

不同栽培模式早稻-再生稻头季稻分蘖动态 及生理生化特性研究*

陈鸿飞¹ 梁义元¹ 林瑞余¹ 郑履端² 梁康迳¹ 林文雄^{1**}

(1. 福建农林大学农业生态研究所 福州 350002; 2. 福建省农业厅农业技术推广总站 福州 350001)

摘 要 试验研究超高产栽培模式和常规栽培模式对再生稻头季稻分蘖动态及生理生化特性影响的结果表明,与常规栽培模式相比,头季生育期间,超高产栽培模式稻株的根系活力、叶绿素含量、叶面积指数、硝酸还原酶活性、硝态氮含量、 Ca^{2+} -ATPase 和 Mg^{2+} -ATPase 活性从分蘖期到成熟期分别高出 20.60%~38.65%、5.16%~23.26%、18.91%~63.29%、18.22%~76.76%、34.88%~48.35%、1.25%~17.94% 和 4.09%~17.87%,有效分蘖期缩短 5 d,低节位分蘖多 51.61%;不同生育期超高产栽培模式氮素累积量是常规栽培模式的 1.43~2.44 倍,磷素累积量是常规栽培模式的 1.21~1.48 倍,孕穗期后的钾素累积量是常规栽培模式的 1.55~2.21 倍,为优化群体质量,提高后期群体光合效率,实现高产奠定了基础。

关键词 水稻 早稻-再生稻 头季稻 超高产栽培模式 细胞保护酶 氮磷钾累积 分蘖动态 节位产量
中图分类号: S511.01 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2008)02-0373-07

Effect of different cultivation patterns on tiller development and physio-biochemical characteristics of first ratoon rice crop

CHEN Hong-Fei¹, LIANG Yi-Yuan¹, LIN Rui-Yu¹, ZHENG Lu-Duan²,
LIANG Kang-Jing¹, LIN Wen-Xiong¹

(1. Institute of Agro-ecology, Fujian Agriculture & Forestry University, Fuzhou 350002, China;
2. Agro-Extension Station, Fujian Province Department of Agriculture, Fuzhou 350001, China)

Abstract The effect of different cultivation patterns, Super High-Yield Cultivation Pattern (SHCP) and Tradition Cultivation Pattern (TCP), on tiller development and physio-biochemical characteristics of first ratoon rice were studied. The result indicates that root activity, chlorophyll content, LAI, nitrate reductase activity, NO_3^- -N content, Ca^{2+} -ATPase activity and Mg^{2+} -ATPase activity of the first rice crop under SHCP are respectively 20.60%~38.65%, 5.16%~23.26%, 18.91%~63.29%, 18.22%~76.76%, 34.88%~48.35%, 1.25%~17.94% and 4.09%~17.87% higher than TCP from tillering to ripening stage. Productive tillering period shortens by 5 d and lower node tillers increases by 51.61%. Accumulation of N and P at different growth stages and K during grain filling under SHCP are respectively 1.43~2.44, 1.21~1.48, 1.55~2.21 times those of TCP. These traits can optimize population quality, improve the photosynthesis efficiency in later growth period, and lay the foundation for high yield attainment.

Key words Rice (*Oryza sativa* L.), Early ratoon rice, First rice crop, Super high-yield cultivation pattern, Cell protective enzyme, NPK accumulation, Tiller characteristics, Tillering node yield

(Received Dec. 25, 2006; accepted May 8, 2007)

近年来,全国水稻播种面积大幅度减少,但再生稻面积仍较稳定,福建省尤溪县早稻-再生稻超高产栽培模式 1998~2003 年累计种植面积达 1 364 hm^2 ,头季平均产量为 11.16 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,再生季为 6.56

$\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,双季合计 17.72 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。这几年,尤溪县再生稻生产更上一层楼:6.8 hm^2 中心示范区内,头季平均单产 12.63 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,再生季平均单产 7.12 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,再生季产量最高达 8.81 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,两季年单产

* 福建省科技重大专项“粮食作物育种技术研究”项目(2004NZ01-2,2004NZ01-4)和国家自然科学基金项目(30600385)资助

** 通讯作者, E-mail: wenxiong181@163.com

陈鸿飞(1977~),男,博士,主要从事作物生理学及分子生物学研究。E-mail: hongfeichen2006@163.com

收稿日期:2006-12-25 接受日期:2007-05-08

达 $19.75 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。而对其超高产生理机制的研究还未见报道。笔者曾探讨了超高产栽培模式下肥床早育秧苗的生理生化特性及再生稻头季稻干物质积累运转特性。提出了超高产栽培模式下早育秧有利于提高秧苗抗逆性,是早育矮化多蘖壮秧形成的内在生理基础^[1];并发现超高产栽培模式稻株具有强源、增库、畅流之功效,有利于提高单株穗数、粒数和粒重,是超高产栽培模式实现大穗、多穗、饱粒、高产的重要生物学途径^[2]。本试验着重研究不同育秧方式秧苗移栽大田后,不同栽培模式下头季植株的分蘖动态及其生理生化特性,以期进一步揭示早稻-再生稻超高产栽培模式下产量形成规律及其增产机理,为制定合理的栽培措施提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2005 年 4~10 月在福建省尤溪县西城镇麻洋村百亩丰产示范片进行。供试材料为杂交水稻组合“Ⅱ优航 1 号”,采用超高产栽培模式(Super High-Yield Cultivation Pattern, SHCP),以常规栽培模式(Traditional Cultivation Pattern, TCP)为对照进行比较试验,并根据前期的研究结果^[1]制定了两种栽培模式下相应配套的水肥管理和病虫害防治等措施。

两种栽培模式水稻同时插秧,超高产栽培模式采用垄畦栽培(畦宽 1.63 m)、挖深沟(深 30 cm)、工作沟(宽 26 cm),插植规格为 $17 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$;常规栽培模式采用畦厢栽培(畦宽 4 m)且不挖沟,仅留 30 cm 的工作行,插植规格为 $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 。在有效分蘖达到 10 个时,超高产栽培模式水稻分两次进行间歇烤田,时间共 30 d 左右;常规栽培模式水稻进行 1 次烤田,历时 10 d 左右。两种栽培模式均在头季、再生季主要进行纹枯病、稻飞虱的病虫防治。

超高产栽培模式头季稻插秧前 3~5 d 施基肥,施肥量为尿素 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、氯化钾 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、复合肥(N10-P5-K10) $750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。常规栽培模式不施基肥。插秧前 1 d 超高产栽培模式施碳铵 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、钙镁磷肥 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。常规栽培模式施碳铵 $375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、过磷酸钙 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、氯化钾 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。插秧当天两种栽培模式各施钙镁磷肥 $45 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。插秧后 7 d 追肥,超高产栽培模式施复合肥(N10-P5-K10) $375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;常规栽培模式施碳铵 $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、过磷酸钙 $375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、氯化钾 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。4 月下旬~5 月上旬补施平衡肥,两种栽培模式分别施尿素 $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和

$75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。6 月份施幼穗分化肥,超高产栽培模式分别在头季稻叶龄余数为 1.5 叶和 3.0 叶时施复合肥(N10-P5-K10) $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;常规栽培模式在叶龄余数为 1.5 叶时施尿素 $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。超高产栽培模式和常规栽培模式头季稻的 N、P、K 施用量分别为 $300.15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $125.70 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $255.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $203.25 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $79.20 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $90.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,两种栽培模式头季稻的 N、P、K 比分别为 1:0.42:0.85 和 1:0.39:0.44。

1.2 田间观察与测定

于移栽后定点追踪观察各模式水稻 12 株,记载其主要生育期和分蘖特性,收割时按各节位考种和统计分析。于分蘖期(Tillering Stage, TS)、孕穗期(Booting Stage, BS)、齐穗期(Heading Stage, HS)、灌浆初期(Early Filling Stage, EFS)、乳熟期(Milky Stage, MS)、成熟期(Ripening Stage, RS)取样测定生理生化指标。超氧化物歧化酶(SOD)活性采用 NBT 法测定^[3],过氧化氢酶(CAT)活性采用碘量法测定^[4],丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法测定^[3],可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝染色法测定^[5],过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定^[6],脯氨酸含量采用酸性茚三酮比色法测定^[5],硝酸还原酶活性采用磺胺比色法测定^[5],根系活力采用 TTC 法测定^[5],叶绿素和类胡萝卜素含量采用酒精浸提比色法测定^[5], Mg^{2+} -ATPase、 Ca^{2+} -ATPase 活性采用李扬瑞的方法测定^[7],氮含量采用凯氏定氮法测定^[8],硝态氮含量采用硫酸-水杨酸比色法测定^[5],磷含量采用钼锑抗比色法测定^[8],钾含量采用火焰光度计法测定^[8],抗坏血酸含量采用红菲罗啉比色法测定^[9],伤流量采用贴棉吸附法测定^[5]。

采用 Excel 2003 和 DPS 数据处理系统整理及统计分析试验数据。

2 结果与分析

2.1 不同栽培模式头季稻生理生化特性比较

头季稻株的细胞保护酶活性、丙二醛、可溶性蛋白、抗坏血酸和脯氨酸含量。叶片细胞保护酶活性及抗坏血酸和脯氨酸等含量的高低是植株抗逆能力的反映。测定结果表明(表 1),从分蘖期到成熟期,超高产栽培模式的植株细胞保护酶活性、可溶性蛋白、抗坏血酸和脯氨酸含量均比常规栽培模式高。其中抗坏血酸含量高 3.81%~50.06%,超氧化物歧化酶活性高 5.45%~148.91%,过氧化物酶活性高 2.50%~14.43%,过氧化氢酶活性高 30.86%~253.32%,可溶性蛋白质含量高 5.87%~

17.53%,脯氨酸含量高 24.79% ~ 110.94%,但丙二醛含量降低 10.63% ~ 31.58%。因而超高产栽培模式稻株细胞膜过氧化程度低,抗逆性较强,叶片不早衰,为强源增库奠定了良好的基础。

表 1 不同栽培方式头季各生育期水稻细胞过氧化指标的变化

Tab. 1 Changes of peroxidation indexes of cell in the first rice crop under different cultivation patterns

栽培模式 Cultivation pattern	生育期 Stage	MDA 含量 MDA content [$\mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}$ (pro)]	SOD 酶活性 SOD activity [$\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}$ (pro)]	POD 酶活性 POD activity [$\text{OD}470\cdot\text{mg}^{-1}$ (pro) $\cdot\text{min}^{-1}$]	CAT 酶活性 CAT activity [$\text{mg}(\text{H}_2\text{O}_2)\cdot\text{mg}^{-1}$ (pro)]	抗坏血酸含量 Ascorbate content [$\mu\text{g}(\text{Ve})\cdot\text{mg}^{-1}$ (pro) $\cdot\text{min}^{-1}$]	可溶性蛋白 含量 Soluble protein content ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	脯氨酸含量 Proline content ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)
SHCP	分蘖期 TS	0.088 ± 0.006	5.038 ± 0.095	3.309 ± 0.098	17.189 ± 0.769	1.664 ± 0.053	34.168 ± 1.311	0.135 ± 0.005
TCP		0.122 ± 0.007	2.024 ± 0.082	2.972 ± 0.102	4.865 ± 0.199	1.603 ± 0.060	29.071 ± 0.913	0.064 ± 0.003
SHCP - TCP (%)		-27.87	148.91	11.34	253.32	3.81	17.53	110.94
SHCP	孕穗期 BS	0.176 ± 0.007	10.199 ± 0.264	4.033 ± 0.106	7.295 ± 0.296	3.952 ± 0.089	25.128 ± 1.094	0.175 ± 0.004
TCP		0.199 ± 0.009	7.991 ± 0.273	3.599 ± 0.089	4.428 ± 0.142	3.316 ± 0.108	23.711 ± 1.046	0.106 ± 0.004
SHCP - TCP (%)		-11.56	27.63	12.06	64.75	19.18	5.98	65.09
SHCP	齐穗期 HS	0.185 ± 0.010	15.857 ± 0.431	7.298 ± 0.261	6.930 ± 0.167	3.709 ± 0.112	21.194 ± 0.848	0.146 ± 0.003
TCP		0.207 ± 0.013	8.875 ± 0.356	7.120 ± 0.234	4.401 ± 0.117	3.028 ± 0.101	19.777 ± 0.749	0.117 ± 0.005
SHCP - TCP (%)		-10.63	78.67	2.50	57.46	22.49	7.16	24.79
SHCP	乳熟期 MS	0.142 ± 0.005	11.466 ± 0.329	4.440 ± 0.132	4.439 ± 0.099	2.389 ± 0.061	30.269 ± 0.986	0.106 ± 0.005
TCP		0.172 ± 0.004	8.081 ± 0.231	3.880 ± 0.116	3.178 ± 0.107	1.592 ± 0.049	28.590 ± 1.143	0.081 ± 0.004
SHCP - TCP (%)		-17.44	41.89	14.43	39.68	50.06	5.87	30.86
SHCP	成熟期 RS	0.221 ± 0.008	3.714 ± 0.134	3.035 ± 0.108	4.597 ± 0.135	1.968 ± 0.058	26.073 ± 1.039	0.098 ± 0.005
TCP		0.323 ± 0.008	3.522 ± 0.132	2.864 ± 0.111	3.513 ± 0.129	1.801 ± 0.074	22.773 ± 1.124	0.073 ± 0.003
SHCP - TCP (%)		-31.58	5.45	5.97	30.86	9.27	14.49	34.25

头季稻株的根系性状、叶绿素含量和叶面积指数。根系活力是根系生理代谢的综合表现,根系伤流量则是根系活力强弱的反映。测定结果表明(表 2),头季从分蘖期到成熟期,超高产栽培模式稻株的根系活力、根系伤流量、单株发根数、单株发根力及叶绿素含量和叶面积指数均比常规栽培模式高。其中根系活力高 20.60% ~ 38.65%,根系伤流量高 3.23% ~ 12.70%,单株发根数多 11.11% ~

77.78%,单株发根力高 19.18% ~ 35.22%,叶绿素含量高 5.16% ~ 23.26%,叶面积指数高 18.91% ~ 63.29%;特别是生育后期超高产栽培模式的根系活力、根系伤流量、功能叶片叶绿素含量和叶面积指数都明显高于常规栽培模式。说明超高产栽培模式早育秧的根系优势在超高产栽培措施下能够继续保持,在大田后期植株还存在显著的壮根保叶优势。

表 2 头季不同栽培方式的根部性状和叶绿素含量及叶面积指数

Tab. 2 Characters of roots and content of chlorophyll & LAI of the first rice crop under different cultivation patterns

栽培模式 Cultivation pattern	生育期 Stage	根系活力 Root activity ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	伤流量 Bleeding intensity ($\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$)	单株发根数 New roots per plant (条)	单株发根力 Rooting ability per plant (mm)	叶绿素含量 Chlorophyll content ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	叶面积指数 Leaf area index
SHCP	分蘖期 TS	313.889 ± 6.487		128 ± 3	5.50 ± 0.13	4.694 ± 0.201	2.95 ± 0.11
TCP		226.389 ± 7.531		79 ± 3	4.50 ± 0.16	3.999 ± 0.213	2.08 ± 0.08
SHCP - TCP (%)		38.65		62.03	22.22	17.38	41.83
SHCP	孕穗期 BS	151.736 ± 4.921	0.670 ± 0.026	235 ± 7	10.25 ± 0.31	5.004 ± 0.184	8.05 ± 0.24
TCP		113.889 ± 4.613	0.622 ± 0.029	193 ± 5	7.58 ± 0.23	4.388 ± 0.165	6.77 ± 0.26
SHCP - TCP (%)		33.23	7.72	21.76	35.22	14.04	18.91

续表

栽培模式 Cultivation pattern	生育期 Stage	根系活力 Root activity ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	伤流量 Bleeding intensity ($\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$)	单株发根数 New roots per plant (条)	单株发根力 Rooting ability per plant (mm)	叶绿素含量 Chlorophyll content ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	叶面积指数 Leaf area index
SHCP	齐穗期 HS	112.847 \pm 4.962	0.607 \pm 0.019	144 \pm 4	7.63 \pm 0.29	4.937 \pm 0.194	7.25 \pm 0.19
TCP		89.236 \pm 3.842	0.588 \pm 0.025	81 \pm 2	6.06 \pm 0.27	4.695 \pm 0.173	5.91 \pm 0.22
SHCP - TCP(%)		26.45	3.23	77.78	25.91	5.16	22.67
SHCP	乳熟期 MS	83.333 \pm 3.054	0.509 \pm 0.016	110 \pm 3	9.54 \pm 0.37	4.362 \pm 0.117	6.14 \pm 0.11
TCP		69.097 \pm 3.695	0.463 \pm 0.013	99 \pm 4	8.00 \pm 0.26	3.539 \pm 0.129	4.62 \pm 0.14
SHCP - TCP(%)		20.60	9.94	11.11	19.25	23.26	32.90
SHCP	成熟期 RS	111.112 \pm 3.947	0.701 \pm 0.021	139 \pm 5	8.76 \pm 0.31	4.480 \pm 0.083	5.65 \pm 0.18
TCP		90.632 \pm 3.986	0.622 \pm 0.024	108 \pm 5	7.35 \pm 0.32	3.750 \pm 0.092	3.46 \pm 0.11
SHCP - TCP(%)		22.59	12.70	28.70	19.18	19.47	63.29

头季稻株的类胡萝卜素和硝态氮含量及硝酸还原酶、ATP 酶活性。硝酸还原酶活性、硝态氮含量、ATP 酶活性反映了植株的吸收同化能力。从表 3 可知,头季稻从分蘖期到成熟期,超高产栽培植株的硝酸还原酶活性和硝态氮含量分别比对照高 18.22% ~ 76.76% 和 34.88% ~ 48.35%, Ca^{2+} —

ATPase 活性和 Mg^{2+} —ATPase 活性分别比对照高 1.25% ~ 17.94% 和 4.09% ~ 17.87%。所以移栽大田后,头季稻株 C、N 代谢和物能转化与运转仍旧旺盛。可见,超高产栽培植株在大田仍保持较高的生理生化优势,具有较强的同化吸收积累能力,这是实现高产的重要生理生化基础。

表 3 不同栽培方式头季稻株类胡萝卜素、硝酸还原酶、ATP 酶活性

Tab. 3 Content of carotenoid and activities of nitrate reductase & ATPase in the first rice crop under different cultivation patterns

栽培模式 Cultivation pattern	生育期 Stage	类胡萝卜素含量 Carotenoid content ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	硝酸还原酶活性 Nitrate reductase activity [$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})$]	硝态氮含量 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ content [$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})$]	Mg^{2+} —ATP 酶活性 Mg^{2+} —ATPase activity ($\mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	Ca^{2+} —ATP 酶活性 Ca^{2+} —ATPase activity ($\mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)
SHCP	分蘖期 TS	1.130 \pm 0.031	31.059 \pm 1.063	21.270 \pm 0.731	31.956 \pm 1.049	31.743 \pm 1.076
TCP		0.998 \pm 0.039	17.571 \pm 0.723	14.670 \pm 0.612	29.883 \pm 0.903	29.633 \pm 0.894
SHCP - TCP(%)		13.23	76.76	44.99	6.94	7.12
SHCP	孕穗期 BS	1.550 \pm 0.046	18.389 \pm 0.649	15.770 \pm 0.437	21.000 \pm 0.584	27.230 \pm 0.643
TCP		1.406 \pm 0.040	14.039 \pm 0.690	10.630 \pm 0.324	18.552 \pm 0.602	25.395 \pm 0.697
SHCP - TCP(%)		10.24	30.99	48.35	13.20	7.23
SHCP	齐穗期 HS	1.356 \pm 0.052	20.026 \pm 0.764	15.770 \pm 0.481	18.945 \pm 0.431	22.483 \pm 0.503
TCP		1.286 \pm 0.049	14.470 \pm 0.513	11.000 \pm 0.349	18.200 \pm 0.401	19.063 \pm 0.471
SHCP - TCP(%)		5.44	38.40	43.36	4.09	17.94
SHCP	乳熟期 MS	1.154 \pm 0.027	12.446 \pm 0.498	11.370 \pm 0.247	13.501 \pm 0.516	17.882 \pm 0.549
TCP		1.060 \pm 0.036	7.149 \pm 0.284	8.430 \pm 0.269	12.597 \pm 0.534	17.661 \pm 0.578
SHCP - TCP(%)		8.87	74.09	34.88	7.18	1.25
SHCP	成熟期 RS	1.355 \pm 0.039	17.927 \pm 0.638	15.409 \pm 0.566	5.804 \pm 0.197	9.667 \pm 0.294
TCP		1.034 \pm 0.047	15.164 \pm 0.641	11.376 \pm 0.424	4.924 \pm 0.129	8.763 \pm 0.307
SHCP - TCP(%)		31.04	18.22	35.45	17.87	10.32

2.2 不同栽培模式头季稻株氮、磷、钾含量

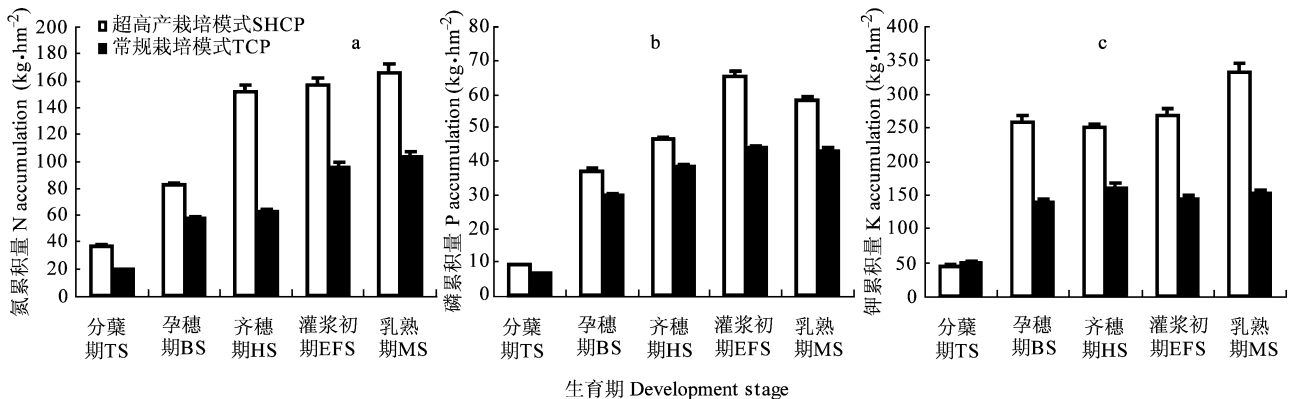


图1 不同栽培模式头季稻氮(a)、磷(b)、钾(c)累积量

Fig.1 Accumulation of N(a), P(b), K(c) of rice under different cultivation patterns

头季稻株的氮素累积量。从图1a可知,超高产栽培模式水稻的氮素累积量在齐穗期前呈迅速上升趋势,灌浆开始后氮素累积量变化较小;常规栽培模式水稻氮素累积量在整个生育期变化比较平缓。超高产栽培模式的氮素累积量是常规栽培模式的1.43~2.44倍,表现出较强的吸氮能力。

头季稻株的磷素累积量。从图1b可知,从分蘖期到乳熟期,超高产栽培模式和常规栽培模式植株的磷累积量在灌浆初期前均呈快速增长趋势,在灌浆初期达到最高值,分别为65.10 kg·hm⁻²和43.95 kg·hm⁻²,而后开始下降。头季稻整个生育期间,超高产栽培模式水稻的磷素累积量均高于常规栽培模式,是常规栽培模式的1.21~1.48倍,具有较强的磷吸收和累积能力。

头季稻株的钾素累积量。从图1c可知,钾素累积量在分蘖期以常规栽培模式的水稻略高,这可能与分蘖期施用的肥料种类有关,而进入孕穗期后,超高产栽培模式水稻的钾素累积量明显高于常规栽培模式,为常规栽培的1.55~2.21倍,从而有利于保持其生理生化优势。

从以上分析可以看出,超高产栽培模式稻株对氮、磷、钾的吸收累积均比常规栽培模式高,而这3个元素是水稻生理生化进程中物质合成、转化的必需的元素,这可能是超高产栽培模式水稻具有较强抗逆、同化能力的原因。

2.3 不同栽培模式头季稻分蘖动态及各节位产量构成

从图2可见,超高产栽培模式的早育秧移栽大田后,返青极快,分蘖快(于移栽后的第2 d发生),分蘖节位低,具有早生快发、前期分蘖量大、分蘖高峰出现早、本田有效分蘖期短(仅15 d,比对照少5

d)、起始蘖数高、总体发展较快、总茎蘖数和有效穗多等特性。这也导致了稻株有效穗分布的差异。从表4可知,头季与常规栽培模式相比,超高产栽培模式稻株的有效穗多、穗大、粒饱。就主茎而言,超高产栽培模式的头季稻每穗总粒数比对照多2.4

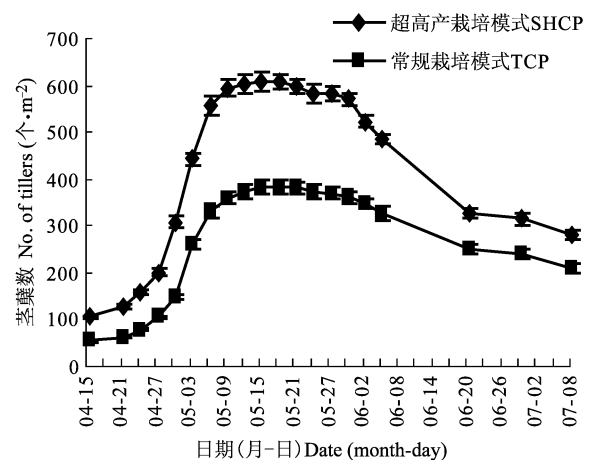


图2 不同栽培模式头季稻分蘖动态

Fig.2 Development of tillers under different cultivation patterns

粒,实粒数多1.5粒,穗重多0.06 g;就分蘖而言,超高产栽培模式稻株第1、2、3节位有效穗较常规栽培模式相应节位的有效穗多2.1穗,分蘖穗总粒数和总实粒数分别比常规栽培模式高361.88粒和328.42粒,穗重多8.92 g。但从第7~8节位看,超高产栽培模式的有效穗较常规栽培模式少1.2穗,总粒数和实粒数分别减少210.7粒和197.1粒,对应谷重减少5.33 g。这可能与常规栽培的1/0~3/0节位有部分分蘖缺失,为以后的高节位分蘖积累了较多营养物质有关。就主茎与各节位分蘖穗产量对

表 4 不同栽培模式头季稻的各节位产量构成

Tab. 4 Grain yield components of different tillering nodes under different cultivation patterns in the first rice

栽培模式 Cultivation pattern	主茎 Main stem					1/0					2/0				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
SHCP	1.0	188.6	172.6	4.72	12.49	1.4	246.68	225.26	6.12	16.19	1.20	210.12	191.52	5.21	13.78
TCP	1.0	186.2	171.1	4.66	12.75	0.2	37.16	33.88	0.92	2.52	0.50	90.50	83.25	2.26	6.18
SHCP - TCP	0.0	2.4	1.5	0.06	-0.26	1.2	209.52	191.38	5.20	13.67	0.70	119.62	108.27	2.95	7.60
栽培模式 Cultivation pattern	3/0					4/0					5/0				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
SHCP	1.1	198.88	181.50	4.94	13.07	1.0	185.5	170.0	4.65	12.30	0.2	32.74	28.77	0.77	1.67
TCP	0.9	166.14	152.73	4.17	11.40	1.5	247.6	228.9	6.18	16.90	-0.2	-17.0	-17.0	-0.41	-1.54
SHCP - TCP	0.2	32.74	28.77	0.77	1.67	-0.5	-62.1	-58.9	-1.53	-4.60	-0.2	-17.0	-17.0	-0.41	-1.54
栽培模式 Cultivation pattern	6/0					7/0					8/0				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
SHCP	1.0	184.1	168.0	4.59	12.14	1.0	178.2	162.5	4.38	11.59	0.2	30.3	27.6	0.73	1.93
TCP	1.2	201.1	185.0	5.00	13.68	1.0	179.3	166.2	4.57	12.50	1.0	162.4	151.5	4.06	11.11
SHCP - TCP	-0.2	-17.0	-17.0	-0.41	-1.54	0.0	-1.1	-3.7	-0.19	-0.91	-0.4	-78.6	-73.2	-2.00	-5.69
栽培模式 Cultivation pattern	9/0					10/0					11/0				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
SHCP	0.2	30.3	27.6	0.73	1.93	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.2	30.3	27.6	0.73	1.93
TCP	1.0	162.4	151.5	4.06	11.11	0.1	11.53	10.62	0.28	0.77	1.0	162.4	151.5	4.06	11.11
SHCP - TCP	-0.8	-132.1	-123.9	-3.33	-9.18	-0.1	-11.53	-10.62	-0.28	-0.77	-0.8	-132.1	-123.9	-3.33	-9.18

(1,2,3,4,5,6,7,8,9)/0 为主茎上第 1、2、3、4、5、6、7、8、9 节位 The first, second, third, fourth, fifth, sixth, seventh, eighth, ninth node on the main stem; A 为穗数 No. of panicles; B 为总粒数 No. of grains; C 为实粒数 No. of filled grains; D 为谷重 Grain yield (g); E 为不同节位分蘖的籽粒产量对单株产量的贡献率 (%) The contribution rate of grain yield of productive tillers from different tillering nodes of main stem to the total grain yield per plant.

单株谷重的贡献大小而言,超高产栽培模式为 1/0 > 2/0 > 3/0 > 主茎 > 4/0 > 5/0 > 6/0 > 7/0 > 8/0 > 9/0, 而常规栽培模式则为 4/0 > 5/0 > 主茎 > 6/0 > 7/0 > 8/0 > 2/0 > 1/0 > 9/0。可见,超高产栽培模式的低节位分蘖多、成穗多,其中 1/0、2/0、3/0 分蘖穗增产绝对量对单株增产总量的贡献率最大。以节位平均穗数比较,超高产栽培模式的第 1~4 节位穗数比常规栽培模式的多 51.61%; 以节位的粒重比较,超高产栽培模式第 1~4 节位平均粒重比常规栽培模式重 54.74%; 以节位重量占总重量的百分率比较,超高产栽培模式第 1~4 节位的重量比常规栽培模式高 49.57%; 超高产栽培模式主茎及第 1~4 节位的粒重占单株总粒重 67.83%, 较常规栽培模式的 49.75% 高 36.34%, 特别是超高产栽培模式的第 1 节位,其穗数和粒重比常规栽培模式高 6 倍和 5 倍。

从表 5 可知,头季超高产栽培模式的单株穗数

表 5 不同栽培模式头季稻的穗数分布

Tab. 5 Panicles distribution of the first rice crop under different cultivation patterns

分蘖来源 Source of tiller	SHCP		TCP		SHCP - TCP (%)
	数量 Amount	%	数量 Amount	%	
主茎 Main stem	1.0	11.77	1.0	11.90	0
低节位分蘖 (1~4 节位) Tillers of lower nodes	4.7	55.29	3.1	36.90	51.61
高节位分蘖 (5~9 节位) Tillers of upper nodes	2.8	32.94	4.3	51.20	-34.88
合计 Total	8.5	100.00	8.4	100.00	1.19

比常规栽培模式多 0.1 个; 从有效穗的节位而言, 超高产栽培模式低节位(1~4 节位)成穗比例大, 高节位成穗次之; 常规栽培模式正好相反, 高节位成穗所占的比例大。超高产栽培模式低节位(1~4 节

位)分蘖比常规栽培模式高 51.61%。由此得出,超高产栽培模式的稻株具有分蘖早而分蘖节位低、有效穗多、穗粒重的特性,这是超高产栽培模式头季实现大穗、多穗、饱粒、增产的产量构成方面的原因。

3 小结与讨论

研究结果表明,超高产栽培模式的早育秧移栽大田后在超高产栽培措施下还能保持较强的生理生化优势。这是由于早育秧苗强发根力和根系活力及超高产栽培措施共同作用的结果^[10,11]。移栽大田后,随着水分胁迫的解除,在环境强烈反差的引发下,产生一种内在的爆发效应^[10,12-15],这种效应在超高产栽培措施下仍能维持,体现在稻株叶片细胞保护酶活性、抗坏血酸含量、脯氨酸含量、根系活力以及与碳氮代谢有关的酶活性在头季稻整个生育期均较常规栽培高,因而不存在常规栽培下,因湿润秧拔秧断根损伤或生理失水而导致生理钝活即返青慢,反而表现出返青快、分蘖早、低节位分蘖多、有效穗多、穗粒重的特性。为优化群体质量,提高后期群体光合效率,实现高产奠定了基础^[16]。

叶片是水稻的主要代谢源,水稻籽粒物质大部分来自花后功能叶片尤其是剑叶的光合产物^[17]。水稻产量潜力与其抽穗至成熟期光合生产力的提高密切相关。抽穗后稻株逐渐成熟,功能叶片的生理功能逐渐衰退,但衰老过快势必影响光合作用等生理生化反应,不利于籽粒的灌浆充实,从而导致产量下降。超高产栽培模式的技术措施促进土壤“水、热、气、肥”协调,使作物生长良好,水稻的根系活力提高,有利于吸水吸肥,提高营养物质的利用与转化,特别是生育后期根系生长能力和根系活力强,这可保证地上部分水分和养分供应,延缓叶片衰老。而叶片衰老的延缓又为根系生长和活力的保持提供了物质和能量基础,二者相互协调使植株衰老得到延缓,从而使生育后期达到“源”足、“库”大、“流”畅,实现高产。至于超高产栽培技术措施对头季稻籽粒灌浆的影响我们将作继续研究。

参考文献

- [1] 陈鸿飞,梁义元,林文雄,等. 早稻-再生稻头季不同育秧方式秧苗素质及生理生化特性(I)[J]. 中国农学通报,2007,23(2):247-250
- [2] 陈鸿飞,林瑞余,梁义元,等. 不同栽培模式早稻-再生稻头季干物质积累运转特性研究[J]. 中国生态农业学报,2008,16(1):150-154
- [3] 朱广廉,钟海文,张爱琴. 植物生理学实验[M]. 北京:北京大学出版社,1990:30-33
- [4] 西北农业大学植物生理生化教研组. 植物生理学实验指导[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1987:92-93
- [5] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:134-137,258-259,125-127
- [6] 华东师范大学生物系植物生理教研组. 植物生理学实验指导[M]. 北京:人民教育出版社,1980:143-144
- [7] 李扬瑞. 甘蔗叶片细胞器的 Mg^{2+} -ATP 酶和 Ca^{2+} -ATP 酶活性[J]. 植物生理学通讯,1987(6):20-22
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析(第3版)[M]. 北京:中国农业出版社,2000:39-49
- [9] 上海植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京:科学出版社,1999:315-316
- [10] 林文雄,王松良,梁义元,等. 水稻早育稀植高产栽培的生理生态研究 I[J]. 应用生态学报,1997,8(6):566-570
- [11] 赵国平,敬金星,吴永祥. 水稻早育秧技术机理研究[J]. 作物杂志,1994(6):21-24
- [12] 林文雄,柯庆明,王松良,等. 不同生态条件下杂交水稻后期保护酶活性研究[J]. 福建农业大学学报,1996,25(1):1-6
- [13] 林文雄,梁义元,吴志强. 环境对杂交水稻胞质及核质互作遗传表现的影响 V[J]. 应用生态学报,1996,7(4):364-370
- [14] 林文雄,吴志强,梁义元. 杂交水稻高产栽培技术体系研究[J]. 福建农学院学报,1989,18(3):269-274
- [15] 林文雄,王松良,梁义元,等. 水稻早育稀植高产栽培的生理生态研究 II[J]. 应用生态学报,1998,9(4):395-399
- [16] 凌启鸿,张洪程. 水稻高产群体质量及其优化控制探讨[J]. 中国农业科学,1993,26(6):1-11
- [17] 刘辉,徐孟亮,陈良碧. 高产杂交稻品系“两优培九”生育后期的衰老生理特性[J]. 植物生理学通讯,2004,40(3):326-328