、100.0%和89.8%;二次分蘖发生叶位最多,平均7.5个,以1/1、2/1、1/2为主,发生率22.2%~50.0%。机插稻采取小苗移栽,机械植伤严重,主茎第1、第2叶2个叶位分蘖缺位,分蘖发生的起始叶位为第3叶,但发生率较低,只有10%左右,最高叶位为第7叶,一次分蘖叶位数也是5个;4/0~7/0发生率较高,平均分别为100.0%、100.0%、91.6%和78.0%;二次分蘖发生叶位数较直播少3个,主要发生在4/0、5/0上,以1/4为主,发生率83.3%,2/4、1/5的发生率分别为37.5%、41.7%。手栽稻稀播早育秧,分蘖从秧田就开始发生,发生率50%左右,第4叶受移栽植伤的影响,分蘖发生相对较少,发生率10%左右;一次分蘖发生的叶位数最多,淮稻9号共有第1至第10叶10个,徐稻3号共有第1至第9叶9个,较机插和直播分别多5个、4个;一次分蘖发生的优势叶位为第5至第8叶,其发生率分别为70.8%、100.0%、100.0%和91.4%;二次分蘖发生叶位数平均6.5个,较直播少1个,以1/5、1/6、2/6、1/7为主,发生率在26.4%~63.8%之间。第3、第4、第5叶是3种栽培方式分蘖发生的共同叶位,但发生率明显不同;各种栽培方式均未见三次及三次以上分蘖发生。

表 1 不同栽培方式超级稻分蘖发生叶位及发生率
Table 1 Tiller leaf position and emerging rate of super rice under different cultivation methods (%)

叶位 Leaf position	淮稻 9 号 Huaidao 9			徐稻 3 号 Xudao 3			平均 Mean		
	手栽稻 ATR	机插稻 MTR	直播稻 DSR	手栽稻 ATR	机插稻 MTR	直播稻 DSR	手栽稻 ATR	机插稻 MTR	直播稻 DSR
1/0	49.1±5.2		75.4±3.2	51.6±2.4		88.9±2.6	50.4		82.2
2/0	47.9±3.4		96.3±1.4	60.3±1.7		98.2±1.3	54.1		97.2
3/0	51.7±4.0	8.3±1.3	100.0±0.0	60.1±3.4	16.7±1.2	100.0±0.0	55.9	12.5	100.0
4/0	9.1±1.5	100.0±0.0	100.0±0.0	18.2±1.1	100.0±0.0	79.6±2.1	13.7	100.0	89.8
5/0	67.5±5.7	100.0±0.0	84.9±2.0	74.1±2.0	100.0±0.0	61.4±1.8	70.8	100.0	73.2
6/0	100.0±0.0	100.0±0.0		100.0±0.0	83.3±2.5		100.0	91.6	
7/0	100.0±0.0	83.3±2.0		100.0±0.0	72.7±2.2		100.0	78.0	
8/0	100.0±0.0			82.7±1.3			91.4		
9/0	56.9±3.3			35.7±0.9			46.3		
10/0	26.3±1.3						26.3		
1/1			22.2±2.5			38.9±1.6			30.5
2/1			33.3±4.3			44.4±4.1			38.9
3/1			5.6±0.4			5.6±1.5			5.6
1/2			44.4±3.6			50.0±5.3			47.2
2/2			16.7±2.0			16.7±1.2			16.7
1/3			16.7±0.6			12.5±3.4			14.6
1/4		83.3±2.3	11.1±1.8		83.3±1.9	5.6±2.3		83.3	8.4
2/4		33.3±1.1			41.7±1.8			37.5	
1/5	27.3±2.1	33.3±2.6	5.6±0.9	36.9±2.3	50.0±2.3		32.1	41.7	5.6
2/5	9.1±0.9	16.7±1.5		9.3±1.1	33.3±2.0		9.2	25.0	
1/6	45.5±3.4	25.0±0.8		63.8±2.6			54.7	25.0	
2/6	26.4±1.3			37.2±1.5			31.8		
1/7	63.6±1.8			54.1±1.3			58.9		
2/7	8.7±0.5			8.9±0.6			8.8		
1/8	36.4±1.5						36.4		

ATR: 手栽稻; MTR: 机插稻; DSR: 直播稻。
ATR: artificial transplanting rice; MTR: mechanical transplanting rice; DSR: direct seeding rice.

2.2 不同栽培方式超级稻分蘖成穗叶位及成穗率的差异

由表 2 可以看出, 分蘖成穗率表现出手栽 > 机插 > 直播的趋势, 特别是二次分蘖成穗率, 这种趋势更加明显; 不同栽培方式一次分蘖在各分蘖发生叶位都有成穗, 成穗叶位数与发生叶位数一样多, 二次分蘖成穗叶位数都较发生叶位数少。直播稻分蘖成穗率最低, 其一次分蘖成穗率 37.0%~89.5%, 平均为 65.9%, 以 1/0~4/0 成穗为主, 成穗率 50% 以上; 二次分蘖成穗率更低, 平均只有 28.4%, 且只有 1/1、2/1、1/2 能成穗, 其他叶位虽有二次分蘖发生, 但都不能成穗, 成穗叶位数较发生叶位数少 4.5 个。机插稻一次分蘖成穗率以 4/0、5/0、6/0 比较高, 平均分别为 96.1%、96.1%、93.8%; 二次分蘖成穗叶位数较发生叶位数少 1.5 个, 以 1/4 成穗为主, 成穗

率 40%~50%, 2/4、1/5 也有成穗, 但成穗率不高。手栽稻一次分蘖成穗以 5/0~8/0 为主, 成穗率都在 90% 以上, 秧田发生的分蘖因苗小且存在移栽植伤, 成穗率较本田发生的分蘖低, 只有 40% 左右; 二次分蘖 1/5、1/6、2/6、1/7、1/8 都有成穗, 以 1/5、1/6、1/7 成穗为主, 成穗叶位数较发生叶位数少 2 个, 但其成穗率较高, 平均可以达到 57.8%。

2.3 不同栽培方式超级稻群体茎蘖动态

不同栽培方式水稻由于群体起点和栽培管理方式的不同, 群体茎蘖发展动态截然不同(图 1)。直播稻没有移栽植伤缓苗控蘖的过程, 群体分蘖势强, 茎蘖发展动态呈现大起大落的趋势, 在播种后 21~22 d 群体茎蘖数达到预期穗数值, 39~44 d 达到高峰苗期, 高峰苗数多, 但其中无效分蘖多, 群体茎蘖成穗率低, 只有 60.33%~62.09%, 较机插稻和

表 2 不同栽培方式超级稻分蘖成穗叶位及成穗率
Table 2 Panicle leaf position and panicle rate of super rice under different cultivation methods (%)

叶位 Leaf position	淮稻 9 号 Huaidao 9			徐稻 3 号 Xudao 3			平均 Mean		
	手栽稻 ATR	机插稻 MTR	直播稻 DSR	手栽稻 ATR	机插稻 MTR	直播稻 DSR	手栽稻 ATR	机插稻 MTR	直播稻 DSR
1/0	40.0±2.7		97.6±3.3	80.0±1.9		81.3±1.7	60.0		89.5
2/0	21.3±3.6		67.9±2.1	50.0±1.5		72.2±2.5	35.7		70.1
3/0	18.0±1.2	96.5±3.5	73.4±1.5	33.3±2.2	50.0±2.6	77.8±2.8	25.7	73.3	75.6
4/0	97.4±3.3	92.2±1.3	50.0±4.1	50.0±3.5	100.0±0.0	64.3±1.8	73.7	96.1	57.2
5/0	100.0±0.0	92.2±2.8	37.5±1.2	100.0±0.0	100.0±0.0	36.4±1.3	100.0	96.1	37.0
6/0	100.0±0.0	92.2±1.8		100.0±0.0	95.3±3.3		100.0	93.8	
7/0	100.0±0.0	63.5±4.8		100.0±0.0	68.5±3.1		100.0	66.0	
8/0	100.0±0.0			90.9±3.2			95.5		
9/0	66.7±2.9			50.0±1.8			58.4		
10/0	33.3±2.2						33.3		
平均 Mean	67.7	87.3	65.3	72.7	82.8	66.4	68.2	85.1	65.9
1/1			25.0±2.2			28.6±2.4			26.8
2/1			33.3±3.0			25.0±3.8			29.2
1/2			25.0±1.8			33.3±2.9			29.2
1/4		40.0±2.3			50.0±3.2			45.0	
2/4		3.8±1.7			20.0±2.0			11.9	
1/5	66.7±3.7	6.5±2.5		75.0±3.1	33.3±1.6		70.9	19.9	
1/6	60.0±4.5			71.4±1.7			65.7		
2/6	33.3±1.7			50.0±3.3			41.7		
1/7	71.4±1.5			50.0±4.0			60.7		
1/8	50.0±1.8						50.0		
平均 Mean	56.3	16.8	27.8	61.6	34.4	29.0	57.8	25.6	28.4
总平均 Total mean	63.9	60.9	51.2	69.3	64.6	52.4	64.8	62.8	51.8

缩写同表 1。Abbreviations are the same as given in Table 1.

手栽稻分别低 14.25%和 20.21%；由于其高峰苗数量增长的幅度大，尽管成穗率低，但群体最终成穗数仍明显高。机插稻机械移栽植伤严重，栽后有 7~10 d 缓苗期，缓苗后茎蘖迅猛增长，在栽后 19~20

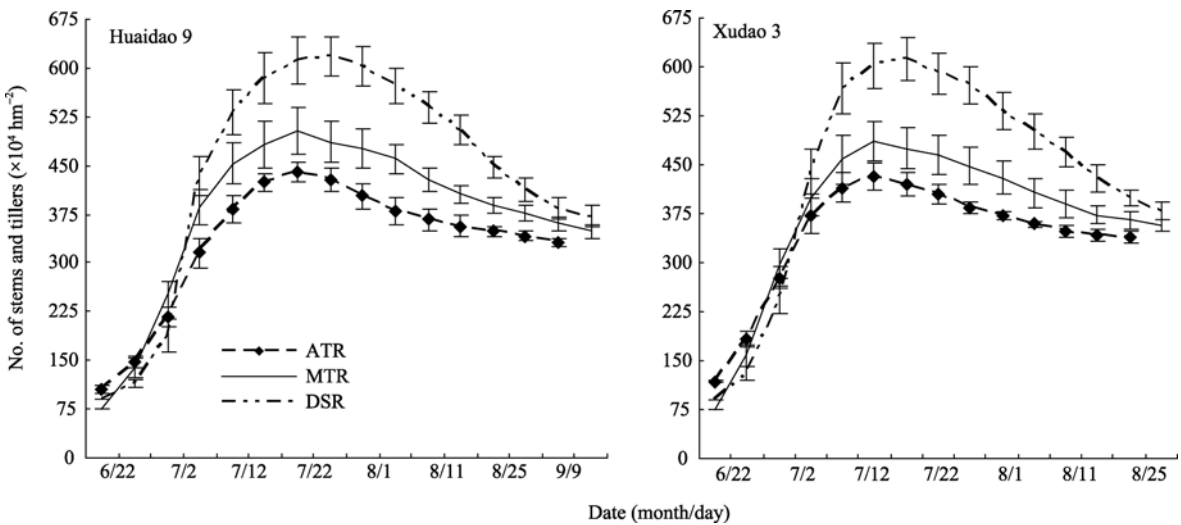


图 1 不同栽培方式超级稻群体茎蘖动态
Fig. 1 Dynamics of stems and tillers of super rice population under different cultivation methods
缩写同表 1。Abbreviations are the same as given in Table 1.

d 群体茎蘖数达到预期穗数值, 较手栽稻提前 1~3 d, 栽后 32~37 d 达到高峰苗期, 高峰苗数比直播稻低, 比手栽稻高, 之后下降较为平稳, 群体最终成穗数较多, 茎蘖成穗率较高, 为 69.20%~73.56%。手栽稻移栽后分蘖发生早, 在栽后 20~23 d 群体茎蘖数达到预期穗数值, 之后平缓上升, 栽后 32~37 d 达到高峰苗期, 高峰苗数低, 持续时间长, 后平缓下降, 群体最终成穗数足, 茎蘖成穗率最高, 为 75.13%~78.28%。手栽稻和机插稻在移栽后 12~22 d 出现茎蘖增加高峰期, 每公顷平均每天可增加茎蘖数 19.5 万和 24.0 万左右, 机插稻最高时可达 28.5 万; 直播稻在播种后 19~29 d 出现茎蘖增加高峰期, 每公顷平均每天可增加茎蘖数 33.0 万左右, 最高时可达 49.5 万, 比手栽稻高一倍多, 比机插稻高将近一倍。

2.4 不同栽培方式超级稻成穗数的茎蘖组成及茎蘖对群体产量的贡献

不同栽培方式水稻单株成穗数、单株产量和群体产量存在较大差异(表 3 和表 4)。单株成穗数, 手栽稻为 6.55~6.73 个, 极显著多于机插稻和直播稻, 机插稻稍多于直播稻, 分别为 4.58~4.75 个和 4.17~4.33 个; 单株产量及群体产量也是手栽稻最高, 直播稻最低, 且不同栽培方式间差异均达到极显著水平。主茎占单株成穗数和群体产量的比例以手栽稻最小, 直播稻最大, 手栽、机插、直播平均分别为 15.1%、21.4%、23.5%和 16.7%、24.6%、27.5%。一次分蘖成穗数和一次分蘖群产量的比例变化幅度较小, 不同栽培方式间没有明显差异, 都在 65%~69%之间, 但叶位间差异较大; 手栽稻优势叶位是主茎第 5~第 8 叶, 这 4 个叶位上一次分蘖群产量占总产量的 52.5%, 加上二次分蘖共占总产的 70%左右, 秧田发生的分蘖成穗产量对总产的贡献在 5.9%~13.0%之间; 机插稻是第 4~第 7 叶, 这 4 个叶位上分蘖产量占总产的 73.5%, 且主要是这些叶位上一次分蘖, 占总产的 64.5%, 二次分蘖以 1/4 为主; 直播稻是第 1~第 4 叶, 这 4 个叶位上分蘖产量对总产的贡献为 67.4%, 以一次分蘖群贡献为主, 比例为 60.4%~61.9%, 二次分蘖群所占比例较小, 仅为 5.4%~7.0%。手栽稻二次分蘖成穗数及所占比例有着明显的优势, 分别为 1.18 个和 17.78%, 其二次分蘖群产量占群体产量的比例也较高, 可以达到 16.6%, 以 1/5、1/6、1/7 贡献较大; 机插稻和直播稻二次分蘖成穗数及所占比例、二次分蘖群产量占总产的比例都较低, 特别是直播稻, 这些指标数值更

低, 平均只有 0.34 个、7.9%、6.2%。

2.5 不同栽培方式超级稻各叶位茎蘖穗部性状的比较

对水稻穗部性状进行考察表明, 不同栽培方式间及不同叶位茎蘖穗部性状存在差异(表 5)。以淮稻 9 号为例, 手栽稻在穗长、一次枝梗数、二次枝梗数、一次枝梗粒数、二次枝梗粒数、每穗总粒数、单穗重及着粒密度等穗部性状方面显著大(高)于机插稻和直播稻, 并且其差异大都达到极显著水平; 结实率和千粒重方面, 手栽稻和机插稻间没有明显差异, 但都显著高于直播稻。机插稻和直播稻随着分蘖叶位的升高, 穗型、单穗重等穗部性状有逐渐变小变差的趋势, 手栽稻以主茎第 4 叶为转折点, 穗型、单穗重等穗部性状有先变小再变大后又变小的趋势, 并且都有高叶位分蘖减小幅度更大的明显趋势。同种栽培方式下, 主茎穗在枝梗数、穗粒数、单穗重、着粒密度等性状上明显优于一次分蘖穗和二次分蘖穗; 一次分蘖穗在二次枝梗数、二次枝梗粒数、每穗总粒数、千粒重和单穗重这些性状上存在明显的优势, 显著高于二次分蘖穗, 在穗部其他性状上, 一次分蘖穗也都大(高)于二次分蘖穗, 但差异大都不显著。徐稻 3 号表现出类似的趋势与规律(表略)。

3 讨论

3.1 关于水稻主茎发生分蘖的叶位数

水稻分蘖是由植株分蘖节上各叶的腋芽(分蘖芽)在适宜的条件下, 遵循 $N-3$ 的叶蘖同伸规律形成的, 充分利用有效分蘖叶位, 争取分蘖早发多发, 是提高单株成穗数和群体茎蘖成穗率, 培育高产群体的一个显著特征^[19,23]。分蘖发生叶位数及各叶位分蘖发生与成穗率大小, 直接影响单株成穗数的多少, 最终决定着单位面积穗数。水稻主茎最大理论分蘖叶位数为 $(N-n-1)$ 个, 其中第 $N-n-2$ 、 $N-n-1$ 叶位是无效分蘖叶位^[4]。不同水稻品种, 主茎总叶片数和伸长节间数不同, 其发生分蘖的叶位数也不同; 即使是同一品种, 主茎总叶片数和伸长节间数也会因种植生态区和栽培管理措施的不同而表现出一定的差异^[4,24]。

以往研究多限于比较不同水稻品种间分蘖发生与成穗叶位数的差异^[25]。本研究通过分蘖与叶龄追踪和株型考察, 淮稻 9 号手栽、机插、直播主茎总叶片数和伸长节间数分别为 18.7、16.6、15.7 和 6.5、6.0、5.6。根据公式 $N-n-1$ 计算, 主茎最大理论分蘖

表 3 不同栽培方式超级稻成穗数的茎蘖组成
Table 3 Panicles composition of stems and tillers of super rice under different cultivation methods

叶位 Leaf position		淮稻 9 号 Huaidao 9			徐稻 3 号 Xudao 3		
		手栽稻 ATR	机插稻 MTR	直播稻 DSR	手栽稻 ATR	机插稻 MTR	直播稻 DSR
单株成穗数	No. of panicles per plant	6.55 Aa	4.58 Bb	4.17 Bb	6.73 Aa	4.75 Bb	4.33 Bb
0	个数 Number	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	比例 Proportion (%)	15.27	21.83	23.98	14.86	21.05	23.09
1/0	个数 Number	0.18		0.67	0.36		0.72
	比例 Proportion (%)	2.75		16.07	5.35		16.63
2/0	个数 Number	0.09		0.67	0.27		0.72
	比例 Proportion (%)	1.37		16.07	4.01		16.63
3/0	个数 Number	0.09	0.08	0.72	0.18	0.08	0.78
	比例 Proportion (%)	1.37	1.75	17.27	2.67	1.68	18.01
4/0	个数 Number	0.09	0.89	0.50	0.09	1.00	0.50
	比例 Proportion (%)	1.37	19.43	11.99	1.34	21.05	11.55
5/0	个数 Number	0.45	0.89	0.33	0.73	1.00	0.22
	比例 Proportion (%)	6.87	19.43	7.91	10.85	21.05	5.08
6/0	个数 Number	1.00	0.89		1.00	0.75	
	比例 Proportion (%)	15.27	19.43		14.86	15.79	
7/0	个数 Number	1.00	0.42		1.00	0.25	
	比例 Proportion (%)	15.27	9.17		14.86	5.26	
8/0	个数 Number	1.00			0.73		
	比例 Proportion (%)	15.27			10.85		
9/0	个数 Number	0.36			0.18		
	比例 Proportion (%)	5.50			2.67		
10/0	个数 Number	0.09					
	比例 Proportion (%)	1.37					
一次分蘖合计	个数 Number	4.36	3.16	2.89	4.55	3.08	2.94
Total of primary tillers	比例 Proportion (%)	66.56	69.00	69.30	67.61	64.84	67.90
1/1	个数 Number			0.06			0.11
	比例 Proportion (%)			1.44			2.54
2/1	个数 Number			0.11			0.11
	比例 Proportion (%)			2.64			2.54
1/2	个数 Number			0.11			0.17
	比例 Proportion (%)			2.64			3.93
1/4	个数 Number		0.33			0.42	
	比例 Proportion (%)		7.21			8.84	
2/4	个数 Number		0.02			0.08	
	比例 Proportion (%)		0.44			1.68	
1/5	个数 Number	0.18	0.07		0.27	0.17	
	比例 Proportion (%)	2.75	1.53		4.01	3.58	
1/6	个数 Number	0.27			0.45		
	比例 Proportion (%)	4.12			6.69		
2/6	个数 Number	0.09			0.18		
	比例 Proportion (%)	1.37			2.67		
1/7	个数 Number	0.45			0.27		
	比例 Proportion (%)	6.87			4.01		
1/8	个数 Number	0.18					
	比例 Proportion (%)	2.75					
二次分蘖合计	个数 Number	1.18	0.42	0.28	1.18	0.67	0.39
Total of secondary tillers	比例 Proportion (%)	18.02	9.17	6.71	17.53	14.11	9.01

标以不同大、小写字母的数值分别在 1% 和 5% 水平上差异显著。缩写同表 1。

Values followed by a different letter are significantly different at 1% (capital letter) and 5% (small letter) probability levels, respectively. Abbreviations are the same as given in Table 1.

表 4 不同栽培方式超级稻各叶位茎蘖对群体产量的贡献
Table 4 Contribution of stems and tillers in each leaf position to population yield of super rice under different cultivation methods (%)

叶位 Leaf position	淮稻 9 号 Huaidao 9			徐稻 3 号 Xudao 3		
	手栽稻 ATR	机插稻 MTR	直播稻 DSR	手栽稻 ATR	机插稻 MTR	直播稻 DSR
单株产量 Yield per plant (g)	23.10 A	14.12 B	11.18 C	22.22 A	14.29 B	11.03 C
群体产量 Population yield (×10 ³ kg hm ⁻²)	11.30 A	10.69 B	9.68 C	10.96 A	10.45 B	9.54 C
0	16.59	24.88	27.90	16.78	24.23	27.15
1/0	2.96		17.12	5.96		17.62
2/0	1.47		16.32	4.32		16.98
3/0	1.42	2.00	16.33	2.67	1.93	16.96
4/0	1.26	20.02	10.66	1.24	20.77	10.34
5/0	6.93	18.98	6.31	11.82	20.44	3.94
6/0	15.70	18.08		15.73	15.88	
7/0	15.83	8.01		14.98	6.93	
8/0	15.45			8.55		
9/0	4.84			1.53		
10/0	0.83					
一次分蘖合计 Total of primary tillers	66.68	67.09	66.74	66.80	65.95	65.84
1/1			1.13			2.06
2/1			2.03			1.86
1/2			2.20			3.08
1/4		6.22			6.56	
2/4		0.37			0.85	
1/5	2.78	1.44		4.47	2.41	
1/6	4.14			7.03		
2/6	0.98			1.45		
1/7	6.68			3.48		
1/8	2.16					
二次分蘖合计 Total of secondary tillers	16.74	8.03	5.36	16.43	9.82	7.01

标以不同大、小写字母的数字分别在 1% 和 5% 水平上差异显著。缩写同表 1。
Values followed by a different letter are significantly different at 1% (capital letter) and 5% (small letter) probability levels, respectively. Abbreviations are the same as given in Table 1.

叶位数分别为 11.2、9.6 和 9.1 个，而分蘖实际发生叶位数分别为 10、5 和 5 个，手栽较理论发生叶位数少 1.2 个，机插和直播分别少 4.6 个和 4.1 个，说明手栽稻可以充分利用主茎有效分蘖叶位，机插稻和直播稻有较多的有效分蘖叶位分蘖缺位，这可能与手栽稻营养生长期比机插稻和直播稻更长有关。二次分蘖发生叶位数分别为 7、5 和 8 个，直播稻最多，但其成穗叶位数仅 3 个，且成穗率很低，平均只有 27.8%，最终单株成穗数 4.17 个，而手栽稻二次分蘖成穗叶位数也较多(5 个)，且成穗率高达 56.3%，最终单株成穗数 6.55 个，表明分蘖叶位数不是影响单株穗数的唯一因素，成穗叶位数和成穗率对单株穗数也有很大影响。因此，生产中既要充分利用有

效分蘖叶位，又要通过合理的栽培措施促使更多的分蘖叶位成穗，提高分蘖成穗率，塑造高质量群体结构。

3.2 关于水稻分蘖发生与成穗

水稻分蘖发生与成穗受氮水平、秧苗质量、栽插密度、水分和温光等主要生态生理及栽培管理措施的影响^[1,6-9,26-28]。不同栽培方式水稻分蘖发生模式不同，手栽稻属于秧田本田两段分蘖型，机插稻和直播稻属于本田一段分蘖型。群体茎蘖消长动态是分蘖发生与成穗情况的直观体现，分蘖消长动态合理，成穗率高，是高产群体的基本特征之一^[3]。

本研究表明，手栽稻采取带蘖壮秧，茎蘖消长是早发稳升缓降型，成穗率最高；机插稻机械移栽

表 5 不同栽培方式超级稻各叶位茎蘖的穗部性状(淮稻 9 号, 2009 年)

Table 5 Panicle traits of stems and tillers in each leaf position of super rice under different cultivation methods (Huaidao 9, 2009)

栽培 方式 Cultivation methods	叶位 Leaf position	穗长 Panicle length (cm)	一次枝 梗数 No. of PB	二次枝 梗数 No. of SB	一次枝 梗粒数 No. of spikelets on PB	二次枝 梗粒数 No. of spikelets on SB	每穗总 粒数 No. of spikelets per panicle	结实率 Seed- setting rate (%)	千粒重 1000- grain weight (g)	单穗重 Single panicle weight (g)	着粒 密度 Grain density (cm ⁻¹)
手栽稻	0	21.2	13.3	24.5	71.6	74.7	146.3	91.9	30.07	3.94	6.91
ATR	1/0	20.9	12.7	23.7	70.7	71.5	142.2	92.2	30.16	3.87	6.81
	2/0	20.8	12.2	22.5	69.5	69.3	138.8	92.1	30.25	3.84	6.68
	3/0	20.8	11.8	21.3	66.9	68.5	135.4	91.2	30.32	3.70	6.52
	4/0	20.6	11.0	20.0	59.0	64.0	123.0	91.9	29.36	3.28	5.98
	5/0	19.6	12.3	21.0	66.3	67.1	133.4	91.5	29.96	3.62	6.82
	6/0	19.7	12.3	21.6	67.2	67.6	134.8	92.3	30.20	3.73	6.85
	7/0	20.0	12.6	22.4	68.8	67.9	136.7	91.9	30.22	3.76	6.83
	8/0	19.6	12.4	21.5	67.6	65.5	133.1	92.0	30.03	3.67	6.79
	9/0	19.1	11.7	18.7	64.5	58.0	122.5	91.3	29.44	3.16	6.40
	10/0	17.3	8.5	13.3	45.6	41.1	86.7	91.5	28.76	2.17	5.01
	1/5	19.7	11.8	20.2	67.0	65.5	132.5	91.4	29.81	3.63	6.73
	1/6	19.9	12.3	20.5	68.2	65.3	133.5	90.7	29.84	3.61	6.72
	2/6	17.5	10.2	15.8	57.5	46.1	103.6	88.2	28.30	2.56	5.93
	1/7	19.5	11.4	21.3	64.9	65.7	130.6	90.4	29.70	3.49	6.70
	1/8	18.1	10.8	16.9	60.9	50.1	111.0	89.3	28.85	2.82	6.13
平均	PT	20.0 Aa	11.9 Aa	21.0 Aa	65.2 Aa	65.0 Aa	130.3 Aa	91.8 Aa	29.89 Aa	3.48 Aa	6.51 Aa
Mean	ST	18.9 Aa	11.3 Aa	18.9 Ab	63.7 Aa	58.5 Bb	122.2 Ab	90.0 Aa	29.30 Ab	3.22 Ab	6.44 Aa
机插稻	0	19.3	11.6	21.8	62.7	66.3	129.0	91.0	30.92	3.56	6.70
MTR	3/0	18.7	11.2	20.2	60.1	63.7	123.8	90.9	30.68	3.43	6.63
	4/0	19.0	11.3	19.9	59.6	61.5	121.1	91.2	30.33	3.28	6.38
	5/0	18.8	11.1	19.3	58.3	55.8	114.1	90.2	30.10	3.04	6.08
	6/0	18.5	10.7	17.4	57.5	52.1	109.6	89.8	30.04	2.87	5.94
	7/0	18.3	9.9	16.5	54.2	52.7	106.9	89.1	29.37	2.75	5.85
	1/4	18.4	10.5	16.5	56.3	50.4	106.7	90.1	29.38	2.82	5.80
	2/4	17.2	9.6	14.1	53.9	44.3	98.2	90.3	28.54	2.51	5.71
	1/5	17.8	10.1	15.3	55.2	48.1	103.3	89.8	29.02	2.67	5.78
	平均	PT	18.7 Aa	11.0 Aa	19.2 Aa	58.7 Aa	58.7 Aa	117.4 Aa	90.4 Aa	30.24 Aa	3.07 Aa
Mean	ST	17.8 Aa	10.1 Aa	15.3 Ab	55.1 Ab	47.6 Ab	102.7 Bb	90.1 Aa	28.98 Bb	2.67 Ab	5.76 Ab
直播稻	0	19.0	10.8	20.8	59.4	68.2	127.6	86.6	29.91	3.27	6.71
DSR	1/0	18.5	10.6	20.5	56.4	65.2	121.6	86.2	28.96	3.01	6.57
	2/0	18.3	10.4	19.6	54.3	60.6	114.9	86.8	28.91	2.87	6.27
	3/0	17.7	10.2	18.3	55.6	54.7	110.3	84.1	28.81	2.65	6.24
	4/0	16.5	9.4	16.5	53.1	49.2	102.3	84.8	28.84	2.50	6.18
	5/0	15.9	8.7	14.2	47.3	42.9	90.2	85.2	28.85	2.22	5.68
	1/1	16.3	9.8	15.3	52.2	45.8	98.0	86.0	28.45	2.39	6.01
	2/1	15.8	9.1	14.2	48.4	40.6	89.0	85.3	28.36	2.14	5.64
	1/2	16.5	9.8	14.9	51.7	42.4	94.1	86.7	28.43	2.32	5.72
	平均	PT	17.7 Aa	10.0 Aa	18.3 Aa	54.4 Aa	56.8 Aa	111.1 Aa	85.6 Aa	29.05 Aa	2.65 Aa
Mean	ST	16.2 Aa	9.6 Aa	14.8 Ab	50.8 Ab	42.9 Bb	93.7 Bb	86.0 Aa	28.41 Bb	2.28 Ab	5.79 Ab
总平均 Total mean	ATR	19.6 Aa	11.7 Aa	20.3 Aa	64.8 Aa	63.0 Aa	127.8 Aa	91.2 Aa	29.71 Aa	3.43 Aa	6.49 Aa
	MTR	18.5 Bb	10.8 Bb	18.2 Bb	57.9 Bb	55.6 Bb	113.1 Bb	90.3 Aa	29.82 Aa	3.01 Bb	6.12 Bb
	DSR	17.2 Cc	9.9 Cc	17.1 Cc	53.2 Cc	52.2 Cc	105.3 Cc	85.7 Ab	28.84 Bb	2.60 Cc	6.11 Bb

标以不同大、小写字母的数值分别在 1% 和 5% 水平上差异显著; PT: 一次分蘖; ST: 二次分蘖。其他缩写同表 1。

Values followed by a different letter are significantly different at 1% (capital letter) and 5% (small letter) probability levels, respectively. PT: primary tiller; ST: secondary tiller; PB: Primary branches; SB: secondary branches. Other abbreviations are the same as given in Table 1.

植伤严重,茎蘖消长是缓发速升缓降型;直播稻没有移栽过程,茎蘖消长是速发速升速降型,群体高峰苗数多,成穗率最低,较手栽和机插分别低20%和14%。水稻分蘖发生与成穗存在明显的优势叶位,而且不同栽培方式间优势叶位明显不同。这些优势叶位不但分蘖发生率和成穗率高,而且成穗分蘖穗部性状好,对产量贡献大,是高产栽培中应该充分利用的高效叶位区段。手栽稻的优势叶位是主茎第5~第8叶,其上分蘖产量对总产的贡献占70%左右,与周汉良等^[29]和李冬霞等^[30]用人工去除部分分蘖保留特定节位分蘖得出的结论一致;机插稻分蘖发生和成穗主要在主茎第4~第7叶的一次分蘖和少量1/4二次分蘖上,对总产的贡献也是70%左右,与袁奇等^[12]、张洪程^[31]和凌励^[32]等的研究结果基本一致;直播稻的优势叶位是主茎第1~第4叶,与余珺等^[16]旱作条件下对直播稻分蘖发生规则进行的研究结果不尽一致,可能与品种特性和旱作对分蘖发生的影响有关。

3.3 关于水稻分蘖与产量

关于水稻产量与分蘖的关系,大体可以分为依靠主茎和依靠分蘖两种观点。如国际水稻研究所Peng等^[33]认为,水稻产量主要来自主茎,“少蘖大穗”是高产的性状之一。但是随着生产技术和施肥水平的提高及品种的改良,现在更多的研究认为充分利用分蘖,提高群体的分蘖穗率更加容易夺取高产^[23]。本研究3种栽培方式的产量,以手栽最高,直播最低,对分蘖产量占总产量的比例,手栽、机插和直播分别为83.3%、75.4%和72.5%;机插稻和直播稻主要依靠主茎和一次分蘖成穗对产量贡献大,尤其是直播稻,二次分蘖成穗产量比例仅5%左右,而手栽稻二次分蘖产量比例接近20%。可以看出产量最高的手栽稻,其分蘖产量对总产的贡献也最大,这也在一定意义上说明分蘖对高产群体形成与调控的作用不容忽视。而且手栽稻单株成穗数多,个体和群体生长协调质量高,穗部性状好,单株生产力最高,而直播稻种植密度大,个体和群体竞争激烈,单株的分蘖力减弱,单株成穗数少,穗部性状差,生产力最低,与凌启鸿^[23]提高单株成穗数是提高群体穗粒数和粒重基础的观点一致。目前,大面积生产上诸如直播稻等的轻简栽培方式产量不高,其中主要原因就是分蘖的作用未得到充分发挥。

3.4 水稻分蘖利用与提高成穗率的调控途径

在外界环境一定的条件下,水稻分蘖主要受

密、肥、水栽培管理因子的影响。不同栽培方式水稻分蘖发生与成穗规律不同,因此应该根据各栽培方式自身分蘖发生与成穗特点,采取相应的栽培管理措施。对手栽稻要通过稀播培育叶蘖同伸的带蘖壮秧,机插稻育秧是在特定规格的秧盘内进行,也需要通过适当的稀播匀播培育适合机插的标准壮秧,而且手栽和机插还要注意浅插,以利于移栽后分蘖早生快发;对直播稻要注意提高播种质量和播种均匀度,以充分发挥个体生长优势。同时要注意以下3个方面:(1)确定合理基本苗,建立高质量的群体起点,既有利于在有效分蘖叶龄期充分发生分蘖,形成足量的壮个体,又可在无效分蘖期利用有效强蘖的优势,对无效分蘖进行生理生态上的调节控制,形成合理的群体动态,提高成穗率和群体质量。合理基本苗可以根据凌启鸿等^[34]建立的基本苗公式计算确定。(2)调节基蘖肥与穗肥比例。基蘖肥的主要作用是保证在有效分蘖叶龄期内产生适宜的穗数。不同栽培方式水稻主茎总叶片数、伸长节间数及移栽叶龄不同,从移栽或播种至够苗期($N-n$ 叶龄期)经历时间不同,应该通过调节基蘖肥与穗肥的比例,使基蘖肥的肥效发挥在有效分蘖期内,起到促进有效分蘖和控制无效分蘖发生的双重作用。对采用中大苗移栽的手栽稻,距离 $N-n$ 叶龄期的叶龄少,基蘖肥用量应少,基蘖肥与穗肥的比例以5:5左右为宜;对小苗机插稻和直播稻,从移栽或播种到 $N-n$ 叶龄期的叶龄多、时间长,有效分蘖发生期内需吸收的肥料相对较多,基蘖肥与穗肥的比例以6:4左右为宜。(3)提早适度搁田。在 $N-n-1$ 叶龄期,当群体茎蘖数达到预期穗数的80%左右时自然断水落干搁田,此时正值分蘖快速增长期,通过多次轻搁田后有效强势蘖正常生长,无效弱势蘖受到抑制,使高峰苗得到合理控制,手栽稻一般为适宜穗数的1.3~1.4倍,机插稻1.4~1.5倍,直播稻1.4~1.6倍,降低高峰苗而不影响穗数,提高了成穗率和植株质量。

4 结论

不同栽培方式超级稻分蘖发生与成穗规律是不同的,各有其自身鲜明的特征。手栽稻可以充分利用主茎有效分蘖叶位,且群体茎蘖成穗率高,单株成穗数多,穗足和穗大矛盾协调的好,因此单株产量和群体产量高;直播稻分蘖叶位数多,但可有效利用的少,高峰苗数多,茎蘖成穗率低,群体穗数

多穗型小, 单株产量和群体产量都低; 机插稻处于手栽稻和直播稻之间。手栽稻的优势叶位是主茎第5、第6、第7、第8叶, 机插稻是主茎第4、第5、第6、第7叶, 直播是主茎第1、第2、第3、第4叶, 这些叶位上分蘖发生率和成穗率都较高, 且成穗茎蘖穗部性状好, 对产量贡献大, 生产中应根据各种栽培方式的实际, 结合品种特性, 应用各自配套的栽培管理措施, 通过密、肥、水等的精确合理调控, 促进优势叶位分蘖早发、多发, 抑制无效叶位分蘖发生, 充分发掘优势叶位的增产潜力, 从而实现不同栽培方式水稻的高产高效生产。

References

- [1] Jiang P-Y(蒋彭炎), Hong X-F(洪晓富), Feng L-D(冯来定), Xu Z-F(徐志福), Fang Z-F(方樟法). The effect of nitrogen concentration on nitrogen absorption and tiller development in rice under water culture. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1997, 23(2): 191–199 (in Chinese with English abstract)
- [2] Li J(李杰), Zhang H-C(张洪程), Qian Y-F(钱银飞), Chen Y(陈烨), Guo Z-H(郭振华), Dai Q-G(戴其根), Huo Z-Y(霍中洋), Xu K(许轲), Li D-J(李德剑), Liu G-L(刘国林), Zhao D-L(赵德亮). Research progress in super high yielding cultivation of rice. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 2008, 23(5): 1–6 (in Chinese with English abstract)
- [3] 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)
- [4] Ling Q-H(凌启鸿), Zhang H-C(张洪程), Su Z-F(苏祖芳), Ling L(凌励). Leaf Age Model of Rice (水稻叶龄模式). Beijing: Science Press, 1994. pp 83–97 (in Chinese)
- [5] Li R-T(李荣田), Cui C-H(崔成焕), Jiang T-B(姜廷波), Qiu T-Q(秋太权), Gong Z-P(龚振平). Analysis of effect of tillering traits on yielding among rice varieties. *J Northeast Agric Univ* (东北农业大学学报), 1996, 27(1): 9–14 (in Chinese with English abstract)
- [6] Zhan K(詹可), Zou Y-B(邹应斌). Research progress in tillering characteristics and panicle laws of rice. *Crop Res* (作物研究), 2007, 21(5): 588–592 (in Chinese)
- [7] Pasuquin E, Lafarge T, Tubana B. Transplanting young seedlings in irrigated rice fields: Early and high tiller production enhanced grain yield. *Field Crops Res*, 2008, 105: 141–155
- [8] Li Y-L(李彦利), Yan G-B(严光彬), Jia Y-M(贾玉敏), Meng L-J(孟令君), Li D-Y(李东阳), Wang W-C(王万成). Analysis tiller productivity of rice when planting in different leaf age. *J Jilin Agric Sci* (吉林农业科学), 2007, 32(5): 14–16 (in Chinese)
- [9] Su Z-F(苏祖芳), Wu J-L(吴九林), Li G-S(李国生), Zhang Y-J(张亚洁). Effect of the quality of rice seedlings on the panicle rate and yield components. *Gengzuo yu Zaipei* (耕作与栽培), 1995, (3): 10–14 (in Chinese)
- [10] Wang J-L(王建林), Xu Z-J(徐正进). Effect of seedling quantity and row spacing on the tillers and panicle weight of rice. *J Shenyang Agric Univ* (沈阳农业大学学报), 2003, 34(6): 401–405 (in Chinese with English abstract)
- [11] Chen H-Z(陈惠哲), Zhu D-F(朱德峰), Lin X-Q(林贤青), Zhang Y-P(张玉屏). Studies on the tillering dynamics and panicle formation and composition of panicles of hybrid rice under sparse transplanting density. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 2004, 19(6): 51–54 (in Chinese with English abstract)
- [12] Yuan Q(袁奇), Yu L-H(于林惠), Shi S-J(石世杰), Shao J-G(邵建国), Ding Y-F(丁艳锋). Effects of different quantities of planting seedlings per hill on outgrowth and tiller production for machine-transplanted rice. *Trans CSAE* (农业工程学报), 2007, 23(10): 121–125 (in Chinese with English abstract)
- [13] Xu J-G(胥金干), Chen S-F(陈素芳), Zhou F-M(周凤明), Lü Y-L(吕玉亮). Effect of different basic seedling and fertilizer on population quality and yield and tiller emerging law for machine-transplanted rice. *Shanghai Agric Sci Technol* (上海农业科技), 2006, (6): 45–47 (in Chinese)
- [14] Zheng Y-M(郑永美), Ding Y-F(丁艳锋), Wang Q-S(王强盛), Li G-H(李刚华), Wang H-Z(王惠芝), Wang S-H(王绍华). Effect of nitrogen applied before transplanting on tillering and nitrogen utilization in rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2008, 34(3): 513–519 (in Chinese with English abstract)
- [15] Yu A-Y(俞爱英), Lin X-Q(林贤青), Zeng X-Y(曾孝元), Wu Z-Q(吴增琪), Zhu G-P(朱贵平). Studies of different water managements on tillers and panicles and mechanism of high-yield of rice. *J Irrigation and Drainage* (灌溉排水学报), 2007, 26(1): 66–68 (in Chinese with English abstract)
- [16] Yu J(余珺), Tao G-C(陶光灿), Guo X-Q(郭兴强), Yin S-C(尹士采), Xie G-H(谢光辉). Tillering pattern and its effects on yield of rice directly sown after winter wheat in the Huang-Huai Plain. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2008, 41(3): 678–686 (in Chinese with English abstract)
- [17] Zhou H-L(周汉良), Wang Y-Z(王玉珍), Zhen Y-X(甄英肖), Ding X-L(丁秀兰), Ning W-S(宁文书), Zheng Q-L(郑秋玲). Formation of the superiority of rice tillering positions and its utilization for high yield. *Acta Agric Boreali-Sin* (华北农学报), 1998, 13(1): 57–60 (in Chinese with English abstract)
- [18] Counce P A, Siebenmorgen T J, Poag M A, Holloway G E, Kocher M F, Lu R. Panicle emergence of tiller types and grain yield of tiller order for direct-seeded rice cultivars. *Field Crops Res*, 1996, 47: 235–242
- [19] Samonte S O PB, Wilson L T, Tabien R E. Maximum node production rate and main culm node number contributions to yield and yield-related traits in rice. *Filed Crops Res*, 2006, 96: 313–319
- [20] Jing Q-J(景启坚), Xue Y-F(薛艳凤). Difference of rice transplanting by machine and other planting manners in tillering

- characteristics and yield. *Chin Agric Mechanization* (中国农机化), 2003, (4): 13–15 (in Chinese with English abstract)
- [21] Jia J-H(贾记浩). Preliminary study on the law of tillering between seedling broadcasting rice and transplanting rice. *Reclaiming and Rice Cultivation* (垦殖与稻作), 1997, (3): 5–7 (in Chinese)
- [22] Ye D-C(叶定池). Tiller use for early season hybrid rice under different planting ways. *Chin Rice* (中国稻米), 1997, (2): 13–15 (in Chinese)
- [23] Ling Q-H(凌启鸿). The Quality of Crop Population (作物群体质量). Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2000. pp 107–144 (in Chinese)
- [24] Li G-H(李刚华), Wang S-H(王绍华), Yang C-D(杨从党), Huang Q-Y(黄庆宇), Li D-A(李德安), Ning J-C(宁加朝), Ling Q-H(凌启鸿), Ding Y-F(丁艳锋). Quantitative calculation of optimum panicle number per plant of super high-yield rice. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2008, 41(11): 3556–3562 (in Chinese with English abstract)
- [25] Han Z-G(韩正光), Han G-H(韩国华), Yu X-M(于秀梅), Lü Y-R(吕元荣), Wang D-Y(王登宇). Study on characteristics of tillering emerging and panicle law of mechanical transplanting rice. *Shanghai Agric Sci Technol* (上海农业科技), 2003, (5): 24–25 (in Chinese)
- [26] Jiang P-Y(蒋彭炎), Ma Y-F(马跃芳), Hong X-F(洪晓富), Feng L-D(冯来定), Shi J-L(史济林), Gu H-H(顾宏辉). Studies on the sensitive stage to environment during differentiation and development of tiller buds in rice plant. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1994, 23(2): 191–199 (in Chinese with English abstract)
- [27] Ding Y-F(丁艳锋), Huang P-S(黄丕生), Ling Q-H(凌启鸿). Relationship between emergence of tiller and nitrogen concentration of leaf blade of leaf sheath on specific node of rice. *J Nanjing Agric Univ* (南京农业大学学报), 1995, 18(4): 14–18 (in Chinese with English abstract)
- [28] Ling Q-H(凌启鸿), Su Z-F(苏祖芳), Zhang H-Q(张海泉). Relationship between earbearing tiller percentage and population quality and its influential factors in rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1995, 21(4): 463–469 (in Chinese with English abstract)
- [29] Zhou H-L(周汉良), Lu X-L(鲁学林), Zheng Q-L(郑秋玲). Studies on tiller regularity of middle tillering part and productive forces of rice. *Acta Agric Boreali-Sin* (华北农学报), 2000, 15(2): 112–117 (in Chinese with English abstract)
- [30] Li D-X(李冬霞), Wei M(魏溟), Liao X-Q(廖学群). Effects of tillering position and tiller number on economic yield of paddy rice. *J Southwest Agric Univ* (Nat Sci Edn) (西南农业大学学报·自然科学版), 2006, 28(3): 366–368 (in Chinese with English abstract)
- [31] Zhang H-C(张洪程). Ways and technologies of high yield cultivation for mechanical transplanting rice. In: Ling Q-H(凌启鸿), Zhang H-C(张洪程), Ding Y-F(丁艳锋), Zhong W-G(仲维功), Zhu S-D(祝树德). Efficient Technologies and Theories of Rice Yield (水稻丰产高效技术及理论). Beijing: China Agriculture Press, 2005. pp 22–54 (in Chinese)
- [32] Ling L(凌励). Study on tillering characteristics and improvement of the matching high-yielding cultivation techniques for mechanical transplanting rice. *J Jiangsu Agric Sci* (江苏农业科学), 2005, (3): 14–19 (in Chinese)
- [33] Peng S, Khush G S, Cassman K G. Evolution of the New Plant Ideotype for Increased Yield Potential. Manila: IRRI, 1994. pp 5–20
- [34] Ling Q-H(凌启鸿). Theory and Technology of Rice Precision and Quantitative Cultivar (水稻精确定量栽培理论与技术). Beijing: China Agriculture Press, 2007. pp 76–87 (in Chinese)