

东北稻区不同秸秆还田模式机具作业效果研究

孙妮娜¹ 王晓燕¹ 李洪文¹ 彭显龙² 王 将¹ 王庆杰¹

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 东北农业大学资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 水稻秸秆还田是培肥地力、增产增效的重要方式。东北稻区存在秸秆量大、收获时秸秆含水率低、切碎抛撒难等问题,既影响秸秆还田质量,又进一步影响后期耕整地和插秧作业质量,亟需研究适用于东北稻区的机械化秸秆还田模式,改善秸秆还田和耕整地作业质量,支撑水稻秸秆还田技术的应用。本研究在黑龙江省七星农场开展机械化秸秆还田试验,共设4种模式,即:对照CK(秸秆不还田,秋翻+春搅浆)、还田处理1(秸秆还田,秋翻+春搅浆)、还田处理2(秸秆还田,秋翻,秋旋+春平地)、还田处理3(秸秆还田,秋旋埋+春平地)。试验选取不同模式各作业环节的配套机具,并监测不同模式的秸秆还田和耕整地机具作业效果。2年的试验检测表明,3种秸秆还田模式均能实现秸秆全量还田,并满足水稻插秧前的地表作业要求,能够保证正常的插秧作业和水稻返青。其中,还田处理3的综合还田效果相对最优,能实现较好的地表平整度、泥浆度和植被覆盖率;还田处理2与还田处理1相比,增加秋季旋耕作业,春季改用无动力平地作业,2年的数据尚未显示能显著改善插秧前地表状况。

关键词: 东北稻区; 秸秆还田模式; 秸秆全量还田; 机具作业效果; 水稻返青

中图分类号: S222 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)S0-0068-07

Performance of Straw Returning Equipment under Different Mechanized Straw Returning Pattern in Northeast Rice Area

SUN Nina¹ WANG Xiaoyan¹ LI Hongwen¹ PENG Xianlong² WANG Jiang¹ WANG Qingjie¹

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Rice straw returning to the field is an effective way to improve fertility and increase yield. However, the large amount of straw, low water content during harvesting and the difficulty in chopping and scattering all have a negative effects on straw returning, moreover reduce the quality of tillage and transplanting operations in the northeast rice area. It is urgent to investigate a suitable straw returning pattern, improve the quality of straw returning and tillage operations and support the application of rice straw returning technology in the northeast rice area. Aiming to solve these problems, a two-year straw returning experiment was carried out in Qixing Farm in Heilongjiang Province. Four treatments were taken into consideration, including CK (no straw returning, autumn plowing + spring puddling), returning treatment 1 (straw returning, autumn plowing + spring puddling), returning treatment 2 (straw returning, autumn plowing, autumn rotary + spring leveling), and returning treatment 3 (straw returning, autumn rotation buried + spring leveling). Matching equipment was selected for the different patterns and the effects of straw returning and tilling were measured. The two-year experiment showed that all the three straw returning patterns could realize the full amount straw returning, and conditions of soil surface after straw returning could meet the requirement of rice transplanting, in other words it could ensure the quality of rice transplanting and greening up. It could be concluded that returning treatment 3 had a better performance, which meant that it could achieve better surface flatness, slurry degree and vegetation coverage. Two-year experiment results showed that compared with returning treatment 1, treatment 2 did not significantly improve the soil conditions before rice transplanting, although rotation was added in autumn and leveling replaced stirring in spring.

收稿日期: 2018-07-03 修回日期: 2018-08-05

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0300909-03)和教育部创新团队发展计划项目(IRT13039)

作者简介: 孙妮娜(1992—),女,博士生,主要从事可持续机械化生产技术与机具研究,E-mail: sunnina92@163.com

通信作者: 王晓燕(1963—),女,教授,博士生导师,主要从事可持续机械化生产和保护性耕作技术与装备研究,E-mail: xywang@cau.edu.cn

Key words: northeast rice area; straw returning pattern; full amount straw returning; working performance of equipment; rice greening up

0 引言

东北稻区是我国重要的水稻种植区域,在维持国家粮食安全中具有重要意义。目前东北稻区面临秸秆焚烧严重、黑土地退化、增产乏力等问题^[1-3],水稻秸秆还田具有增加土壤养分^[4-6],改善土壤物理性状^[7],减少土壤流失^[8],达到增产增效等诸多作用^[9],学者们已经意识到在该地区进行水稻秸秆还田的重要性并展开系列研究。王金武等^[10]研制了一系列水稻整秆深埋还田联合作业整地机,能够将水稻整株秸秆直接深埋入土下。邹德堂等^[11]从农艺角度进行研究,形成寒地机械化稻草还田培肥地力技术体系。有学者研究了水稻秸秆还田对土壤养分特性^[12-14]、土壤物理特性^[15]、水稻产量^[16-17]等的影响。

但是,秸秆还田技术在东北稻区尚未得到大面积推广,经实地调研和与当地农户、农场管理人员交流发现,主要原因是缺乏关于东北稻区机械化秸秆还田技术模式和专业适用的机械化秸秆还田机具的系统研究。该地区进行水稻秸秆还田面临秸秆量大、收获时秸秆含水率低、秸秆韧性强、秸秆处理难等问题,这既对秸秆还田质量造成影响,又进一步影响后期耕整地和插秧作业质量。针对这种现状,本研究通过在黑龙江省实地调研,设计4种机械化秸秆还田模式,选取当地典型的农机具进行秸秆还田和耕整地作业,监测机具作业效果。通过2年试验,评价机械化秸秆还田模式和机具的还田效果、耕整地作业质量以及对插秧质量、后期水稻返青的影响,以期为东北稻区的机械化秸秆还田模式及机具选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

试验于2016年9月—2018年5月在黑龙江省七星农场(132°31′~134°33′ E,40°49′~48°18′ N)展开,该地区属于寒温带湿润季风气候区,年平均气

温1~2℃,有效积温20~24℃,日照时数为2 260~2 449 h,平均降水量为550~600 mm,无霜期为110~135 d,土壤类型为黑土。

水稻收割一般在9月10日前后开始作业,这期间适宜小型半喂入式水稻联合收获机和机械割晒作业。下霜后1~2 d可用大型机械进行直收,一般在9月末—10月15日期间进行。收获机自带秸秆粉碎抛撒装置,将脱谷后的稻草粉碎到10~15 cm并抛撒到地表。水稻秸秆还田以秋季为主,作业时间宜早不宜晚,粉碎抛撒的稻草最好深翻掩埋,翻深18~20 cm。秋耕在土壤含水率在30%左右即可开始,至地面达到封冻状态停止作业,时间大约是9月25日—11月5日。在秋整地的基础上,春季进行搅浆平地,作业时间从4月10日开始,作业必须顶凌整地,严防放水泡田时间过长,土层化冻不要超过15 cm,否则容易造成陷车;过晚整地泥脚深,作业效率低^[18]。当外界气温稳定达到13~15℃时为适宜插秧期,一般在5月15—25日,最晚不超过5月末^[19]。

1.2 机械化模式设计

通过调研发现,七星农场有“黑色越冬”的传统,秋季和春季都会进行整地作业。秋季进行整地时,分为3种形式:翻耕、翻耕后旋耕或者直接旋耕。春季整地作业时,根据地表平整情况进行搅浆或平地。秋整地和春整地方式共同对春季插秧前的地表情况产生影响。

结合已有作业方式及秸秆还田培肥试验,设置4种模式,分别为:①对照CK(秸秆不还田,秋翻+春搅浆)。②还田处理1(秸秆还田,秋翻+春搅浆)。③还田处理2(秸秆还田,秋翻、秋旋+春平地)。④还田处理3(秸秆还田,秋旋埋+春平地)。不同秸秆还田耕作模式配套的机具如表1所示,各整地机具的具体参数如表2所示。

其中,水稻整秆深埋还田联合作业整地机采用反转作业的方式,还田刀具将土壤及整株秸秆通过刀辊的上方向刀辊后方抛出,秸秆与土壤落入被切

表 1 不同机械化秸秆还田模式配套机具
Tab.1 Supporting equipment of different mechanized straw returning pattern

模式	水稻收获	秋季整地	春季整地
对照 CK	全喂入式联合收获机(不带粉碎抛撒装置)	翻耕(铧式犁)	搅浆机
还田处理 1	全喂入式联合收获机(带粉碎抛撒装置)	翻耕(铧式犁)	搅浆机
还田处理 2	全喂入式联合收获机(带粉碎抛撒装置)	翻耕(铧式犁)+旋耕(旋耕机)	无动力平地机
还田处理 3	全喂入式联合收获机(带粉碎抛撒装置)	旋埋(水稻整秆深埋还田联合作业整地机)	无动力平地机

表 2 整地机具具体参数

Tab.2 Specific parameters of land preparation equipment

机具	型号	配套动力/kW	作业深度/cm	结构
铧式犁	1L-627	66	17~20	
旋耕机	1GQN-260	40	13~15	
水稻整秆深埋还田联合作业整地机	1ZT-200	66~88	15~20	
搅浆机	1JSN-240	40	15~20	
无动力平地机		66	15~20	

出的沟底存在时间差,秸秆会先于土壤落入沟底,且秸秆会被随后落下的土壤覆盖,从而完成秸秆深埋还田作业^[20];搅浆机通过拖拉机后输出轴带动搅浆刀辊旋转,搅浆刀将土壤打碎,后面的压板将地抹平;无动力平地机通过自身质量,利用耙片将已还田的秸秆进一步压入土壤,同时耙片旋转实现土壤细碎,后面的压板将地抹平。

试验共分为 10 个小区,其中对照组(CK)为一个面积稍大的(1 600 m²)小区;其他 3 个秸秆还田处理每个小区的试验面积为 20 m×50 m,每种处理重复 3 次。各处理试验前的基础土壤状况一致,水稻种植品种相同,插秧采用相同的侧深施肥插秧机,不同处理的耕整地、插秧等作业同一天完成,确保作业效果的可比性。从 2016 年秋季开始,每年秋季水稻收获后和春季插秧前,根据试验设计进行相应的耕整地作业。

1.3 测试指标与方法

1.3.1 秋季整地的测试指标与方法

对于秸秆还田处理,秋季整地的秸秆掩埋效果好,可降低第 2 年春季整地时秸秆漂浮的可能性,同时地表平整情况及土壤细碎情况决定第 2 年春季的作业方式是搅浆还是平地。本试验秋季整地作业质量的评价以植被覆盖率、地表平整度、碎土率为主要指标。

各项指标的测试取样按照 GB/T 5262—2008《农业机械试验条件 测定方法的一般规定》中规定的五点法进行。其中翻耕处理的植被覆盖率、地表平整度、碎土率根据 GB/T 14225—2008《铧式犁》测试、计算而得;旋耕和旋埋处理的植被覆盖率、地表平整度、碎土率根据 NY/T 499—2013《旋耕机 作业

质量》测试、计算而得。

1.3.2 春季整地的测试指标与方法

春季整地主要是为插秧做准备,当地一般采用侧深施肥插秧机进行插秧,插秧机对地表情况要求较高,而且地表情况对水稻的生长和产量提高也有重要影响^[21]。如果地表不平,会导致地势相对较低的地方出现漂秧;如果秧苗插在秸秆上,容易造成“死苗”;如果泥浆过硬,会出现插秧阻力大,容易伤苗,且插秧深度变浅,插后折痕不能及时合拢,造成漂苗、缺苗;如果泥浆过软,容易导致插秧机下陷,同时会出现秧苗插不牢,插秧机推压边行苗,插后秧苗下陷,影响缓苗和分蘖生长^[22]。

本试验春整地的质量评价以地表平整度、泥浆度、植被覆盖率为主要指标。测试及取样按照 GB/T 24685—2009《水田平地搅浆机》进行。

1.3.3 水稻插秧作业效果测试指标与方法

插秧机作业质量及地表情况是水稻插秧效果的主要影响因素。目前的国家标准主要是针对插秧机作业质量的标准,未见地表状况对插秧质量影响评价方面的文献及标准。本试验中,插秧质量的评价通过实际观测各种还田处理下插秧机能否正常插秧、是否有机具下陷情况,同时根据上文分析,受地表影响最大的是插秧的漏秧率和漂秧率,故把漏秧率和漂秧率也作为评价指标。每个处理各选 5 个测点,在每个测点各测 200 穴,记录其漏秧和漂秧穴数,计算其漏秧率和漂秧率。

1.3.4 水稻返青的测试指标与方法

在插秧作业当天进行基本苗调查,包括其叶绿素相对含量(Soil and plant analyzer development, SPAD)^[23]和地下部根条数的调查。之后每日进行返青速率跟踪调查,每个处理的每个重复连续测定 10 穴中 3 株有代表性的植株,测定其地上部 SPAD 值及地下部根量^[24],持续 7 d。

SPAD 值采用 SPAD-502 Plus 型叶绿素测量仪进行测定,地下部根条数采用人工数根。

1.4 数据处理

运用 Excel 2007 进行数据处理计算,OriginPro 8.0 进行绘图,SPSS 22 等软件对数据进行统计分析。

2 结果分析与讨论

2.1 秋季秸秆还田作业效果

本试验分别于 2016 年 10 月及 2017 年 10 月在黑龙江省七星农场进行了秋整地试验,同一块试验地 2 年采用相同的处理方式,2 年都是秸秆全量还田。秸秆量约为 8.5 t/hm²,留茬高度为 22.5 cm,试验时秸秆含水率为 29%。2016 年 10 月土壤湿度

大,且较为黏重,具体参数如下:15 ~ 20 cm 的土壤紧实度为 430 ~ 600 kPa,土壤含水率为 25% ~ 30%。2017 年 10 月土壤含水率较低,土壤黏性小,具体参数为:15 ~ 20 cm 的土壤紧实度为 750 ~ 1 200 kPa,

土壤含水率为 15% ~ 20%。
每年秋季进行翻耕、翻耕 + 旋耕、旋埋 3 种处理,作业后地表情况如图 1 所示,不同整地方式作业效果如表 3 所示。

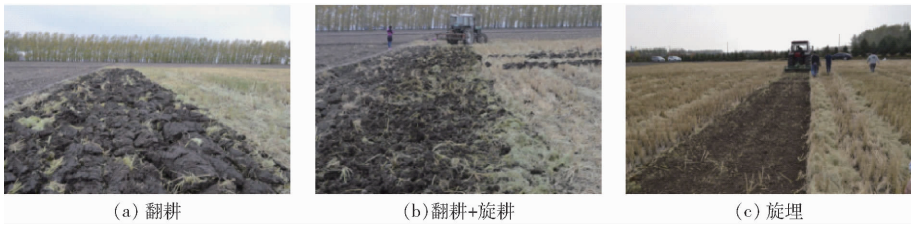


图 1 不同秋整地方式地表情况

Fig. 1 Surface conditions in different autumn land preparation patterns

表 3 不同秋整地作业效果

Tab. 3 Working performance of different autumn land preparation patterns

模式	2016 年 10 月			2017 年 10 月		
	植被覆盖率 (地表以下)/%	地表平整度/ cm	碎土率/%	植被覆盖率 (地表以下)/%	地表平整度/ cm	碎土率/%
翻耕	86.5 ^b			94.8 ^{ab}		
翻耕 + 旋耕	81.7 ^b	4.1 ^b	62.5 ^b	84.3 ^b	3.7 ^a	67.1 ^b
旋埋	95.1 ^a	2.2 ^a	96.2 ^a	95.4 ^a	2.3 ^a	97.0 ^a

注:表中同列不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著,下同。

通过 2 年的对比试验发现,旋埋情况下的植被覆盖率最高(达 95% 以上),地表平整度最好(2 cm 左右),作业后土壤比较细碎(达 96% 以上);在置信度为 0.05 的情况下,其 3 项指标结果都基本显著比翻耕 + 旋耕处理好。翻耕 + 旋耕处理的植被覆盖率(85% 以下)比仅进行翻耕处理的植被覆盖率(86% 以上)低,但无显著性差异,主要是由于旋耕将原本翻埋在 8 cm 以内的部分秸秆重新旋耕到地表上。2016 年 10 月的翻耕效果比 2017 年 10 月的作业效果差,主要是由于 2016 年 10 月试验地比较湿,土壤含水率高,不利于翻耕作业,甚至出现秸秆堵塞拖堆的现象,所以其植被覆盖效果相对较差。而旋埋这种方式,在土壤含水率比较高和比较低的情况下,都具有很好的作业效果,这为春季作业提供了较好的

作业条件。
有研究表明,秸秆与土壤混合越均匀则秸秆还田效果越好^[25],因此秸秆在土壤中空间分布状态的测试及评价非常重要。为了更好地观测秋整地处理后秸秆在土层内的分布情况,2018 年春季挖取了不同处理的剖面,如图 2 所示。从图中可以看出,翻耕后的秸秆被掩埋进土里,秸秆分布在 0 ~ 15 cm 内;翻耕 + 旋耕处理的秸秆主要集中在上层(0 ~ 10 cm),也有部分秸秆被旋耕到地表上;旋埋处理的秸秆与土壤较好的混合在一起,地表最平整。陈青春等^[26]研究表明,反转旋耕的秸秆在沿土壤深度方向的空间分布均匀率、秸秆-土壤混合效果、耕幅内地表平整度等优于正转旋耕,与本文观测的结果一致。

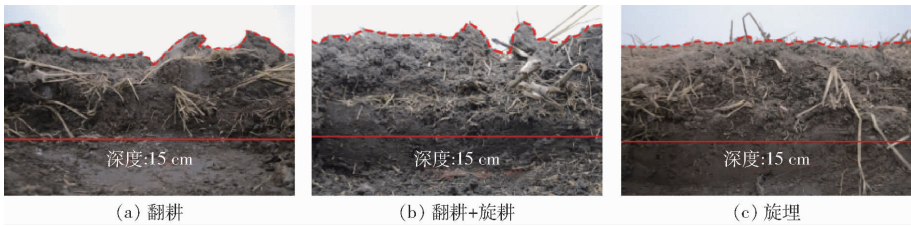


图 2 不同秋整地方式的剖面

Fig. 2 Profiles of different autumn land preparation patterns

2.2 春季整地作业效果

分别于 2017 年 5 月及 2018 年 5 月在黑龙江省七星农场进行了春整地试验,同一块试验地 2 年采用的处理方式相同。春季经过放水泡田后,采用搅

浆(还田处理 1)、平地(还田处理 2 和还田处理 3)两种处理方式进行整地,作业效果如图 3 所示。通过观察发现,搅浆易将掩埋在土层里的秸秆搅到地表,在泡田水比较多的情况,出现秸秆漂浮,如图 3c 所示。

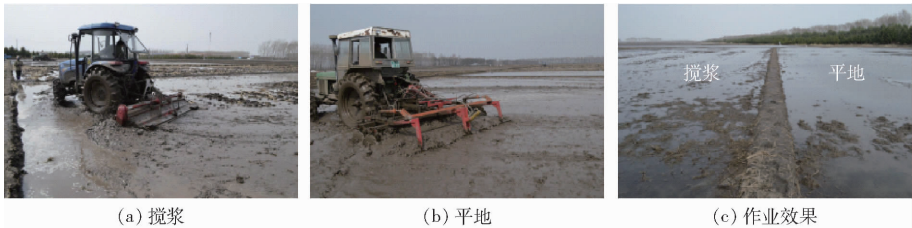


图 3 春整地方式及作业效果

Fig. 3 Method and operation effects of spring land preparation

表 4 为不同机械化秸秆还田模式的春整地作业效果。其中,地表平整度越小,代表地表越平整;泥

浆度越小,代表泥浆越细;植被覆盖率越高,代表植被掩埋效果越好。

表 4 不同机械化秸秆还田模式作业效果

模式	2017 年 5 月			2018 年 5 月		
	平整度/cm	泥浆度/ (g·cm ⁻³)	植被覆盖率 (地表以下)/%	平整度/cm	泥浆度/ (g·cm ⁻³)	植被覆盖率 (地表以下)/%
对照 CK	0.7 ^b	1.28 ^{ab}		0.4 ^b	1.41 ^b	
还田处理 1	0.6 ^b	1.25 ^b	83.9 ^b	0.4 ^b	1.40 ^b	89.4 ^b
还田处理 2	1.5 ^a	1.41 ^a	85.4 ^{ab}	0.8 ^a	1.58 ^a	90.3 ^{ab}
还田处理 3	1.2 ^a	1.32 ^{ab}	91.4 ^a	0.6 ^{ab}	1.51 ^{ab}	95.1 ^a

平整度和泥浆度在置信度为 0.05 的情况下,还田处理 1 的平整度和泥浆度显著优于还田处理 2。还田处理 1 的泥浆度与还田处理 3 相比无显著性差异;还田处理 1 的平整度在 2017 年显著优于还田处理 3,在 2018 年无显著性差异。还田处理 1 的平整度及泥浆度与对照 CK 相比无显著性差异,说明秸秆对搅浆作业后的平整度及泥浆度无显著影响。还田处理 1 春季采用的是搅浆方式,搅浆作业后的泥浆很细,地更易平整,所以其平整度及泥浆度比春季平地好;还田处理 3 秋季采用旋埋方式,在秋季已达到较好的土壤细碎程度(碎土率达 96% 以上),所以春季采用平地的作业方式后,仍能有较好的平整度及泥浆度。

植被覆盖率方面,还田处理 3 在 2017 和 2018 年均有很好的植被覆盖率(达 91% 以上)。在置信度为 0.05 的情况下,其植被覆盖率显著大于还田处理 1 的植被覆盖率;还田处理 2 的植被覆盖率与还田处理 1、还田处理 3 相比均无显著性差异。春季不搅浆,只进行平地作业,可以将秸秆压入土中。还田处理 3 秋季地表裸露的秸秆与其他还田处理相比较少,春季再经过平地机碾压,其地表秸秆更少。而还田处理 1 春季采用搅浆的方式,将秋季翻埋进地里的秸秆重新搅到地表,增加地表的秸秆量,降低地表以下的秸秆量;还田处理 2 的植被覆盖率在秋季不如还田处理 1,但是春季采用平地的方式,将地表的秸秆重新压入土中,所以还田处理 2 的植被覆盖率在春季得到提高,提高 4~6 个

百分点。

综合来看,还田处理 3 在 2 年的试验中,均具有较好的平整度、泥浆度和植被覆盖率。这种还田处理秋季作业后,土壤细碎,地表较为平整,大大降低第二年春季的作业量,减少水整地作业量,降低传统大量搅浆作业对土壤的扰动破坏。该处理秋季采用的水稻整秆深埋还田联合作业整地机有较好的秸秆深埋作业效果。

还田处理 2 与还田处理 1 相比,秋季增加一遍旋耕,其目的是为了减少春季搅浆作业对土壤的扰动。但是通过实际对比发现,还田处理 1 春季采用搅浆,其平整度及泥浆度都显著优于还田处理 2(平地);还田处理 1 的植被覆盖率虽比还田处理 2 略低,但并无显著性差异。说明在东北稻区秋季在翻耕基础上增加旋耕作业,尚不能显著改善插秧前的土地平整质量。如果能适当调控秋季旋耕深度和土壤搅动量,解决将秸秆重新带出的问题,并且改善秋季和春季地表平整效果,还田处理 2 也有望成为秸秆还田的可选模式。

根据 GB/T 24685—2009《水田平地搅浆机》要求,搅浆平地作业的性能指标为:地表平整度小于等于 5 cm,泥浆度小于等于 1.6 g/cm³,植被覆盖率大于等于 80%。3 种还田处理方式均满足搅浆平地作业的性能指标,达到插秧前的地表要求。无动力平地机在秋季耕整地比较平整的条件下,春季平地质量能够满足要求,对土壤破坏程度低,并且将秸秆继续压入土壤,植被覆盖率高。

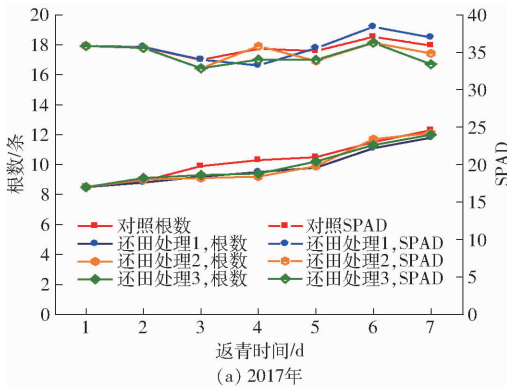
2.3 对插秧作业质量的影响

通过实地观测,秸秆还田的情况下,2017 和 2018 年插秧机均能正常作业,且未见插秧机下陷现象。2018 年观测各处理的漏秧率和漂秧率,如表 5 所示,均满足 GB/T 20864—2007 要求的漏秧率小于等于 5%,漂秧率小于等于 3%。

表 5 2018 年秸秆还田处理的漏秧率和漂秧率
Tab.5 Leakage rate and floating rate of straw returning treatments in 2018 %

模式	漏秧率	漂秧率
对照 CK	2.1 ^a	1.5 ^{ab}
还田处理 1	2.6 ^a	2.0 ^b
还田处理 2	2.5 ^a	1.7 ^{ab}
还田处理 3	2.8 ^a	1.2 ^a

在置信度为 0.05 的情况下,4 种模式的漏秧率无显著性差异;还田处理 3 的漂秧率显著低于还田处理 1,主要是由于还田处理 3 植被覆盖率好,将大



部分秸秆掩埋,减少秧苗插秧在秸秆上造成的漂秧现象。

2.4 对水稻秧苗返青的影响

通过实地观测,秸秆还田的情况下,水稻秧苗能正常生长。为了更客观地反映秧苗的返青情况,测试秧苗 SPAD 值及根数变化情况。水稻秧苗移栽后,由于植伤原因,地上部生长停滞,新根萌发,该过程一般持续 4~7 d 才能恢复正常生长,该阶段称为返青期。连续 7 d 测试了不同模式下的秧苗 SPAD 值及根数变化情况,图 4 为 4 种模式的 SPAD 值及根数变化曲线。

通过图 4 发现,4 种模式下水稻返青情况差别不大。2017 年(返青期温度为 13~25℃)的水稻秧苗返青不如 2018 年(返青期温度为 14~27℃)快,2018 年返青 7 d 后,根数达到 14 条左右,2017 年返青 7 d 后,根数为 12 条左右,这主要是由于 2018 年水稻返青的时候,外界温度高,从而返青较快。

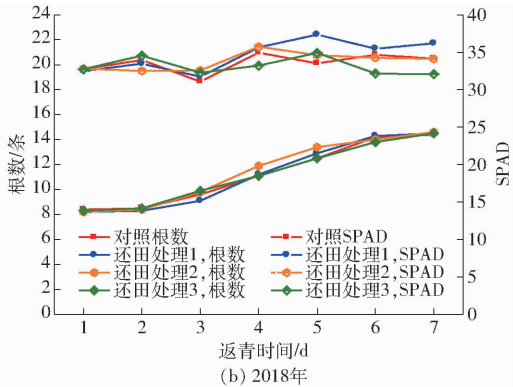


图 4 返青期根数和 SPAD 变化

Fig. 4 Changing of returning root number and SPAD

2.5 讨论

通过试验证明目前设计的 3 种秸秆还田模式基本可行。还田处理 3 的综合还田效果最优,但是要大面积推广,秋季采用的水稻整秆深埋还田联合作业整地机的机器成本及能耗还相对较高,希望政府部门能够通过机具补贴等方式支持。

还田处理 1 和还田处理 2 这两种处理方式采用东北稻区现有的机型作业,技术模式推广简单,但是需进一步提高联合收获机配套的秸秆粉碎抛撒装置的秸秆粉碎抛撒均匀度,减少秸秆成堆存在造成的整地堵塞问题;需提高秋季旋耕作业的平地质量,进而减少春季水田整地作业。

秸秆的粉碎抛撒质量影响后期耕整地和插秧作业质量,建议在收获后秋整地前,增加 1 项单独的秸秆粉碎机下地作业,进一步保证后期耕整地作业的顺利进行。

3 结论

(1)2 年的田间试验表明,设计的 3 种秸秆还田模式均能满足水稻插秧前的地表作业要求,能够保证正常的插秧作业和水稻秧苗返青。3 种秸秆还田模式与对照 CK 相比,插秧后的水稻返青生长无明显差异。说明秸秆还田模式基本可行。

(2)比较 3 种秸秆还田模式插秧前的地表情况,结果表明,还田处理 3 的综合还田效果最优,在 2 年的试验中,均具有较好的平整度、泥浆度和植被覆盖率。

(3)还田处理 1(翻耕)春季采用搅浆的方式,其地表平整度和泥浆度较好,但是造成秸秆漂浮现象。还田处理 2(翻耕+旋耕+无动力平地)和还田处理 3(旋理+无动力平地)秋季作业后地表相对平整,春季均采用平地的方式,其整地质量能够满足要求,对土壤破坏程度低,并且将秸秆继续压入土壤,秸秆还田效果好。

参 考 文 献

- 1 王金武,唐汉,王金峰. 东北地区作物秸秆资源综合利用现状与发展分析[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(5):1-21. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170501&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.05.001.
WANG Jinwu, TANG Han, WANG Jinfeng. Comprehensive utilization status and development analysis of crop straw resource in northeast China [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(5): 1-21. (in Chinese)
- 2 汪景宽,李双异,张东旭,等. 20年来东北典型黑体地区土壤肥力质量变化[J]. 中国生态农业学报,2007,15(1):19-24.
WANG Jingkuan, LI Shuangyi, ZHANG Dongxu, et al. Spatial and temporal variability of soil quality in typical black soil area in northeast China in 20 years [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(1): 19-24. (in Chinese)
- 3 贾洪雷,马成林,李慧珍,等. 基于美国保护性耕作分析的东北黑土区耕地保护[J]. 农业机械学报,2010,41(10):28-34.
JIA Honglei, MA Chenglin, LI Huizhen, et al. Tillage soil protection of black soil zone in northeast of China based on analysis of conservation tillage in the United States [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10): 28-34. (in Chinese)
- 4 LU F. How can straw incorporation management impact on soil carbon storage? A meta-analysis [J]. Mitigation & Adaptation Strategies for Global Change, 2015, 20(8): 1545-1568.
- 5 WANG W, LAI D Y F, WANG C, et al. Effects of rice straw incorporation on active soil organic carbon pools in a subtropical paddy field [J]. Soil & Tillage Research, 2015, 152: 8-16.
- 6 JI Xionghui, WU Jiamei, PENG Hua, et al. The effect of rice straw incorporation into paddy soil on carbon sequestration and emissions in the double cropping rice system [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2012, 92(5): 1038-1045.
- 7 YAO S, TENG X, ZHANG B. Effects of rice straw incorporation and tillage depth on soil puddlability and mechanical properties during rice growth period [J]. Soil & Tillage Research, 2015, 146: 125-132.
- 8 ABRANTES J R C B, PRATS S A, KEIZER J J, et al. Effectiveness of the application of rice straw mulching strips in reducing runoff and soil loss: laboratory soil flume experiments under simulated rainfall [J]. Soil & Tillage Research, 2018, 180: 238-249.
- 9 XIA L, WANG S, YAN X. Effects of long-term straw incorporation on the net global warming potential and the net economic benefit in a rice-wheat cropping system in China [J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2014, 197: 118-127.
- 10 王金武,王奇,唐汉,等. 水稻秸秆深埋整秆还田装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2015,46(9):112-117. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150916&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.09.016.
WANG Jinwu, WANG Qi, TANG Han, et al. Design and experiment of rice straw deep buried and whole straw returning device [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9): 112-117. (in Chinese)
- 11 邹德堂,解保胜. 寒地水稻机械化秸秆直接还田技术的研究[J]. 农机化研究,2008,30(7):227-229.
ZOU Detang, XIE Baosheng. Study on the technology of mechanical crush-up of rice stalks for direct returning to farm land in cold region [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, 30(7): 227-229. (in Chinese)
- 12 YAN C, ZHAN H, YAN S, et al. Effects of straw retention and phosphorous fertilizer application on available phosphorus content in the soil solution during rice growth [J]. Paddy & Water Environment, 2016, 14(1): 61-69.
- 13 刁晓林,曾祥亮,龚振平,等. 秸秆还田对水稻生育期间土壤溶液中养分变化的影响[J]. 东北农业大学学报,2010,41(4):43-48.
DIAO Xiaolin, ZENG Xiangliang, GONG Zhenping, et al. Effect of straw returning on nutrients change in soil solution during rice growth period [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41(4): 43-48. (in Chinese)
- 14 吕贻忠,廉晓娟,赵红,等. 保护性耕作模式对黑土有机碳含量和密度的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(11):163-169.
LÜ Yizhong, LIAN Xiaojuan, ZHAO Hong, et al. Effects of conservation tillage patterns on content and density of organic carbon of black soil [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(11): 163-169. (in Chinese)
- 15 SUI Y, GAO J, LIU C, et al. Interactive effects of straw-derived biochar and N fertilization on soil C storage and rice productivity in rice paddies of northeast China [J]. Science of the Total Environment, 2016, 544: 203-210.
- 16 闫超,颜双双,王家睿,等. 寒地稻秸还田与施钾肥对土壤水溶性钾和水稻产量的影响[J]. 东北农业大学学报,2015,46(5):16-21.
YAN Chao, YAN Shuangshuang, WANG Jiarui, et al. Effect of rice straw retention and potassium fertilizer application in cold region on soluble potassium content in the soil solution and rice yield [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2015, 46(5): 16-21. (in Chinese)
- 17 王秋菊,常本超,张劲松,等. 长期秸秆还田对白浆土物理性质及水稻产量的影响[J]. 中国农业科学,2017,50(14):2748-2757.
WANG Qiuju, CHANG Benchao, ZHANG Jinsong, et al. Effects of albic soil physical properties and rice yields after long-term straw incorporation [J]. Scientia Agricultural Sinica, 2017, 50(14): 2748-2757. (in Chinese)
- 18 慕永红,曹书恒,顾春梅,等. 稻草机械化直接还田技术[J]. 现代化农业,2003(1):13-14.

(in Chinese)

- 12 CHATTHA H S, ZAMAN Q U, CHANG Y K, et al. Variable rate spreader for real-time spot-application of granular fertilizer in wild blueberry[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 100: 70 – 78.
- 13 MOUAZEN A M, KAROUÏ R, DE BAERDEMACKER J, et al. Characterization of soil water content using measured visible and near infrared spectra [J]. Soil Science Society of American Journal, 2006, 70(4): 1295 – 1302.
- 14 TOLA E, KATAOKA T, BUREE M, et al. Granular fertilizer application rate control system with integrated output volume measurement[J]. Biosystems Engineering, 2008, 101(4): 411 – 416.
- 15 张继成. 基于处方图的变量施肥系统关键技术研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.
ZHANG Jicheng. Research on key technologies of variable fertilizer system based on the prescription [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- 16 魏学礼. 东北垄作玉米全要素变量施肥控制系统研发[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
WEI Xueli. Research and development of total factor variable rate fertilization control system for ridge planting maize in northeast of China [D]. Beijing: China Agricultural University, 2017. (in Chinese)
- 17 乔璐. 混合变量施肥控制系统的设计[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
QIAO Lu. Design of the control system of mixed fertilizer applicator [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- 18 陈满, 鲁伟, 汪小昆, 等. 基于模糊 PID 的冬小麦变量追肥优化控制系统设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(2): 71 – 76. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160210&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.02.010.
CHEN Man, LU Wei, WANG Xiaochan, et al. Design and experiment of optimization control system for variable fertilization in winter wheat field based on fuzzy PID [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(2): 71 – 76. (in Chinese)
- 19 冯慧敏, 高娜娜, 孟志军, 等. 基于自动导航的小麦精准对行深施追肥机设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(4): 60 – 67. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180407&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2018.04.007.
FENG Huimin, GAO Na'na, MENG Zhijun, et al. Design and experiment of deep fertilizer applicator based on autonomous navigation for precise row-following [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(4): 60 – 67. (in Chinese)
- 20 安晓飞, 付卫强, 魏学礼, 等. 基于处方图的垄作玉米四要素变量施肥机作业效果评价[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(增刊): 66 – 70. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2017s011&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.S0.011.
AN Xiaofei, FU Weiqiang, WEI Xueli, et al. Evaluation of four-element variable rate application of fertilization based on maps [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(Suppl.): 66 – 70. (in Chinese)

(上接第 74 页)

- 19 慕永红, 于杨, 张莉萍, 等. 寒地水稻插秧时期对产量与品质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2009(3): 31 – 34.
MU Yonghong, YU Yang, ZHANG Liping, et al. Effect of seeding and planting period on the rice yield and quality in cold region [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2009(3): 31 – 34. (in Chinese)
- 20 葛宜元, 王金武, 李世伟, 等. 整株秸秆还田机刀轴载荷谱编制与疲劳寿命估算[J]. 农业机械学报, 2009, 40(3): 77 – 80.
GE Yiyuan, WANG Jinwu, LI Shiwei, et al. Load spectrum compiling and fatigue life estimation of the cutter shaft of the whole-straw recycling machine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3): 77 – 80. (in Chinese)
- 21 李明金. 水田搅浆机平地装置的设计与试验研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2014.
- 22 栾峰. 高速插秧机单机作业量影响因素分析[J]. 农业科技与装备, 2013(8): 32 – 33.
LUAN Feng. Analysis of the factors affecting the operation quantity of one unit of high-speed transplanting machine [J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2013(8): 32 – 33. (in Chinese)
- 23 杨士红, 彭世彰, 徐俊增, 等. 不同水氮管理下稻田氨挥发损失特征及模拟[J]. 农业工程学报, 2012, 28(11): 99 – 104.
YANG Shihong, PENG Shizhang, XU Junzeng, et al. Characteristics and simulation of ammonia volatilization from paddy fields under different water and nitrogen management [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(11): 99 – 104. (in Chinese)
- 24 胡潇怡. 基于侧深施肥技术的寒地水稻高产高效管理研究与示范[D]. 北京: 中国农业大学, 2016.
- 25 KASTEEL R, GARNIER P, VACHIER P, et al. Dye tracer infiltration in the plough layer after straw incorporation [J]. Geoderma, 2007, 137(3): 360 – 369.
- 26 陈青春, 石勇, 丁启朔, 等. 正反旋耕作业的秸秆混埋效果比较[J]. 农业工程学报, 2015, 31(9): 13 – 18.
CHEN Qingchun, SHI Yong, DING Qishuo, et al. Comparison of straw incorporation effect with down-cut and up-cut rotary tillage [J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(9): 13 – 18. (in Chinese)