

## 机插稻育秧床土的培肥效应研究

张祖建<sup>1</sup> 于林惠<sup>2,3</sup> 王君<sup>1</sup> 郎有忠<sup>1</sup> 薛艳凤<sup>3</sup> 朱庆森<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>扬州大学/江苏省作物遗传生理重点实验室,江苏扬州 225009; <sup>2</sup>南京农业大学农学院,江苏南京 210095; <sup>3</sup>江苏省农业机械推广中心,江苏南京 210024)

**摘要:** 床土培肥是培育水稻机插秧苗的首要措施。在不同类型床土条件下对培肥水平与床土速效氮磷钾增加的关系及育秧过程中的肥力消耗进行了分析。结果表明,通过添加速效肥料进行床土培肥,随培肥量增加床土速效氮磷钾含量迅速增加,速效氮的增加呈指数关系,高培肥处理的增幅大于低培肥处理,丘陵土的增加快于冲积土;速效磷含量随培肥水平的提高直线上升,床土类型间有显著差异,丘陵土快于冲积土;速效钾的增加趋势与速效磷相似,但增速在不同床土间几近相同。育秧过程中速效养分的消耗也各具特点,总的趋势是高培肥水平下高消耗,速效氮消耗快于速效磷和速效钾。一定肥力范围内,秧苗株高和地上部干物质随床土培肥水平的升高而增加,通过床土培肥措施可以有效地调控秧苗株高。但根/冠比随培肥水平增加而下降。只有在合适的肥力指标范围内,才能育成适宜形态和地上、地下部生长均衡的健壮机插秧苗。

**关键词:** 机插水稻;育秧;床土;肥力;秧苗质量

**中图分类号:** S511

## Effect of Seedbed Soil Fertilizing for Mechanical Transplanting Rice Seedling

ZHANG Zu-Jian<sup>1</sup>, YU Lin-Hui<sup>2,3</sup>, WANG Jun<sup>1</sup>, LANG You-Zhong<sup>1</sup>, XUE Yan-Feng<sup>3</sup> and ZHU Qing-Sen<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Agricultural College, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu; <sup>2</sup> Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu; <sup>3</sup> Popularization Center of Agricultural Machinery of Jiangsu Province, Nanjing 210014, Jiangsu, China)

**Abstract:** Seedbed soil fertilizing is one of the key measures for raising mechanical transplanting rice seedling. The relationship of fertilizing levels to the increase of available N, P, K in seedbed soil and their uptake during seedling growth were analyzed, using alluvial soil and hill-paddy field soil as seedbed soil, fertilizing the seedbed soil with 10-10-5 compound fertilizer, with Wuyujing 3 as material. The results showed that contents of available N, P, K were increased quickly by application of inorganic fertilizer. The increase of available N exhibited an exponent curve, and was higher under high level of fertilization than under low level, and was faster in hill soil than in alluvial soil. Available P content was increased linearly with the increase of fertilizing level, there was significant difference between soil types, and the increased velocity in hill soil was more quickly than that in alluvial soil. The trend of increase in available K content was similar to that in P, but the difference of increased velocity between different types of soil was not significant. After the seedlings grew and consumed, the uptake of nutrients in seedlings was high under a higher fertilizing level of available N, P, K during raising. The available N in seedbed in all treatments was highly correlated with fertility level before fertilizing, indicating that the use of available N by seedling was affected by the fertility level of seedbed soil. The consumption of available P was increased linearly with the increase of the fertilizing levels, and significant difference was found among seedbed soil types. The consumption of available K was similar to that of available P, but it was consistent among different soil types. The seedling growth on various fertilizing levels was observed. The data showed that seedling height was increased while root/shoot ratio was reduced with the increase of the fertilizing level within a suitable range. From the above results, we can conclude that fertilizing the seedbed can increase available N, P, K contents rapidly, but the characteristics are different and closely related to the soil types. Only within the range of suitable fertilizing level, the strong seedlings with the suitable

基金项目: 农业跨越计划(2001-26)和国家粮食丰产科技工程(2004BA520A03)。

作者简介: 张祖建(1967-),男,江苏如皋人,副教授,博士,主要从事水稻栽培生理和环境生态研究。E-mail: zzj@yzu.edu.cn。

Received(收稿日期): 2005-08-15; Accepted(接收日期): 2005-12-15。

shape and root/shoot ratio for mechanical transplanting can be raised.

**Key words:** Mechanical transplanting rice; Seedling-raising; Seedbed soil; Soil fertility; Seedling quality

培育适宜秧龄的健壮秧苗是水稻机插秧成功的关键<sup>[1]</sup>,优质床土则是培育优良机插秧苗的前提条件<sup>[2-3]</sup>。机插秧苗秧龄小、密度高,秧苗生长的营养吸收和秧苗群体生长的生态条件与其他育秧方式均有不同,因而其他育秧方式的经验难以直接借鉴应用<sup>[4-6]</sup>,如何得到适于机插育秧的优质床土成为机插秧作技术的关键措施之一。关于机插秧床土培肥已有不少的资料,如日本等国早在20世纪80年代已有相当多的积累<sup>[1]</sup>,江苏省早期的单季稻机插工厂化育秧也曾对每盘床土氮肥培肥用量进行过探讨<sup>[7]</sup>。然而,我国现阶段普遍运用的机插育秧方式与国外以及过去的方式有很大的不同,就地取土培肥和露天育秧是目前较为通用的方法。因取土地域、土壤类型等不同,床土的质地和肥力水平也差异极大<sup>[8]</sup>。各地床土的培肥多凭经验,研究培肥措施对床土肥力水平及苗质影响的研究还不多见,更少有关适宜指标的分析。

本研究作为江苏省机插育秧技术系列研究的一部分,着重分析不同类型床土培肥处理对床土肥力的影响及育秧过程中床土肥力的耗损情况,并联系秧苗素质的变化,分析培育机插壮秧适宜的床土培肥指标,旨在提供对生产上床土培肥操作的指导性依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试品种与试验地点

试验于2004年在扬州大学实验农场实施,供试品种为武育粳3号,谷种千粒重为27.1 g。

### 1.2 试验条件

在播前20 d,取当地中上等地力的稻田表土,过筛后备用。

采用软盘育秧法。软盘为南通海安产240孔盘。秧床底板经多次上水验平,板面高低差不超过5 mm;床土厚度为2.5 cm(管水前)。

### 1.3 试验设置

试验设床土类型和床土培肥两个因素。供试床土有两类,即沿江长江冲积土(质地沙壤,简称冲积土)和丘陵下蜀黄土稻田土(质地黏壤,简称丘陵土),设N0、N1、N2、N3、N4、N5等6个培肥处理。N0为不培肥,N1~N5为每100 kg床土分别加200、400、

600、800、1 000 g复合肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=10:10:5,南化公司产复合肥)。土肥翻混3遍以上,再过筛,使其充分混匀。用塑料薄膜覆盖保湿防雨,成堆放置15 d以使肥料扩散。田间随机区组排列,重复3次。

秧田播种和管理:5月27日播种,落谷密度为每盘播(露白)芽谷150 g,播后撒薄层过筛床土覆盖,上平沟水,将床土完全湿透,覆盖塑料膜3 d,齐苗后揭膜。此后均上平沟水保持床土湿润。

## 1.4 取样与测定

1.4.1 土壤 在播种前和秧苗3.5叶移栽时,各取500 g左右样土,秧龄3.5叶期取5个样点,与秧苗取样同时进行。所取床土样本测定土壤的pH、速效氮、磷、钾。速效氮的测定采用碱解扩散法,速效磷的测定采用钼蓝比色法,速效钾含量测定采用火焰光度法<sup>[9]</sup>。

1.4.2 秧苗 在秧苗3.5叶适栽期(播后20 d),每个小区在秧盘上选择出苗均匀处3点切取秧块(10 cm × 10 cm),洗去根部土壤,细心剪去根系;将矮小苗剔除(苗高在平均苗高1/2以下者)计数成苗数,迅速置105℃烘箱30 min杀青,而后在80℃下烘至恒重称重,另取生长均匀的秧苗20株,计数秧苗不定根数。

## 2 结果与分析

### 2.1 培肥措施对床土肥力水平的影响

不同培肥处理,床土速效养分含量列于表1。供试的两类床土的基础肥力差异较大,冲积土速效

表1 供试床土不同培肥处理后土壤速效养分含量  
Table 1 The available N, P, K after soil fertilizing in different types of soil

床土种类 Type of soil	培肥处理 Fertilizing treatment	碱解氮 Available N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)
冲积土 Alluvium soil	0N	62.59	14.46	55.79
	1N	72.95	39.21	89.14
	2N	121.15	64.71	176.87
	3N	189.28	63.55	316.22
	4N	258.32	80.75	399.02
	5N	300.40	90.77	525.73
丘陵土 Hill soil	0N	119.08	18.21	173.97
	1N	172.81	43.34	245.38
	2N	190.69	71.41	360.77
	3N	342.49	91.64	467.54
	4N	409.81	127.17	541.49
	5N	505.80	136.01	726.52

氮、磷、钾含量分别为 62.59、14.46 和 55.79 mg/kg, 低于丘陵土的 119.08、18.21 和 173.97 mg/kg, 特别是速效氮和速效钾, 两类床土差异较大。床土养分含量随培肥水平的提高而升高, 最高培肥水平条件下, 冲积土床土速效氮、磷、钾养分含量分别达 300.40、90.77 和 525.73 mg/kg, 丘陵土床土则分别达 505.80、136.01 和 726.52 mg/kg。

进一步分析不同培肥水平下床土速效养分含量的变化趋势, 如图 1。床土培肥所用肥料为复合肥, 其氮磷钾有效成分均为速效无机肥, 故对床土 NPK 的作用可视同分别添加不同水平的速效无机 NPK。随培肥水平的提高, 床土速效氮含量成指数曲线趋势上升。可见在一定范围内, 较低水平的培肥对床土速效氮养分的增加效应并不显著, 床土本身具有一定的对外来速效氮的缓冲性, 这种缓冲性在较低

肥力水平的土壤(本试验的冲积土)上表现更为明显。随着培肥水平的提高, 这种缓冲作用逐渐变小, 床土速效氮含量在较高培肥水平条件下, 上升速率逐渐加快。

对速效磷的分析表明, 供试两种床土的基础速效磷水平接近, 但在同样的培肥处理下, 显示出不同的速效磷肥力增加特征。总体而言, 两种床土随培肥量的增加, 速效磷含量呈线性上升, 即通过培肥增加的速效磷量与培肥水平等比上升。但反应直线的斜率具明显差异, 显示出两种土壤供磷量的不同, 冲积土对速效磷的缓冲作用大于丘陵土, 在同样的培肥处理中速效磷含量上升较慢。

不同类型床土速效钾含量对培肥水平的反应趋势十分一致, 随培肥量的增加呈近似平行的直线上升, 表明两种床土的供钾特性相当一致。丘陵土的基础肥力速效钾水平高于冲积土, 但随培肥水平增加, 两者速效钾含量的增幅相近。另一方面, 冲积土床土速效钾含量处于相对较低水平, 经 400 g/kg 的培肥处理后, 其速效钾含量方接近于丘陵土的基础水平。可见, 在床土培肥过程中应注意这类床土的速效钾的补充。

综上所述, 肥力三要素反应特征各异, 且因床土类型有较大不同。

## 2.2 育苗期床土肥力水平的耗损状况

### 2.2.1 秧苗移栽适期床土肥力状况

机插秧苗播量大, 密度高, 一般在 3 叶 1 心为移栽适期, 秧苗需生长 18~20 d 左右。对这一时期各处理床土肥力水平的测定结果如图 2。经过秧苗的生长消耗后, 处理间床土的速效氮、磷、钾的差异变小。速效氮已基本不存在显著的处理间差异, 均回复至近似培肥前的基础肥力水平, 冲积土为 60 mg/kg 左右, 丘陵土为 100 mg/kg 左右。总体而言培肥量越大, 秧苗生长越旺(具体结果见下文), 表明秧苗对速效氮的消耗和利用受床土肥力水平影响较大, 供氮量大, 消耗就多。换言之, 在供氮量超过适龄壮秧培育的需求后, 因肥力水平过高, 并不利于秧苗素质的提高, 但消耗却很大, 形成苗床氮素的奢余和利用的不经济。秧苗生长后, 床土残存速效磷的含量依然有明显的处理间差异, 培肥水平高则速效磷残留水平也高, 且两者依然存在极显著的直线相关关系。速效钾含量也存在类似情况, 秧苗生长后, 床土残存量与培肥水平显著相关。但处理间差幅明显减小。另一方面, 两种床土速效钾的变化, 处理间保持较好的平

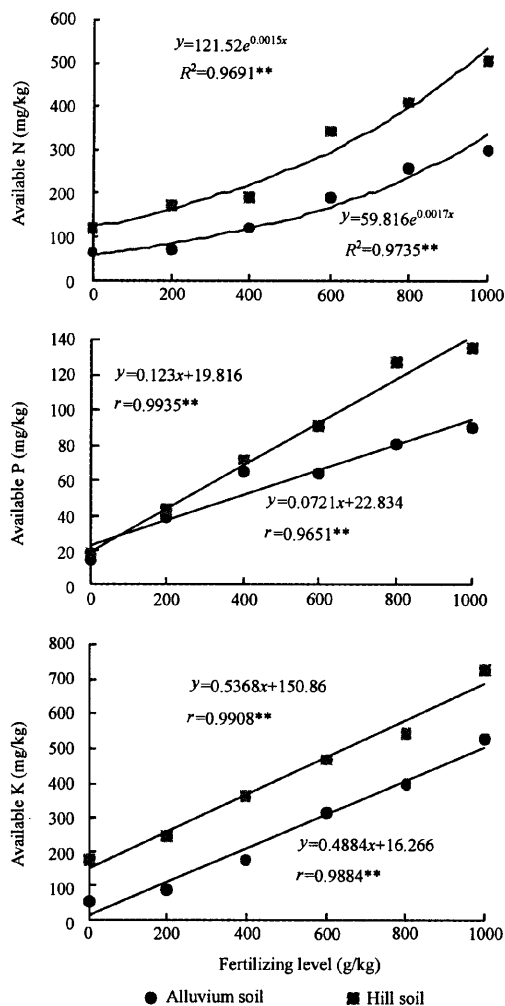


图1 床土培肥处理对床土肥力水平的影响  
Fig.1 Effects of fertilizing on Available N, P, K in seedbed soil

行减少的关系,和播前培肥处理后两种床土的速效钾增加等幅上升的趋势一致,表明速效钾的培肥和育秧期间的消耗均与床土特性关系不大。

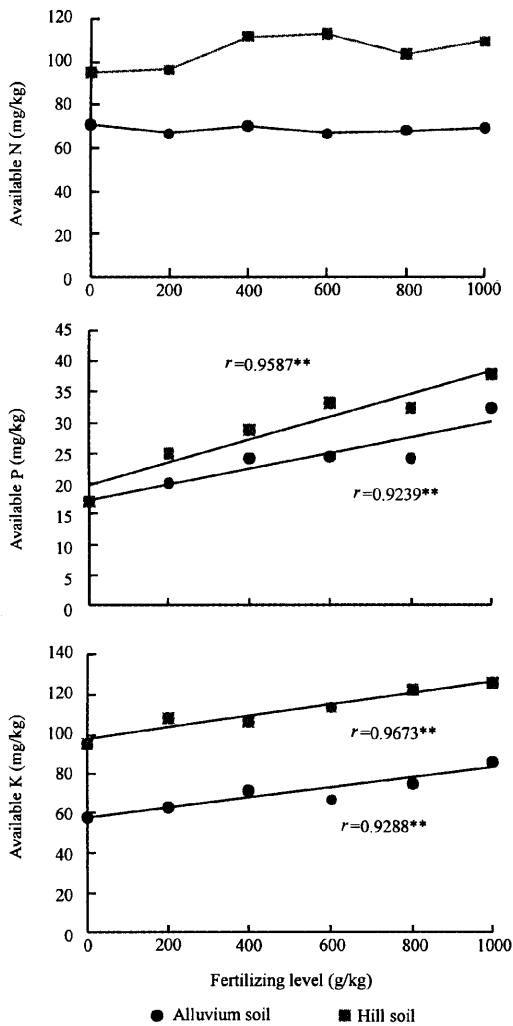


图2 秧苗移栽适期时的床土肥力水平(播后20 d)  
Fig.2 Available N, P, K in seedbed soil at suitable transplanting stage (20 days after sowing)

2.2.2 床土肥力耗损情况 图3表明秧苗培育过程中床土肥力的消耗情况。氮、磷、钾3种肥料基本元素的消耗,均随培肥水平的提高而直线上升。在不培肥区,秧苗生长对床土肥力的消耗几近于零,秧苗生长瘦黄。床土培肥水平提高后,秧苗生长对肥料三要素的消耗迅速上升,秧苗生长态势变旺,苗高增加。而且,速效氮、速效磷在秧苗生长期间的消耗与土壤质地相关,供试两种类型的床土消耗直线斜率有较大差异,而速效钾的消耗则与土壤质地相关较小,两种床土的消耗直线斜率相近。

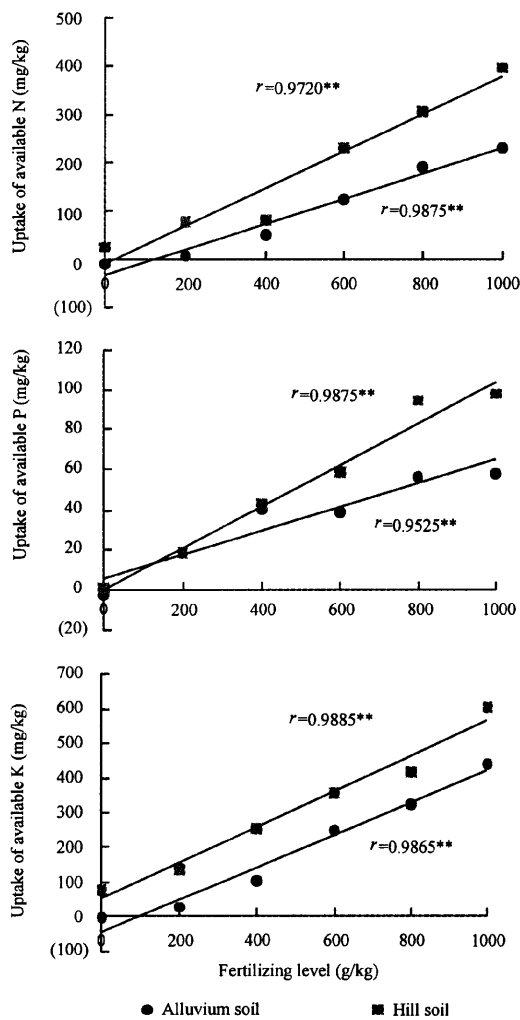


图3 育秧期间床土肥力要素的耗损情况  
Fig.3 Uptake of available N, P, K during seedling raising stage

### 2.3 不同肥力水平下秧苗的生长状况

2.3.1 秧苗株高与床土培肥的关系 图4为适栽秧龄期(播后20 d)不同床土培肥条件下的秧苗株高,在冲积床土条件下,N0最低,为10.1 cm,N4最高,达15.1 cm;丘陵土条件下,N0最低,为12.8 cm,N4最高,为16.0 cm。供试两类床土表现一致,随床土培肥水平的升高,秧苗株高增加,但培肥水平最高的N5,苗高上升的趋势反而停止,表明过高的床土肥力对增加苗高已无作用。相关分析可见,若除去已显示肥效饱和的N5处理,两类床土培肥水平与苗高呈很好的直线相关关系(相关系数r分别为0.9334和0.9739),因此可通过适当的床土培肥措施,有效地调控秧苗株高,达到适宜机械栽插的高度。

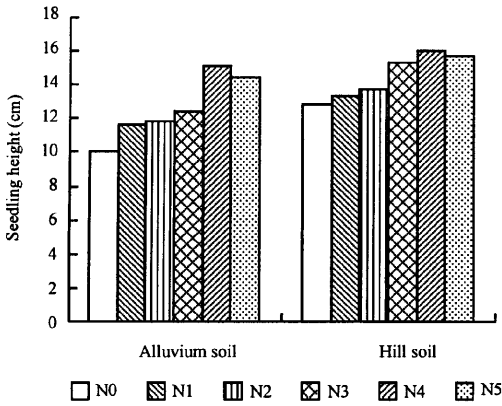


图4 不同培肥水平下的秧苗株高  
Fig.4 Seedling height under different fertilizing levels

2.3.2 不同床土培肥水平下秧苗地上部干物质的积累及根/冠比的变化 如图5所示,秧苗地上部干重在冲积土条件下处理间的变化大于丘陵土,总体上随床土培肥水平的升高秧苗地上部干物质积累增加。但根/冠比随培肥水平的升高而下降(图6)。

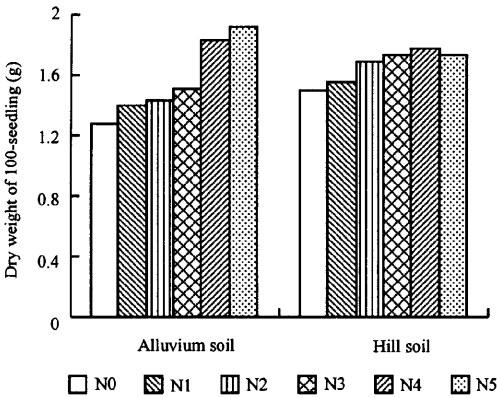


图5 不同培肥水平下的秧苗地上部干物重  
Fig.5 Biomass above ground under different fertilizing levels

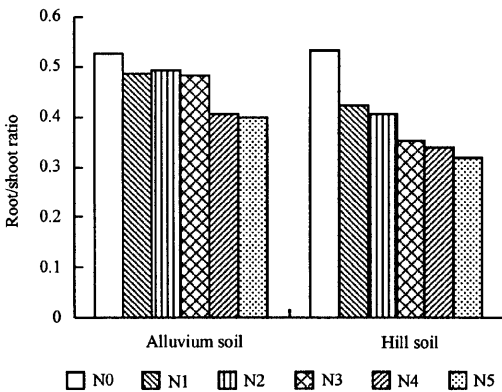


图6 不同培肥水平下秧苗根/冠比的变化  
Fig.6 Changes of root/shoot ratio under different fertilizing levels

高素质秧苗必须具备合理的根/冠比,使秧苗移栽后可尽快成活和恢复生长。床土培肥必须适度,才可兼顾地上部的物质积累和根系生长,维持根/冠比的合理水平,获得苗壮、根健的健壮机插秧苗。

2.3.3 秧苗根系数量与床土培肥的关系 如图7所示,不同培肥处理对秧苗发根数的影响从总体上看,并不大,多少相差1根左右,分析秧苗的发根数受土壤培肥的影响趋势可见,土壤肥力过低或过高,均不利于秧苗的根系生长,在一定范围内,秧苗根系的发生数量受土壤培肥的影响相对不大。

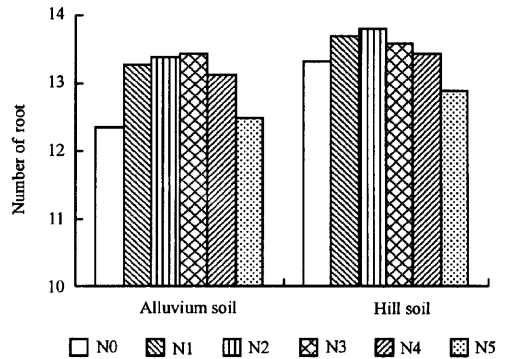


图7 不同培肥水平下秧苗根系的数量变化  
Fig.7 The number of adventitious root under different fertilizing levels

### 3 讨论

#### 3.1 机插秧育秧床土培肥的必要性和特殊性

在机插稻作技术较为发达的国家,育秧操作具有完备标准,其床土已形成标准化的工厂生产。在我国,因生产成本和条件限制,对机插育秧技术进行了诸多改进<sup>[8,10-12]</sup>,床土多由生产者自备,床土类型和肥力水平相差甚大<sup>[8]</sup>。从本试验供试的两种床土基础肥力也可见床土间有明显差异。而且不论何种床土,不培肥条件下的秧苗生长从初期即表现明显的缺氮症状,也不能得到适宜机插的秧苗形态。可见,必须通过床土培肥,才能得到适宜机插育秧的优质床土,培育出健壮标准的机插秧苗。

与一般大田具有很大的缓冲供肥特性不同,机插育秧床土量小且不具备较完备的土壤理化构造,肥水缓冲能力小。因此,床土培肥过程中,肥力反应特点及其与床土类型的关系与一般的施肥性质不同。本研究表明,通过速效肥料进行床土培肥,对床土氮磷钾的影响不尽相同,且不同床土类型间存在明显差异。对速效氮而言,床土显示出一定的缓冲作用,在低培肥水平下速效氮的增加低于高培肥水

平下的增加,较为黏重的丘陵土(黏壤)增加较沙质型的冲积土(砂壤)速率快。对于速效磷,培肥处理以一定的直线关系提高其含量,丘陵土的提高速率较冲积土快。床土培肥对增加速效钾含量的影响在床土类型间差异较小,其反应直线的斜率十分接近。因此,根据不同床土培肥过程中各肥料元素的反应特点给予合理的培肥量,才能获得所需的肥力指标,这是得到优质肥育床土的关键。本试验初步给出了床土培肥对速效氮、磷、钾的作用特征,可为实际的培肥操作提供一定的参考模型。关于同样的培肥处理在不同类型床土中肥力效应差异原因的探讨,对床土培肥操作也有较为普遍的指导意义,有待进一步研究。

### 3.2 床土肥力水平的适宜指标及与床土类型的关系

培育适宜机插的健壮秧苗,还需要适宜的肥力指标,这要通过秧苗素质的综合调查后方能给出。根据适宜的肥力指标,结合床土培肥的反应曲(直线),就可以算出适宜的培肥量,给出相应床土的肥育措施。本试验培肥使用的是复合肥,未能进行更为复杂的肥料三要素组合试验,因此还不能对适宜肥力指标的三要素构成进行讨论。生产上最易成为秧苗生长限制因子的是氮素供应,在本试验中从秧苗生长态势及床土肥力构成也可以推测磷钾元素的供应并不缺乏,故在此条件下可对适宜的速效氮指标进行分析。从株高等指标可见,秧苗较为健壮的为冲积土的 N3、N4 处理和丘陵土的 N2、N3 处理,其速效氮含量在 190 ~ 340 mg/kg 左右,结合本课题组往年试验<sup>[8,10-11]</sup>可以认为,健壮秧苗的速效氮适宜指标在 250 mg/kg 左右,这时的秧苗株高适宜(12 ~ 14 cm),根系生长优良,根/冠比适中,秧苗形态适于机插。而且这一速效氮含量对秧苗生长的作用土壤类型间差异较小,可以作为较通用的指标加以运用。已有研究表明,不同环境条件(气候、土壤结构等)对秧苗生长有较大影响<sup>[11-12]</sup>,这对不同条件下育秧的适宜肥力指标的确定,带来一定的不确定因素,相关研究还有待深入。另外,本试验未能进行肥料三要素的多水平组合试验,这是确定培育壮苗所需床土氮、磷、钾最适宜范围及其最佳配比的必要步骤,这方面的研究也有待开展。

### 3.3 育秧过程中床土肥力水平的消耗和秧苗生长的关系

机插秧育秧与其他育秧方式比较,具有鲜明的特色。播种密度高,育秧时间短,肥料供应体系仅为

少量的床土,对床土肥力的要求和消耗较为独特。对于在自然土壤生长的水稻,土壤原有氮素的供应起着十分重要的作用。研究表明,不论施用氮肥与否,水稻对土壤氮素的依存率都在 50% 以上<sup>[13-14]</sup>。但在机插育秧的秧苗生长过程中,少量床土原有的肥力元素远远不能支持其生长所需,与生长消耗的总量相比比例很小,这在本试验的不培肥水平处理(N0)中已得到证实。实际上,机插育秧中床土本身的基础肥力对秧苗生长的直接贡献不大,健壮秧苗培育所需肥料三要素多来自培肥过程或育秧过程中所施用的肥料。另外,本试验结果还显示,肥料三要素的损耗具有一致的趋势,高培肥者高消耗,特别以速效氮素为明显。可见秧苗的生长(本试验中以秧苗株高和地上部干物重为指标)和肥料的消耗有一定的关系。但高培肥处理的高消耗,除秧苗生长较旺,消耗较多之外,其氮素的损失可能也是不可忽略的一个方面。可见,机插稻育秧培(施)肥比土壤苗床育苗中对秧苗生长的影响更明显,在肥料的吸收、消耗及其利用率方面也可能完全不同。

### 3.4 机插育秧适宜床土类型的选择

不同类型床土间基础肥力有较大差异,丘陵土的速效氮、磷、钾分别比冲积土高出 90.3%、25.9%、21.18%。且丘陵土的氮、磷容纳能力也比冲积土高,培肥处理对其速效氮、磷的提高更为明显。因此,本试验条件下,单纯从培育壮秧的角度看,丘陵土优于冲积土。因未能对床土的物理性质与床土培肥及秧苗生长的关系进行分析,尚不清楚适宜床土的物理性质。但就本试验而言,偏黏壤土可能更适宜于作为床土。不过,在实际生产中,小规模育秧能够自由选择床土的可能性并不大,而应该重视通过现地床土的适当培肥,获得培育机插壮秧的床土基本条件。

## References

- [1] Hoshikawa K. In: Physiology of small rice seedling and the technology of seedling nursery Kiyochika Hoshigawa. Tokyo: Rural Culture Association, 1972 (in Japanese)
- [2] Konishi Y. In: Technology for increasing yield in rice transplanted by machine. Tokyo: Rural Culture Association, 1972 (in Japanese)
- [3] Xue Y-F(薛艳凤), Yu L-H(于林惠). Preliminary discussion of techniques of the experiment and demonstration of mechanical transplanting in rice in 2001. *Agric Mech Mod Jiangsu* (江苏农机化), 2001 (6): 16-18 (in Chinese)
- [4] Lin W-X(林文雄), Wang S-L(王松良), Liang Y-Y(梁义元), Guo Y-C(郭玉春), He S-L(何水林). Physioecological study on high-yielding cultivation of rice by dry-raising seedling and thin-spacing transplanting