

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2008.01994

## 免耕高留茬抛秧稻的产量及若干生理特性研究

任万军<sup>1</sup> 刘代银<sup>1,2</sup> 伍菊仙<sup>1</sup> 杨文钰<sup>1,\*</sup> 樊高琼<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 四川农业大学, 四川雅安 625014; <sup>2</sup> 四川省农业技术推广总站, 四川成都 610041)

**摘要:** 通过与常规插秧和抛秧的比较, 分析了免耕高留茬抛秧分蘖消长、根系生长、籽粒灌浆和产量特性; 同时研究了不同育秧方式和秧龄对免耕高留茬抛秧稻产量及产量构成的影响。结果表明, 免耕高留茬抛秧分蘖缓慢, 有效穗数较少。抽穗前植株发根力较低, 但抽穗后 10 d 植株发根力高于其他种植方式, 抽穗后 30 d 根系伤流强度显著高于常规插秧和抛秧, 后期植株衰老延缓。强势粒灌浆过程差异较小, 但免耕高留茬抛秧延长了弱势粒灌浆时间, 增加了弱势粒重, 提高了单穗颖花数、籽粒充实率和千粒重。产量与其他处理差异不显著。在免耕与前作秸秆高留茬还田条件下, 早育带泥抛秧栽根多活力高, 促进了水稻分蘖早生快发, 比塑盘育秧抛秧栽根极显著增产; 3 个抛秧秧龄中, 以秧龄 40 d 处理产量最高。

**关键词:** 水稻; 免耕; 抛秧; 秸秆还田; 产量

## Effect of Broadcasting Rice Seedlings in the Field with High Standing-Stubbles under No-tillage Condition on Yield and Some Physiological Characteristics

REN Wan-Jun<sup>1</sup>, LIU Dai-Yin<sup>1,2</sup>, WU Ju-Xian<sup>1</sup>, YANG Wen-Yu<sup>1,\*</sup>, and FAN Gao-Qiong<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, Sichuan; <sup>2</sup> Sichuan General Popularization Centre of Agricultural Technique, Chengdu 610041, Sichuan, China)

**Abstract:** In comparison with conventional tillage and transplanting (CTT) and conventional tillage and broadcasting seedlings (CTB), the trend of tillering, growth of roots, characteristics of grain filling and yield for broadcasting seedlings in the field with high standing-stubbles under no-tillage condition (BSNT) were analyzed. Meanwhile, the effects of seedling raising methods and seedling age on the yield and yield components were studied. The results showed that, for BSNT, the speed of tillering was slow, the effective panicles were less than those for CTT and CTB, 10 d after heading, the root growth ability was higher than that for CTT and CTB in BSNT. At 30 d after heading, intensity of root bleaching sap was significantly stronger in BSNT than in CTT and CTB, at late stage, the senescence of BSNT plant was deferred. According to the Richards equation, little difference of superior grains at filling stage was found among three tillage and cultivation methods, but for BSNT, the grain-filling time ( $t_{99}$ ) of inferior grains was prolonged, the weight of inferior grains was raised, spikelets of per ear, seed-setting rate, and 1000-grains weight were increased. There was little difference of yield among three tillage and cultivation methods. Under the condition of no-tillage and returning straw to soil with high standing-stubbles, the broadcasted seedlings with soil around roots and raising on dry land beds had more roots and higher root vigor, hastened the growth of tillers, its yield was significantly higher than that raising on plastic trays. Among three treatments of cast-seedling age, the yield in the treatment of 40 d was the highest.

**Keywords:** Rice (*Oryza sativa* L.); No-tillage; Broadcasting; Returning straw to soil; Yield

水稻免耕抛秧栽培是近年发展起来的一项稻作新技术<sup>[1]</sup>。四川省将免耕、秸秆立茬覆盖和无盘旱育抛秧集成一体, 形成了免耕高留茬抛秧技术,

体现出了更加明显的优势<sup>[2-3]</sup>。在免耕与秸秆立茬覆盖条件下, 水稻所处的生态环境和自身生长发育发生了变化, 因此, 研究免耕高留茬抛秧稻的产量效

基金项目: 国家“十五”科技攻关计划“粮食丰产科技工程”项目(2004BA520A05); 四川省科技攻关项目(04NG020-013)

作者简介: 任万军(1972–), 男, 四川青川人, 副教授, 博士, 主要从事水稻栽培及生理生态研究。Tel: 0835-2882612, E-mail: rwjun@sicau.edu.cn

\*通讯作者(Corresponding author): 杨文钰, Tel: 0835-2882004, E-mail: wenyu.yang@263.net

Received(收稿日期): 2008-01-03; Accepted(接受日期): 2008-05-29.

应及其生理机制,对推动该技术的生产应用,促进稻作生产的可持续发展具有重要意义。水稻抛秧技术探索始于 20 世纪 50 年代,Peiris<sup>[4]</sup>在斯里兰卡进行了抛秧试验,20 世纪 80 年代后,我国抛秧技术研究取得了成功,并在生产上大面积应用<sup>[5]</sup>。90 年代中后期以来,广东、广西等地在两季稻条件下对免耕抛秧进行了探索<sup>[6-7]</sup>,四川等地在单季籼稻栽培中研究了免耕抛秧技术<sup>[8]</sup>,免耕抛秧水稻表现出不同于翻耕插秧的特点,主要为前期分蘖较缓慢<sup>[6]</sup>,根系生长受阻,总根长低于常耕抛秧<sup>[7]</sup>。免耕高留茬抛秧除前作秸秆留茬 20~50 cm 外,还将上半部分秸秆撒于田间覆盖还田<sup>[2,9]</sup>,形成平面和空间相结合的立体覆盖形式。因立体覆盖秸秆的养分缓慢分解释放,土壤肥力得到了提高,有机质、全氮、全钾均高于其他处理;速效氮、钾含量也有明显提高<sup>[10]</sup>,土壤肥力及生态环境的改变是否能影响水稻的生长发育和产量形成值得研究。目前对免耕高留茬抛秧水稻籽粒灌浆、根系生长、产量特性及相应高产栽培技术措施的研究还鲜见报道。本文在与常耕插秧和抛秧比较分析的基础上,研究不同品种、育秧方式和秧龄对免耕高留茬抛秧水稻产量及一些生理特性的影响,以期建立高产栽培技术及其推广应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点及材料

2003 年在四川省雅安市大兴镇农民承包田内种植杂交稻组合冈优 22、II 优 162 和 K 优 047。供试土壤质地为轻壤,含有机质  $23.66 \text{ g kg}^{-1}$ 、全氮、磷、钾各  $1.422$ 、 $0.458$  和  $11.66 \text{ g kg}^{-1}$ ,速效氮、磷、钾各  $109.36$ 、 $12.01$  和  $30.22 \text{ mg kg}^{-1}$ ,前茬作物为油菜。

### 1.2 试验设计

1.2.1 种植方式和品种试验 二因素裂区设计,种植方式为主区,设常耕手插(CTT)、常耕抛秧(CTB)和免耕高留茬抛秧(BSNT)3 个水平;不同基因型组合为副区,设冈优 22(GY22)、II 优 162(IIY162)和 K 优 047(KY047)3 个水平,3 次重复,小区面积  $15.84 \text{ m}^2$ 。于 3 月 30 日育秧,5 月 9 日移栽。手插秧采用水育秧,播种子  $30 \text{ g m}^{-2}$ ,抛秧稻采用 428 孔塑料软盘水育秧,每孔播 2 粒种子。油菜收获时只收取植株上半部分,留茬 50 cm,然后划小区。对于翻耕处理,将油菜秆拔去后犁耙田块;对于免耕处理,在油菜收后立即喷洒除草剂,5 d 后淹水泡田,至抛栽

时泡透田土。施纯 N  $150 \text{ kg hm}^{-2}$ ,按底肥:分蘖肥=7:3 的比例施用;施过磷酸钙  $600 \text{ kg hm}^{-2}$ ,氯化钾  $150 \text{ kg hm}^{-2}$ 。种植密度为 30 万穴  $\text{hm}^{-2}$ ,其他田间管理措施同大面积生产。

1.2.2 育栽方式和秧龄试验 二因素随机区组设计。以冈优 22 为材料,在免耕高留茬抛秧田中实施,育栽方式设塑盘水育秧抛栽(Ra1)和无盘旱育秧带土抛栽(Ra2)2 个水平,育秧塑盘为 428 孔,每孔播 2 粒种子,旱育秧播量为  $30 \text{ g m}^{-2}$ ,旱育秧抛栽时单穴带土 10~20 g;抛栽秧龄设 40 d (Ag1)、30 d (Ag2)和 20 d (Ag3)3 个水平,分别于 3 月 30 日、4 月 9 日和 4 月 19 日播种,5 月 9 日移栽。田间处理及管理措施同 1.2.1。

### 1.3 调查测定项目与方法

1.3.1 分蘖动态 移栽后每 4~10 d 各小区定点 20 穴调查茎蘖数。

1.3.2 根重及发根力动态 在种植方式和品种试验拔节期、孕穗期、抽穗期和抽穗后 10 d 每小区按平均茎蘖数法取 3 株,剪除全部根系后在室内进行自来水培养。培养 5 d 时剪下新根烘干称重用来衡量植株发根力<sup>[11]</sup>。于育秧方式和秧龄试验栽后 10、20、30 和 50 d 各小区取有代表性的 5 株挖  $15 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$  的土方,将里面的根全部洗出后于  $105^\circ\text{C}$  杀青 1 h,在  $70^\circ\text{C}$  烘干至恒重称重。

1.3.3 根系伤流液及根系活力 于种植方式和品种试验抽穗后 30 d,选择生育期相近的冈优 22 和 K 优 047 两个杂交稻组合的 3 种植方式参照沈波等<sup>[12]</sup>的方法收集伤流液,各小区选择茎蘖数和生长量接近平均数的植株 3 株,距离地面 15 cm 处横切茎秆,于切口处覆盖已称重的脱脂棉,外围以塑料袋包扎,16 h 后取棉球称重,增加的重量即为伤流量。按 1.3.2 的取样方法取育秧方式和秧龄试验的根,采用 TTC 还原法<sup>[13]</sup>测定根系活力。

1.3.4 籽粒生长动态 标记种植方式和品种试验抽穗期各小区生长正常、大小中等的稻穗(稻穗抽出剑叶叶枕  $0.5\sim 1.0 \text{ cm}$ ,剑叶大小相近)300 个。开花当天及以后每 3~4 d 取一次样,至成熟止。取样后,摘取第 1~2 d 开花的籽粒为强势粒,最后 1~2 d 开花的籽粒为弱势粒,摘下去颖壳后烘干称重。参照朱庆森<sup>[14]</sup>、顾世梁<sup>[15]</sup>等方法,用 Richards 方程  $W=A/(1+be^{-kt})^m$  拟合,其中,  $A$  为终极生长量,  $b$  是初值参数,  $k$  是生长速率参数,  $m$  为形状参数。

1.3.5 经济性状及产量 成熟期每小区调查 40

穴计算有效穗,然后按有效穗的平均数取样 5 穴,测定每穗颖花数、结实率、籽粒充实率和千粒重。分小区割收晒干计实际产量。按朱庆森的测定方法<sup>[16]</sup>,籽粒充实率(%)=实粒重/比重大于 1.0 的饱粒重 $\times 100$ 。

#### 1.4 统计分析

用 DPS V3.01 系统软件进行方差分析,并计算平均数、标准差和变幅,用 *LSD* (least significant difference test)进行样本平均数的差异显著性比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 对分蘖消长的影响

#### 2.1.1 种植方式和品种对分蘖消长的影响 秧苗

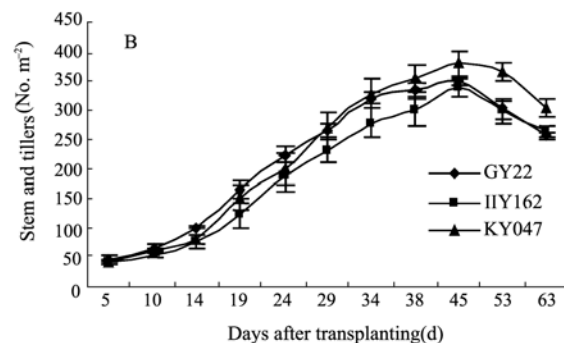
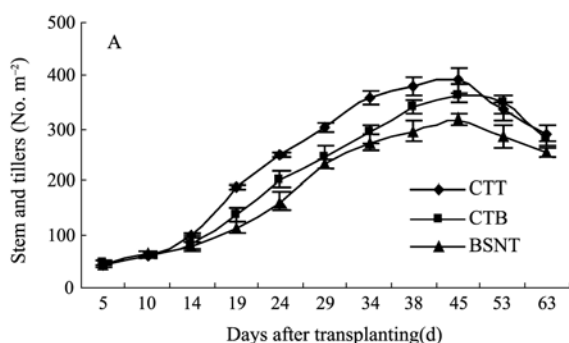


图 1 不同种植方式(A)与杂交稻组合(B)的茎蘖消长动态

Fig. 1 Tiller dynamics of rice with different tillage and cultivation methods (A), and hybrid combinations (B) after transplanting

CTT: 常耕手插; CTB: 常耕抛秧; BSNT: 免耕高留茬抛秧; GY22: 冈优 22; IY162: II 优 162; KY047: K 优 047.

CTT: conventional tillage and transplanting; CTB: conventional tillage and broadcasting seedlings; BSNT: broadcasting seedlings in the field with high standing-stubbles under no-tillage condition; GY22: Gangyou 22; IY162: II you 162; KY047: Kyou 047.

在 3 个组合中, GY22(冈优 22)分蘖发生早且快, 24 d 前茎蘖数一直最高。但 24 d 以后, KY047(K 优 047)的茎蘖数超过 GY22 跃居第一, 而且 KY047 在 45 d 后茎蘖数下降较缓慢, 分蘖成穗率为 75.0%, 极显著高于 GY22 的 67.1% ( $F_B=8.84$ ,  $F_{0.01}=6.23$ )。

IY162(II 优 162)虽然茎蘖数一直低于另 2 个组合, 但其分蘖成穗率为 71.8%, 显著高于 GY22。

2.1.2 育秧方式和秧龄对免耕高留茬抛秧分蘖消长的影响 由图 2 可知, 在免耕高留茬条件下, 早育带泥抛栽秧苗(Ra2)的分蘖早且快, 分蘖期内茎蘖

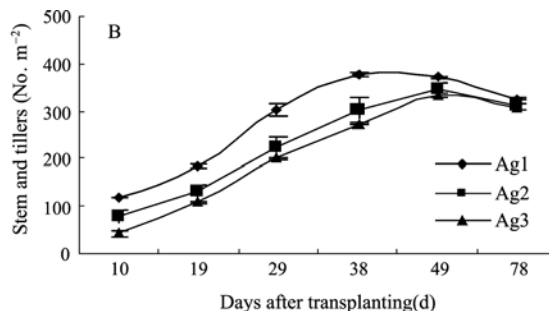
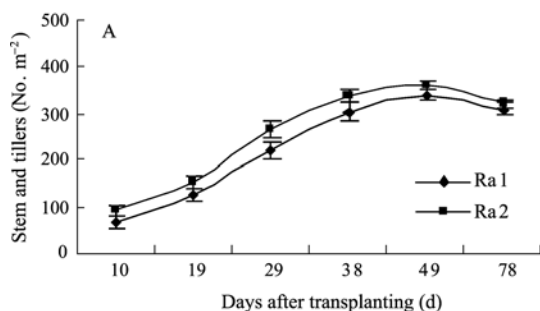


图 2 不同育秧方式(A)和秧龄(B)对免耕高留茬抛秧分蘖的影响

Fig. 2 Effect of different seedling raising methods (A) and seedling ages (B) on tillering of broadcasting seedlings in the field with high standing-stubbles under no-tillage condition

Ra1: 塑盘水育秧抛栽; Ra2: 无盘旱育秧带土抛栽; Ag1: 秧龄 40 d; Ag2: 秧龄 30 d; Ag3: 秧龄 20 d。

Ra1: broadcasting wetland seedlings raising on plastic trays; Ra2: broadcasting seedlings with soil around roots and raising on dry land beds; Ag1: 40 d seedlings; Ag2: 30 d seedlings; Ag3: 20 d seedlings.

数高于塑盘水育抛栽处理(Ra1), 至成熟时 Ra2 的有效穗也显著高于 Ra1, 平均高 5.67%(表 2)。且抛栽的早育秧苗素质优于塑盘水育秧, 抛栽时 Ra2 单株带蘖为 2.5 个, Ra1 则为 1.7 个。秧龄越小, 抛栽的前期秧苗分蘖越慢(图 2)。抛后 10 d, 秧龄 20 d(Ag3)的单穴分蘖数仅 0.30 个, 分别比秧龄 40 d(Ag1)和秧龄 30 d(Ag2)的低 2.60 和 1.32 个。Ag1 分蘖速率最快, 茎蘖数在栽后 38 d 达到最大值, 此时单穴分蘖数比 Ag2 和 Ag3 分别高 2.38 和 3.44 个。之后 Ag1 随无效分蘖的死亡, 分蘖数开始下降, 而 Ag2、Ag3 的高峰苗期迟于 Ag1, 在栽后 49 d 才开始下降, 至抛栽后 78 d 不同秧龄处理之间的差异已缩小。

## 2.2 对产量及其构成的影响

### 2.2.1 种植方式和品种对产量及其构成的影响

方差分析表明, 不同种植方式的产量主效达 10% 显著水平( $F_A=3.17$ ,  $F_{0.05}=3.63$ ,  $P=0.069$ ), CTT 产量最高, BSNT 其次, CTB 最低, CTT 与 CTB 之间差异达显著水平(表 1)。而品种的主效( $F_B=0.36$ ,  $F_{0.05}=3.63$ )、种

植方式和品种的互作( $F_{A \times B}=1.99$ ,  $F_{0.05}=3.01$ )均不显著。与分蘖发生过程较一致, 有效穗的高低顺序为 CTB>CTT>BSNT, CTT 与 CTB 差异较小, CTB 与 BSNT 的差异达显著水平( $F_A=4.06$ ,  $F_{0.05}=3.63$ ,  $F_{0.01}=6.23$ )。有效穗在品种间的主效差异极显著, 而种植方式与品种的互作不显著( $F_B=42.82$ ,  $F_{0.01}=6.23$ ;  $F_{A \times B}=0.98$ ,  $F_{0.05}=3.01$ ), 在 3 种植方式下, 有效穗均以 KY047 最高, 极显著高于 GY22 和 IY162, GY22 和 IY162 之间的差异不显著。单穗颖花数的主效均极显著( $F_A=12.30$ ,  $F_B=50.68$ ,  $F_{0.01}=6.23$ ), 但互作不显著。其中, BSNT 颖花数最高, 极显著高于 CTT 和 CTB, 分别高 8.74% 和 15.27%, 且不同种植方式下均以 IY162 的颖花数最高, KY047 最低。结实率的主效也均极显著( $F_A=11.81$ ,  $F_B=27.52$ ,  $F_{0.01}=6.23$ , 反正弦平方根转换), 以 CTT 处理最高, CTB 最低, CTB 比 CTT 和 BSNT 分别低 6.06 和 4.34 个百分点, 差异极显著, 但互作不显著。不同种植方式下, 均以 IY162 的结实率最低。

表 1 不同种植方式和品种对水稻产量与产量构成因素的影响

Table 1 Effect of different tillage and cultivation methods, and hybrid combinations on yield and yield components of rice

处理		有效穗	颖花数	结实率	充实率	千粒重	产量
Treatment		Effective panicle (No. m <sup>-2</sup> )	Spikelet (No. ear <sup>-1</sup> )	Seed-setting rate (%)	Filled grain percentage (%)	1000-grain weight (g)	Yields (kg m <sup>-2</sup> )
CTT	GY22	175.2 Bb	167.6 Aa	87.69 Aa	77.67 Aa	26.31 Aa	0.683 Aa
	IY162	189.0 Bb	179.4 Aa	77.23 Bb	73.71 Aa	26.65 Aa	0.689 Aa
	KY047	214.7 Aa	140.1 Bb	89.20 Aa	77.93 Aa	26.46 Aa	0.697 Aa
	平均 Mean	193.0 Aab	162.4 Bb	84.71 Aa	76.44 Aab	26.47 Aa	0.690 Aa
CTB	GY22	177.4 Bb	155.5 ABa	82.16 Aa	73.56 ABb	25.57 Aa	0.650 Aab
	IY162	184.6 Bb	172.4 Aa	72.90 Bb	72.20 Bb	25.49 Aa	0.596 Ab
	KY047	227.0 Aa	131.8 Bb	80.90 Aa	78.47 Aa	25.68 Aa	0.676 Aa
	平均 Mean	196.3 Aa	153.2 Bb	78.65 Bb	74.74 Ab	25.58 Bb	0.641 Ab
BSNT	GY22	172.7 Bb	187.6 Aa	82.35 ABb	77.58 Aab	26.77 Aa	0.676 Aa
	IY162	172.0 Bb	201.0 Aa	79.48 Bb	75.29 Ab	26.98 Aa	0.677 Aa
	KY047	205.5 Aa	141.1 Bb	87.12 Aa	80.57 Aa	26.60 Aa	0.628 Aa
	平均 Mean	183.4 Ab	176.6 Aa	82.99 Aa	77.81 Aa	26.78 Aa	0.660 Aab

CTT: 常耕手插; CTB: 常耕抛秧; BSNT: 免耕高留茬抛秧; GY22: 冈优 22; IY162: II 优 162; KY047: K 优 047。标以相同字母者 LSD 多重比较差异不显著(小写字母  $P<0.05$ , 大写字母  $P<0.01$ )。

CTT: conventional tillage and transplanting; CTB: conventional tillage and broadcasting seedlings; BSNT: broadcasting seedlings in the field with high standing-stubbles under no-tillage condition; GY22: Gangyou22; IY162: Ilyou162; KY047: Kyou047. Values followed by the same letter are not significantly different at  $P<0.05$  (small letter) and  $P<0.01$  (capital letter) according to LSD test.

籽粒充实率的种植方式主效达 10% 显著水平( $F_A=3.15$ ,  $F_{0.05}=3.63$ ,  $P=0.070$ , 反正弦平方根转换), BSNT 最高, 比 CTB 高 4.11%, 差异达到显著水平, CTT 与 CTB 和 BSNT 的差异均未达到显著水平; 品种的主效达极显著水平( $F_B=9.21$ ,  $F_{0.01}=6.23$ ), 以

KY047 最高, 平均比 GY22 高 3.57%, 差异显著, 比 IY162 高 7.13%, 差异极显著, 互作效应不显著。千粒重的种植方式主效极显著( $F_A=9.81$ ,  $F_{0.01}=6.23$ ), 高低顺序为 BSNT>CTT>CTB, 其中, BSNT、CTT 比 CTB 分别高 1.20 g 和 0.89 g, 差异达极显著水平, 但

品种主效和互作效应均不显著。

2.2.2 育秧方式和秧龄对免耕高留茬抛秧产量及其构成因素的影响 方差分析表明, 产量的育秧方式主效极显著 ( $F_A=14.54$ ,  $F_{0.01}=10.04$ ), 秧龄主效显著 ( $F_B=4.87$ ,  $F_{0.05}=4.10$ ,  $F_{0.01}=7.56$ ), 互作不显著。旱育秧抛栽(Ra2)的产量比塑盘水育秧抛栽(Ra1)高 19.1%, 差

异极显著(表 2); 2 种育秧抛栽方式下, 均随秧龄减少, 产量降低。从产量构成因素和籽粒充实率分析, Ra2 的有效穗、颖花数、结实率、籽粒充实率和千粒重均高于 Ra1, 其中有效穗和千粒重的差异达显著水平。在免耕高留茬条件下, 抛栽秧龄越小, 有效穗越少; 且随播期推迟, 籽粒结实和充实均较差, 千粒重降低。

表 2 不同育秧方式和秧龄对免耕高留茬抛秧产量及其构成因素的影响  
Table 2 Effect of different seedling raising methods and seedling ages on yield and yield components of rice

处理 Treatment		有效穗 Effective panicle (No. m <sup>-2</sup> )	颖花数 Spikelet (No. ear <sup>-1</sup> )	结实率 Seed-setting rate (%)	充实率 Filled grain percentage (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	产量 Yield (kg m <sup>-2</sup> )
Ra1	Ag1	210.2 Aa	189.0 Aa	80.22 Aa	74.56 Aa	25.79 Aa	0.765 Aa
	Ag2	202.4 Aa	195.2 Aa	75.98 Aab	70.80 Aab	23.84 ABab	0.643 Aab
	Ag3	201.5 Aa	201.3 Aa	71.37 Ab	64.00 Ab	22.53 Bb	0.605 Ab
	平均 Mean	204.7 Ab	195.2 Aa	75.86 Aa	69.79 Aa	24.06 Ab	0.671 Bb
Ra2	Ag1	226.7 Aa	195.8 Bb	79.46 Aa	79.27 Aa	26.23 Aa	0.846 Aa
	Ag2	219.7 Aab	199.8 Bb	79.84 Aa	75.07 ABa	25.94 ABa	0.821 Aa
	Ag3	202.6 Ab	204.8 Aa	73.70 Aa	63.96 Bb	23.13 Bb	0.729 Ab
	平均 Mean	216.3 Aa	200.1 Aa	77.67 Aa	72.76 Aa	25.10 Aa	0.799 Aa

Ra1: 塑盘水育秧抛栽; Ra2: 无盘旱育秧带土抛栽; Ag1: 秧龄 40 d; Ag2: 秧龄 30 d; Ag3: 秧龄 20 d。标以相同字母者 *LSD* 多重比较差异不显著(小写字母  $P<0.05$ , 大写字母  $P<0.01$ )。

Ra1: broadcasting wetland seedlings raising on plastic trays; Ra2: broadcasting seedlings with soil around roots and raising on dry land beds; Ag1: 40 d seedlings; Ag2: 30 d seedlings; Ag3: 20 d seedlings. Values followed by the same letter are not significantly different at  $P<0.05$  (small letter) and  $P<0.01$  (capital letter) according to *LSD* test.

2.3 对根系生长和根系活力的影响

2.3.1 种植方式和品种对植株发根力的影响 用新发根干重来衡量植株发根力, 准确性高, 操作方便快速<sup>[11]</sup>。由图 3 可看出, 水稻植株的发根力呈单峰曲线, 拔节至孕穗期快速上升, 孕穗期达到最大值, 孕穗后几乎呈直线下降, 至抽穗后 10 d, 发根力

已很低。不同种植方式之间比较, 在拔节、孕穗和抽穗期均为常耕插秧(CTT)极显著高于常耕抛秧(CTB)和免耕高留茬抛秧(BSNT), 后两者之间差异不显著。但在抽穗后 10 d, 植株发根力以 BSNT 最高, CTT 最低。3 个杂交稻组合中, II 优 162 的发根力最强, K 优 047 较弱。

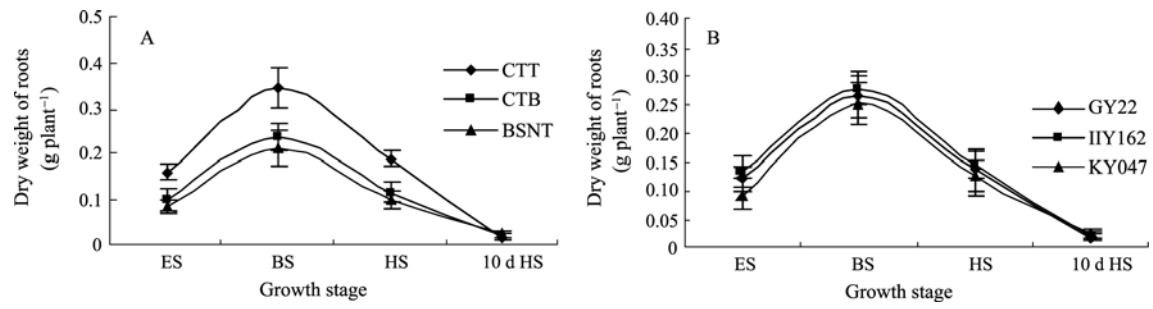


图 3 种植方式(A)和杂交稻组合(B)对不同生育阶段植株发根力的影响

Fig. 3 Effect of tillage and transplanting methods (A), and hybrid combinations (B) on rooting ability at different stages  
CTT: 常耕手插; CTB: 常耕抛秧; BSNT: 免耕高留茬抛秧; GY22: 冈优 22; IY162: II 优 162; KY047: K 优 047; ES: 拔节期; BS: 孕穗期; HS: 抽穗期; 10 d HS: 抽穗后 10 d。  
CTT: conventional tillage and transplanting; CTB: conventional tillage and broadcasting seedlings; BSNT: broadcasting seedlings in the field with high standing-stubbles under no-tillage condition; GY22: Gangyou22; IY162: Ilyou162; KY047: Kyou047. ES: elongating stage, BS: booting stage, HS: heading stage, 10 d HS: 10 d after heading stage.

2.3.2 育秧方式和秧龄对栽后根重的影响 在免耕高留茬条件下, 无盘旱育抛栽(Ra2)的栽后根重均

高于塑盘水育秧抛栽(Ra1)(图 4)。栽后 10~50 d, Ra2 的根重平均比 Ra1 高 34.57%, 且随生育进程推进,

两者差距增大。随抛栽秧龄延长, 栽后根重呈一致地增加。栽后 10~50 d, 秧龄 40 d (Ag1) 的根重平均比秧龄 30 d (Ag2) 和秧龄 20 d (Ag3) 的分别高 27.03% 和 74.07%, Ag2 比 Ag3 高 37.04%。秧苗栽后, 根重均随生育进程的推进而快速增长, 后期增长速度快于前期, 近似于指数模型增长。

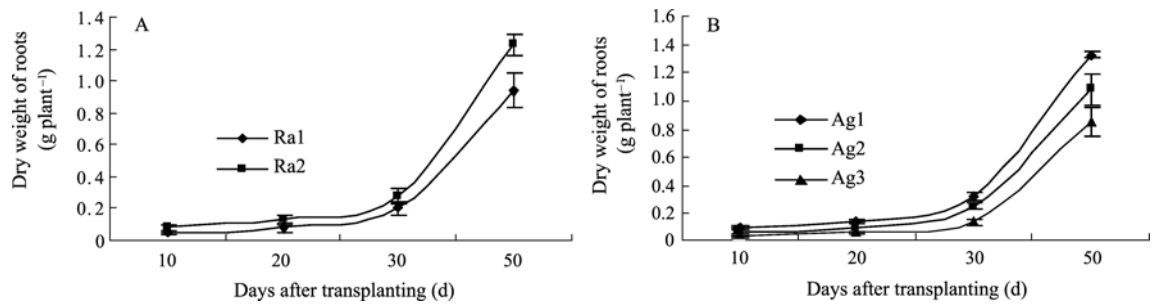


图 4 不同育秧方式(A)和秧龄(B)对栽后根重的影响

Fig. 4 Effect of different seedling raising methods (A) and seedling ages (B) on dry weight of roots after transplanting

Ra1: 塑盘水育秧抛栽; Ra2: 无盘旱育秧带土抛栽; Ag1: 秧龄 40 d; Ag2: 秧龄 30 d; Ag3: 秧龄 20 d。

Ra1: broadcasting wetland seedlings raising on plastic trays; Ra2: broadcasting seedlings with soil around roots and raising on dry land beds; Ag1: 40 d seedlings; Ag2: 30 d seedlings; Ag3: 20 d seedlings.

2.3.3 育秧方式和秧龄对栽后根系活力的影响 由图 5 可知, 在免耕高留茬条件下, 各处理的 TTC 还原率在栽后 10 d 最高, 然后快速下降, 至栽后 50 d 降到较低水平。不同育秧方式和秧龄的根系活力存在显著差异。各取样期均以无盘旱育抛栽(Ra2)极显著高于塑盘水育抛栽(Ra1), 栽后 10d 差异最大, Ra2 比 Ra1 高 1.15 倍, 之后差

距缩小, 栽后 20~50 d Ra2 比 Ra1 平均高 26.47%。从不同秧龄看, 栽后 10~20 d 以 Ag1 的 TTC 还原率最高, Ag2 居中, Ag3 最低, 但 20 d 以后, 则以 Ag3 最高, Ag1 最低。

2.3.4 种植方式和品种对根系伤流强度的影响 根系伤流强度反映了根系活力。由表 3 可知, 抽穗后 30 d, 2 个杂交稻组合平均伤流量以 BSNT 最高, 显著

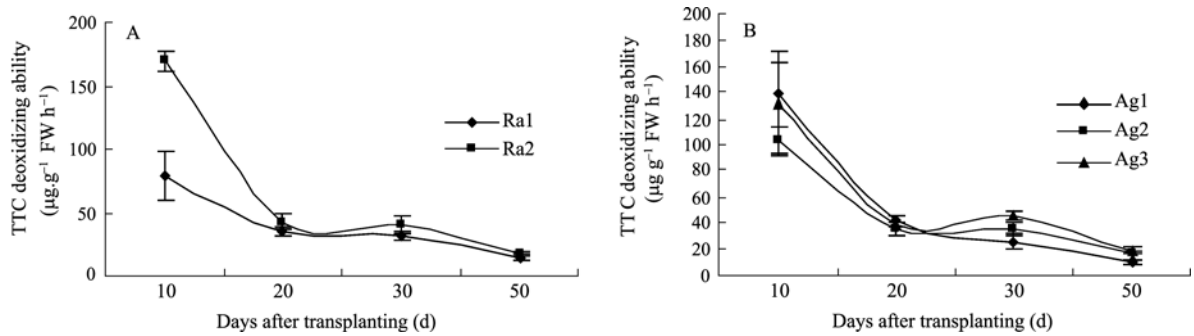


图 5 育秧方式(A)和秧龄(B)对秧苗栽后根系活力的影响

Fig. 5 Effect of seedling raising methods(A) and seedling ages(B) on root vigor

Ra1: 塑盘水育秧抛栽; Ra2: 无盘旱育秧带土抛栽; Ag1: 秧龄 40 d; Ag2: 秧龄 30 d; Ag3: 秧龄 20 d。

Ra1: broadcasting wetland seedlings raising on plastic trays; Ra2: broadcasting seedlings with soil around roots and raising on dry land beds; Ag1: 40 d seedlings; Ag2: 30 d seedlings; Ag3: 20 d seedlings.

表 3 不同处理对根系伤流量的影响

Table 3 Effect of different treatments on amount of roots bleaching sap (g plant<sup>-1</sup>)

组合 Combination	种植方式 Tillage and transplanting methods			平均 Mean
	CTT	CTB	BSNT	
冈优 22 Gangyou22	10.13 Bb	12.08 ABab	13.96 Aa	12.06 Aa
K 优 047 Kyou047	7.13 Aa	6.65 Aa	8.27 Aa	7.35 Bb
平均 Mean	8.63 Bb	9.36A Bb	11.12 Aa	

CTT: 常耕手插; CTB: 常耕抛秧; BSNT: 免耕高留茬抛秧。字母相同表示 *LSD* 多重比较差异不显著(小写字母  $P<0.05$ , 大写字母  $P<0.01$ )。

CTT: conventional tillage and transplanting; CTB: conventional tillage and broadcasting seedlings; BSNT: broadcasting seedlings in the field with high standing-stubbles under no-tillage condition. Values followed by the same letter are not significantly different at  $P<0.05$  (small letter) and  $P<0.01$  (capital letter) according to *LSD* test.

高于 CTB, 极显著高于 CTT。冈优 22 极显著高于 K 优 047。说明生育后期免耕高留茬抛秧根系活力高, 而插秧处理根系衰老快, 这种表现对根系活力较高的冈优 22 更明显。

## 2.4 不同种植方式对水稻籽粒灌浆的影响

由表 4 可看出, 各处理的强、弱势粒灌浆均能较好地拟合 Richards 模型, 决定指数  $R^2$  均在 0.98 以

上。3 个杂交稻组合异步灌浆特征都很明显, 强势粒灌浆启动快, 平均灌浆速率高, 弱势粒灌浆启动慢, 终极生长量  $A$  值普遍较低。不同种植方式下强势粒均以 IY162 的实灌时间最长, 从而  $A$  值也高于其他 2 个组合。弱势粒情况则有所不同, 以 IY162 和 KY047 的实灌时间较长, 但 GY22 的平均灌浆速率却最高, 从而三者终极生长量差异较小。

表 4 水稻籽粒灌浆的 Richards 方程参数估值及特征参数  
Table 4 The parameters of the Richards equation for the grain filling

处理 Treatment		粒位 Position	终极 生长量 <i>A</i>	初值 参数 <i>b</i>	生长速率 参数 <i>k</i>	形状 参数 <i>m</i>	拟合度 <i>R</i> <sup>2</sup>	实灌时间 <i>t</i> <sub>99</sub> (d)	平均速率 <i>V</i> <sub>a</sub> (mg grain <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )
CTT	冈优 22	强(S)	25.246	0.2612	0.2642	16.401	0.9964	22.921	1.101
	Gangyou22	弱(I)	20.483	4.628×10 <sup>66</sup>	5.7617	0.030	0.9917	26.801	0.764
	II 优 162	强(S)	28.255	0.2741	0.2434	14.710	0.9935	24.626	1.147
	Ilyou162	弱(I)	19.465	3.483×10 <sup>9</sup>	0.8780	0.251	0.9972	28.665	0.679
	K 优 047	强(S)	24.976	0.1384	0.2619	27.549	0.9965	22.674	1.102
	Kyou047	弱(I)	21.150	5.18×10 <sup>297</sup>	27.1871	0.006	0.9974	25.160	0.841
CTB	冈优 22	强(S)	26.143	5.0675	0.3809	1.810	0.9943	17.889	1.461
	Gangyou22	弱(I)	19.174	3.99×10 <sup>168</sup>	14.9251	0.011	0.9988	25.982	0.738
	II 优 162	强(S)	28.162	0.6711	0.2176	6.145	0.9878	27.647	1.019
	Ilyou162	弱(I)	18.595	2.231×10 <sup>25</sup>	2.0330	0.058	0.9901	29.532	0.630
	K 优 047	强(S)	25.510	1.1408	0.3010	4.586	0.9931	20.779	1.228
	Kyou047	弱(I)	19.401	1914.9	0.3407	0.624	0.9932	34.270	0.566
BSNT	冈优 22	强(S)	26.472	0.4085	0.3018	11.420	0.9982	20.344	1.301
	Gangyou22	弱(I)	21.528	5.708×10 <sup>48</sup>	3.7363	0.031	0.9958	30.308	0.710
	II 优 162	强(S)	27.957	10.5785	0.3008	1.186	0.9876	23.686	1.180
	Ilyou162	弱(I)	22.727	5.987×10 <sup>5</sup>	0.5351	0.352	0.9989	31.476	0.722
	K 优 047	强(S)	24.759	0.382	0.3210	11.840	0.9967	19.032	1.301
	Kyou047	弱(I)	20.649	5.071×10 <sup>4</sup>	0.4459	0.398	0.9971	32.520	0.635

CTT: 常耕手插; CTB: 常耕抛秧; BSNT: 免耕高留茬抛秧。

CTT: conventional tillage and transplanting; CTB: conventional tillage and broadcasting seedlings; BSNT: broadcasting seedlings in the field with high standing-stubbles under no-tillage condition. S: superior grain; I: inferior grain.  $A$ : ultimately reaching carrying capacity of brown rice weight;  $b$ : scaling parameter for value at  $t = 0$ ;  $k$ : growing rate parameter;  $m$ : parameter to define the point of inflection in the sigmoid curve in relation to time;  $R^2$ : degree of fitting;  $t_{99}$ : active grain-filling duration;  $V_a$ : mean grain filling rate.

3 种植方式下, 强势粒物质积累过程差异较小, 弱势粒后期籽粒重量以 BSNT 最高, CTB 最低(图 6)。强势粒的实灌时间长短为 CTT>CTB>BSNT, CTT 比 BSNT 多 2.45 d, 平均灌浆速率则以 BSNT 最高, CTT 最低, 导致不同种植方式终极生长量差异甚微。不同种植方式下, 弱势粒平均实灌时间相差较大, BSNT 比 CTT 和 CTB 分别多 4.560 d 和 1.507 d, 高 16.97% 和 5.04%; 平均灌浆速率以 CTT 最高, BSNT 次之, CTB 最低, CTB 比 CTT 和 BSNT 低 15.24% 和 6.39%, 因而平均终极生长量以 CTT 和 CTB 较低, 分别比 BSNT 低 1.299 mg 粒<sup>-1</sup> 和 2.578

mg 粒<sup>-1</sup>, 降低 6.00% 和 11.92%, 说明 BSNT 有利于延长弱势粒灌浆时间, 从而促进弱势粒重量增加。

## 3 讨论

水稻免耕高留茬抛秧与常耕插秧和抛秧相比, 秧苗抛栽后根系和发根节均全部处于地表面, 发根节与土壤接触面较小, 常常是靠近地表部分有新根发出, 而暴露在空气中的部分没有新根出生, 新根发生启动迟、数量少。同时, 秧苗散布于地表且发根迟缓给水分管理也带来了困难, 水层过深容易漂浮, 水分过少又易曝晒而死, 发根节干燥或悬浮在

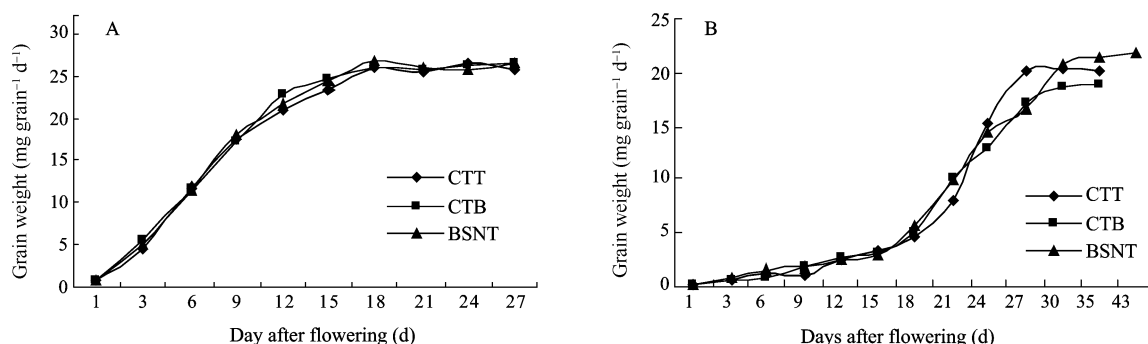


图 6 不同种植方式下强(A)、弱势粒(B)籽粒灌浆动态

Fig. 6 superior (A) and inferior grain (B) filling dynamics of rice with different tillage and cultivation methods

CTT: 常耕手插; CTB: 常耕抛秧; BSNT: 免耕高留茬抛秧。

CTT: conventional tillage and transplanting; CTB: conventional tillage and broadcasting seedlings;

BSNT: broadcasting seedlings in the field with high standing-stubbles under no-tillage condition.

水中均影响发根。这些问题导致其分蘖速度慢, 高峰苗数低, 与刘军等<sup>[6]</sup>报道的免耕抛秧分蘖特性较为一致, 但分蘖成穗率较高。

秸秆还田可改善土壤结构, 提高土壤养分含量<sup>[17]</sup>, 不同程度地增加土壤有机质和速效氮、磷、钾等含量<sup>[18]</sup>, 而且免耕高留茬秸秆养分分解缓慢, 后期土壤养分高<sup>[10]</sup>, 根叶不易早衰, 抽穗后 10 d 的发根力强于其他种植方式; 抽穗后 30 d 的根系伤流强度也显著或极显著高于常耕插秧和抛秧。后期较高的土壤肥力和根系活力有利于籽粒灌浆, 免耕高留茬抛秧弱势粒灌浆时间得到延长, 提高了弱势粒灌浆的终极生长量 A 值, 因此, 其单穗颖花数、籽粒充实率和千粒重均最高, 弥补了有效穗不足对产量造成的损失。

旱育秧苗的单位株高干物重比水育秧苗高, 具有墩实壮秧特征<sup>[19]</sup>, 也有利于健壮秧苗的形成<sup>[20]</sup>, 秧苗发根力强于水育秧苗<sup>[21-22]</sup>, 抛栽时便于带土, 因而无盘旱育抛栽秧苗的发根节能很好地接触田面, 栽后根系生长良好, 根重远高于塑盘水育抛栽秧苗, 秧苗根系活力等生理机能也明显优于塑盘抛栽, 秧苗发根成活快, 生长优势明显。秧龄不同, 发根节的根原基数目不一样, 因而发根数不同。从试验结果来看, 随秧龄减小, 秧苗栽后根重降低, 这种差异在栽后 50 d 仍然存在。同时, 大龄秧苗在栽后初期(栽后 10 d)根系活力高于小龄秧苗, 但到了栽后 20 d 以后, 小龄则表现出了生理活性方面的优势。秧苗在免耕等条件下生长, 面临的环境比翻耕田更恶劣一些, 而苗龄越小, 对耕作栽培技术要求越高, 比如管水, 小秧苗如遇田面不太平整, 则很易淹没顶

部, 结合其他试验结果, 免耕或免耕高留茬抛秧以秧龄较大为好。

免耕高留茬抛秧高产稳产的关键是需要前期早发根、早立苗、早分蘖、多分蘖, 后期充分利用衰老延缓的特性促进籽粒灌浆争取穗大粒重。从技术角度讲, 一是采用无盘旱育秧, 旱育秧除了具有生长优势外, 更有利于延长秧苗秧龄弹性, 适应两季田选用生育期较长的品种获得高产; 二是带泥抛栽, 在育秧时, 可选用旱育保姆等种子处理剂, 增加秧苗带土量。一般单穴带泥 10~100 g(秧龄越长带泥越多), 从试验结果也可看出, 带泥抛栽处理根多活力高, 分蘖早且快, 产量比塑盘育秧抛栽处理高 19.1%; 三是在免耕高留茬条件下, 秧龄不宜过小, 过小则带泥少, 与田面接触不紧密, 且对水分、田面平整程度要求严格, 不满足则容易死苗, 以秧龄 40 d 处理产量最高; 四是在抛栽方式上改“满天星”抛栽为优化定抛<sup>[23]</sup>, 提高抛栽秧苗的均匀性。通过研究, 形成了以“无盘旱育、高留立茬、优化定抛”为核心的技术体系进行推广应用, 据四川省农业技术推广总站统计, 1999—2006 年在四川省推广面积已达到 38.16 万公顷。当然, 免耕高留茬抛秧秸秆养分分解保育土壤和延缓水稻衰老的机理还有待进一步研究; 同时, 秧龄试验只设置了 20~40 d 的 3 个秧龄, 根据示范结果来看, 四川麦(油)茬稻的适栽秧龄通常在 40~50 d, 也需进一步研究。

#### 4 结论

与翻耕插秧和抛秧相比, 免耕高留茬抛秧稻分蘖迟缓, 分蘖数量一直较低, 分蘖成穗率较高, 有



效穗数较少,在抽穗前植株发根力较低,但抽穗后10 d 植株发根力高于其他种植方式,抽穗后30 d 根系伤流强度显著高于常耕插秧和抛秧,有利于后期延缓植株衰老,延长了弱势粒灌浆时间,促进了弱势粒灌浆,提高了单穗颖花数、籽粒充实率和千粒重。无盘旱育、带泥定抛和40 d 的抛栽秧龄等配套栽培技术促进了免耕高留茬抛秧根系生长和分蘖,提高了有效穗、颖花数和产量。

## References

- [1] Xia J-Y(夏敬源). Development and countermeasure about no-tillage cast-transplanted technology of high quality rice. *China Agric Technol Extension* (中国农技推广), 2003, (6): 9–11 (in Chinese)
- [2] Yang W-Y(杨文钰), Ren W-J(任万军). The new technology of broadcasting in the field with high standing-stubbles under no-tillage condition. *Sichuan Agric Sci & Technol* (四川农业科技), 2000, (4): 13–14 (in Chinese)
- [3] Liu D-Y(刘代银). The results and experience about extension of no-tillage cast-transplanted rice in Sichuan province. *China Rice* (中国稻米), 2006, (1): 54–55 (in Chinese)
- [4] Peiris M E. Broadseedling—a promising new technique in paddy cultivation. *Trop Agriculturist*, 1956, 112: 105–108
- [5] Zhang H-C(张洪程), Dai Q-G(戴其根), Zhong M-X(钟明喜), Su Z-F(苏祖芳), Huang W-T(黄务涛), Lu Y-T(陆永泰), Sun X-L(孙禧榴), Zhang D-Q(张定琪), He X-B(何小保), Chen Z-H(陈再华), Xu X-Z(许遐祯). Studies on the yield formation and ecological characters of scattered-planting rice. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1993, 26(3): 39–49 (in Chinese with English abstract)
- [6] Liu J(刘军), Huang H(黄庆), Fu H(付华), Lu X-M(陆秀明), Liu H-Z(刘怀珍), Li K-H(李康活). Physiological mechanism of high and stable yield of no-tillage cast-transplanted rice. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2002, 35(2): 152–156 (in Chinese with English abstract)
- [7] Jiang L-G(江立庚), Li R-P(李如平), Wei S-Q(韦善清), Zhang P-G(张平刚), Xu S-H(徐世宏), Lang N(郎宁), Dong D-F(董登峰), Chen N-P(陈念平), Lu F-Y(陆福勇), Qin H-D(秦华东). Root growth and stanging characteristics of Jinyou253 seedlings under no-tillage with cast transplantation. *J Guangxi Agric Biol Sci* (广西农业生物科学), 2005, 24(1): 30–34 (in Chinese with English abstract)
- [8] Liu J-Z(刘敬宗), Li Y-K(李云康). Studies on the no-tillage and seedling-throwing culture in hybrid rice. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 1999, 14(3): 33–34 (in Chinese)
- [9] Ren W-J(任万军), Yang W-Y(杨文钰), Liu D-Y(刘代银), Xu Z-Y(徐忠荣). The technology of broadcasting in the field with high standing-stubbles under no-tillage condition. *China Rice* (中国稻米), 2003, (2): 22–23 (in Chinese)
- [10] Ren W-J(任万军), Yang W-Y(杨文钰), Fan G-Q(樊高琼), Chen D-C(陈德春), Wu J-X(吴锦秀). Effect of different tillage and transplanting methods on soil fertility and root growth of rice. *J Soil Water Conserv* (水土保持学报), 2007, 21(2): 108–110 (in Chinese with English abstract)
- [11] Xu F-X(徐富贤), Zheng J-K(郑家奎), Zhu Y-C(朱永川), Ding G-X(丁国祥), Wang G-X(王贵雄). Relationship between rooting ability and drought resistance at full-heading in mid-season hybrids rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2003, 29(2): 188–193 (in Chinese with English abstract)
- [12] Shen B(沈波), Wang X(王熹). Physiological activities of root system in two inter-subspecific hybrid rice combinations. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 2002, 16(2): 146–150 (in Chinese with English abstract)
- [13] Zou Q(邹琦). Guide for Experiment of Plant Physiology (植物生理学实验指导). Beijing: China Agriculture Press, 2000. pp 62–63 (in Chinese)
- [14] Zhu Q-S(朱庆森), Cao X-Z(曹显祖), Luo Y-Q(骆亦其). Growth analysis on the process of grain filling in rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1988, 14(3): 266–272 (in Chinese with English abstract)
- [15] Gu S-L(顾世梁), Zhu Q-S(朱庆森), Yang J-C(杨建昌). Analysis on the grain-filling characteristic of different rice materials. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2001, 27(1): 7–14 (in Chinese with English abstract)
- [16] Zhu Q-S(朱庆森), Wang Z-Q(王志琴), Zhang Z-J(张祖建), Hui D-F(惠大丰). Study on indicators of grain-filling of rice. *J Jiangsu Agric Coll* (江苏农学院学报), 1995, 16(2): 1–4 (in Chinese with English abstract)
- [17] Liu S-P(刘世平), Nie X-T(聂新涛), Zhang H-C(张洪程), Dai Q-G(戴其根), Huo Z-Y(霍中洋), Xu K(许轲). Effects of tillage and straw returning on soil fertility and grain yield in a wheat-rice double cropping system. *Trans CSAE* (农业工程学报), 2006, 22(7): 48–51 (in Chinese with English abstract)
- [18] Bu Y-S(卜玉山), Miao G-Y(苗果园), Zhou N-J(周乃健), Shao H-L(邵海林), Wang J-C(王建程). Analysis and comparison of the effects of plastic film mulching and straw mulching on soil fertility. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2006, 39(5): 1069–1075 (in Chinese with English abstract)
- [19] Zhao Y-W(赵言文), Ding Y-F(丁艳峰), Chen L-G(陈留根), Huang P-S(黄丕生). Physiological characteristic of drought resistance of rice dry nursery seedlings. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2001, 34(3): 283–291 (in Chinese with English abstract)
- [20] Yu L-H(于林惠), Ding Y-F(丁艳峰), Xue Y-F(薛艳凤), Ling Q-H(凌启鸿), Yuan Z-H(袁钊和). Factors affecting rice seedling quality of mechanical transplanting rice. *Trans CSAE* (农业工程学报), 2006, 22(3): 73–76 (in Chinese with English abstract)
- [21] Wen H-N(温怀楠), Zhao J-P(赵建平), Zhao W-M(赵伟明), Mao G-J(毛国娟). Rooting advantage of rice seedling nursed by dry-nursing and its impact on characteristics of growth and development of aerial part. *J Zhejiang Agric Sci* (浙江农业科学), 2000, (1): 1–5 (in Chinese with English abstract)
- [22] Tong F-D(童富淡), Hu J-S(胡家恕), Chen J-H(陈进红), Zhao G-P(赵国平). Effect of the different methods of rice nursery on activity of superoxide dismutase, ion leakage of rice leaves and root growing power. *J Zhejiang Agric Univ* (浙江农业大学学报), 1997, 23(6): 682–686 (in Chinese with English abstract)
- [23] Chen D-C(陈德春), Yang W-Y(杨文钰), Ren W-J(任万军). Effect of level spatial distribution of seedling on dynamics of rice population and the light transmittance rate of canopy and panicle characteristics. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2007, 18(2): 359–365 (in Chinese with English abstract)