

# 一次性全层施用控释肥对水稻根系形态发育及抗倒伏能力的影响

唐拴虎<sup>1,2</sup>, 徐培智<sup>1</sup>, 张发宝<sup>1</sup>, 陈建生<sup>1</sup>, 谢春生<sup>1</sup>

(1 广东省农业科学院土壤肥料研究所, 广东广州 510640;

2 华南农业大学资源环境学院肥料与平衡施肥研究室, 广东广州 510642)

**摘要:** 通过盆栽试验、网箱栽培试验研究了一次性全层施用控释肥对水稻根系形态发育及抗倒伏能力的影响。结果表明, 采用等养分量的自研控释肥一次性施用(BNCRF)和国产包膜尿素复混肥一次性施用(BRCU)处理收获期根系重量比专用肥分次施用[SNRSF(ck)]处理分别增加 26.56%~35.24% 和 17.99%~37.35%, 比专用肥一次性施用(BNRSF)处理分别增加 14.57%~23.24% 和 7.52%~24.34%; 根系体积比 SNRSF 处理分别增加 13.94%~41.77% 和 19.02%~21.40%, 比 BNRSF 处理分别增加 3.99%~26.54% 和 9.40%~16.40%; 根系的深层分布比例、根深指数和茎基部都明显大于 SNRSF 处理。采用低钾含量的国产磷酸铵镁包膜控释肥(BLCRF)处理, 其促根壮茎效果虽逊于高钾含量的 BNCRF 和 BRCU 处理, 但收获期的根系重量仍较高钾含量的 SNRSF 处理增加 10.16%~16.84%。说明一次性全层施用控释肥能明显促进水稻的根系生长发育, 增加深层根数量, 显著改善抗倒伏能力。

**关键词:** 水稻; 一次性全层施肥; 控释肥; 根系; 抗倒伏

中图分类号: S147.3

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2006)01-0063-07

## Influence of single basal application controlled-release fertilizer on morphologic development of root system and lodging resistance of rice

TANG Shuan-hu<sup>1,2</sup>, XU Pei-zhi<sup>1</sup>, ZHANG Fa-bao<sup>1</sup>, CHEN Jian-sheng<sup>1</sup>, XIE Chun-sheng<sup>1</sup>

(1 Soil and Fertilizer Research Institute, Guangdong AAS, Guangzhou 510640, China; 2 Fertilizer and Balanced Fertilization Laboratory, College of Natural Resources and Environment Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** Previous studies have proved that root system development, which is directly related to fertilizer management, significantly affects the lodging resistance and grain yield of rice. However, no report regarding the influence of controlled-release fertilizers (CRF) on rice root-system development has been found so far. Pot trials with 6 fertilization treatments and cylinder trials with 5 fertilization treatments were conducted using 3 CRFs as experiment materials in 2003 to investigate the effects of single application of controlled-release fertilizer on root system morphologic development of and lodging resistance of rice. Result showed that two controlled-release fertilizer treatments with single basal application of Nongke controlled-release fertilizer (BNCRF) and bulk blend fertilizer with resin coated urea (BRCU), increased root dry weight by 26.56%—35.24% and 17.99%—37.35% respectively compared to 4 split application of Nongke rice-specific fertilizer (SNRSF), 14.57%—23.24% and 7.52%—24.34% respectively compared with single application of rice-specific fertilizer BNRSF. In addition, BNCRF and BRCU increased root volume by 13.94%—41.77% and 19.02%—30.42% compared to SNRSF, 3.99%—26.54% and 9.40%—16.40% compared to BNRSF, respectively. In comparison with the SNRSF, the proportion of deep root distribution, root depth index and diameter of basal stem in BNCRF and BRCU treatment are much higher. The effects of single basal application of controlled-release fertilizer with MgNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub> coated (BLCRF) were not as significant as BNCRF and BRCU on benefiting the development of root system

收稿日期: 2004-12-10

修改稿收到日期: 2005-04-06

基金项目: 广东省重大科技专项项目(A20405); 广东省自然科学基金项目(04002098)资助。

作者简介: 唐拴虎(1966—), 男, 陕西岐山人, 硕士, 副研究员, 主要从事植物营养与新型肥料研究。

and stem probably due to its lower K rate. However, BLCRF still increased dry root weight by 10.16%—16.84% compared to SNRSF with high K rate. It was concluded that single basal application of CRFs significantly promoted the development of rice root system, obviously multiplied root mass in deep layer, thus improved lodging resistance.

**Key words:** rice; single basal application; controlled-release fertilizer; root system; lodging resistance

水稻属于浅根性作物,大约 60%~80% 的根系分布于土壤上层 0—10cm 范围内<sup>[1]</sup>。近年来有关研究指出,常规产量水平下,上层根数量与产量显著相关;但要达到高产或超高产水平,下层根系则发挥着重要作用<sup>[2-4]</sup>。因此,培育数量大、分布深广的根系是增强水稻高产稳产性能的关键环节。

施肥是维持水稻高产不可缺少的重要措施,它不仅显著影响水稻地上部生长,也能明显改变根系发育。近 20 年来,大量研究表明肥料种类、施肥量、施肥方式及施肥时期对根系数量、长短粗细、空间分布及生理功能均具有重要影响<sup>[1,5-7]</sup>。

控释肥具有养分有效供应期长、利用率高等突出特点,生产上使用控释肥能明显减少施肥次数、降低肥料用量,减轻养分流失对环境的污染<sup>[8-9]</sup>,因此,该类肥料现已成为国内外植物营养与肥料科学研究的热点。在水稻控释肥研究方面,目前有关的报道主要集中于养分释放动态、产量效应、经济效益比较等<sup>[10-14]</sup>,而有关控释肥对水稻根系发育影响的系统研究则未见报道。近年来,我们在控释肥多点试验示范中发现,水稻一次性全层施用控释肥极少倒伏,意味着控释肥一次性全层施用能改善水稻根系发育状况,增强抗倒伏能力。为此,于 2003 年早、晚稻采用盆栽试验、网箱栽培试验研究了一次性全层施用控释肥对水稻根系发育的影响,为控释肥在大田生产中推广应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 盆栽试验

试验于 2003 年在广东省农科院土肥所网室进行。供试土壤早稻采自中山市三角镇稻田,晚稻采自肇庆市永安镇稻田,均为赤红壤水稻土。早稻供试土壤基本化学性状为 pH 6.8,有机质 11.0 g/kg,碱解氮 50.3mg/kg,有效磷 17.4 mg/kg,速效钾 119.6 mg/kg,有效硫 138.0 mg/kg,交换性钙 2219.9 mg/kg,交换性镁 284.7 mg/kg。晚稻土壤为 pH 6.1,有机质 14.7 g/kg,碱解氮 71.3 mg/kg,有效磷 67.4 mg/kg,速效钾 39.0 mg/kg,有效硫 32.6 mg/kg,交换性钙 3437.5 mg/kg,交换性镁 176.8 mg/kg。试验前将土壤全部粉碎并过 5 mm 筛。试验用盆口径为 30

cm,每盆盛土 12 kg,盆底钻有微孔,以使少量水分排出。供试水稻品种为粤香占。早稻 3 月 25 日播种,4 月 7 日移栽,7 月 14 日收获;晚稻 8 月 5 日播种,8 月 16 日移栽,11 月 26 日收获。两季试验每盆均植 4 穴,每穴 2 苗。

试验设 6 个处理,即:1)水稻专用肥分次施用(SNRSF,对照);2)水稻专用肥一次性施用(BNRSF);3)自研控释肥一次性施用(BNCRF);4)国产磷酸铵镁包膜控释肥一次性施用(BLCRF);5)国产包膜尿素复混肥一次施用(BRCU);6)不施肥(NF)。其中,国产磷酸铵镁包膜控释肥氮磷钾含量为 20-6-10,其它肥料均为 23-7-20(各控释肥养分释放特性见参考文献[15-16])。每盆施氮量按 1.6 g 计算(相当于 N 225 kg/hm<sup>2</sup>),磷、钾肥按养分比例施入。一次性施肥处理在水稻移栽前 1 d 将全部肥料均匀混施于土壤上层 10 cm 范围内;分次施肥处理于移栽前 1 d(基肥)和移栽后 5、10、25 d(追肥)分 4 个时期施肥。基肥施于土层 10 cm 范围内;追肥施于土壤表面,各期施肥量分别占 30%、20%、30%和 20%,施肥时期与广东传统施肥相同。早稻共设置 10 个重复,其中 6 个重复用于移栽后 35 d(分蘖末期)、65 d(孕穗期)取样测定,各期分别取 3 个重复;其余 4 个重复用于收获期取样测定与考种。晚稻共设置 12 个重复,其中 6 个重复用于移栽后 35 d(分蘖末期)、65 d(抽穗初期)取样测定,各期取 3 个重复;其余 6 个重复用于收获期取样测定与考种。

### 1.2 网箱栽培试验

试验于 2003 年采用钢丝网隔层箱进行。网箱由直径 20 cm、高度 50 cm 的 PVC 管内置固定钢丝网的钢筋框架构成。其中,钢筋框架的高度 45 cm,其上层 25 cm 每隔 5 cm 固定一层钢丝网,下层 20 cm 从中间用网隔开。网箱内装土高度为 40 cm,水稻秧苗栽植于第一层底部。每箱栽植 1 苗。供试土壤同盆栽试验。

试验设 5 个处理,即:1)水稻专用肥分次施用(SNRSF、对照);2)水稻专用肥一次性施用(BNRSF);3)自研控释肥一次性施用(BNCRF);4)国产包膜尿素复混肥一次施用(BRCU);5)不施肥(NF)。各施肥处理氮磷钾配比均为 23-7-20。每箱

施氮 0.706 g(相当于 N 225 kg/hm<sup>2</sup>),其中,一次性施肥处理在水稻移栽前 1 d 将全部肥料均匀混施于土壤上层 15 cm 范围内;分次施肥处理分移栽前 1 d(基肥)和移栽后 5、10、25 d(追肥)4 个时期施肥,基肥施于土层 15 cm 范围内,追肥施于土壤表面,各期施肥量分别占 30%、20%、30%和 20%。早、晚稻分别设置 6 个和 9 个重复,于移栽后 35 d(分蘖末期)、65 d(孕穗期)和收获期分别取样冲洗根系,考察各层次根系分布,各期取样重复数相同。

### 1.3 测定项目

**根系体积与重量:**将根系冲洗干净后,采用排水法测定体积,然后烘干测定根干重。

**根系分布比例:**将冲洗干净的根系分层取样,烘干,称重,然后计算各层根系占总根系重量的百分比。

**根深指数:**按小柳敦史提供的方法计算<sup>[16]</sup>,计算公式为:

根深指数(cm) =  $\sum$ (各层次平均深度(cm) × 该层次根系干重占总根重的百分比)

**茎基部粗度:**用游标卡尺测定每株各茎基部第

二节的节间粗度,计算平均值即为茎基部粗度。

## 2 结果与分析

### 2.1 根系重量变化动态

表 1 表明不同施肥处理对水稻根系重量具有显著影响。早稻控释肥 BNCRF 和 BRCU 处理的根系重量显著大于其他处理,收获期较对照 SNRSF 处理分别增加 35.24% 和 17.99%,较 BNRSF 处理也增加 23.24% 和 7.52%;控释肥 BLCRF 处理根系重量在移栽后 65 d 与专用肥 SNRSF 和 BNRSF 处理无差异,但至收获期则分别增加 16.84% 和 6.47%。晚稻移栽后 35 d 的根系重量以 BNCRF 处理最大,BRCU 处理在各施肥处理中最小;但至移栽 65 d 后 BNCRF 和 BRCU 处理均明显大于其它处理,其中,收获期二者根系重量较 SNRSF 处理分别增加 26.56% 和 37.35%,较 BNRSF 处理也分别增加 14.57% 和 24.34%;BLCRF 处理根系重量在移栽后 65 d 显著低于两专用肥处理,收获期与 BNRSF 处理相当,较 SNRSF 处理仍增加 10.16%。

表 1 不同施肥处理水稻根系的干重差异

Table 1 Dry weight of rice root system in relation to different fertilization treatments (g/hill)

处理 Treatments	早稻* Early rice		晚稻 Late rice		
	65 DAT	HVT	35 DAT	65 DAT	HVT
SNRSF(CK)	3.774 ± 0.503 b	3.902 ± 0.068 c	1.918 ± 0.144 c	4.971 ± 0.328 b	3.938 ± 0.460 b
BNRSF	3.827 ± 0.437 b	4.282 ± 0.047 bc	2.155 ± 0.174 b	5.563 ± 0.577 a	4.350 ± 0.441 b
BNCRF	5.056 ± 0.654 a	5.277 ± 0.098 a	2.408 ± 0.296 a	5.521 ± 0.479 a	4.984 ± 0.494 a
BLCRF	3.807 ± 0.424 b	4.559 ± 0.099 b	1.999 ± 0.121 bc	4.353 ± 0.479 c	4.338 ± 0.542 b
BRCU	4.945 ± 0.600 a	4.604 ± 0.414 b	1.746 ± 0.221 c	5.694 ± 0.306 a	5.409 ± 0.326 a
NF	3.957 ± 0.582 b	3.461 ± 0.361 c	1.288 ± 0.147 d	3.094 ± 0.217 d	2.074 ± 0.338 c
LSR <sub>0.05</sub>	0.584	0.505	0.201	0.366	0.585

注(Note): DAT 移栽后天数 Days after transplanting; HVT 收获 Harvesting; SNRSF 水稻专用肥分次施用 Split application of Nongke rice-specific fertilizer; BNRSF 水稻专用肥一次性施用 Single basal application of Nongke rice-specific fertilizer; BNCRF 自研控释肥一次性施用 Single basal application of Nongke controlled-release fertilizer; BLCRF 国产磷酸铵镁包膜控释肥一次性施用 Single basal application of controlled-release fertilizer with MgNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub> coated; BRCU 国产包膜尿素复混肥一次性施用 Single basal application of bulk blend fertilizer with resin coated urea; NF 不施肥 No fertilizer; 下同 Same as follows.

\* 早稻移栽后 35 d 未测定根系重量。Root weight was not measured at 35 DAT.

### 2.2 根系体积发育动态

图 1a 表明,早稻移栽后 35 d 两个专用肥处理 BNRSF 和 SNRSF 的根系体积相对较高,BRCU 处理根系体积明显小于其他处理;至移栽后 65 d 控释肥 BNCRF 和 BRCU 处理根系体积急剧增加,显著高于其他处理,BNRSF、SNRSF 和 BLCRF 处理间无差异,但明显高于 NF 处理;收获期 BNCRF、BRCU 和 BLCRF 处理根系体积明显大于两专用肥处理,较对

照 SNRSF 处理分别增加 41.77%、30.42% 和 21.40%,较 BNRSF 处理也分别增加 26.54%、16.40% 和 8.34%。

图 1b 表明,在晚稻 3 个测定时期,BNCRF、BNRSF、BRCU 处理根系体积明显大于对照 SNRSF 处理,收获期前三者较后者处理分别增加 13.94%、8.64% 和 19.02%,同时,BNCRF 和 BRCU 处理根系体积较 BNRSF 处理也分别增加了 3.99% 和 9.40%。

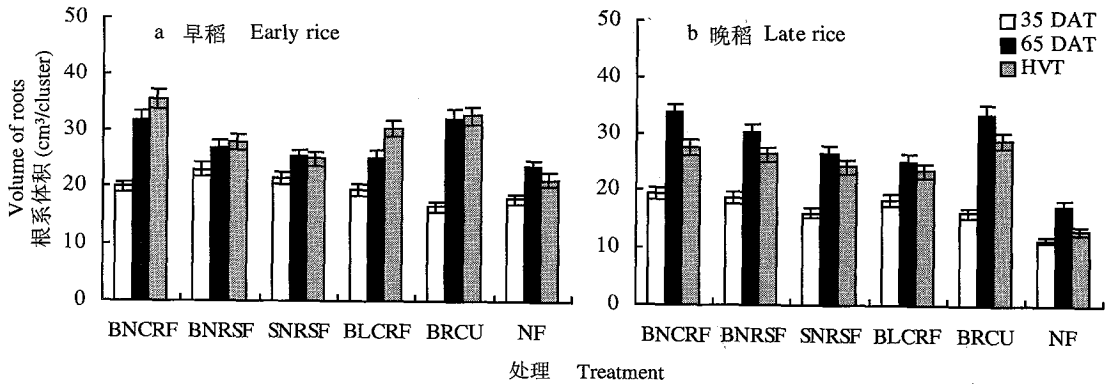


图1 不同施肥处理水稻根系体积变化动态

Fig.1 Volume dynamic of rice root system in relation to different fertilization treatments

低钾含量的控释肥 BLCRF 处理在水稻生长中后期的根系体积明显低于高钾肥料一次施用的各处理, 仅与对照 SNRSF 处理相当。

2.3 一次性全层施肥对水稻根系分布的影响

图2表明,早稻在移栽后35 d内根系分布深度仅在0—30 cm范围内,其中0—10 cm范围内分布的根系除NF处理为79.07%外,其他处理均大于86%。至移栽后65 d,各处理水稻根系在0—10 cm

范围内的分布比例均降至60%~70%,而10 cm以下各层次根系的分布比例均有明显增加,说明在移栽后35~65 d根系分布的深度、广度都有明显增加,其中20 cm以下层次3个一次性施肥 BNCRF、BNRSF 和 BRCU 处理的根系分布比例均大于10%,而SNRSF 和 NF 处理根系分布均不足10%。收获期,土层0—10 cm分布的根系比例以 BNCRF 处理较小,为62.76%,其他处理均占到65%~67%;10

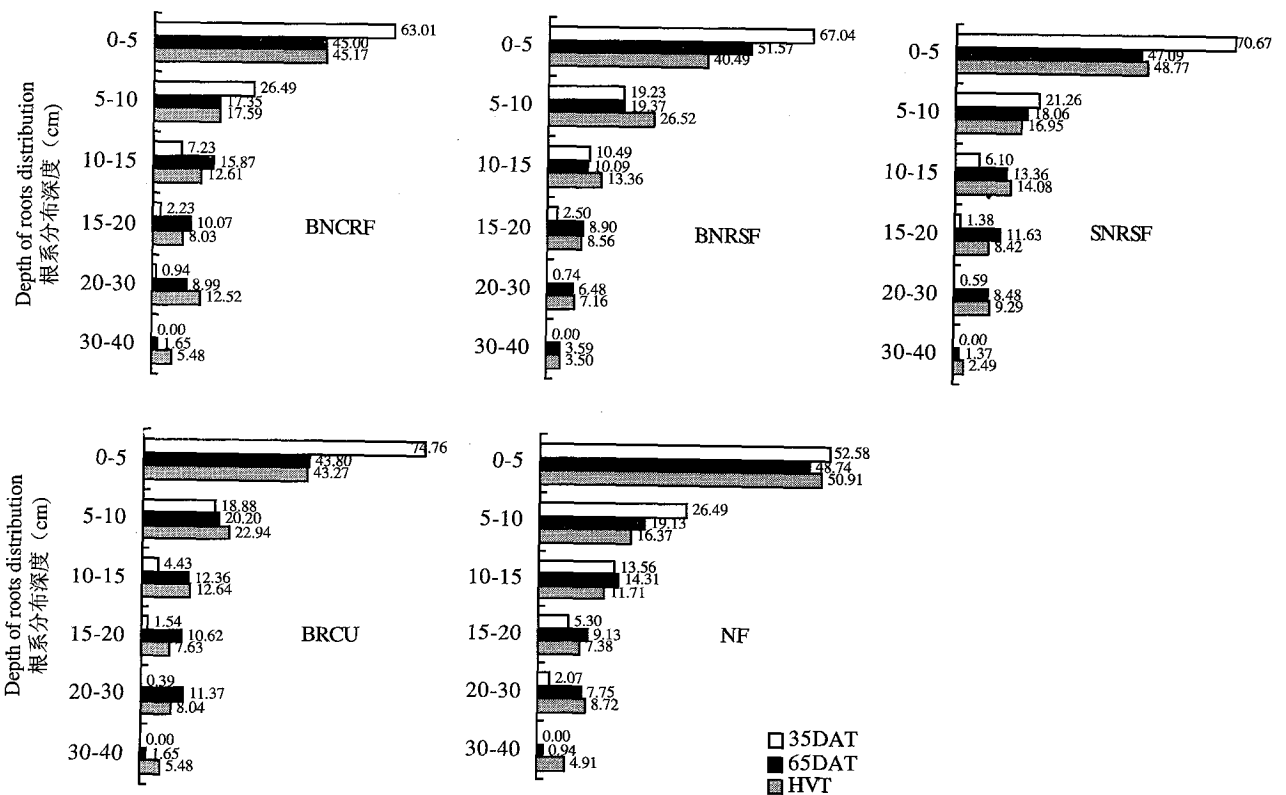


图2 不同施肥处理早稻各层次根系干重占总根重的百分比

Fig.2 Distributing percentage of root dry weight in various soil layers in relation to different fertilization treatments in early rice

—20 cm 分布的根系各处理间均介于 19%~22%; 20cm 以下的根系以 BNCRF 处理最多, 达到 16.60%, BRCU 和 NF 处理次之, 为 13.5%, 两专用肥 BNRSF 和 SNRSF 处理均不足 12%; 30 cm 以下层次 SNRSF 处理根系分布比例明显小于其它处理。说明移栽后 65 d 至收获期, 根系仍继续向土壤深层分布, 其中 BNCRF 和 BRCU 处理根系在土壤深层分布更多, 而对照 SNRSF 处理不利于深层根系发育。

图 3 看出, 晚稻在移栽后 35 d 内根系分布深度也仅在 0—30 cm 范围内, 其中 0—10 cm 根系的分布比例各处理间差异悬殊, 以对照 SNRSF 处理最多, 占 81.00%, BNRSF 处理最少, 占 69.00%, BNCRF、

BRCU 和 NF 处理介于 71%~75% 之间。移栽后 65 d, 各处理 0—5 cm 根系分布比例明显增加, 而 5—20 cm 均显著降低, 其中 SNRSF 处理在 10—20 cm 层次的根系分布比例明显小于其它处理。收获期, 3 个一次性施肥处理 0—5 cm 土层根系的分布比例较前期明显降低, 而 SNRSF 和 NF 处理仅降低约 2%; 10 cm 以下层次各施肥处理的根系均增加。说明在移栽后 65 d 至收获期各施肥处理水稻根系分布的深度、广度均有增加; 同时, 该阶段 SNRSF 处理在 30 cm 以下分布的根系明显小于其它处理, 也说明该处理不利于根系向土壤深层发育。

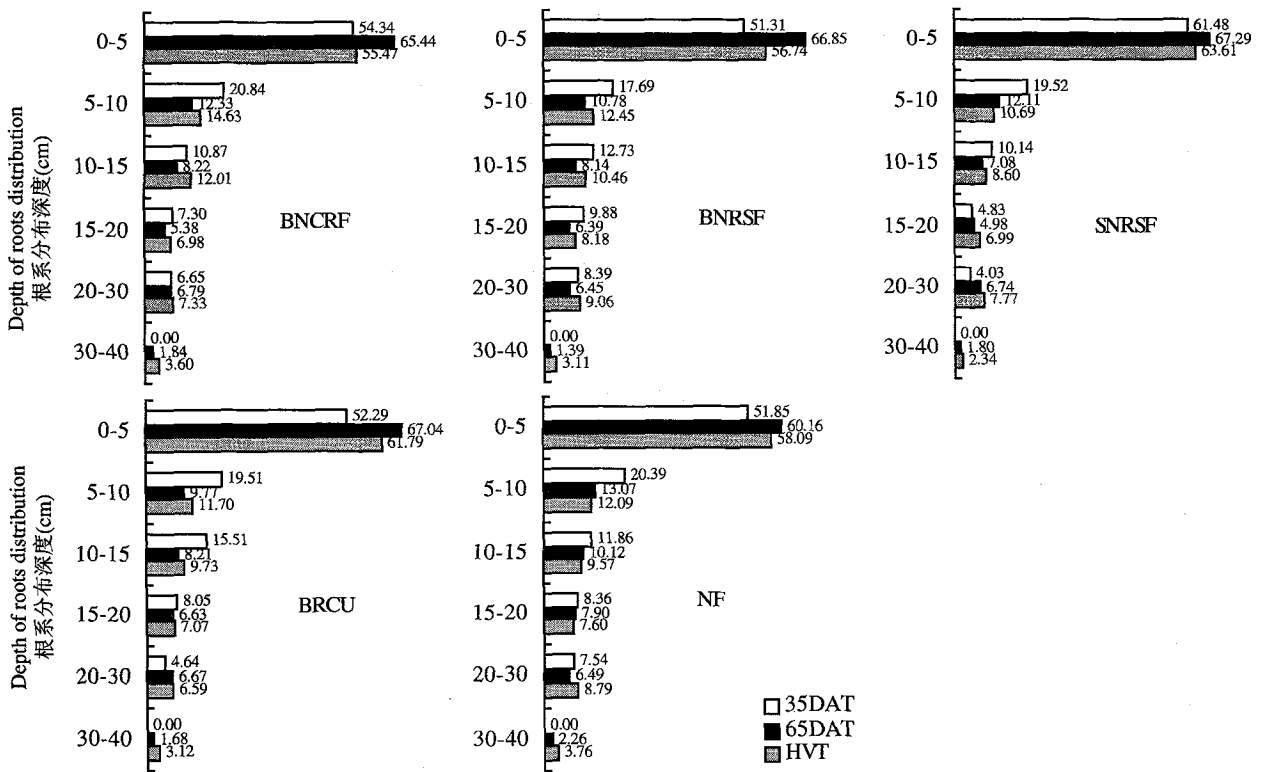


图 3 不同施肥处理晚稻各层次根系干重占总根重的百分比

Fig.3 Distributing percentage of root dry weight in various soil layers in relation to different fertilization treatments in late rice

#### 2.4 不同施肥处理对水稻茎根比和根深指数的影响

在不施肥(NF)情况下, 由于各生育期地上部生物量均较小, 所以各期的茎根比均较低。各施肥处理中, SNRSF 处理在水稻生长的前、中、后期的茎根比均显著高于等施肥量的一次性施肥处理(表 2)。说明一次性施肥处理具有较强的抗倒伏能力, 而分次施肥处理抗倒伏能力相对较弱。

根深指数(Root depth index)是近年提出的评价水稻抗根倒伏的重要指标, 它反映了根系重心的深浅, 该值越大表示根系重心越深, 抗根倒伏能力越强。表 2 表明, 早、晚稻收获期一次性施肥处理根深指数均明显大于 SNRSF 处理, 说明一次性施肥处理水稻根系重心较深, 抗根倒伏能力强; 而在一次性施肥处理中, 早稻 BNCRF 和 BRCU 处理根深指数显著大于 BNRSF 处理, 晚稻则相反。

表2 不同施肥处理对水稻茎根比和根深指数的影响

Table 2 The affect of different fertilization treatments on ratio of shoot/root and root dept index of rice

处理 Treatments	早稻 Early rice			晚稻 Late rice		
	35 DAT	65 DAT	HVT	35 DAT	65 DAT	HVT
	茎根比 Shoot/Root ratio					
SNRSF(CK)	7.307	10.119	15.089	4.680	11.545	14.657
BNRSF	6.770	9.095	12.539	3.771	10.106	12.724
BNCRF	6.177	8.298	13.624	3.751	9.239	13.036
BRCU	7.021	7.351	13.123	3.603	8.729	11.217
NF	5.712	8.970	12.534	3.660	10.565	11.708
	根深指数 Root depth index (cm)					
SNRSF(CK)	4.51	8.84	8.92	6.12	6.66	7.45
BNRSF	5.05	8.44	9.19	8.03	6.71	8.44
BNCRF	5.11	9.37	9.98	7.22	6.87	8.30
BRCU	4.21	9.43	9.65	7.28	6.85	7.62
NF	6.44	8.31	9.15	7.66	7.55	8.41

### 2.5 不同施肥处理对茎基部粗度的影响

茎基部粗度也是衡量水稻抗茎倒伏能力的重要指标,茎基部粗壮,则该部位机械组织发达,抗倒伏能力强<sup>[17]</sup>。表3看出,不同施肥处理对水稻茎基部粗度有显著影响。在等养分量的 SNRSF、BNRSF、BNCRF 和 BRCU 4 个处理中,一次性施肥处理茎基

部粗度均显著大于分次施肥处理,其中 BNCRF 和 BRCU 处理表现更为突出。高钾含量肥料一次性施用处理(包括 BNRSF、BNCRF 和 BRCU)均显著大于低钾含量的 BLCRF 处理,后者茎基部粗度与采用高钾的 SNRSF 处理略同。

表3 不同施肥处理的水稻植株茎基部粗度

Table 3 The diameter of basal stem of rice in relation to different fertilization treatments

处理 Treatments	早稻 Early rice		晚稻 Late rice	
	茎基部粗度 (mm) Diameter of basal stem	较对照增减 (%) Compare with CK	茎基部粗度 (mm) Diameter of basal stem	较对照增减 (%) Compare with CK
SNRSF(CK)	4.60 ± 0.04 d	—	4.30 ± 0.06 c	—
BNRSF	4.68 ± 0.04 c	1.74	4.60 ± 0.10 b	6.98
BNCRF	5.03 ± 0.05 a	9.35	4.85 ± 0.06 a	12.79
BLCRF	4.56 ± 0.04 d	-0.87	4.30 ± 0.04 c	0
BRCU	4.85 ± 0.04 b	5.43	4.71 ± 0.11 b	9.53
NF	4.45 ± 0.06 e	-3.26	4.15 ± 0.05 d	-3.49
LSR <sub>0.05</sub>	0.058		0.126	

## 3 讨论

庞大的根系源于良好的土壤营养环境,也是地上部旺盛生长的信息反馈。以往的研究表明,采用深层施肥或普通肥料一次性全层施用能增加水稻根系数量<sup>[6,19-21]</sup>。本研究也表明,在等养分用量情况下所有一次性全层施肥处理的水稻在生长中后期的根系干重和体积均显著高于专用肥分次施用处理。但是,在一次性全层施肥情况下,控释肥处理的根系干重与体积均高于或显著高于专用肥处理,说明一

次性全层施用控释肥比专用肥能更显著地改善根际营养环境,有利于根系特别是中后期根系的生长发育。这也可以从低钾含量的控释肥 BLCRF 处理和高钾含量的 BNRSF 处理的根系比较中得到验证。

根系分布研究表明,早、晚稻收获期一次性全层施肥处理的水稻根系比例在表层 0—5 cm 范围内均小于分次施肥 SNRSF 处理,而 30 cm 以下层次则比 SNRSF 处理增加近 50% 以上。说明一次性全层施肥处理能促进水稻根系向土壤深层分布,显著降低了茎根比,增加了根深指数,增强了水稻的抗倒伏能

力,同时,这些多在生长后期发育的深层根系拓展了根系吸收营养的范围,可能对提高结粒数,增加产量发挥了重要作用。

本研究结果还表明,采用高钾含量控释肥的水稻茎基部粗度显著大于低钾含量控释肥。然而,在等养分量下,一次性施用控释肥的水稻茎粗均明显大于专用肥处理,说明控释肥一次性全层施用在提高水稻抗茎倒伏能力方面具有重要作用。

### 参 考 文 献:

- [1] 川田信一郎(申延秀,刘执钧,彭望璋译). 水稻的根系[M]. 北京:农业出版社,1984. 107-116.  
Kawata S (Shen Y X, Liu Z J, Peng W Y, Translation). Root system of rice [M]. Beijing: Agricultural Press, 1984. 107-116.
- [2] Kawata S, Soejima M, Yamazaki K. The superficial root formation and yield of hulled rice[J]. Jpn. J. Crop Sci., 1978, 47 (4): 617-628.
- [3] 郑景生,林文,姜照伟,李义珍. 超高产水稻根系发育形态学研究[J]. 福建农业学报,1999,14(3):1-6.  
Zheng J S, Lin W, Jiang Z W, Li Y Z. Root developmental morphology for super high yielding rice[J]. Fujian J. of Agri. Sci., 1999, 14 (3): 1-6.
- [4] 朱德峰,林贤青,曹卫星. 水稻深层根系对生长和产量的影响[J]. 中国水稻科学,2001,34(4):429-432.  
Zhu D F, Lin X Q, Cao W X. Effects of deep roots on growth and yield in two rice varieties[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2001, 34 (4):429-432.
- [5] 陈际型. 钾素营养对水稻根系生长和养分吸收的影响[J]. 土壤学报,1997,34(2):183-188.  
Chen J X. Effect of K nutrition on rice root growth and nutrient uptake [J]. Acta Pedologica Sinica. 1997,34(2):183-188.
- [6] 林文,李义珍,郑景生,姜照伟. 施氮量及施肥法对水稻根系形态发育和地上部生长的影响[J]. 福建稻麦科技,1999,17(3):21-24.  
Lin W, Li Y Z, Zheng J S, Jiang Z W. Effect of rate and method of nitrogen application on the root development and shoot growth of rice [J]. Fujian Rice and Wheat Science, 1999, 17(3): 21-24.
- [7] 董桂春,王余龙,吴华,等. 水稻主要根系性状对施氮时期反应的品种间差异[J]. 作物学报,2003,29(6):871-877.  
Dong G C, Wang Y L, Wu H *et al.* Varietal differences in response of main root traits to nitrogen application time in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(6): 871-877.
- [8] Trenkel M E. Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture [M]. IFA. 1997.
- [9] Tohoku Branch of Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition. Growth characteristics of the representative crops and the use of controlled availability fertilizer (the present and future situations)—The way to the labor saving and high yield cultivation with special reference to environmental problems[J]. Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 1997, 68(2):209-16.
- [10] Wada G, Aragonés R C, Ando H. Effect of slow release fertilizer (meister) on the nitrogen uptake and yield of the rice plant in the tropics[J]. Jpn. J. Crop Sci., 1991,60(1): 101-106.
- [11] Sato T, Shibuya K, Saigusa M *et al.* Single basal application of total nitrogen fertilizer with controlled-release coated urea on non-tilled rice culture[J]. Jpn. J. Crop Sci., 1993, 62 (3): 408-413 (in Japanese).
- [12] Fu J R, Zhu Y H, Jiang L N. Use of controlled release fertilizer for increase N efficiency of direct seeding rice[J]. Pedosphere, 2001, 11(4): 333-339.
- [13] 郑圣先,聂军,熊金英,等. 控释肥料提高氮素利用率的作用及对水稻效应的研究[J]. 植物营养与肥料学报,2001,7(1):11-15.  
Zheng S X, Nie J, Xiong J Y *et al.* Study on role of controlled release fertilizer in increasing the efficiency of nitrogen utilization and rice yield[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001, 7(1): 11-15.
- [14] Kumar S, Tripathi P N, Singh R. Evaluation of some modified urea fertilizers for transplanted rice (*Oryza sativa*) [J]. Indian Journal of Agricultural Sciences, 1999, 69(3): 230-231.
- [15] 唐拴虎,谢春生,孙小文,等. 水稻施用控释肥料生长效应研究[J]. 中国农学通报,2004,20(1):149-151.  
Tang S H, Xie C S, Sun X W *et al.* Effects of controlled-release fertilizers on rice growth [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin. 2004, 20(1): 149-151.
- [16] 唐拴虎,陈建生,徐培智,等. 控释肥料氮素释放与水稻吸收动态研究[J]. 土壤通报,2004,35(2):186-190.  
Tang S H, Chen J S, Xu P Z *et al.* Nitrogen release and dynamic of controlled-release fertilizer studied with rice[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35(2): 186-190.
- [17] Oyanagi A. A new approach to crop root system with quantitative analysis of the root depth[J]. Jpn. J. Crop Sci. 1998,67(1): 3-10.
- [18] 凌启鸿,张洪程,苏祖芳,凌励. 水稻叶龄模式[M]. 北京:科学出版社,1994. 191-195.  
Ling Q H, Zhang H C, Su Z F, Ling L. Leaf-age model of rice [M]. Beijing: Science Press, 1994. 191-195.
- [19] 石岩,于振文,位东斌,余松烈. 施肥深度对旱地小麦花后根系干重及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2000,18(1):38-42.  
Shi Y, Yu Z W, Wei D B, Yu S L. Effects of fertilizer application depth on the dry weight of root system after anthesis and yield in dry land wheat [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2000, 18 (1): 38-42.
- [20] 邹应斌,黄见良,屠乃美,等. “旺壮重”栽培对双季杂交稻产量形成及生理特性的影响[J]. 作物学报,2001,27(3):343-350.  
Zou Y B, Huang J L, Tu N M *et al.* Effects of the VSM cultural method on yield formation and physiological characteristics in double cropping hybrid rice [J]. Acta Agronomica Sinica, 2001, 27(3): 343-350.
- [21] 李方敏,樊小林,陈文东. 控释肥对水稻产量和氮肥利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(4): 494-500.  
Li F M, Fan X L, Chen W D. Effects of controlled release fertilizer on rice yield and nitrogen use efficiency [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(4): 494-500.