



董文军, 孟英, 张俊, 等. 东北粳稻区秸秆还田下无驱动搅浆的综合效果分析[J]. 黑龙江农业科学, 2021(5): 8-13.

东北粳稻区秸秆还田下无驱动搅浆的综合效果分析

董文军^{1,2}, 孟英¹, 张俊³, 唐傲¹, 刘凯^{2,4}, 张喜娟¹, 刘猷红¹, 来永才^{2,4}

(1. 黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所/农业部东北地区作物栽培科学观测试验站/黑龙江省寒地作物生理生态重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150028; 2. 国家耐盐碱水稻技术创新中心东北分中心, 黑龙江 哈尔滨 150028; 3. 中国农业科学院 作物科学研究所, 北京 100081; 4. 黑龙江省农业科学院, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要: 秸秆还田是东北地区水稻秸秆综合利用的一种主要方式, 对盐碱地改良起到重要的作用。在秸秆粉碎均匀抛撒以及合理整地的基础上, 搅浆环节对于防止水稻秸秆漂浮起到至关重要的作用。为促进水稻生产中秸秆还田条件下搅浆平地机具的合理选择, 本文在秸秆还田和秋整地的基础上, 通过完全随机机组试验比较了有动力搅浆和无驱动搅浆方式对水稻产量及土壤物理性质的影响。结果表明: 与有动力搅浆相比, 无驱动搅浆的土面下降高度和秸秆漂浮量分别显著降低 37.9% 和 33.7%, 秧苗的新生白根数显著增加 16.2%, $>2\ 000\ \mu\text{m}$ 和 $250\sim2\ 000\ \mu\text{m}$ 土壤大团聚体所占的比例分别显著提高了 17.7% 和 75.0%, 土壤微团聚体 ($53\sim250\ \mu\text{m}$) 的比例显著提高了 50.6%, 而土壤粘粉粒 ($<53\ \mu\text{m}$) 的比例显著降低了 17.0%。与有动力搅浆相比, 无驱动搅浆可使 $0\sim40\ \text{cm}$ 土层的土壤容重降低 2.1%~7.8%, 但差异均不显著, 降低土壤穿透阻力, 但可提高 $0\sim30\ \text{cm}$ 土层的砂粒所占比例。有动力搅浆与无驱动搅浆的水稻籽粒产量无显著性差异。综上所述, 无驱动搅浆可以有效抑制搅浆后的秸秆漂浮, 改善土壤物理性质, 且不影响水稻产量, 是秸秆还田下稻田搅浆方式的理想选择。

关键词: 东北粳稻区; 秸秆还田; 无驱动搅浆; 土壤物理性质; 产量; 盐碱土改良

我国是世界上的水稻生产大国, 水稻种植面积达 $0.3\ \text{亿}\ \text{hm}^2$, 约占世界稻田面积的 27%, 占我国粮食作物耕地总面积的 34% 左右^[1]。此外, 我国各类作物每年生产的秸秆约 6 亿 t 左右, 其中水稻秸秆 2.3 亿 t^[2], 秸秆资源的合理循环利用成为我国水稻生产急需解决的问题。2020 年“中央一号文件”主题聚焦治理农村生态环境突出问题, 文件明确提出要推进秸秆综合利用。为此, 应积极推进我国水稻秸秆综合利用, 探索与我国耕作制度及其关键环节相适应的秸秆利用新路径, 避免秸秆焚烧对农业生态环境和人民生产生活造成不利的影响。

目前, 秸秆直接还田备受世界各国的广泛关注, 普遍认为秸秆直接还田是大力推广的、最直接

有效的农业措施。欧美等国一般将 2/3 左右的秸秆用于直接还田^[3-6]。据估算^[7], 1980—1989 年我国秸秆直接还田率约 20% 左右, 到 2000—2009 年秸秆直接还田率约为 42%, 2010—2015 年由于政府积极提倡秸秆还田, 使得 60% 以上的秸秆被直接还田。

东北粳稻区作为我国重要的粳稻主产区, 对于保障我国口粮有效供给具有举足轻重的作用; 该区域既是粳稻的生产区, 也是秸秆的重要产出区。秸秆利用主要以还田为主^[8], 秸秆还田能够改善土壤的理化性质, 提高土壤肥力, 利于作物的生长发育, 尤其是对于盐碱地的改良具有明显的效果, 其中搅浆是秸秆还田后的一个非常重要的作业环节。搅浆一般有两种方式, 一种是常见的有动力搅浆方式, 这种方式搅浆需要的时间较长, 消耗动力较多, 易破坏土壤的大团粒结构, 引起秸秆漂浮, 泥浆深度较厚不利于插秧; 另一种是无驱动搅浆方式, 这种方式搅浆需要的时间较短, 消耗动力较少, 可减少对土壤的扰动, 易形成土壤的大团粒结构, 不易引起秸秆漂浮, 泥浆深度合适利于插秧, 秧苗新生根系多, 返青速度快。

目前, 国内外学者关于秸秆直接还田的研究多集中在旱田, 对稻田的研究相对较少^[9-12], 主要

收稿日期: 2020-12-04

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0300909-02); 黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项 (HNK2019CX13, HNK2019CX02); 黑龙江省农业科学院高效、绿色现代农业示范项目 (TGY-2019-03)。

第一作者: 董文军 (1981—), 男, 博士, 副研究员, 从事水稻耕作栽培与稻田生态系统方面的研究。E-mail: dongwenjun0911@163.com。

通信作者: 来永才 (1964—), 男, 博士, 研究员, 从事现代农作制度、耕作栽培及农业资源利用研究。E-mail: yame0451@163.com。

在秸秆还田后对稻田土壤碳库、理化性质以及水稻产量等影响方面开展了相关研究^[13-20],但是针对春季搅浆平地效果的研究则很少。由于搅浆环节对于水稻秸秆漂浮,插秧后秧苗返青,土壤物理性质及水稻产量等均起到至关重要的作用,为此,本研究在秸秆还田和秋整地的基础上,通过比较不同搅浆方式对土壤物理性质及水稻产量等的影响,明确不同搅浆方式的作用效果,为秸秆还田条件下搅浆平地机具的合理选择提供理论依据与技术参考,为盐碱地的改良提供技术途径。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于黑龙江省哈尔滨市道外区民主乡黑龙江省农业科学院水田试验基地(45°49'N, 126°48'E, 海拔 117 m),属于温带大陆性季风气候。年平均日照时数为 2 668.9 h,无霜期平均 131~146 d,年降水量 508~583 mm。供试土壤为黑钙土,偏碱性,试验地基本理化性质为有机质 27.3 g·kg⁻¹,碱解氮 78.9 mg·kg⁻¹,有效磷 24.2 mg·kg⁻¹,速效钾 184.7 mg·kg⁻¹,0~45 cm 土壤穿透阻力为 691.03 kPa,土壤容重为 1.55 g·cm⁻³,土壤质地包括粘粒(<2 μm)所占比例为 4.71%,粉粒(2~50 μm)所占比例为 76.47%,砂粒(>50~2 000 μm)所占比例为 18.82%。

1.2 材料

供试水稻品种为龙稻 21。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验于 2017 年 10 月—2019 年 10 月进行,开展 2 个生长季的试验,设置有动力搅浆和无驱动搅浆 2 个处理。有动力搅浆采用生产上普遍使用的有动力搅浆机进行搅浆平地(图 1a、b),主要是通过拖拉机后输出轴带动搅浆刀辊旋转,搅浆刀片将土壤打碎,后面的刮板将泥浆层整平。无驱动搅浆是在有动力搅浆的基础上进一步优化和改进,无驱动搅浆平地机不安装搅浆刀片,安装的是圆盘切刀(图 2a、b),搅浆时通过旋转的圆盘切刀将已还田的秸秆进一步压入土壤中,同时圆盘切刀旋转实现土壤细碎,后面的刮板将泥浆层整平^[21]。每年秋季水稻收获后秸秆均匀粉碎还田,秸秆粉碎长度≤10 cm,使用铧式犁进行翻耕,深度 18~20 cm,翌年春季泡浅水,两个处理分别进行有动力搅浆和无驱动搅浆,再保持一定的水层沉浆。

试验采用完全随机区组设计,3 次重复,每个小区面积约 300 m²,水稻分别于 2018 年 5 月 18 日和 2019 年 5 月 19 日进行人工移栽,栽插密度为 30 cm×13.3 cm,每穴 4~6 株。2 个处理施肥方式一致,其中纯氮 180 kg·hm⁻²,按基肥:分蘖肥:穗肥=4:3:3 施入;P₂O₅ 70 kg·hm⁻² 作基肥一次性施用,K₂O 60 kg·hm⁻²,按基肥:穗肥=1:1 施入。田间水分管理为水稻生育前期(分蘖期)浅水,中期排水烤田,后期干湿交替,每次灌水后自然落干。



图 1 有动力搅浆机整机结构(a)和田间搅浆作业(b)



图 2 无驱动搅浆机整机结构(a)和田间搅浆作业(b)

1.3.2 测定项目及方法 土壤泥浆结构:搅浆平地后立即用 PVC 管(直径 5 cm,高 15 cm)取原状

土,用注射器吸除表面水分,标记土壤高度线;沉实 3 d 后,再次标记土壤高度线,测量土面的下降距离。

秸秆漂浮情况:搅浆平地后在有代表性的位置放置 $0.5\text{ m}\times 0.5\text{ m}$ 的方框,收集漏在泥浆表层的秸秆,洗净、烘干、称重。

秧苗返青速率(单株新生白根数):返青后 5 d 内,每个小区随机选择 10 穴,记录株数、新生白根数并计算每株的新生白根数。

土壤团聚体:搅浆平地后立即取未沉浆的土壤依次过筛,按照湿筛法^[22-23]将土壤依次过 $2\,000\text{ }\mu\text{m}$ 、 $250\text{ }\mu\text{m}$ 和 $53\text{ }\mu\text{m}$ 筛,从而获得 $>2\,000\text{ }\mu\text{m}$ 、 $250\sim 2\,000\text{ }\mu\text{m}$ 、 $53\sim 250\text{ }\mu\text{m}$ 和 $<53\text{ }\mu\text{m}$ 四个级别的土壤团聚体。

土壤容重:水稻收获后,采用直径为 8 cm,高为 10 cm 的环刀法测定。

土壤穿透阻力:水稻收获后,采用美国产 SC 900 土壤紧实度仪进行田间现场测定。

土壤质地:采用 Bettersize 2000 激光粒度分布仪测定。

产量:在水稻成熟后,每个小区取 1 m^2 样品,用于实际产量的测定。

1.3.3 数据分析 采用 Excel 2013 进行数据处理并绘制相关图表,并用 SPSS 22.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 无驱动搅浆的整地效果及对秧苗的影响

由表 1 可知,与有动力搅浆相比,无驱动搅浆的土面下降高度和秸秆漂浮量两年平均分别显著降低 37.9% 和 33.7%,秧苗的新生白根数两年平均显著增加 16.2%。由此可知,无驱动搅浆方式可有效减少秸秆的漂浮量,抑制泥浆大团粒结构的破碎程度,利于水稻秧苗的扎根。

表 1 无驱动搅浆的整地效果及对秧苗的影响

| 年份 | 处理 | 秸秆漂浮量/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) | 土面下降 高度/cm | 单株新生 白根数/根 |
|------|-------|--|---------------|---------------|
| 2018 | 有动力搅浆 | 441.16 a | 1.42 a | 8.48 b |
| | 无驱动搅浆 | 234.68 b | 0.77 b | 9.77 a |
| 2019 | 有动力搅浆 | 530.27 a | 3.43 a | 13.27 b |
| | 无驱动搅浆 | 421.22 b | 2.40 b | 15.55 a |

注:同列数值后不同字母表示 5% 差异显著水平。下同。

2.2 无驱动搅浆的土壤团聚体分布

由图 3 可以看出,与有动力搅浆相比,无驱动搅浆的 $>2\,000\text{ }\mu\text{m}$ 和 $250\sim 2\,000\text{ }\mu\text{m}$ 土壤大团聚体所占的比例分别显著提高了 17.7% 和 75.0%,土壤微团聚体 ($53\sim 250\text{ }\mu\text{m}$) 的比例显著提高了 50.6%,而土壤粘粉粒 ($<53\text{ }\mu\text{m}$) 的比例显著降低了 17.0%。从以上分析可见,无驱动搅浆利于土壤大团聚体和微团聚体的形成。

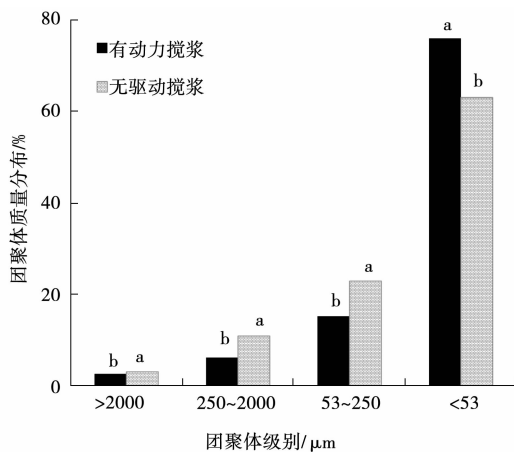


图 3 无驱动搅浆对土壤团聚体分布的影响

2.3 无驱动搅浆对水稻籽粒产量的影响

由图 4 可以看出,有动力搅浆与无驱动搅浆处理的水稻籽粒产量两年均无显著性差异。说明无驱动搅浆的籽粒产量不会低于有动力搅浆的。

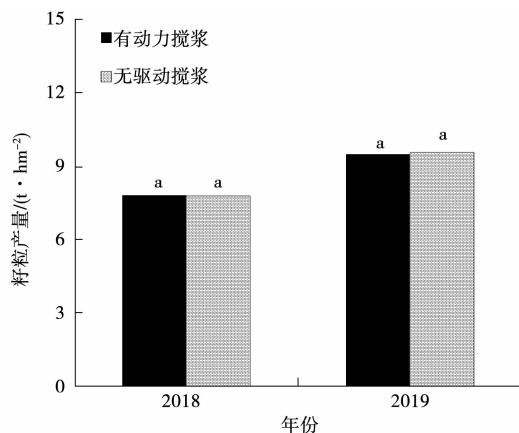


图 4 无驱动搅浆对水稻籽粒产量的影响

2.4 无驱动搅浆对土壤容重的影响

从表 2 可以看出,相对于有动力搅浆,无驱动搅浆在 $0\sim 10\text{ cm}$ 、 $10\sim 20\text{ cm}$ 、 $20\sim 30\text{ cm}$ 和 $30\sim 40\text{ cm}$ 土层的土壤容重两年平均分别降低 2.1%、2.2%、5.9% 和 7.8%,但差异均未达显著水平。

表 2 无驱动搅浆对土壤容重的影响

| 年份 | 处理 | 不同土层土壤容重/(g·cm ⁻³) | | | |
|------|-------|--------------------------------|----------|----------|----------|
| | | 0~10 cm | 10~20 cm | 20~30 cm | 30~40 cm |
| 2018 | 有动力搅浆 | 1.46 a | 1.60 a | 1.71 a | 1.69 a |
| | 无驱动搅浆 | 1.43 a | 1.56 a | 1.57 a | 1.53 a |
| 2019 | 有动力搅浆 | 1.36 a | 1.53 a | 1.67 a | 1.65 a |
| | 无驱动搅浆 | 1.33 a | 1.50 a | 1.61 a | 1.55 a |

2.5 无驱动搅浆对土壤穿透阻力的影响

通过两年的试验结果分析发现,两种搅浆方式的土壤穿透阻力变化规律一致,均表现为有动力搅浆>无驱动搅浆。由图 5 可知,在 0~45 cm 土层,有动力搅浆的土壤穿透阻力平均为 597.78 kPa,无驱动搅浆的土壤穿透阻力平均为 532.63 kPa。若土壤穿透阻力较大,可以阻止水分向下入渗,降低化肥的利用率,影响水稻根系生长。可见,无驱动搅浆具有相对较小的土壤穿透阻力,利于水稻根系的穿孔和生长。

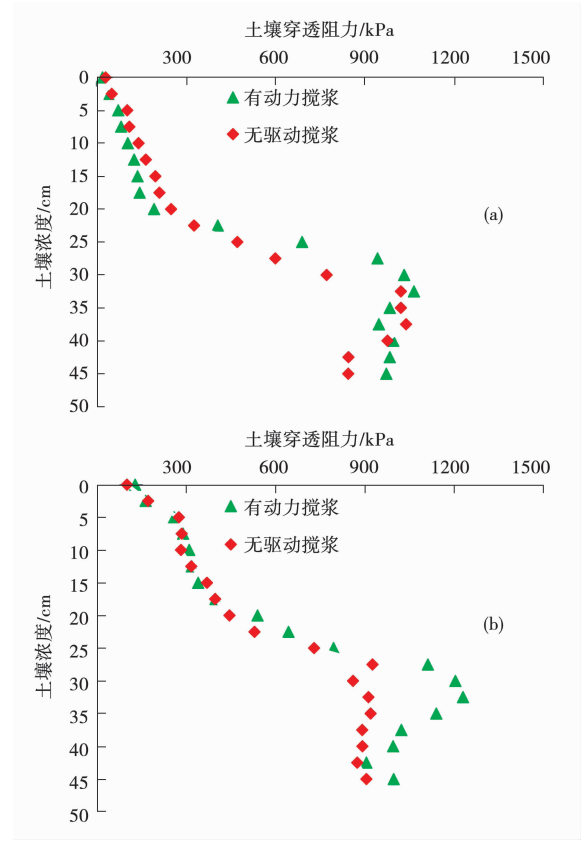


图 5 2018 年(a)和 2019 年(b)无驱动搅浆对土壤穿透阻力的影响

2.6 无驱动搅浆对土壤质地的影响

由表 3 可以看出,与有动力搅浆相比,在 0~

10 cm 土层,无驱动搅浆的砂粒所占比例显著增加 16.6%,而粉粒所占比例显著降低 2.9%;在 10~20 cm 土层,无驱动搅浆的砂粒所占比例增加 7.6%,但差异不显著;在 20~30 cm 土层,无驱动搅浆的砂粒所占比例增加 9.0%,差异达到显著水平;在 30~40 cm 土层,无驱动搅浆的土壤质地均无显著变化。由此可见,无驱动搅浆有利于提高 0~30 cm 土层的砂粒所占比例。

表 3 无驱动搅浆对土壤质地的影响

| 土层 | 处理 | 土壤质地/% | | |
|----------|-------|-------------|---------------|-------------------|
| | | 粘粒 <2 μm | 粉粒 2~50 μm | 砂粒 >50~2000 μm |
| 0~10 cm | 有动力搅浆 | 5.62 a | 77.03 a | 17.35 b |
| | 无驱动搅浆 | 4.92 a | 74.86 b | 20.23 a |
| 10~20 cm | 有动力搅浆 | 5.08 a | 77.13 a | 17.79 a |
| | 无驱动搅浆 | 5.13 a | 75.72 a | 19.15 a |
| 20~30 cm | 有动力搅浆 | 5.11 a | 75.92 a | 18.98 b |
| | 无驱动搅浆 | 4.64 a | 74.68 a | 20.69 a |
| 30~40 cm | 有动力搅浆 | 4.52 a | 73.45 a | 22.03 a |
| | 无驱动搅浆 | 4.42 a | 73.28 a | 22.30 a |

3 讨论

搅浆是秸秆还田后的一个关键作业环节,这个环节会对秸秆漂浮量、土壤物理性质、秧苗根系生长等产生重要影响,进而影响稻田土壤质量和水稻产量。在春季泡田搅浆前,需进行翻耕或旋耕作业,翻耕后的稻田水放到淹没最高垅片的2/3处,旋耕后的稻田水放到高出旋耕后的土壤表面2~3 cm 泡田,使秸秆软化,土壤泡透,采用浅水搅浆^[12,24-25],防止秸秆漂浮,尽量减少搅浆的次数,避免破坏土壤的大团粒结构。此外,泥浆深厚也会影响插秧质量,由于泥浆层厚致使土壤结构过于细腻致密,通透性差,不利于水稻根系发育,生育后期易出现根系早衰,影响产量^[25]。搅浆平地后保持 2~3 cm 水层沉浆,沉浆后达到插秧要求时,就可以插秧。已有研究表明^[21],常规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下,出现秸秆漂浮现象。本研究发现,无驱动搅浆可显著降低秸秆漂浮量,与已有研究的结果相类似。孙妮娜等^[21]研究还发现,无驱动搅浆的泥浆度更大,代表泥浆更粗。本研究证实,无驱动搅浆可显著降低土面下降高度,而显著增

加土壤大团聚体以及土壤微团聚体,与上述研究的变化规律一致。此外,通过室内模拟试验发现^[26],低强度和高强度搅浆较不搅浆 $>1\text{ mm}$ 的水稳定团聚体和平均重量直径均显著降低,不搅浆大孔隙分布较多且连通性好,而低强度和高强度搅浆多为球状孔隙,连通性较差,可见,减少搅浆可维持土壤较好的大团粒结构和大孔隙分布。从本文结果来看,无驱动搅浆显著增加了秧苗的新生白根数,然而,前人研究^[21]认为,两种搅浆方式对秧苗的新生白根数无显著影响。此外,本研究还发现,在轻度盐碱地,通过秸秆还田,利用无驱动搅浆的方式可以降低土壤容重和土壤穿透阻力,对于改良这类型的土壤具有较好的效果。本研究两年的结果显示,两种搅浆方式对水稻产量无显著影响,可能与秸秆还田的时间较短有关,但无驱动搅浆减少捞秸秆的人工投入,更加有利于水稻的移栽环节和后期缓苗环节;如果从长期秸秆还田来看,无驱动搅浆有利于水稻生长、产量的形成以及土壤理化性质的改良,该技术在具体的示范推广应用中已取得了很好的效果。本课题组对该技术在不同的土壤类型进行了示范推广,比如在建三江七星农场的白浆土进行了连续 4 a 的秸秆还田无驱动搅浆技术示范,不但可以培肥地力,改善土壤的理化性质,而且可以达到水稻丰产的效果。在哈尔滨的轻度盐碱地进行了连续多年的秸秆还田无驱动搅浆技术示范,也取得了非常好的效果,可以增加水稻产量,提升土壤的理化性质,提高土壤有机质。此外,在肇源苏打型盐碱地的示范中,也初见成效。一般情况下,由于无驱动搅浆较常规搅浆的搅浆次数少,因此,耗能也较少,具有节本的特点。

4 结论

无驱动搅浆的土面下降高度和秸秆漂浮量分别显著降低 37.9% 和 33.7%,而秧苗的新生白根数则显著增加 16.2%。无驱动搅浆使 $>2\ 000\ \mu\text{m}$ 和 $250\sim 2\ 000\ \mu\text{m}$ 土壤大团聚体所占的比例分别显著提高了 17.7% 和 75.0%,土壤微团聚体($53\sim 250\ \mu\text{m}$)的比例显著提高了 50.6%,而土壤粘粉粒($<53\ \mu\text{m}$)的比例显著降低了 17.0%。无驱动搅浆可使 $0\sim 40\text{ cm}$ 土层的土壤容重降低 2.1%~7.8%,但与常规搅浆相比,差异均不显

著,同时可降低土壤穿透阻力,但可提高 $0\sim 30\text{ cm}$ 土层的砂粒所占比例。常规搅浆方式与无驱动搅浆的水稻籽粒产量无显著性差异。无驱动搅浆可以减少秸秆漂浮,促进秧苗根系生长,改善土壤物理性质,不影响水稻产量,是秸秆还田下稻田搅浆方式的理想选择;秸秆还田对于土壤改良具有重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 董文军,来永才,孟英,等.稻田生态系统温室气体排放影响因素的研究进展[J].黑龙江农业科学,2015(5):145-148.
- [2] 郝帅帅,顾道健,陶进,等.秸秆还田对稻田土壤和温室气体排放的影响[J].中国稻米,2016,22(5):6-9.
- [3] 王红彦,王飞,孙仁华,等.国外农作物秸秆利用政策法规综述及其经验启示[J].农业工程学报,2016,32(16):216-222.
- [4] 刘巽浩,王爱玲,高旺盛.实行作物秸秆还田促进农业可持续发展[J].作物杂志,1998(5):2-6.
- [5] 李万良,刘武仁.玉米秸秆还田技术研究现状及发展趋势[J].吉林农业科学,2007,32(3):32-34.
- [6] MATSUMURA Y, MINOWA T, YAMAMOTO H. Amount, availability, and potential use of rice straw (agricultural residue) biomass as an energy resource in Japan[J]. Biomass and Bioenergy, 2004, 29(5): 347-354.
- [7] 刘晓永,李书田.中国秸秆养分资源及还田的时空分布特征[J].农业工程学报,2017,33(21):1-19.
- [8] 焦洋.黑龙江省投入 43 亿元出台 11 条政策措施推进秸秆综合利用[J].黑龙江粮食,2019(11):11-11.
- [9] 吴文革,张健美,张四海,等.保护性耕作和稻田免耕栽培技术现状与发展趋势[J].中国农业科技导报,2008,10(1):43-51.
- [10] 姚雄,廖敦秀,唐永群,等.稻田保护性耕作的生态效应研究进展与发展建议[J].生态环境学报,2011,20(2):372-378.
- [11] 孙妮娜,王晓燕,李洪文,等.水稻秸秆直接还田技术配套机具研究进展[J].农机化研究,2019(7):1-7.
- [12] 王秋菊,刘峰,迟凤琴,等.秸秆还田及氮肥调控对不同肥力白浆土氮素及水稻产量影响[J].农业工程学报,2019,35(14):105-111.
- [13] 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(7):227-229.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [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.

[17] 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.

[18] 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.

[19] 孙妮娜,董文军,王晓燕,等. 东北稻区水稻收获秸秆处理方式综合效果研究[J]. 农业机械学报,2020,51(4): 69-77.

[20] 周枫,罗佳琳,赵亚慧,等. 翻耕和不同泡田方式对土壤微生物生物量及其酶活性的影响[J]. 土壤通报,2020,51(2):352-357.

[21] 孙妮娜,王晓燕,李洪文,等. 东北稻区不同秸秆还田模式机具作业效果研究[J]. 农业机械学报,2018,49(S): 68-74,154.

[22] ELLIOTT E T. Aggregate structure and carbon,nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils[J]. Soil Science Society of America Journal,1986,50: 627-633.

[23] 李昌新,黄山,彭现宪,等. 南方红壤稻田与旱地土壤有机碳及其组分的特征差异[J]. 农业环境科学学报,2009,28(3):606-611.

[24] 李澜. 关于水稻机收秸秆粉碎还田试验示范技术的探讨[J]. 农机使用与维修,2019(6): 93-93.

[25] 陈国建,满芳芳,陈雷,等. 水稻秸秆全量还田实用技术[J]. 北方水稻,2018,48(1): 43-44.

[26] 李奕,房焕,彭显龙,等. 模拟搅浆对水稻土结构和有机氮矿化的影响[J]. 土壤学报,2019,56(5): 1171-1179.

Analysis of Comprehensive Effect of Unpowered Puddling Under Straw Returning in Northeast Japonica Rice Area

DONG Wen-jun^{1,2}, MENG Ying¹, ZHANG Jun³, TANG Ao¹, LIU Kai^{2,4}, ZHANG Xi-juan¹, LIU You-hong¹, LAI Yong-cai^{2,4}

(1. Institute of Crop Cultivation and Tillage/Scientific Observing and Experimental Station of Crop Cultivation in Northeast China, Ministry of Agriculture/Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Crop Physiolgy and Ecology in Cold Region, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150028, China; 2. Northeast Sub Center of National Salt and Alkali Resistant Rice Technology Innovation Center, Harbin 150028, China; 3. Institute of Crop Sciences Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 4. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract:Straw returning is the a main way of rice straw comprehensive utilization in Northeast China,it plays an important role in the improvement of saline-alkali land. On the basis of straw smashing and evenly throwing, as well as reasonable soil preparation, the puddling plays an important role in preventing the floating of rice straw. In order to promote the rational selection of the puddling machine under straw returning in rice production,based on straw returning and soil preparation in autumn. In this study,a field experiment was performed through completely randomized block design to investigate the impacts of powered and unpowered puddling ways on rice grain yields and soil physical properties. The results showed that,compared with the powered puddling,unpowered puddling significantly decreased the drawdown depth of soil surface and floating amount of rice straw by 37. 9% and 33. 7%, respectively,and significantly increased the number of new white roots of seedlings by 16. 2%. After unpowered puddling,the proportions of two kinds large soil aggregates significantly increased 17. 7% (>2 000) μm and 75. 0% (250-2 000 μm), respectively,the proportion of soil micro-aggregates (53-250 μm) significantly increased 50. 6%,and soil clay-silt fractions (<53 μm) significantly reduced 17. 0%. Besides,the unpowered puddling reduced the soil bulk density of 0-40 cm depth by 2. 1%-7. 8% with insignificant difference. The unpowered puddling decreased the soil penetration resistance and enhanced the proportion of sand in 0-30 cm soil layer. There was no significant difference in grain yields between the two puddling ways. In summary,the unpowered puddling could effectively suppress the floating of straw after puddling,improve soil physical properties with no effects on rice yields. Therefore,the unpowered puddling is an ideal puddling choice of rice straw returning.

Keywords:northeast japonica rice area; straw returning; unpowered puddling; soil physical properties; rice grain yield; improvement of saline alkali soil