

螺杆泵式水田碳铵深施机的研制

姬长英¹, 吕正洋², 齐新丹³, 李忠国⁴, 汤拯东², 鲁植雄¹

(1. 南京农业大学; 2. 昆山市农业机械推广站; 3. 南京工业大学; 4. 莱阳农学院)

摘 要: 在分析我国南方水田地区气候、农艺条件和目前施用化肥状况的基础上, 研制了一种新型的水田化肥深施机械。该机械采用了将化肥与适量水混合后由螺杆泵将其强制排出的原理, 克服了一般水田化肥深施机械常遇到的化肥架空、粘附及堵塞问题。试验表明, 该种机械适应性强, 工作可靠, 使用该种机械进行水田化肥深施具有明显的节肥增效作用。

关键词: 施肥机械; 水田; 碳酸氢铵; 化肥深施

中图分类号: S224 21

文献标识码: A

文章编号: 100226819(2002)0420059206

化肥深施技术是农业节本增效的重要措施之一, 也是我国农业部重点推广的农业技术之一。化肥深施不但能节约肥料, 增加产量, 还可明显降低水质污染。据统计, 我国年化肥用量约 1.25 亿 t 标准肥, 其中 0.84 亿 t 为氮肥, 但传统的撒肥方式的化肥利用率只有 30% 左右, 与发达国家的 65% 相比, 差距很大。且长期过量施用化肥, 造成一定程度的生态环境污染和农业生产成本的增加。若利用深施技术将化肥的利用率从目前的约 30% 提高到 40%, 每年即可节约尿素 950 万 t, 同时可减少挥发, 保护环境^[1]。

20 世纪 80 年代初, 先后研制了 20 多种不同方案的化肥深施机械, 但均未获得较好的效果。另外, 国外一般使用硫酸、氯铵等氮肥, 而我国最大量使用碳铵。所以我国从 20 世纪 70 年代起推广化肥深施技术主要靠自行研制化肥深施机具^[1~4]。旱地深施机具首先取得了很大成就。如在 20 世纪 80 年代中期, 北京农业大学研制了 2FT21 型多用途碳铵追肥机^[5]; 徐州市农机所也曾将盘式排肥器用于苏 2F24 型粉状化肥深施机和徐海 21 型人畜力施肥播种两用机上^[6], 取得了较好的效果。与旱地相比, 水田化肥深施机具的开发较为缓慢。20 世纪 80 年代初福建省农科院研制成功了 2DS22 型水田化肥点深施机。它是一种可用于碳铵的人力机械, 利用搅龙作为施肥元件“强迫”化肥入土。改变了以单靠化肥自重落入沟中的做法, 较有效地消除了由于化肥与田中的水接触而引起的落肥口堵塞。但由于仍以人力为动力, 且结构复杂不宜改成高效机械, 故没能大

面积推广^[7]。1991 年湖南衡山县农机研究所曾将多用途碳铵追肥机改为水田化肥深施机, 但它仍以旱耕为基础。而由于梅雨季节的到来或各田灌水时间不一致, 导致大部分水田不能实现旱耕深施化肥^[8]。1996 年黑龙江省牡丹江水田机械化所研制出了与国产插秧机配套的深施肥装置^[9]。但该机仍不能满足我国南方大部分地区作业要求。

总之, 对气候、肥料和土地状况适应性强的水田化肥深施机具的研究工作仍十分必要。尤其适应南方气候潮湿、常需带水整地施肥地区的化肥深施工艺及机械还远未成熟。

1 水田化肥深施的关键问题分析

水田化肥深施技术的研究和开发之所以进展缓慢, 其原因主要有以下几个方面。

1.1 气候条件

我国南方大部分地区夏季气候潮湿多雨, 大部分化学肥料, 尤其碳铵, 极易吸水, 吸水后不但流动性大大恶化, 而且肥料存放时间稍长, 还会结块。南方很多地区夏季空气的相对湿度常在 85% 以上, 有时甚至接近饱和。在这种气候条件下, 即使原来未受过潮的肥料, 打开后也会很快吸水受潮, 使其物理性质发生很大的变化。这种气候条件使那些在北方干燥地区使用情况很好的排施肥机构不能正常工作, 化肥堵塞、架空的情况经常发生。潮湿的气候条件给排施肥机构的研制带来了一定困难。

1.2 农艺和农业作业条件

水稻基肥可在水稻插秧时施, 也可在整地时施。如果能深施的话, 在插秧时或插秧前施是比较理想的方案。但由于目前机械插秧还远未普及, 在插秧前用相应机具进行化肥深施作业虽然可行, 但增加了作业次数。目前, 在南方大部分地区, 是在整地时将

收稿日期: 2001204218

基金项目: 教育部博士点基金资助项目(980203); 江苏省“九五”科技攻关项目(BE99372)

作者简介: 姬长英, 教授, 博士生导师, 江苏南京市 南京农业大学工学院, 21032

肥料用人工撒入田中,以期整地时能将肥料与土壤混合。对于稻麦两季地区,麦收后整地的方式有两种,一是先整地后灌水,二是先灌水再带水整地。在前一种方式下,化肥深施的问题还稍好解决一些。因为在作业中化肥不会与水接触。在第二种方式下,因为作业时田间持水,即使用较干燥的化肥,也难以保证在工作过程中不因为各种原因沾水而使化肥的物理性质恶化而增加排肥难度。另外,田间持水使落肥口堵塞的可能性大大增加。此外,由于我国南方田块较小,各块田属于不同经营者,造成作业时间不一致,一田块灌水后,由于渗漏水,其相邻田块的干地作业可能难于进行。上述各因素的限制使得我国南方水田化肥深施作业应能适应带水作业的条件。

1.3 肥料特性

碳铵是我国特有的氮肥品种,由于其生产工艺比较简单,并有肥效快,不含有毒物质,长期使用不会对土壤产生不良影响,如能深施其肥效与尿素相当等优点。在今后一个时期内仍将是我国氮肥的一个主要品种。由于碳铵具有强烈的吸湿性,在施肥季节容易吸收空气中的潮湿水分而结块,易造成排施肥中的堵塞和排肥不均。碳铵又具有强烈的挥发性,如施于地表,其中的氨态氮素容易挥发到空气中,造成资源浪费和生态污染,故有必要对碳铵进行深施以提高利用率。目前对固态碳铵深施有丸化和粉状干施两种。丸化虽利于排肥,但成本高。粉状干施由于存在架空、粘附、堵塞等问题其研究一直停滞不前。分析认为,碳铵架空、粘附、堵塞主要是由其本身的自然休止角、内摩擦角较大等原因造成的。在设计排施肥装置时必须充分考虑碳铵肥料物理性质。

1.4 排施肥方案和原理

虽然曾研制了很多种排肥装置,但均不能适用于南方气候、农艺和肥料条件。这些排肥器大多是用一定的机构,如槽轮、星轮、滚轮、刮刀、螺旋等,将肥料推至肥管口,然后肥料靠重力从肥管落入沟中。除少部分有振动装置的排肥器外,肥箱中的肥料也靠重力下落至排肥机构上。如果肥料的流动性差,就会出现架空、堵塞。这种架空堵塞可发生在排肥机构处,也可发生在落肥管内。如果肥料有结块,这些排肥装置都将无能为力。因此,为使排肥机构能可靠地工作,必须在重力外对肥料施加一定的外力以保证肥料能顺利通过排肥机构,进入排肥管,为使肥料能顺利从排肥管排入土中,最好能对在排肥管中的肥料施加一定的力使其不粘附于管壁堵塞排肥管。为了能将吸湿结块的肥料排出,应保证在进入排肥机构之前结块已被破碎至一定的程度。

2 适于南方气候、农艺及肥料条件的可行排施肥方案分析

要设计出适应我国南方气候、农艺及肥料条件,能可靠工作的化肥深施机械,必须从肥料物理特性、农艺条件及排施肥机构多方面综合考虑。另外,在保证机械工作可行的基础上,还应考虑机械的制造、使用成本及施肥机械与其它相关机械配套使用或者组成复式作业机械的可行性。

2.1 肥料物理性质的改善

针对我国大部分地区水田基肥是以碳铵和复合肥为主并且这类肥料也是最为难排施的情况,应对这类肥料的适应性作为整体排施肥方案最首要的目标。实际上,只要能可靠地排施这类肥料,一般来说排施其它肥料也没什么问题。

机械排施碳铵的最大困难在于其吸湿性强、流动性差。尤其是受潮后,自然休止角变得很大并极易粘附于管壁上造成架空堵塞。但是,由相关研究可知^[10],当其含水率超过 8.5% 时,自然休止角便急剧下降,并且其内摩擦角和粘结力均随含水率的增加而降低。因此,可以设想如果人为地往碳铵肥料中加一部分水,可以大大改善其流动性。并且加水后,由于粘结力下降,已结成的肥块也会容易破碎。

2.2 架空、堵塞的防止

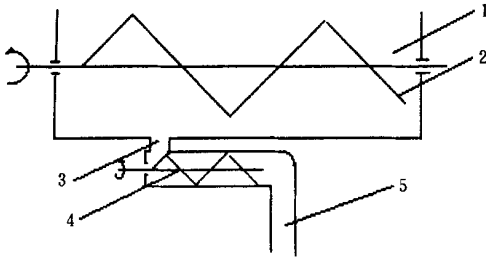
施肥前在肥料中加入适量的水,虽然可增强了肥料的流动性,可以解决肥箱、排肥机构和肥管内的一些架空和堵塞问题,但并不能完全避免这类现象。其原因有两个,一是肥中加水后,肥水并不能完全混合,肥料将沉淀于下面。而沉淀于下面的肥料可变得很密实而有时不能按一定的肥水比流至落肥口。二是在带水作业的情况下,位于土中的肥管的肥料出口可能会因为机器倒退、转弯时未及时提起而被泥土堵塞。在此种情况下,肥料不能落至土中而滞留于肥管中,从而造成肥管堵塞。因此,为使肥料均匀地流入排肥管中,肥箱中应有搅拌装置;而为防止排肥管中和出肥口的堵塞,排肥管中应有一定的压力。

3 螺杆泵式水田化肥深施机的原理和结构

3.1 螺杆泵式水田化肥深施机的基本原理

肥料和一定量的水加入肥箱中,搅拌器对其进行搅拌,使其混合均匀并起到防止化肥沉淀和将已结块的化肥粉碎的作用(如图 1)。化肥和水的混合物通过肥料入口进入排送肥机构,排送肥机构将肥水混合物排送至落肥管,肥水混合物经落肥管施入土中。为防止堵塞,落肥管中的肥水混合物应保持一定的压力,这个压力由排送肥机构来维持。

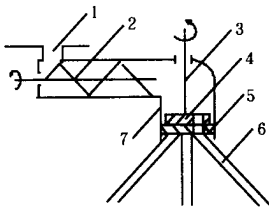
经过试验与对比分析, 选择了螺杆泵作为排肥机构。但如果一个落肥管用一個螺杆泵, 显然整机成本太高, 而简单地将几个落肥管一起与螺杆泵连接, 又难于保证各落肥管的出肥量一致。为解决这个问题, 专门研制了一种向各落肥管均匀供肥的分配器。这种分配器与螺杆泵一起组成排送肥机构, 如图 2。



1. 肥料箱 2. 搅拌器 3. 肥料入口 4. 排送肥机构 5. 落肥管

图 1 一种新型水田化肥深施机原理图

Fig. 1 Principle of a new kind of fertilizer applicator



1. 入肥口 2. 螺杆泵 3. 分配器轴 4. 分配器上盘
5. 分配器下盘 6. 排肥管 7. 壳体

图 2 排送肥机构结构示意图

Fig. 2 Structure of fertilizer feeder

3.2 排送肥机构的结构及性能

整个排送肥器由两部分组成, 如图 2 所示。一是排肥机构, 即螺杆泵。肥箱中的肥水混合物由入肥口进入螺杆泵。二是肥料分配器, 由两个分配器盘构成。上盘为具有一弧形孔的圆盘, 下盘同样为一圆盘, 其上在与上盘弧形孔同心且同径的圆周上分布有 6 个圆孔, 每一圆孔与一落肥管相联。肥料从螺杆泵排出后, 通过分配器上盘的弧形孔与下盘的圆孔进入落肥管。由分配器轴带动分配器上盘旋转, 使其上的弧形孔依次与下盘的 6 个圆形孔相通。弧形孔与下盘圆形孔的大小保证弧形孔在任一时刻都能与一个或两个圆形孔相通, 但又要保证上盘每转一周, 对下盘各圆形孔来说, 上盘的弧形孔都有一定的时间间隔且只与一个圆形孔相通, 以保证由螺杆泵排出的物料任一时刻均能排出并且使每一落肥管内都可产生足够的压力以防止落肥管的堵塞。

排送肥机构是整个施肥机械的最关键部件, 其工作性能直接影响施肥机的性能。为了研究上述排送肥机构的性能和寻找合理的结构参数, 尤其是验证此种机构的排肥的各行一致性能否满足要求, 进

行了有关结构参数对其性能影响的正交试验。排肥的各行一致性用各行一致性变异系数来表示, 它是各行排量的标准差和其平均值之比。

根据排量要求, 选择了 G20 型单螺杆泵作为排肥元件。据测定, 在转速为 210 r/min 和 270 r/min 时排肥量分别约为 280 kg/h 和 406 kg/h, 与实际要求相近, 故将螺杆泵的转速定为 210 r/min 和 270 r/min。并在此两种情况下分别进行试验。

试验结果表明, 各行一致性变异系数与分配器上盘转速、肥水比、出口管径之间的相关关系高度显著。无论螺杆泵转速为 210 r/min 还是为 270 r/min 时, 对各行一致性变异系数, 肥水比的影响最为显著, 其次是肥水比与出口管径的交互作用及肥水比与分配器上盘转速的交互作用。

在试验范围内, 排肥一致性变异系数在肥水比为 3 时随卡盘转速的提高而提高; 而在肥水比为 2 时, 则随卡盘转速的提高而稍稍降低。这可能是因为, 在肥水比较大时, 肥水混和物的流动性差, 几乎全靠泵的压力将其排出, 当卡盘转速升高时, 每一次供肥的时间变短, 每次的排肥量也变少, 致使总体均匀性较好, 一致性系数提高。

在通过对试验数据进行分析, 得出肥水比、卡盘转速及出肥口直径对各行一致性变异系数的影响的回归方程之后, 还可以通过对回归方程的优化计算, 确定最佳的试验指标及最佳试验指标时的参数取值^[11]。为得到各行排肥量一致性变异系数最小时的各参数值, 进行了优化计算。

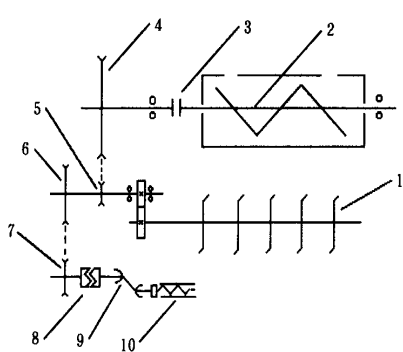
优化计算结果表明, 在螺杆泵转速为 210 r/min 和 270 r/min 两种情况下, 其优化后的参数是一致的, 即: 卡盘转速为 64 r/min, 肥水比为 3:1, 出肥管直径为 20 mm。但优化后两种情况下的一致性变异系数差异较大。卡盘转速为 210 r/min 时, 优化后的一致性变异系数为 0.0453; 卡盘转速为 270 r/min 时, 优化后的一致性变异系数为 0.0246。这两种情况下的各行一致性变异系数均能满足生产要求, 也大大高于有关标准。

3.3 机械传动与结构布置

为降低水田化肥深施机的制造和使用成本, 化肥深施机只有和水田耕整机或水稻插秧机配套构成复式作业机械才是理想的设计方案。就我国南方地区, 尤其江苏南部, 可供选择的与化肥深施机配套的机械只有中拖旋耕机和水田驱动耙。至于水稻插秧机、水稻直播机, 因数量有限且配套功率小、机具质量轻而难于与此类化肥深施工工艺和机具配套。

在苏南中拖旋耕机是保有量最多的农业机械, 作业面积大, 可进行水旱作业, 最符合设计要求, 因

此,是化肥深施机的首选配套机械。但由于旋耕不是水田耕整的最后一道工序,为避免耕田对已施化肥产生扰动而导致化肥扩散和渗漏的加剧,化肥施用的深度必须合适。耙田作为插秧前的最后一道工序,且水田驱动耙具有质量轻、功耗小、生产率高等优点,但也有重复作业、大水作业等不利于与施肥机械配套的因素。经与农业专家共同论证,决定选用 1G2 175J 中旋耕机作为化肥深施机的首选配套机械。施肥机的机械传动路径与结构布置如图 3 所示。



1. 旋耕机 2 搅拌器轴 3 连轴器 4 搅拌器轴链轮(Z₂) 5 旋耕机轴输出链轮(Z₁) 6 螺杆泵驱动主动链轮(Z₃) 7 螺杆泵驱动被动链轮(Z₄) 8 牙嵌离合器 9 万向节 10 螺杆泵

图 3 化肥深施机的机械传动及结构布置示意图

Fig 3 Structure and mechanical transmission of fertilizer applicator

动力由旋耕机侧边箱中间齿轮轴输出,经一对等齿数的齿轮分两路分别传至肥料搅拌器和螺杆泵。图 3 中 4 和 5 是一对链轮,链轮轴和搅拌器轴经一联轴器相联。经链轮 6 和 7、牙嵌离合器 8、万向节 9 将动力传递给螺杆泵 10,而链轮 6 和 7 的齿数比决定着螺杆泵的转速,从而决定着排肥量的大小。据实际所需排肥量的大小的螺杆泵转速和排量间的关系,可大致确定实际所需螺杆泵的转速。为了满足生产中不同施肥量的要求,设计了两对链轮用于将动力传递给螺杆泵,这两对链轮同时也构成了螺杆泵的变速装置。其齿数比(Z₃ÖZ₄)分别是 18Ö14 和 21Ö11。由此得到的螺杆泵的转速分别是 225 rÖm in 和 334 rÖm in。由螺杆泵排出的肥水混合物,经一轮换供肥分配器均匀分配给 6 根施肥管。

4 初步田间试验结果

4 1 试验处理与方法

4 1 1 试验处理

1) 化肥机械干深施

试验于小麦机械收割后进行,稻田上水前用 1GF26 型水田化肥深施机干深施化肥,每公顷实际施肥量为碳铵 541.5 kg,45% 复合肥 271.5 kg。

2) 化肥机械水深施

试验于小麦机械收割后进行,稻田上水后用 1GF26 型水田化肥深施机深施化肥水,每公顷实际施肥量为碳铵 588.0 kg,45% 复合肥 294.0 kg。

3) 化肥人工撒施旋耕深施

试验于小麦机械收割后进行,稻田上水后人工撒施化肥,然后用中拖旋耕机旋耕,每公顷实际施肥量为碳铵 576.0 kg,45% 复合肥 571.5 kg。

4 1 2 水稻大田管理技术

试验采用大区对比方法。大田 2000 年 6 月 7 日实施施肥处理,6 月 9 日移栽栽插行株距为 25 cm × 15 cm、每公顷 26.1 万穴、每穴 2.89 苗,每公顷基本苗 75.6 万。各试验处理进行统一的肥水药管理,除基肥深施技术外,其它各种栽培措施均相同且实施群体质量栽培技术。总施肥量化肥干深施处理纯氮 323.25 kgÖhm²、P₂O₅ 83.85 kgÖhm²、K₂O 75.00 kgÖhm²;化肥水深施处理纯氮 339.0 kgÖhm²、P₂O₅ 91.80 kgÖhm²、K₂O 82.95 kgÖhm²;常规人工撒施水旋耕深施肥处理氮 379.20 kgÖhm²、P₂O₅ 146.25 kgÖhm²、K₂O 125.25 kgÖhm²。

4 2 试验结果与分析

4 2 1 不同施肥处理对产量结构及实产量的影响

试验表明,不同化肥深施肥处理对旱育稀植水稻的实产量具有一定的影响,经对实际产量测定和方差分析,各处理的实产量之间存在着显著的差异。不同施肥处理后水稻产量结构与实产量如表 1。

从表 1 可以看出,在试验的 3 个处理中,以化肥机械干深施情况下的产量最高,与化肥机械水深施和常规人工撒施相比,增产幅度分别为 5.4% 和 7.3%。由此可初步认定,应用 1GH 26 型水田化肥深施机具有显著的增产效果。

表 1 不同施肥处理水稻产量结构与实产量

Table 1 Rice yield and yield structure with different fertilizer application treatments								
处 理	有效穗 ö万 · hm ⁻²	每穗总粒 ö粒	每穗实粒 ö粒	结实率 ö%	千粒重 ög	单穗质量 ög	单株质量 ög	实产量 ök g · hm ⁻²
处理 1(化肥机械干深施)	360.0	118.3	99.4	84.0	26.1	2.55	12.48	9 169.5
处理 2(化肥机械水深施)	354.0	119.1	99.3	83.4	25.8	2.46	11.69	8 700.0
处理 3(人工撒施旋耕深施)	348.0	120.1	99.6	82.9	25.6	2.45	10.85	8 544.0

4 2 2 不同施肥处理水稻的经济效益比较

依据田间档案对试验的各处理进行了经济效益测算。决定单位面积总收入的主导因素是实产量,而决定单位面积支出的主导因素是施肥量。因此,化肥机械干深施(即处理 1)由于提高了肥料的利用率

减少了施肥量而促成了高产、省肥,达到了 3 198 元 öhm^2 的最佳经济效益。比化肥机械水深施(处理 2)增收 605 元,增幅为 23.3%;比常规旋耕深施处理增收 1 257 元,增幅达 64.8% (见表 2)。

表 2 不同化肥深施处理水稻的经济效益分析

处 理	实产量	收入	支 出 $\text{ö元} \cdot \text{hm}^{-2}$								收入
	$\text{ökg} \cdot \text{hm}^{-2}$	$\text{ö元} \cdot \text{hm}^{-2}$	种子	肥料	植保	机械	灌水	人工	交税	合计	$\text{ö元} \cdot \text{hm}^{-2}$
化肥干深施(处理 1)	9 169.5	10 783	116	2 381	483	1 875	750	1 425	555	7 585	3 198
化肥水深施(处理 2)	8 700.0	10 231	116	2 435	483	1 875	750	1 425	555	7 638	2 593
人撒旋耕深施(处理 3)	8 544.0	10 047	116	2 902	483	1 875	750	1 425	555	8 106	1 941

5 结 论

根据我国南方气候、农艺条件和施用的化肥状况,研制了一种新型的水田化肥深施机械,该种机械采用了加适量水与化肥混合后,由一螺杆泵将肥水混合物强制排出,再经一轮换供肥机构将肥料均匀分配至各肥管的全新工艺和原理,克服了化肥的架空、堵塞等问题。试验表明,这种水田施肥机械适应性强、工作可靠。应用这种机械进行水田化肥深施,可有效地节省肥料,提高农业生产的经济效益。

参 考 文 献

[1] 农业部决定近期全面推广四项农业技术[J]. 中国农机化, 1994, (12): 4~ 5
[2] 袁钊和. 水田化肥深施技术研究[J]. 中国农机化, 1996, (12): 38~ 39
[3] Gao Jinfu. Research and development of a new direct paddy seeder[J]. AMA, 1997, 28(3): 47~ 50
[4] 张波屏. 我国施肥机械的发展概况[J]. 农牧与食品机

械, 1994, (5): 38
[5] 谷谒白. 对发展我国施肥机械的几点意见[J]. 农牧与食品机械, 1987, (1): 12~ 15
[6] 曹仁铎. 盘式排肥器的研究[J]. 农业机械学报, 1984, (3): 74~ 80
[7] 陈 敏. 2DS22 型水田化肥深施机的研究[J]. 农机情报研究, 1985, (6): 18~ 23
[8] 赵绍尧. 巧改旱地追肥机为水田化肥深施机[J]. 中国农机化, 1991, (8): 22
[9] 王 兵, 周素萍. 2ZTF26 型水稻深施肥机[J]. 现代化农业, 1996, (2): 27.
[10] 谷谒白, 杨亚川, 廖植樨. 碳酸氢铵物理机械特性的研究[J]. 农业机械学报, 1987, (4): 72~ 78
[11] 陈立周. 机械优化设计方法[M]. 北京: 冶金出版社, 1995
[12] 王荣本, 纪寿文, 初秀民等. 基于机器视觉的玉米施肥智能机器系统设计概述[J]. 农业工程学报, 2001, 17 (2): 151~ 153

Development of Screw Pump Deep Applicator
of Ammonium Bicarbonate for Paddy Field

Ji Changying¹, Lü Zhengpan², Qi Xindan³, Li Zhongguo⁴, Tang Zhengdong², Lu Zhixiong¹
(1. Engineering College, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210032, China; 2. Kunshan
Extension Station of Agricultural Machinery, Kunshan 215300, China; 3. Nanjing Polytechnic
University, Nanjing 210032, China; 4. Laiyang Agricultural College, Laiyang 265200, China)

Abstract: Based on the analysis of agricultural technology, climate and fertilizer condition for rice planting in South China, a new kind of fertilizer deep applicator is developed. This machine adopted a new principle for fertilizer application, i.e., the fertilizer to be applied is mixed with some water first, then a screw mechanism is used to make the mixture of fertilizer and water enter soil through a pipe. The machine can overcome jam, adhesion and impracticableness of fertilizer. Experiment results show that the machine has high flexibility and credibility, and the remarkable function of saving fertilizer and increasing economic income in rice planting.

Key words: fertilizer application machine; paddy field; ammonium bicarbonate; deep application of fertilizer