

## 两系杂交稻腋芽在母体与离体条件下的再生特性

易镇邪<sup>1,2</sup> 屠乃美<sup>1,\*</sup> 王璞<sup>2</sup> 陈平平<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup> 湖南农业大学农学院, 湖南长沙 410128; <sup>2</sup> 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100094)

**摘要:** 以两系杂交稻培矮 64S/E32、培两优 500 为材料, 采用留高桩和节插两种试验方法, 对两组合各节位腋芽的再生特性进行了研究。结果表明: (1) 头季稻齐穗期中部腋芽较长, 齐穗到齐穗后 20 d 各节腋芽伸长速度均慢, 齐穗后 20 d 到成熟期伸长速度均加快, 但上位芽更快。(2) 中高节位腋芽对母体营养物质的依赖性较低节位腋芽大, 且其营养供应优先于低节位腋芽。(3) 母体条件下腋芽再生力强弱, 由遗传因素、母茎营养条件及生态条件等共同决定; 只有将高桩再生稻试验与节插试验相结合, 方可客观评价各节位腋芽决定于遗传因素的再生力强弱。(4) 头季稻节间全氮含量与相应节位再生率的关系, 齐穗期到齐穗后 10 d 呈显著正相关, 齐穗后 20 d 和成熟期呈负相关或相关性较小; 齐穗期节间可溶性糖 + 淀粉总量高不能提高再生率; 齐穗后 10 d 至成熟期, 一般节间淀粉含量与再生率呈负相关, 可溶性糖含量及可溶性糖 + 淀粉总量与再生率呈正相关。表明头季稻灌浆前期各节间的全氮含量是决定相应节位腋芽再生率高低的主导因素, 而灌浆中后期可溶性糖含量高、淀粉含量低以及两者总量高时再生率高, 起主导作用的是可溶性糖含量。

**关键词:** 两系杂交稻; 腋芽; 母体; 离体 (节插); 再生率

中图分类号: S511

## Ratooning Properties of Axillary Buds of Two-line Hybrid Rice *in vivo* and *in vitro*

YI Zhen-Xie<sup>1,2</sup>, TU Nai-Mei<sup>1,\*</sup>, WANG Pu<sup>2</sup>, CHEN Ping-Ping<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan; <sup>2</sup> College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract:** Two-line hybrid combinations—Pei 'ai 64S/E32 and Peiliangyou 500 were used to investigate the ratooning properties of axillary buds from different nodes *in vivo* and *in vitro*. The high-stubble and node-cutting experiments were conducted. The main results are as follows: (1) The length of the middle nodes' axillary buds was longer than that of other nodes' in fully heading stage (FHS) in main crop. The growth speed of all nodes' axillary buds was slow from FHS to 20 d after FHS, and it accelerated from 20 d after FHS to maturing stage, but the growth speed of higher nodes' axillary buds was faster than that of lower nodes' (Fig. 1 and Fig. 2). (2) The plant heights of ratooning rice of the 2nd and 3rd node from the top of Pei 'ai 64S/E32 and of the 2nd, 3rd and 4th node from the top of Peiliangyou 500 *in vitro* were shorter than those of them *in vivo*, and the higher the node position was, the bigger the height difference was (Table 3). Compared to those *in vivo*, the panicle length and spikelets per panicle of all nodes' ratooning rice *in vitro* were bigger, and the lower the node position was, the bigger the difference was. It suggested that the dependence of middle and higher nodes' axillary buds to nutrition of the stubble was bigger than that of lower nodes', and the limitation of nutrition application to lower nodes' axillary buds was bigger than that to higher ones *in vivo*. (3) The difference between ratooning rate of axillary buds from different nodes was bigger *in vivo* than that *in vitro* (Table 4). In general, ratooning capability of different nodes' axillary buds *in vivo* is reflected by ratooning rate and contribution percentage to yield, and it is decided commonly by heredity, nutrition in mother stem and ecological conditions. So, the objective result of the ratooning capability of different nodes' axillary buds decided by heredity can be obtained only by the combination of high-stubble experiment and node-cutting experiment. (4) The correlation between total N content of internodes and ratooning rate of corresponding axillary

\*基金项目: 国家自然科学基金项目 (30370835); 湖南省中青年基金资助项目 (00JZY2147); 湖南省教育厅青年基金资助项目 (02B011); 湖南省自然科学基金项目 (03JJ Y3031); 国家粮食丰产科技工程——湖南省水稻丰产高效技术集成研究与示范 (2004BA520A01)。

作者简介: 易镇邪 (1975 - ) 男, 湖南冷水江市人, 中国农业大学在读博士。E-mail: yizhenxie@sina.com

通讯作者: 屠乃美, 博士, 湖南农业大学教授, 博士研究生导师。Tel: 0731-4635331; E-mail: tnm@hunau.net

Received (收稿日期): 2004-01-17, Accepted (接受日期): 2004-05-28.

buds was positive at the 0.05 level from FHS to 10 d after FHS, but it was negative or very weak from 20 d after FHS to maturing stage. The higher soluble sugar and starch in gross in fully heading stage couldn't increase ratooning rate. In general, from 10 d after FHS to maturing stage, negative correlation existed between starch content and ratooning rate, and positive correlation existed between soluble sugar content, soluble sugar and starch in gross and ratooning rate (Table 2). The results suggested that total N content of internodes is the main factor to decide ratooning rate of corresponding node axillary buds in early productive stage in main crop. In general, when soluble sugar content was higher, starch content was lower and soluble sugar and starch in gross were higher, the ratooning rate was higher in middle and late productive stage in main crop, and the main factor was soluble sugar content.

**Key words:** Two-line hybrid rice; Axillary buds; *in vivo*; *in vitro* (node-cuttage); Ratooning rate

众所周知,头季稻是再生稻的基础,且头季稻与再生稻两季产量之间呈极显著正相关<sup>[1]</sup>。因此,为实现再生稻的高产再高产,有两个方面尤为重要,一是必须种好头季稻,实现头季稻的高产;二是必须不断选育高产而且适合再生培植的品种。在我国再生稻生产史上,产量曾因杂交稻的培育成功而有过一次大的飞跃,之后再无大的突破。其主要原因就在于水稻单产水平停滞不前。近年来,高产的两系杂交稻组合(超级稻)不断育成,为再生稻产量的提高提供了新的契机;同时,因为两系稻的生育期一般较长,多作一季中稻栽培,因此发展两系稻(超级稻)一再生稻,应是发挥两系稻(超级稻)产量优势的途径之一。

在不同节位腋芽的发育特性上,前人主要比较研究了各节腋芽的活力<sup>[2,3]</sup>、死亡顺序<sup>[4~6]</sup>、幼穗分化顺序和速度<sup>[2,3,7]</sup>、腋芽萌发始期和进程<sup>[7~9]</sup>等;在不同节位腋芽的再生力强弱比较上,通常用各节位对再生稻总产量的贡献率大小来衡量,并将贡献率最大的1~2个节位称为优势芽穗<sup>[3]</sup>。头季稻生育后期光合产物的分配,一般以穗部最多,其次是茎鞘和芽<sup>[6,10,11]</sup>;尽管头季后期光合产物能被再生稻利用的很少,但对芽的萌发和穗分化起重要作用<sup>[12,13]</sup>,对腋芽再生率的高低起着决定性作用。茎鞘贮存物质一般是指含N物质和可用性糖,前者用含N量来反映,后者则包括淀粉和可溶性糖。现有研究在哪一种或哪几种物质对腋芽的再生率起主导作用上尚未达成一致,有的认为是可用性糖总量<sup>[14,15]</sup>,有的认为是茎鞘贮存物综合作用的结果<sup>[16]</sup>。此外,在水稻不同节位再生力比较研究方面,以离体条件进行研究尚不多见。基于以上原因进行了本研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

两个两系杂交稻组合,即培矮64S/E32(以下称

为A组合)、培两优500(以下称为B组合),分别由湖南杂交水稻研究中心和湖南农业大学水稻研究所提供。

### 1.2 试验设计方案

试验于2002年在湖南农业大学试验农场进行。高桩再生稻试验(即母体条件下的再生试验)4月1日播种,4月29日移栽,随机区组设计,3次重复,小区面积15 m<sup>2</sup>;头季齐穗后15 d施尿素112.5 kg/hm<sup>2</sup>作促芽肥,头季稻收后第二天施尿素75.0 kg/hm<sup>2</sup>作壮苗肥;8月16日收割,留桩高度40 cm。

节插试验(即离体条件下的再生试验)头季播种、移栽及田间管理与高桩再生稻试验相同,节插日期为8月12日和8月21日。从两组合头季群体中选取生长整齐一致的母茎,将各单茎每一茎节按节位剪下,节的上、下端各留2~3 cm母茎段,然后分别扦插,节部平泥,扦插规格10 cm×13.3 cm。两组合各节位芽各扦插200~250根。

### 1.3 观测项目与方法

1.3.1 产量与产量构成 每小区取样5穴,带回室内分节位考查其产量构成,包括穗数、每穗总粒数、结实率与千粒重等。

1.3.2 腋芽伸长动态 在头季稻齐穗期、齐穗后10 d、齐穗后20 d和成熟期每小区取样5穴,逐苗逐节剥去叶鞘,测量各节位腋芽长度。

1.3.3 腋芽再生率 本研究中腋芽再生率为最终再生率。于再生季成熟时,每小区取样5穴测得。各节位腋芽再生率=(该节位平均每穴再生穗数/头季稻平均每穴有效穗数)×100%。

1.3.4 节间贮存物质 分别于头季稻齐穗期、齐穗后10 d、齐穗后20 d和成熟期取样,测定茎秆各节间的全氮含量、淀粉含量和可溶性糖含量。全氮含量采用凯氏定氮法测定,淀粉及可溶性糖含量采用蒽酮硫酸法测定<sup>[17]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 母体条件下的腋芽再生特性

2.1.1 头季生育后期腋芽伸长动态 A 组合齐穗期倒 3 节腋芽最长,倒 4 芽其次,倒 6 芽最短;齐穗后 20 d 之内,各节芽长均增长缓慢;齐穗后 20 d 至成熟期,各节芽均有较大幅度增长,增幅最大的是倒 5 节芽,其次是倒 2 节芽。至成熟期,各节芽长顺序为倒 5 芽(1.53 cm) > 倒 2 芽(1.07 cm) > 倒 6 芽(0.93 cm) > 倒 3 芽(0.88 cm) > 倒 4 芽(0.75 cm) (图 1)。

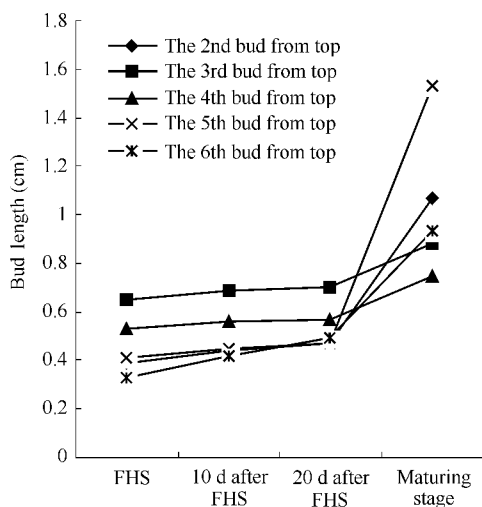


图 1 培矮 64S/ E32 头季生育后期腋芽伸长动态  
Fig.1 Trends of axillary buds length of Peiai64S/ E32 before harvest of main crop  
FHS: fully heading stage.

B 组合齐穗期倒 4 节腋芽最长,倒 2 节最短;齐穗后 20 d 之内,各节芽长增速较 A 组合快;齐穗 20 d 之后,增速更快,成熟期各节芽均明显长于 A 组合。原因是 A 组合结实率为 77.94%,而 B 组合头季结实率,仅为 59.87%(表略),故 B 组合后期供给再生芽生长利用的光合产物相对较多。其中,倒 2 节芽最长(9.51 cm),其次为倒 3 芽(4.45 cm)、倒 6 芽(4.41 cm)、倒 4 芽(2.63 cm),倒 5 芽最短(1.66 cm) (图 2)。

如将倒 5、6 两节芽总计为倒 5 节以下芽,则成熟期 A 组合各节芽长顺序为:倒 5 以下芽 > 倒 2 芽 > 倒 3 芽 > 倒 4 芽;B 组合各节芽长顺序为:倒 2 芽 > 倒 3 芽 > 倒 5 以下芽 > 倒 4 芽。

### 2.1.2 节间贮藏物质与再生率的关系 齐穗后

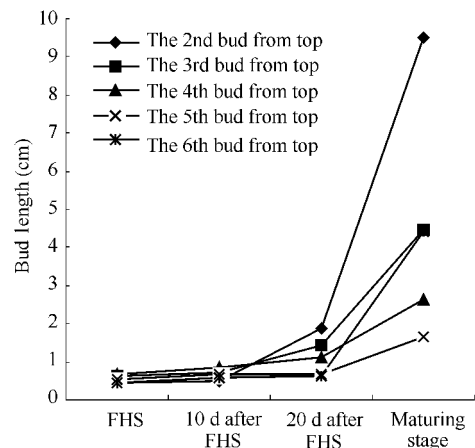


图 2 培两优 500 头季生育后期腋芽伸长动态  
Fig.2 Trends of axillary buds length of Peiliangyou 500 before harvest of main crop  
FHS: fully heading stage.

节间可溶性糖含量、淀粉含量及其总量变化趋势:倒 2 节间淀粉含量先降后升,其余二者先升后降再升;倒 3 节间,三者均先降后升。在倒 2、3 节间贮藏物质变化趋势上,两组合表现基本一致,只是最低点略有不同。两组合倒 4、5 节间在齐穗 10 d 之后,贮藏物质均呈先降后升趋势(表 1)。

齐穗后节间全氮含量变化趋势:A 组合倒 2、3 节间表现先降后升,最低点在齐穗后 20 d;B 组合倒 2 节间表现先降后升再降,倒 3 节间表现先降后升,最低点均在齐穗后 10 d。齐穗 10 d 之后,两组合倒 1 节间全氮含量持续下降,倒 5 节间持续升高,倒 4 节间则先升后降。至成熟期,A 组合随节间往下全氮含量升高;B 组合倒 3 节间全氮含量最高,其他节间表现趋势与 A 组合相同(表 1)。

齐穗期两组合倒 2 节间可溶性糖、淀粉含量及其总量均小于倒 3 节间,但其再生率反而较高,说明齐穗期节间可用性糖多并不能提高再生率;齐穗期两组合倒 2 节间全氮含量较倒 3 节间高,这与两节位腋芽的再生率表现一致(表 1)。齐穗后 10 d 至成熟期,两组合节间内含物量与相应腋芽再生率的相关分析表明,一般情况下,淀粉含量与再生率呈负相关(B 组合齐穗后 20 d 除外),可溶性糖含量与再生率呈正相关(A 组合成熟期除外),可溶性糖 + 淀粉总量与再生率呈正相关(B 组合齐穗后 10 d 及 A 组合成熟期除外);全氮含量与再生率在齐穗后 10 d 呈显著正相关,在齐穗后 20 d 与成熟期,呈负相关或相关性较小(表 2)。其原因可能是头季稻齐穗

后,腋芽即开始萌发,大量器官的建成需要大量氮素,因此提高齐穗期到齐穗后 10 d 各节间的全氮含量可显著提高再生率;而灌浆后期,腋芽器官建成已基本完成,因此含氮量只是影响其生长发育,却已不能影响再生率。因此,促芽肥的施用似可适当提前。

综上所述,提高灌浆前期各节间全氮含量有利于各节位腋芽再生率的提高;齐穗期节间可用性糖多并不能提高再生率;灌浆结实中后期,一般可溶性糖含量高、淀粉含量低以及两者总量高时,再生率高。

表 1 培矮 64S/ E32 与培两优 500 头季稻各节间非结构性碳水化合物和全氮含量

Table 1 Content of non-structural carbohydrate and total N of different internodes in main crop of Pei'ai 64S/ E32 and Peiliangyou 500 (%)

内含物 Store matter	节间 Internodes	齐穗期 FHS		齐穗后 10 d 10 d after FHS		齐穗后 20 d 20 d after FHS		成熟期 Maturing stage		
		A	B	A	B	A	B	A	B	
		可溶性糖 Soluble sugar (SS)	15.28	11.09	24.29	15.85	7.20	14.36	18.19	38.28
			22.63	17.14	21.66	10.11	3.02	12.31	17.84	
					17.54	11.58	2.68	8.53	20.69	17.89
					8.11	11.14	5.59	9.99	19.16	17.29
					7.92	19.99	10.74	7.51	5.36	3.99
淀粉 Starch	3.44	3.66	3.20	1.83	1.09	2.69	2.49	2.83		
	10.3	8.11	5.89	3.07	0.73	2.93	5.97	4.02		
			6.90	7.13	1.44	2.48	8.32	3.34		
			2.59	8.31	1.10	2.37	5.68	3.04		
					14.76	29.27	18.38	24.58	17.59	15.59
可溶性糖 + 淀粉 Soluble sugar + Starch	18.72	14.75	27.49	17.68	8.29	17.35	20.68	41.11		
	32.95	25.25	27.55	13.18	3.75	15.24	23.81	23.63		
			24.44	18.71	4.12	11.01	29.01	21.23		
			10.70	19.45	6.69	12.36	24.84	20.33		
					0.537	0.451	0.307	0.361	0.296	0.333
全氮 Total N	0.661	0.805	0.417	0.406	0.365	0.471	0.393	0.447		
	0.432	0.475	0.397	0.367	0.347	0.427	0.397	0.468		
			0.345	0.320	0.469	0.483	0.460	0.451		
			0.360	0.354	0.445	0.429	0.488	0.455		

注:A 即培矮 64S/ E32, B 即培两优 500; 代表倒 1 节间, 代表倒 2 节间, 余类推。下同。

Notes: A is Pei'ai 64S/ E32, B is Peiliangyou 500; represents the 1st internode from the top, represents the 2nd internode from the top, the remainder is analogized as former. The same below.

表 2 各时期节间内含物含量与再生率的相关系数

Table 2 Correlation coefficients of ratooning rate and content of store matter in internode of different stage

组合 Combination	内含物 Store matter	与再生率的相关系数 Correlation coefficient of ratooning rate and content of store matter		
		齐穗后 10 d 10 d after FHS	齐穗后 20 d 20 d after FHS	成熟期 Maturing stage
		A	可溶性糖 SS	0.5990
	淀粉 starch	- 0.5467	- 0.4828	- 0.9688 *
	可溶性糖 + 淀粉 SS + starch	0.3878	0.6929	- 0.9706 *
	全氮 Total N	0.9581 *	- 0.7948	- 0.7468
B	可溶性糖 SS	0.7471	0.9869 *	0.9133
	淀粉 Starch	- 0.8822	0.5480	- 0.2659
	可溶性糖 + 淀粉 SS + starch	- 0.3122	0.9825 *	0.9241
	全氮 Total N	0.9799 *	0.0224	- 0.1652

## 2.2 母体与离体条件下的腋芽再生特性比较

2.2.1 农艺性状比较 母体与离体条件下各节位再生稻农艺性状如表 3。离体条件下的农艺性状值,是两期节插再生植株中正常抽穗植株的平均值。母体条件下,两组合各节位再生稻株高无明显规律,离体条件下则随节位的降低而增高;离体条件下,中高节位(A 组合倒 2、3 节, B 组合倒 2~4 节)再生稻的株高较母体条件下矮,且节位越高差值越大。说

明高节位再生稻对母体营养物质的依赖性较低节位再生稻大。与母体条件下相比,离体条件下各节位再生稻单茎总叶数均有所增加,且节位越低增加越多,此增值最大为 3.5 叶(B 组合倒 5 节)。

母体条件下, A 组合以倒 5 节穗最长, B 组合以倒 3 节穗最长,两组合均以倒 4 节穗最短。与母体条件下相比,离体条件下各节位穗均有所增长,且越往下增加越多。同时,离体条件下各节穗长表现出

随节位降低而增长的趋势,母体条件下则无此趋势。此外,离体条件下各节位穗长之间的差异较母体条件下大。两种条件下的每穗总粒数与穗长表现一

致。由此可见,母体条件下低节位腋芽所受到的营养供应限制较高节位腋芽大,亦即母体条件下中高节位腋芽的营养供应是优先于低节位腋芽的。

表3 母体与离体条件下再生稻农艺性状与产量性状  
Table 3 Agronomic properties and yield components of ratooning tillers in vivo and in vitro

组合 Combination	节位 Node	株高 Plant height (cm)		总叶数 Whole leaves		穗长 Panicle length (cm)		穗总粒数 Spikelets per panicle		有效穗数 NOP	结实率 SSR	千粒重 1 000-GW	理论产量 TY	经济系数 HI	产量贡献率 CPTY
		M	L	M	L	M	L	M	L	(10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> )	(%)	(g)	(kg/hm <sup>2</sup> )	M	M
A	2	58.0	53.1	3.9	4.1	17.04	18.89	78.1	103.4	201.85	77.98	22.45	2 759.9	0.685 0	52.18
	3	61.1	60.6	4.1	6.2	17.32	20.95	86.3	170.1	109.44	70.03	23.24	1 537.2	0.550 4	29.06
	4	60.5	69.1	4.4	6.6	16.81	24.25	72.3	296.2	14.82	70.22	23.06	173.5	0.534 4	3.28
	5	66.4	74.6	5.2	8.3	17.80	25.95	106.7	370.5	67.18	51.18	22.32	818.9	0.247 9	15.48
B	2	61.6	54.6	3.6	4.4	19.11	19.74	76.5	87.1	226.58	64.59	23.93	2 679.1	0.588 3	54.90
	3	67.4	60.6	3.7	4.1	20.64	22.54	87.3	136.6	119.62	57.09	24.00	1 430.9	0.505 4	29.34
	4	64.9	62.9	4.8	6.1	18.65	22.92	83.1	149.6	16.38	55.20	23.23	174.6	0.306 2	3.58
	5	66.4	72.8	4.4	7.9	18.73	25.11	83.7	260.7	63.99	48.64	22.74	592.4	0.422 7	12.15

注:M代表母体条件,L代表离体条件。2代表倒2节,3代表倒3节;余者类推。

Notes:M represented "in vivo"; L represented "in vitro". 2 represented the second node from the top, 3 represented the third node from the top. The remainder is analogized as former. The same below. NOP = number of panicle; SSR = seed setting rate; 1 000-GW = 1 000-grain weight; TY = theoretical yield; HI = harvest index; CPTY = contribution percentage to yield.

A、B 两组合头季稻生育期分别为 136 d 和 133 d,母体条件下再生稻生育期分别为 82 d 和 69 d;离体条件下 B 组合倒 2 节再生稻生育期为 80 d 左右,倒 3 节为 85 d 左右,A 组合倒 2 节仅部分再生稻正常成熟,两组合其他节位再生苗正常成熟的极少或没有(表略)。可见离体条件下,再生稻生育进程大大延迟。低节位再生稻不能正常成熟,与其总叶数增加较多、进入生殖生长相对较迟有关;同时,低温寡照也是原因之一。因此,表 3 仅列出了母体条件下的产量构成因素。各节位再生稻有效穗数、理论产量顺序为倒 2 节 > 倒 3 节 > 倒 5 节 > 倒 4 节;结实率一般随节位降低而降低;千粒重以倒 3 节最大,倒 5 节最小;经济系数以高节位再生苗较大,这与低节位再生稻生育期较长而未能正常成熟有关。以上各因素,两组合表现基本一致。在每穗总粒数上,两组合表现不一致,A 组合以倒 5 节穗最大,倒 4 节穗最小;B 组合以倒 3 节穗最大,倒 2 节穗最小。

母体条件下再生稻产量构成因素与产量的相关分析表明,有效穗数、每穗总粒数、结实率、千粒重与产量之间的相关系数分别为 0.989 8<sup>\*\*</sup>、-0.193 0、0.550 4、0.197 6;有效穗数、结实率、每穗总粒数、千粒重与产量的偏相关系数分别为 0.997 6<sup>\*\*</sup>、0.907 5<sup>\*</sup>、0.748 2、-0.218 2。由此可见,影响产量的首要因素是有效穗数,其次是结实率;每穗总粒数、千粒重对产量影响较小。

2.2.2 再生率比较 母体条件下两组合各节位腋芽再生率,均为倒 2 芽 > 倒 3 芽 > 倒 5 芽 > 倒 4 芽,倒 4 芽再生率均低于 10%;B 组合倒 2 节再生率最大,该组合各节芽再生率极差达 77.84 个百分点(表 4)。两组合各节位再生稻产量贡献率与再生率表现一致(表 3,表 4)。上部节位再生稻产量贡献率远大于下部节位,倒 2、倒 3 两节合计占总产的 80% 以上,可见籼型两系杂交稻的优势芽穗为倒 2、3 两节。这与前人<sup>[18,19]</sup>对籼稻优势芽穗的研究结果是一致的。

表4 两组合各节位腋芽在母体与离体条件下的再生率

Table 4 Ratooning rate of axillary buds from different nodes of two combinations in vitro and in vivo(%)

条件 Condition	A				B			
	2	3	4	5	2	3	4	5
母体 M	69.71	37.16	4.74	24.01	84.10	45.02	6.26	22.71
离体 L-1	13.62	17.27	6.67	4.39	31.19	30.80	15.68	19.38
离体 L-2	77.27	75.56	68.89	86.21	93.75	86.36	71.79	79.31

注:M代表母体条件;L-1代表节插日期为8月12日;L-2代表节插日期为8月21日。

Notes: M represent "in vivo"; L-1 represent the node-cutting date of Aug. 12; L-2 represent the node-cutting date of Aug. 21.

离体条件下,第一期节插(8月12日)各节芽再生率均不高,第二期节插(8月21日)结果较理想。

二期节插试验各节芽再生率相差较大,主要是第一期节插之后,遭遇连续7 d 阴雨天气,而第二期节插后天气较好的缘故;除此之外,也不排除有芽长差异、取样误差等因素的影响。但正因为8月12日后连续7 d 阴雨,两期节插时芽长差异甚微,因此认为,气候因素是主要原因。离体条件下各节芽再生率表现趋势为A组合与母体条件下不太一致,B组合则与之完全一致。离体条件下,两组合不同节位腋芽再生率差异,较母体条件下小,两组合各节芽再生率极差均在20个百分点左右(表5)。

综合母体与离体条件下的再生率表现可知,两系杂交稻高节位腋芽再生力一般较低节位强;在留高桩的情况下,各节位再生力顺序为倒2节>倒3节>倒5节>倒4节,且各节之间差异较大;在将各节腋芽分别剪下扦插的情况下,即在排除了母体茎鞘贮存物质的影响之后,各节腋芽再生力表现不一定再符合上述规律,且各节之间的差异变小。

### 3 小结与讨论

#### 3.1 头季生育后期腋芽伸长规律

本研究表明,头季齐穗期一般以中部节位(倒3、4节)腋芽最长;头季齐穗到齐穗后20 d 各节腋芽伸长较慢,在齐穗后20 d 到成熟期伸长速度均有所加快,但上位芽速度更快;成熟期一般以上部腋芽较长。品种(组合)间腋芽伸长速度有差异。培两优500腋芽伸长速度较培矮64S/E32快,且越接近成熟期,芽长差异越大。其可能原因是培两优500头季稻每穗结实粒数相对较少,故供给再生芽生长利用的光合产物相对较早而多。本研究中头季稻培矮64S/E32每穗粒数179.5,结实率77.99%;培两优500每穗粒数166.7,结实率59.86%。因此可以认为,头季稻结实率低,腋芽营养供应相对充足,有利于腋芽迅速生长,缩短再生季生育期,但须防止头季后期根、叶早衰。

#### 3.2 不同节位的再生力比较方法

人们通常采用各节位对产量的贡献率大小来衡量不同节位的再生力强。一般认为,籼稻品种倒2、3芽是优势芽穗,两芽穗总贡献率在70%以上<sup>[18,19]</sup>。本研究结果与其一致。此外,本研究认为,母体条件下,各节位腋芽再生率及产量贡献率反映的再生力强弱是由遗传因素、母茎营养条件以及生态条件等共同决定的;只有将母体与离体条件下的再生率表现结合起来,方可比较真实地反映由遗传因素决定的各节位腋芽的再生力强弱。因此,要客观评判不同节位腋芽再生力的强弱,离体条件下

的试验(节插试验)很有必要。

#### 3.3 不同节位腋芽对母体营养物质的依赖性

本研究表明,离体条件下各节位腋芽在株高、总叶数、穗长及每穗总粒数上均表现出明显的、严格的随节位下降而增加的趋势;而母体条件下各性状均无此趋势。这应与母体条件下茎鞘营养物质的干扰有关。

中高节位(培矮64S/E32倒2、3节,培两优500倒2~4节)再生稻在离体条件下的株高,较母体条件下矮,且节位越高差值越大。这说明高节位再生稻对母体营养物质的依赖性更大。因此,要充分发挥高节位腋芽的产量潜力,头季后期必须养根保叶,使其茎鞘积累尽可能多的营养物质。

通过离体与母体条件下的对比研究发现,离体条件下倒4节腋芽总叶数增加2片左右,倒5节增加3片以上。据屠乃美<sup>[20,21]</sup>的研究,水稻接受光周期诱导产生成花物质(即“质变”)须有3叶以上的营养生长期;水稻光周期诱导质变可以在主茎与其伸长节上的腋芽之间传导,而不能在主茎与其分蘖节上的腋芽之间传导,亦即伸长节芽在母体上已通过了光周期诱导,而分蘖节芽则否。结合本研究结果可以认为,高节位腋芽在离体条件下总叶数稍有增加,应与其节插时茎节上下两端均只保留2~3 cm 茎段,导致其节插后营养供应较母体条件下差有关,也可能是其在母体条件下只基本通过了光周期诱导;离体条件下,低节位腋芽(特别是倒5节以下腋芽)总叶数较母体条件下增加较多,除受有机营养影响之外,主要原因是其在母体上未能通过光周期诱导,必须先通过3叶左右的营养生长期以产生成花物质。

#### 3.4 节间贮藏物质与再生率的关系

本研究表明,头季稻齐穗期到齐穗后10 d 各节间的全氮含量与再生率呈显著正相关;头季灌浆末期低含氮量对腋芽再生有利;齐穗期节间可用性糖多并不能提高再生率;灌浆结实中后期,一般高可溶性糖、低淀粉含量以及两者总量高时再生率高。由此可见,头季稻灌浆前期各节间的全氮含量是决定相应节位腋芽再生率高低的的主导因素,而灌浆中、后期起主导作用的是可溶性糖含量。程建峰等<sup>[22]</sup>的研究结果表明,头季稻收获时主茎茎秆、茎鞘各部分可溶性糖含量与再生芽数存在一定程度的相关性,而分蘖茎则不然;母体各部分可溶性糖总量与再生芽数达显著正相关。在茎鞘贮存物质对不同品种、不同节位腋芽再生率的影响上,还有待进一步研究。

本研究中,在两组合成熟期节间贮藏物质含量

与再生率的关系上,除培两优 500 可溶性糖含量、可溶性糖 + 淀粉总量与再生率呈一定正相关外,其余均为负相关,尤其是培矮 64S/ E32 的淀粉含量、可溶性糖 + 淀粉总量与再生率呈显著负相关(表 2)。这与一般认为的头季稻后期茎鞘物质越多再生率越高相悖,且两组合表现出了一定的差异性。此处的负相关系数并不能理解为营养物质越多再生率越低,而是头季灌浆中后期籽粒对光合产物的需求减少,如腋芽再生率不高,则腋芽对光合产物的需求也不大,光合产物在茎鞘内的贮存会显著增加,从而造成表观上的负相关。培矮 64S/ E32 再生率较培两优 500 低,而其成熟期茎鞘物质含量与再生率之间的负相关性也更明显,说明这种解释具有一定的合理性。关于两组合表现的差异性,本研究认为与生育后期光合产物的分配规律有关。如表 1 所示,齐穗后 20 d 至成熟期,可溶性糖及可溶性糖 + 淀粉总量累积量,培矮 64S/ E32 以倒 4 节间最多,倒 3 节间次之;培两优 500 与之不同,以倒 2 节间最多,倒 4 节间次之。可见两组合生育后期光合产物的分配有差异;同时,生育后期光合产物在不同节间的分配与该节位腋芽的再生率不成正比,因而造成了组合间的差异性。因此,单一品种单一时期节间贮藏物质含量与再生率的关系不能说明什么问题,必须全面考查多品种所有节间贮藏物质与再生率的关系,才能得出较为真实的结果。考虑到品种特性、气候因素等的影响,在茎鞘贮藏物质与腋芽再生率的关系上,宜作进一步研究。

## References

- [1] Zheng C-M(郑常敏). Primary research on properties of growth and development and yield components in ratooning rice. *China Rice* (中国稻米), 1996, (4): 11 - 12 (in Chinese)
- [2] Yang K-Q(杨开渠). Research on ratooning rice. *Journal of Agriculture* (农业学报), 1958, 9(2): 286-329 (in Chinese with English abstract)
- [3] Shi N-P(施能浦). Primary report of research on property and technology of cultivation of hybrid early rice—ratooning rice. *Ratooning Rice* (再生稻), 1994, (1): 10 - 14 (in Chinese)
- [4] Chongqing Research Center of Ratooning Rice(重庆再生稻研究中心). Study on ratooning properties of new hybrid combinations of rice. *Ratooning Rice* (再生稻), 1997, (2): 1 - 9 (in Chinese)
- [5] Feng J(封晋). Primary report of research on cultivation measures of ratooning rice of hybrid rice in Hunan province. *Hunan Agricultural Sciences* (湖南农业科学), 1990, (2): 15 - 16 (in Chinese with English abstract)
- [6] Xu F-X(徐富贤), Xiong H(熊洪), Hong S(洪松). Relation between axillary bud growth and matter accumulation of stem sheath after heading of main crop in hybrid rice. *Chinese J Rice Sci* (中国水稻科学), 1997, 11(3): 160 - 164 (in Chinese with English abstract)
- [7] Huang Y-Q(黄友钦), Zhang H-S(张洪松). Research on developmental and differentiation principles of young panicles of ratooning buds in hybrid rice Shanyou 63. *Journal of Southwest Agricultural University* (西南农业大学学报), 1989, 11(1): 97 - 101 (in Chinese with English abstract)
- [8] Wang Q-B(王庆保), Tang Z-H(唐志华). Research on properties and cultivation measures for high yielding in ratooning rice. *Hunan Agricultural Sciences* (湖南农业科学), 1991, (3): 17-19 (in Chinese with English abstract)
- [9] Tang Z-Y(唐祖荫), Zhang Z-L(张征兰). Research on several questions about physiology and ecology of ratooning rice. *Hubei Agricultural Sciences* (湖北农业科学), 1991, (5): 1 - 5 (in Chinese with English abstract)
- [10] Liu B-G(刘保国), Zhang X-Q(张修清), Wang G-M(王光明), Wan Z-L(万兆良), Huang Y-Q(黄友钦), Ren C-F(任昌福). Observation of the photosynthate distribution during the ripening stage of the main crop and ratooning period of rice variety Shanyou 63. *Journal of Southwest Agricultural University* (西南农业大学学报), 1993, 15(5): 378 - 381 (in Chinese with English abstract)
- [11] Liu B-G(刘保国), Wang G-M(王光明), Zhang X-Q(张修清), Wan Z-L(万兆良), Huang Y-Q(黄友钦), Ren C-F(任昌福). Growth and development of a ratooning rice as related to the distribution of photosynthates its main crop. *Journal of Southwest Agricultural University* (西南农业大学学报), 1993, 15(5): 382 - 385 (in Chinese with English abstract)
- [12] Yuan J-C(袁继超), Sun X-H(孙晓辉). Effect of cutting node and leaves retained on the mother stem on rice ratooning. *Journal of Sichuan Agricultural University* (四川农业大学学报), 1996, 14(4): 523 - 528 (in Chinese with English abstract)
- [13] Ren T-J(任天举), Li J-Y(李经勇), Zou Y-L(邹亚兰). Effect of photosynthates in late stage of main crop on ratooning rice. *Ratooning Rice* (再生稻), 1997, (2): 17 - 21 (in Chinese)
- [14] Fu J(伏军), Yi Z-C(易祚昌). Studies on heightening of yield potential of ratooning rice of hybrid mid-rice. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 1992, (3): 7 - 10 (in Chinese)
- [15] Ren C-F(任昌福). Relational analyses of yield components of ratooning rice of hybrid rice. *Journal of Southwest Agricultural College* (西南农学院学报), 1982, (2): 10 - 15 (in Chinese with English abstract)
- [16] Chongqing Research Center of Ratooning Rice(重庆再生稻研究中心). The yield effort of mid-rice and ratooning rice of Gangyouyujiu under different planting rates and fertilizer conditions. *Ratooning Rice* (再生稻), 1997, (2): 46 - 49 (in Chinese)
- [17] Zhang X-Z(张宪政). *Experimental Methodology of Crop Physiology* (作物生理研究法). Beijing: Agriculture Press, 1992 (in Chinese)
- [18] Sun X-H(孙晓辉), Tian Y-H(田彦华), Yang H-L(杨火伦). Relationship between P fertilizer utility and economical characters of ratooning rice and the stubble height of main crop by tracing research. *Application of Atomic Energy in Agriculture* (原子能农业应用), 1984, (4): 7 - 17 (in Chinese)
- [19] Deng F-Y(邓凤仪). Research on high yield law of ratooning utilization of hybrid rice. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 1991, (3): 8 - 11 (in Chinese)
- [20] Tu N-M(屠乃美). Studies on translocation of photoinductive effects between main culm and its tillers of rice. Experiments of "partial short-day treatment" and "heading at two-separate-times". *Journal of Hunan Agricultural College* (湖南农学院学报), 1989, 15(4): 11 - 16 (in Chinese with English abstract)
- [21] Tu N-M(屠乃美). Studies on translocation of photoinductive effects between main culm and its tillers of rice. Experiments of photoperiodic treatments for ratooning tillers. *Journal of Hunan Agricultural College* (湖南农学院学报), 1990, 16(2): 111 - 117 (in Chinese with English abstract)
- [22] Cheng J-F(程建峰), Pan X-Y(潘晓云), Zeng X-C(曾晓春), Liu Y-B(刘宜柏). A study on the physiological properties of ratooning rice. Effects of soluble carbohydrase content during the harvest of main crop. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis* (江西农业大学学报), 2001, 23(2): 167 - 170 (in Chinese with English abstract)