

杂交稻不同节位再生稻的产量形成及其与头季稻的关系

黄新杰, 屠乃美*, 李艳芳, 周娟, 易镇邪, 李森, 王可

(湖南农业大学 农学院, 湖南 长沙 410128)

摘 要: 采用大田试验, 以龙两优 072 和深优 9576 为材料, 研究再生稻的产量形成及其与头季稻的关系。结果表明: 不同杂交组合各节位再生稻的叶面积指数(LAI)和干物质积累量均以倒 2 节最高, 倒 4 节最低; 再生稻的产量与头季稻分蘖盛期、孕穗期、齐穗期和乳熟期的 LAI 均呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.864、0.896、0.935、0.941; 不同杂交组合头季稻与再生稻干物质积累量均以乳熟期最大, 分蘖盛期最小, 再生稻产量与头季稻乳熟期的干物质积累量呈正相关($r = 0.451$); 再生稻根系活力和光合速率较头季稻高, 叶绿素含量较头季稻小; 再生稻孕穗期和齐穗期的根系活力与产量呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.913 和 0.843; 再生稻分蘖盛期、孕穗期和乳熟期的叶绿素含量与产量呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.913、0.943 和 0.927; 再生稻分蘖盛期、齐穗期和乳熟期的光合速率与产量呈显著正相关, 相关系数分别为 0.722、0.791 和 0.727; 从头季稻齐穗期至成熟期, 不同杂交组合再生芽的平均芽长均以倒 3 节最长; 齐穗期后 12 d 至成熟期, 活芽率随着节位的降低呈下降趋势; ^{14}C 光合产物在穗部的分配比例最高, 在非标记叶中最低; 有效穗数和结实率对再生稻的产量起决定作用, 倒 2、倒 3 节对总产量的贡献率达 70%左右。

关 键 词: 杂交稻; 再生稻; 产量构成因素; 相关分析

中图分类号: S511.01 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2012)05-0470-06

Yield formation of ratoon crops from different nodes of hybrid rice and its relationship with main crops

HUANG Xin-jie, TU Nai-mei*, LI Yan-fang, ZHOU Juan, YI Zhen-xie, LI Miao, WANG Ke

(College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: Hybrid rice combination Longliangyou072 and hybrid rice Shenyong9576 were used to study the yield formation of ratoon crop and its relationship with the main crop. The result showed that among different nodes of Hybrid rice combination, the 2nd node from the top to the bottom showed the highest LAI and dry matter weight and the 4th node the lowest. There was significantly positive correlation between the yield of ratoon crop and the LAI of main crop in tillering stage, booting stage, full heading time and milk stage, the corresponding correlation coefficient were 0.864, 0.896, 0.935 and 0.941. The dry matter weight was the highest in milk stage, and the lowest in tillering stage for main crop and ratoon crop respectively. The dry matter weight of main crop in milk stage was significantly positively related with the yield of ratoon crop ($r = 0.451$). Comparing to the main crop, root activity and photosynthesis rate were higher while chlorophyll content were lower in ratoon crop. Root activity of ratoon crop in booting stage and full heading time was very significantly positively related with the yield of ratoon crop, with correlation coefficient being 0.913 and 0.843 respectively. Chlorophyll content of ratoon crop in tillering stage, booting stage and milk stage was very significantly positively related with its yield, with correlation coefficient being 0.913, 0.943 and 0.927 respectively. Photosynthesis rate of ratoon crop in tillering stage, full heading time and milk stage was significantly positively related with its yield,

收稿日期: 2012-05-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(30971723)

作者简介: 黄新杰(1982—), 女, 内蒙古赤峰人, 博士, 主要从事水稻高产生理研究, xinjie-huang@163.com; * 通信作者, tnm505@163.com

with correlation coefficient being 0.722, 0.791 and 0.727 respectively. From full heading time to maturity, the ratooning bud generated from the 3rd node of main crop from different combination showed the largest mean length of bud. From twelve days after the full heading stage to maturity, viable bud rate was decreased along with the nodes from top to bottom. The percentage of ¹⁴C photosynthates distributed in panicle was the highest and the lowest in other leaves. The number of effective panicle and seed setting rate affected the yield of ratoon crop mostly, and the 2nd and 3rd nodes from the top to the bottom contributed 70% to the total yield.

Key words: hybrid rice; ratoon rice; yield components; correlation analysis

前人的研究^[1-3]表明,再生稻的特性可从头季稻反映出来,较之于常规稻,杂交稻具有较好的再生能力及高产潜力。虽然国内外就温湿度、光照、施肥等因素对再生稻产量的影响进行了研究^[4-7],并提出了适宜再生稻生长的生态条件,但这些研究多为对单一特性进行的试验,涉及到再生稻生理方面的系统研究较少。笔者以2个杂交稻组合为材料,连续2年研究头季稻和再生稻的叶面积指数、干物质积累、根系活力、叶绿素含量和光合速率、不同节位再生力和产量构成因素与再生稻产量的关系,以期为再生稻利用提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

供试杂交稻组合为龙两优072(LLY072)和深优9576(SY9576),均由湖南农业大学水稻研究所提供。

1.2 试验设计

试验于 2010、2011 年在湖南农业大学教学实验场进行。2 年均于 3 月 30 日播种,软盘湿润育秧,5 月 1 日移栽,株行距 20 cm×20 cm。试验采用随机区组设计,小区面积 26 m²,3 次重复。头季稻齐穗后 15 d(收割前 10~13 d)施尿素和氯化钾各 112.5 kg/hm²,作促芽肥。头季稻 8 月 6 日收获。收后第 3 天施尿素和氯化钾各 75 kg/hm²,作促蘖肥。其他田间管理措施按高产栽培技术进行^[8]。头季稻收割时留桩 40 cm。

1.3 测定项目与方法

分别于头季稻分蘖盛期、孕穗期、齐穗期、乳熟期和再生稻孕穗期、齐穗期、乳熟期,每小区取样 5 穴,测定叶面积指数(LAI)和干物质积累量。采

用长宽系数法测定绿叶面积^[9];将植株分为茎鞘、穗、叶等各部分,分别装袋,在 105 ℃烘箱中杀青 20 min,置 80 ℃烘箱中烘干至恒重,考查干物质积累量。

分别于头季稻和再生稻的分蘖盛期、孕穗期、齐穗期、乳熟期测定根系活力、叶绿素含量和光合速率。根系活力采用 TTC 还原法^[10]测定;叶绿素含量采用 95%乙醇浸提法^[11]测定。以美国产 LI-6400 型光合测定仪测定顶部第一全展叶的光合速率。

在头季稻齐穗期、齐穗后 12 d 和成熟期,每个小区选取 3 穴,剥离叶鞘,观测并记载再生芽芽长及活芽率的变化情况。

于头季稻齐穗期进行 ¹⁴C 同位素示踪,头季稻成熟时将植株分为剑叶(标记叶)、剑叶叶鞘(标记叶叶鞘)、非标记叶、茎鞘、穗、再生腋芽 6 部分,在 105 ℃烘箱中杀青 20 min,80 ℃下烘干至恒重,称重后粉碎,测定 ¹⁴C 同位素活度^[12]。

分别于头季稻及再生稻成熟期每小区取样 10 穴,考察产量构成因素,并实收 50 穴测定实际产量。

1.4 数据处理

采用 Excel 2003 进行数据处理;采用 SPSS 17.0 进行统计分析。结果均为 2 年平均值。

2 结果与分析

2.1 不同杂交组合头季稻与再生稻的叶面积指数和干物质积累量

由表 1 可知,头季稻最大 LAI 一般出现在孕穗期;不同杂交组合再生稻各生育时期倒 2 节 LAI 大于倒 3 节,倒 3 节 LAI 大于倒 4 节,LLY072 两季 LAI 均高于 SY9576。相关分析结果表明,头季稻孕穗期 LAI 与其产量呈显著正相关($r=0.749$),头季稻

分蘖盛期、齐穗期和乳熟期的 *LAI* 与头季稻产量均呈正相关, 相关系数分别为 0.372、0.633 和 0.367。头季稻分蘖盛期、孕穗期、齐穗期和乳熟期的 *LAI* 与再生稻产量均呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.864、0.896、0.935、0.941。再生稻 *LAI* 与再生稻产量相关分析结果表明, 孕穗期、齐穗期和乳熟期 *LAI* 与产量均呈正相关, 相关系数分别为 0.708、0.673、0.487, 因此, 头季稻与再生稻生育后期保持较大的绿叶面积对高产有重要作用。

不同杂交组合头季稻干物质积累量均以乳熟

期最大, 分蘖盛期最小, 再生稻干物质积累量表现趋势与头季稻一致; 供试再生稻不同节位干物质积累量均以倒 2 节最高, 倒 4 节最低。相关分析结果表明, 头季稻乳熟期的干物质积累量与其产量呈极显著正相关($r=0.995$), 头季稻乳熟期的干物质积累量与再生稻产量呈正相关($r=0.451$), 这一结果与徐富贤^[13]、张桂莲等^[14]的研究结果一致; 再生稻乳熟期干物质积累量与再生稻产量呈极显著正相关($r=0.953$)。

表 1 头季稻与再生稻的叶面积指数和干物质积累量

Table 1 Leaf area index and dry matter weight per plant in main crop and ratoon crop

杂交组合	生育期	<i>LAI</i>				每株干物质积累量/g			
		头季稻	倒 2 节	倒 3 节	倒 4 节	头季稻	倒 2 节	倒 3 节	倒 4 节
LLY072	分蘖盛期	6.20	—	—	—	16.10	—	—	—
	孕穗期	8.23	1.81	0.87	0.71	34.70	7.31	2.55	1.84
	齐穗期	7.68	1.02	0.99	0.45	51.50	8.86	4.90	2.42
	乳熟期	6.07	0.84	0.73	0.29	80.50	13.63	9.73	3.95
SY9576	分蘖盛期	6.07	—	—	—	16.40	—	—	—
	孕穗期	7.42	0.78	0.36	0.26	43.00	5.15	2.08	1.08
	齐穗期	7.15	0.65	0.53	0.22	53.30	8.29	3.94	1.68
	乳熟期	6.00	0.29	0.23	0.20	76.10	11.85	8.02	3.23

2.2 不同杂交组合头季稻与再生稻的根系活力、叶绿素含量和光合速率

由表2可知, 不同杂交组合头季稻根系活力均以孕穗期最高, 乳熟期最低。再生稻孕穗期根系活力略高于头季稻, 其他3个时期根系活力均明显高于头季稻。相关分析结果表明, 头季稻分蘖盛期、孕穗期、齐穗期和乳熟期的根系活力与产量呈正相

关, 相关系数分别为0.238、0.678、0.099和0.067; 再生稻分蘖盛期和乳熟期的根系活力与产量呈显著正相关, 相关系数分别为0.814和0.813; 再生稻孕穗期和齐穗期的根系活力与产量呈极显著正相关, 相关系数分别为0.913和0.843。根系活力强, 根系衰老缓慢, 有利于产量提高。

表 2 头季稻与再生稻的根系活力、叶绿素含量和光合速率

Table 2 Root activity, chlorophyll content and photosynthetic rate in main crop and ratoon crop

杂交组合	生育期	根系活力/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)		叶绿素含量/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)		光合速率/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	
		头季稻	再生稻	头季稻	再生稻	头季稻	再生稻
LLY072	分蘖盛期	6.254	8.406	4.34	3.25	14.9	19.3
	孕穗期	9.826	9.988	5.05	3.53	17.0	20.8
	齐穗期	5.298	8.239	3.35	2.32	18.9	23.8
	乳熟期	4.145	6.723	2.93	1.66	10.1	15.1
SY9576	分蘖盛期	6.376	8.932	4.91	3.38	15.4	20.1
	孕穗期	9.197	9.289	5.56	3.43	18.6	21.7
	齐穗期	5.940	8.668	3.91	2.97	21.1	24.4
	乳熟期	4.791	7.253	2.25	1.06	12.0	15.9

不同杂交组合头季稻叶绿素含量均以孕穗期最高,分蘖盛期其次,乳熟期最低;再生稻各生育时期叶绿素含量与头季稻趋势一致,但不同生育时期叶绿素含量均明显低于头季稻。相关分析结果表明,头季稻分蘖盛期、孕穗期、齐穗期和乳熟期的叶绿素含量与产量呈正相关,相关系数分别为0.560、0.191、0.502和0.699;再生稻分蘖盛期、孕穗期和乳熟期的叶绿素含量与产量呈极显著正相关,相关系数分别为0.913、0.943和0.927;再生稻齐穗期的叶绿素含量与产量呈显著正相关($r=0.776$);头季稻叶绿素含量与其根系活力呈极显著正相关($r=0.877$);再生稻叶绿素含量与其根系活力也呈极显著正相关($r=0.930$)。可见,根系活力高有利于减缓叶绿素降解。

不同杂交组合头季稻各生育时期光合速率均以齐穗期最高,乳熟期最低;再生稻不同生育时期光合速率表现趋势与头季稻一致,但明显高于头季稻。齐穗期后,随着功能叶片的衰退,头季稻和再生稻的光合速率呈下降趋势,但杂交组间差异不明显。相关分析结果表明,头季稻分蘖盛期、孕穗期、齐穗期和乳熟期的光合速率与产量呈正相关关

系,相关系数分别为0.013、0.497、0.623和0.568,再生稻分蘖盛期、齐穗期和乳熟期的光合速率与产量呈显著正相关,相关系数分别为0.722、0.791和0.727;再生稻孕穗期的光合速率与产量呈正相关($r=0.694$)。头季稻光合速率与其根系活力呈极显著正相关($r=0.494$),再生稻光合速率与其根系活力也呈极显著正相关($r=0.650$)。可见,根系活力高,能延缓叶片衰老,叶片光合能力较强。

2.3 头季稻再生芽的芽长及活芽率

从表3可知,供试杂交组合不同时期各节位再生芽芽长从头季稻齐穗期到齐穗后12d有所升高,到成熟期又下降,这是由于部分再生芽已死亡;倒5节的芽长较其他节位的芽生长缓慢。从头季稻齐穗期至成熟期,LLY072不同节位再生芽的平均芽长以倒3节最长,倒5节最短;SY9576不同节位再生芽的平均芽长以倒3节最长,倒2节最短。LLY072成熟期倒3节芽长与倒2、倒4、倒5节芽长差异显著,SY9576成熟期倒4节芽长与倒2、倒3、倒5节芽长差异显著。

表3 头季稻齐穗期至成熟期再生芽的芽长及活芽率

Table 3 Change of the length of ratooning axillary buds and ratio of living axillary buds from booting stage to mature period in main crop

杂交组合	节位	芽长/cm			活芽率/%		
		齐穗期	齐穗期后 12 d	成熟期	齐穗期	齐穗期后 12 d	成熟期
LLY072	倒 2	1.13	1.68	1.26 c	100.0	100.0	100.0 a
	倒 3	1.38	3.46	2.54 a	100.0	96.3	94.6 b
	倒 4	1.25	2.16	1.81 b	100.0	90.2	86.9 c
	倒 5	0.70	1.22	1.20 c	97.3	79.7	82.8 c
SY9576	倒 2	0.57	0.63	0.61 c	100.0	100	100.0 a
	倒 3	0.76	1.27	0.72 b	100.0	89.8	93.5 b
	倒 4	0.64	1.23	0.83 a	100.0	86.4	78.6 c
	倒 5	0.58	0.78	0.66 c	99.6	80.5	75.6 c

齐穗期后12d至成熟期,倒3、倒4和倒5节的活芽率不断下降,活芽率随着节位的降低呈下降趋势。2个杂交组合成熟期倒2节活芽率与倒3、倒4、倒5节活芽率差异显著,倒3节活芽率与倒4、倒5节活芽率差异显著。

2.4 头季稻地上不同部位¹⁴C同化产物的转运与分配

由表4可知,LLY072穗部¹⁴C同化产物最高,

其次为剑叶,非标记叶中的¹⁴C同化产物最低;SY9576中穗部¹⁴C同化产物最高,其次为茎鞘,非标记叶中的¹⁴C同化产物最低。除非标记叶¹⁴C同化产物的分配比例杂交组间无显著差异外,穗、剑叶、剑叶叶鞘、茎鞘、再生腋芽杂交组间差异显著。

表4 头季稻齐穗期不同部位 ^{14}C 同化产物的转运和分配

杂交组合	分配率					
	剑叶	剑叶叶鞘	非标记叶	茎鞘	穗	再生腋芽
LLY072	7.88 a	0.48 b	0.26	1.04 b	87.12 a	3.22 a
SY9576	5.36 b	1.13 a	0.49	11.33 a	78.83 b	2.86 b

对2个杂交组合头季稻齐穗期 ^{14}C 光合产物在不同部位的分配比例与再生稻产量进行相关分析,发现在剑叶、剑叶叶鞘、茎鞘和再生腋芽的光合产物比例与再生季产量呈正相关,相关系数分别为0.397、0.339、0.129和0.066,分配在穗部和非标记叶的光合产物比例与再生季产量呈负相关,相关系数分别为-0.326和-0.226。可见,头季稻光合产物在剑叶、剑叶叶鞘和茎鞘中的残留量越多,越有利于再生芽的生长和再生稻产量的提高。

2.5 不同杂交组合头季稻与再生稻的产量及产量构成因素

由表5可知,不同杂交组合头季稻的产量差异显著,LLY072产量比SY9576高8.15%。相关分析结果表明,头季稻产量与有效穗数呈极显著正相关($r=0.947$),与每穗粒数和千粒重呈显著正相关,相关系数分别为0.747和0.816;头季稻产量与结实率呈正相关($r=0.662$)。可见,要进一步提高头季稻产量,在群体合理、确保大穗的前提下,尽可能地提高结实率,可以达到增产的目的。

表5 头季稻的产量及产量构成因素

杂交组合	有效穗数/($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	每穗粒数/粒	结实率/%	千粒重/g	产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
LLY072	331.4	122.4	82.1	26.6	8 872.0 a
SY9576	327.7	119.4	80.9	25.9	8 203.6 b

由表6可知,不同杂交组合再生稻的有效穗数和结实率均以倒2节最高,并随节位下降而减少。倒2、倒3节是再生稻有效穗数的主要来源,穗粒数随节位下降而增加,倒2、倒3节再生稻对总产量的贡献率达70%左右。LLY072倒2节再生稻产量与倒4节再生稻产量差异极显著,倒2节再生稻产量与倒3节再生稻产量差异显著,倒3节再生稻产量与倒4节再生稻产量差异不显著。SY9576倒2

节、倒3节、倒4节再生稻产量间差异均达极显著水平。再生稻产量构成因素与产量相关分析结果表明,再生稻产量与有效穗数呈显著正相关($r=0.898$),与结实率呈极显著正相关($r=0.933$),再生稻产量与每穗粒数、千粒重呈负相关,相关系数分别为-0.798和-0.352。在本试验条件下,决定再生稻产量高低的主要因子是有效穗数和结实率,穗粒数与千粒重对再生稻的产量影响较小。

表6 再生稻各节位的产量及产量构成因素

杂交组合	节位	有效穗数/($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	穗粒数/粒	结实率/%	千粒重/g	产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	产量贡献率/%
LLY072	倒2	163.1	43.7	79.8	23.0	1 309.5 Aa	40.98
	倒3	153.0	44.3	66.2	22.5	1 008.9 ABb	31.58
	倒4	96.2	60.1	65.9	23.2	876.8 Bb	27.44
SY9576	倒2	171.9	43.3	75.8	23.0	1 298.3 Aa	41.24
	倒3	146.5	44.1	68.5	23.2	1 029.0 Bb	32.69
	倒4	90.2	58.6	66.3	23.4	820.9 Cc	26.08

3 结论与讨论

本研究结果表明,再生稻的产量与头季稻分蘖盛期、孕穗期、齐穗期和乳熟期的 *LAI* 均呈极显著正相关,相关系数分别为 0.864、0.896、0.935 和 0.941。不同杂交组合再生稻不同节位干物质积累量均以倒 2 节最高,倒 4 节最低。再生稻产量与头季稻乳熟期的干物质积累量呈正相关。可见,头季稻生育后期较大的绿叶面积和较高的干物质积累量对再生稻高产起重要作用。

再生季所需的营养物质,后期主要通过再生叶片的光合作用,最终形成产量^[15],再生稻的根系活力和光合速率较头季稻高,叶绿素含量较头季稻低,根系活力,叶绿素含量和光合速率与产量均呈正相关。根系活力高,有利于减缓叶绿素降解和提高光合速率,有利于提高再生稻产量。剑叶光合产物转运具有一定的规律性^[16],头季稻光合产物分配以穗部最高,剑叶其次,非标记叶最低。一般认为,主季稻残留在茎鞘等部位的光合产物量越多,对腋芽萌发生长越有利^[17]。本试验头季稻光合产物在剑叶、剑叶叶鞘和茎鞘中的残留量越多,越有利于再生芽的生长和再生稻产量的提高。

2 个供试杂交组合中,再生稻的穗粒数均表现为随节位下降而增加的趋势,倒 4 节的穗粒数均在 60 粒左右。本试验是在留高桩(40 cm)的条件下进行的,由于低节位再生稻穗粒数较多,低留桩再生稻可提高低节位腋芽的萌发率,有望实现再生稻产量的新突破。

参考文献:

- [1] 程建峰,潘晓云,曾晓春,等.水稻再生特性的生理基础研究[J].江西农业大学学报,2001,23(2):167-170.
- [2] 重庆再生稻研究中心.杂交稻新组合的再生特性研究[J].再生稻,1997(2):1-9.
- [3] 冯来定,蒋彭炎.再生稻前季不同群体的再生力研究[J].浙江农业科学,1990,33(2):67-71.
- [4] 任天举,李经勇,王培华.年际间气候差异对杂交中稻再生稻的影响[J].中国农业气象,2001,22(4):1-5.
- [5] 徐志德,刘见平,熊继东.培两优500作中稻再生栽培的肥料运筹[J].湖南农业科学,2003(5):39-40.
- [6] 任天举,李经勇,邹亚兰.头季稻后期光合产物对再生稻的影响[J].再生稻,1997(2):17-21.
- [7] Ichii M. The effect of light and temperature on plant ratoon[J]. Crop Science, 1982, 51(3): 281-285.
- [8] 刘建丰,袁隆平,邓启云,等.超高产杂交稻的光合特性研究[J].中国农业科学,2005,38(2):258-264.
- [9] 白宝璋.植物生理生化测试技术[M].北京:中国科学技术出版社,1995.
- [10] 袁晓华,杨中汉.植物生理生化实验[M].北京:高等教育出版社,1983:128-133.
- [11] 郝再彬,苍晶,徐仲.植物生理实验[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004:46-49.
- [12] 米春云,李合松.核技术生物科学及农业应用实验[M].北京:中国林业出版社,2007:30-32.
- [13] 徐富贤.杂交中稻抽穗后再生芽生长与头季稻茎鞘物质积累的关系[J].中国水稻科学,1997,11(3):160-164.
- [14] 张桂莲,屠乃美,张顺堂.不同杂交稻组合再生特性的比较[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2002,28(5):364-368.
- [15] 唐祖荫,张征兰.再生稻几个生态生理问题的研究[J].湖北农业科学,1991(5):1-5.
- [16] 罗时石,王泽港,冯绪猛,等.农药对水稻叶片光合产物输出速率影响的示踪动力学研究[J].中国农业科学,2002,35(9):1085-1089.
- [17] 周文新,易镇邪,屠乃美,等.头季稻齐穗期剑叶光合产物分配与再生稻产量的相关性[J].核农学报,2008,22(6):860-864.

责任编辑:杨盛强