

正反转旋耕作业的秸秆混埋效果比较

陈青春¹, 石 勇¹, 丁启朔^{1*}, 丁为民¹, 田永超²

(1. 南京农业大学/江苏省智能化农业装备重点实验室, 南京 210031; 2. 南京农业大学国家信息农业工程技术中心, 南京 210095)

摘 要: 秸秆混埋是增强土壤碳汇的重要技术途径。为分析和比较正、反转旋耕作业的秸秆混埋效果, 进行了正、反转旋耕秸秆混埋对比试验。测取旋耕处理后的地貌形态及秸秆在土壤空间中的分布状况, 并使用 Pro-E 造型展示秸秆的空间分布状况。结果表明三维数字化仪配合虚拟造型技术能够直观反映混埋后秸秆在土壤空间的分布状态。2 种旋耕处理方式的地表形态及土壤空间内秸秆分布对比分析表明, 正转旋耕的秸秆埋覆率及纵向空间分布总体均匀率优于反转旋耕, 而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。综合分析表明正转旋耕的秸秆混埋质量略有优势, 但具体选择混埋模式时还应考虑田间秸秆残留情况。秸秆量较少时反转旋耕较适宜, 反之正转旋耕更好。

关键词: 秸秆; 土壤; 农艺; 旋耕; 混埋; 空间分布

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.09.003

中图分类号: S156.99; S233.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-09-0013-06

陈青春, 石 勇, 丁启朔, 等. 正反转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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(9): 13—18. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

秸秆混埋是强化土壤碳输入的主要技术途径, 有利于为土壤生物群落输入物质和能量, 并且也是调控土壤水、热、气环境、改善土壤结构和促进作物根系发育的重要保障^[1-6]。江苏省早在“十一五”期间就将全省稻麦秸秆机械化全量还田达作物种植总面积 35%以上作为实施目标^[7]。秸秆混埋主要使用旋耕方式秸秆还田作业机械。

目前中国南方地区使用的秸秆还田机械主要包括: 秸秆还田机(含反转灭茬机、水田埋茬(草)耕整机)、秸秆粉碎还田(耕整)机、秸秆根茬粉碎还田耕整(起垄)机、复式秸秆还田机、多功能秸秆还田机、秸秆粉碎抛撒还田机^[8-9], 这些机具多由旋耕机演变而来^[9]。世界各国以前主要采用正转旋耕, 反旋较少, 但近年来反转旋耕受到更多的关注^[10]。但是, 以往对于正、反转旋耕的研究主要集中于土壤耕作性能评价^[11-13], 而对秸秆混埋性能的研究, 尤其对旋耕作业后秸秆混埋质量测试与评价方法的研究较少, 目前仅使用秸秆埋覆率作为指标评价^[14-16]。国家农业行业标准 NYT 500-2002 规定了秸秆混埋质量测试的方法, 但仅限于收集和测试裸露在地表的秸秆, 而未涉及埋入土壤内的秸秆空间分布状况^[17-20]。本文以埋入土壤中的秸秆空间分布均匀性为秸秆混埋效

果的评价指标, 探讨其测试与评价方法, 并对比正、反转旋耕 2 种作业模式的秸秆混埋效果。

1 材料与方法

1.1 试验地及处理

田间试验于 2014 年 11 月上旬在南京市六合区八百桥村进行, 土壤类型为黏性水稻土, 前作水稻。0~5、>5~10、>10~15 cm 土层的含水率分别为 24.64%、25.33%、27.35%, 圆锥指数分别为 272.61、500.94、617.25 kPa。试验材料为秋季水稻秸秆, 秸秆经过切碎处理。前期田间秸秆状况调查显示, 水稻经收割机收获后喷洒在地表的秸秆长度范围为 0~25 cm, 其中长度范围为 0~20 cm 的秸秆质量比例约为 92.64%, 因此, 将秸秆分别切割为 5、12.5 和 20 cm, 试验对象只选择茎秆部分^[21]。本文以长度为 12.5 cm 的秸秆为例对正、反转旋耕作业的秸秆混埋效果进行评价。

试验设备为课题组研发的地面力学综合试验台, 其结构原理图如图 1 所示, 该试验台用于田间各项机械化耕作与种植机具性能的测试和评价。试验配备常联发 LF-151 型微耕机部件(常州联发机械有限公司), 旋耕刀类型为 C 型弯刀, 回转半径为 225 mm, 可进行正反转旋耕作业、双向牵引、前进功耗阻力测试, 可实现小区种植、犁耕、开沟等作业。

试验分别测试正、反转 2 种旋耕模式的秸秆混埋效果, 秸秆还田量控制在 6 916 kg/hm²。试验前将秸秆均匀铺放于清茬后的试验小区, 小区面积为 300 cm×60 cm。旋耕机作业参数为: 耕深 10 cm、耕幅 60 cm、前进速度 0.15 m/s、刀辊转速 240 r/min。根据小区试验方法, 2 种

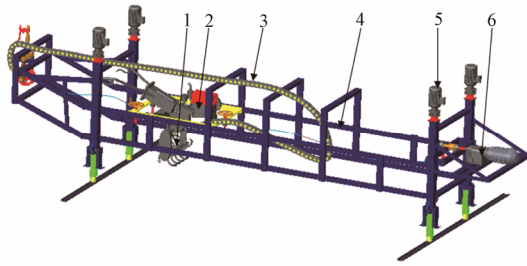
收稿日期: 2015-01-27 修订日期: 2015-04-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41371238); 国家科技支撑计划项目(2013BAD08B04)

作者简介: 陈青春, 男, 河北辛集人, 副教授, 主要从事农业工程技术的研究。南京 南京农业大学工学院, 210031。Email: chenqc@njau.edu.cn

*通信作者: 丁启朔, 男, 江苏邳州人, 教授, 主要从事土壤耕作力学的研究。南京 南京农业大学工学院, 210031。Email: qsding@njau.edu.cn

旋耕作业模式各重复 3 次, 随机区组设计。秸秆埋入土中之后, 用 $30\text{ cm} \times 30\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ 的钢制方形取样桶^[22]取样, 将取样桶连同秸秆及土壤一同取出带回实验室进行测试分析。



1. 旋耕机 2. 田园管理机 3. 护线塑料拖链 4. 小车导轨 5. 升降立柱 6. 牵引电机
1. Rotary tiller 2. Pastoral management machine 3. Plastic chain 4. Lead rail 5. Lifting column 6. Traction motor

图 1 地面力学综合试验台

Fig.1 Comprehensive terra-mechanics test-bed

1.2 地表形态测试

使用课题组设计的微地貌测试仪(读数精确到 1 mm)对耕作后的地表形态进行测试(图 2)。将微地貌测试仪置于旋耕处理后的地表, 使用水平仪将测试仪调整为水平状态并固定, 然后横向移动调整, 使一部分探针落于实验小区一侧未耕地的地表, 以显示出地表位置并作为后续计算的参照。调试完成后将测试仪所有探针升起, 纵向移动台移动至旋耕后的地表上方, 然后探针缓慢下降, 使其接触地表。根据测试仪上的标尺读出各探针位置并绘制曲线, 得到旋耕处理后的地表形态。重复上述步骤, 每隔 5 cm 间隔测取一组数据, 每个小区测取 10 次。



1. 刻度线 2. 探针 3. 纵向移动台 4. 横向移动台 5. 固定脚架
1. Scale line 2. Probe 3. Longitudinal mobile station 4. Lateral movement station 5. Fixed tripod

图 2 微地貌测试仪

Fig.2 Profilometer for soil micro-relief

旋耕作业后的地表秸秆埋覆率 η ^[16]根据式(1)计算:

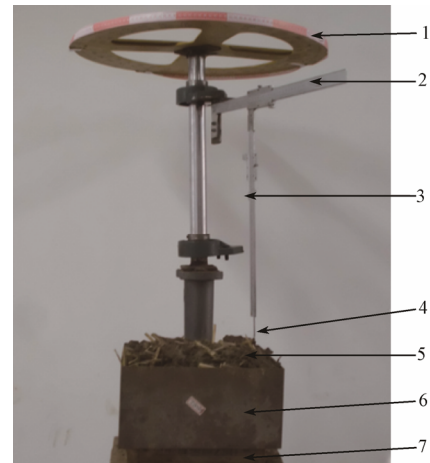
$$\eta = \frac{m_q - m_h}{m_q} \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_q 为取样点耕前单位面积秸秆质量, g; m_h 为取样点耕后单位面积秸秆质量, g。

1.3 秸秆混埋质量的测试与评价方法

参照“根系构型数字化仪^[23-24]”工作原理定制了秸秆空间坐标数字化仪(图 3), 用于测试秸秆在土壤空间

中的分布。使用拨针将土样一层层拨开。每层测试前先测试裸露在土壤表面的秸秆坐标, 综合转动水平标尺并移动水平标尺及垂直标尺上的滑块, 令探针端部触及秸秆端部, 依次读取弧形标尺、水平标尺和垂直标尺的数值 θ 、 x_1 、 z_1 。重复上述操作读取秸秆的根部坐标, 即完成该层土壤内秸秆空间坐标测试。逐层重复操作, 完成一个土样内秸秆空间分布坐标测试。最后将测试数据换算成笛卡尔坐标并导入 Pro-E 软件, 虚拟重构生成秸秆空间分布立体构型, 构造出与秸秆混合的土体, 并对土体中的秸秆长度进行计算分析。



1. 弧形标尺 2. 水平标尺 3. 垂直标尺 4. 探针 5. 土样 6. 方形钢制取样桶 7. 底座
1. Curved scale 2. Level scale 3. Vertical scale 4. Probe 5. Soil sample 6. Sampling tube 7. Base

图 3 空间坐标数字化仪

Fig.3 Space coordinate tester

用 Pro-E 软件对秸秆空间分布造型沿土壤深度方向和旋耕机前进方向(纵向)进行等间距分割, 并统计分割后各分割空间内秸秆长度占整个土体中秸秆长度的比例。其中纵向空间分布按 3、5 和 7.5 cm 3 个尺度进行造型分割, 求出各分割空间内秸秆长度的平均值及其标准偏差, 使用变异系数 CV 衡量秸秆空间分布均匀性。

变异系数的计算如式(2)所示:

$$CV = \frac{SD}{Mean} \times 100\% \quad (2)$$

式中: CV 为变异系数; SD 为标准偏差; Mean 为平均值。

2 结果与分析

2.1 旋耕作业后的地表质量

正、反转旋耕后地表质量状况如图 4 所示。可看出正旋耕可将大部分秸秆埋入土壤, 计算表明秸秆埋覆率达到 88.91%; 而反转旋耕的秸秆埋覆率 83.26%, 低于正旋。2 种旋耕方式形成的微地貌形态明显不同。正旋耕后地表微微向上隆起, 而反转旋耕则机具耕幅两侧隆起, 中间凹陷。

使用微地貌测试仪测量的旋耕后地表不平度如图 5 所示。由图中看出, 正旋耕后地表抬升 $5 \sim 8\text{ cm}$ (图 5a), 反转旋耕则在耕幅两侧形成高约 $6 \sim 7\text{ cm}$

的陇(图 5b), 耕幅内地表高度比耕前下降约 2~3 cm, 这主要是由于反转旋耕时机具前方壅土严重, 造成秸秆及土壤迁移到旋耕机的前方及两侧, 测试结果显示反转旋耕的前方与两侧秸秆堆积量分别为秸秆总量的 8.19% 及 33.02%。试验结果表明, 反转旋耕秸秆埋覆率低于正转旋耕, 而其耕幅内地表比正转旋耕平整, 且残留秸秆多平躺于地表, 利于播种作业。另外, 反转旋耕的碎土性能明显优于正转旋耕。

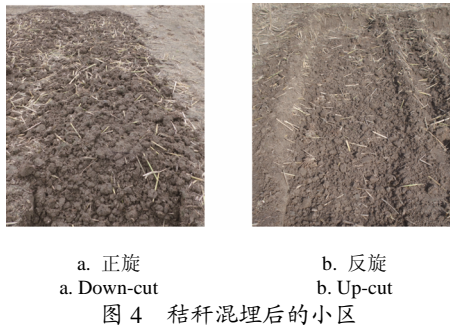


图 4 秸秆混埋后的小区

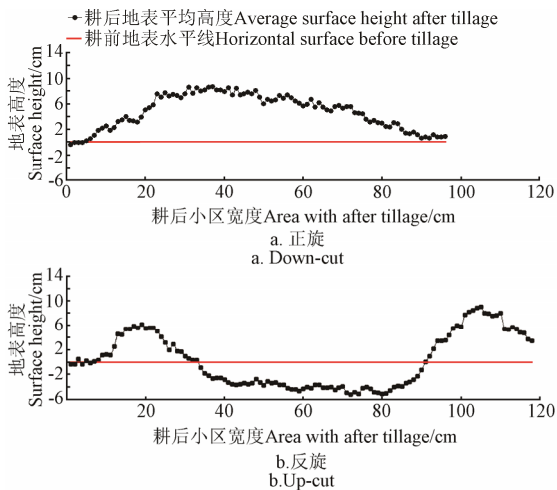


图 5 秸秆混埋后的地貌形态

正、反转旋耕秸秆混埋后的地表质量状况对比分析表明, 2 种作业方式各有优缺点, 且地表形态指标不能反映秸秆埋入土层中的状态。秸秆在土壤内部的分布状态影响秸秆腐解效率、生物群落和碳循环机制。研究表明秸秆与土壤混合越均匀则秸秆还田效果越好^[25-27], 因此秸秆在土壤中空间分布状态的测试及评价非常重要。

2.2 秸秆空间分布状态测试结果验证

将试验测试处理后的数据导入 Pro-E 平台中, 在 Pro-E 中生成秸秆空间分布的立体构型, 并构造出与秸秆混合的土体造型, 如图 6a 所示。为验证本文所用方法的准确性, 在测试样品秸秆空间分布的过程中同时测取秸秆的长度, 另外也在 Pro-E 生成的秸秆空间分布构型中将秸秆的长度也一同测量, 将二者所得数据均按大小顺序排列, 结果如图 6b 所示, 表明虚拟构型所得结果与实测数据一致。

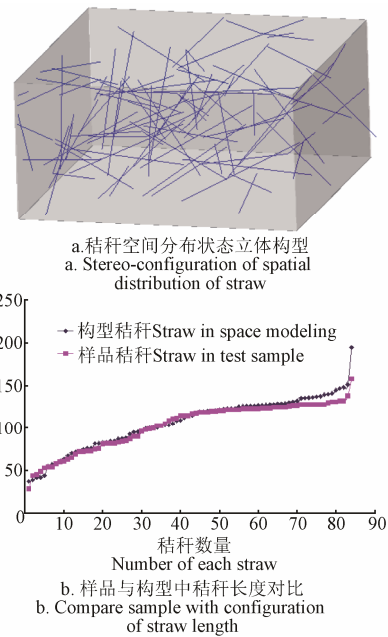


图 6 秸秆空间分布测试结果

Fig.6 Results of spatial distribution of straw

2.3 秸秆在土壤空间中的分布状态

正、反转旋耕秸秆埋入土壤中的空间分布如图 7 所示, 表明 2 种旋耕方式的秸秆空间分布差异显著。正转旋耕后土壤中秸秆量明显高于反转旋耕, 而正旋的有效混埋土体厚度也明显大于反旋。图 7a、7b 表明, 正、反转旋耕都不存在明显的秸秆聚集现象, 秸秆与秸秆间的间距明显, 不过某些部位秸秆分布较密, 而其他位置较为稀疏; 正转旋耕后秸秆分布较反旋均匀。

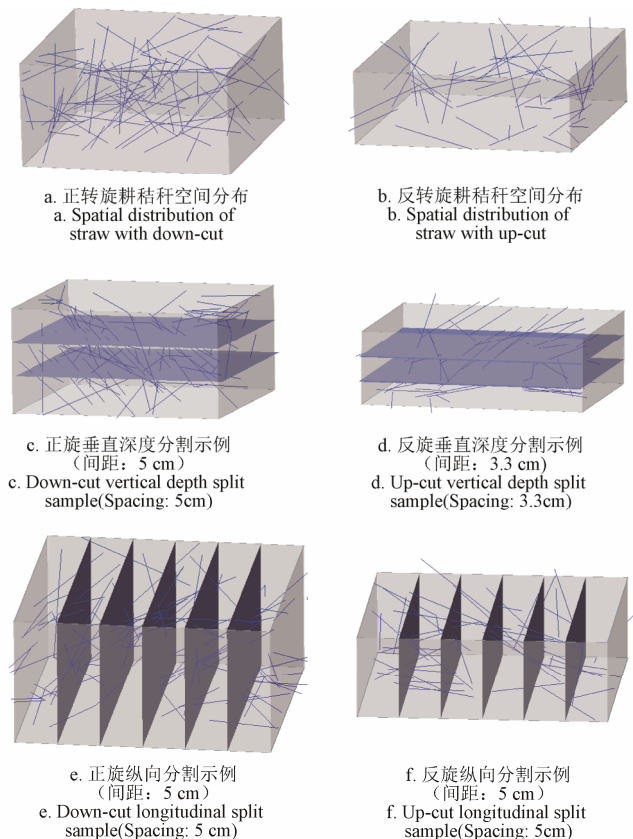


图 7 旋耕后土壤内秸秆空间分布

Fig.7 Spatial distribution after straw incorporation by rotary tillage

土壤内不同深度的秸秆长度所占比例如图 8 所示。图 8 表明, 正转旋耕的秸秆沿土壤垂直深度方向分布差异明显, 秸秆主要分布在第 2 层(5~10 cm), 而反转旋耕的秸秆沿土壤垂直深度方向分布差异不明显, 但其秸秆分布均匀度高于正转旋耕。这是由于反转旋耕导致土壤所能容纳的秸秆量低于正转旋耕, 而且 2 种旋耕模式的秸秆埋覆方式不同。反转旋耕先将土壤切碎, 然后抛向前方使之覆盖于秸秆表面, 再将土壤与秸秆一起抛起混合掩埋, 同时反转旋耕较之正旋更好的碎土性能也进一步改善了秸秆与土壤的混合效果。相反, 正转旋耕则是以挤压秸秆入土的方式完成切土, 这样的耕作方式不仅造成了秸秆垂直深度方向分布不均, 同时秸秆的存在也对旋耕机的碎土性能造成了一定的影响。表 1 所示 3 种分割尺度对应的变异系数值均显示正转旋耕比反转旋耕的变异系数小, 表明正转旋耕的纵向分布均匀性优于反转旋耕, 这一结果说明反转旋耕刀辊前方壅土对秸秆入土造成不利影响。

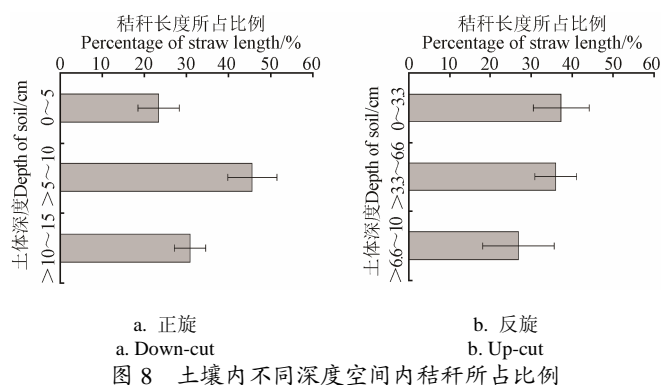


图 8 土壤内不同深度空间内秸秆所占比例

表 1 纵向各区间内秸秆总长度数据统计

Table 1 Data statistics of straw total length in each longitudinal section

旋耕方式 Rotary tillage mode	分割尺度 Segmentation scale/cm	区间内秸秆长度 Straw length in each section/mm	变异系数 Coefficient of variation/%
正转旋耕 Down-cut	7.5	2449.82a	23.72
	5	1638.54b	26.81
	3	981.83cd	28.65
反转旋耕 Up-cut	7.5	1165.35c	28.69
	5	775.46de	31.11
	3	466.25e	35.11

注: *同一列数值后的不同小写字母表示处理间在 $P < 0.05$ 水平差异显著。
Note: *Values followed by different letters within same column are significantly different at the 0.05 probability level.

3 结论与讨论

运用地面力学试验台进行正、反转旋耕秸秆混埋作业对比, 并结合秸秆空间坐标数字化仪测试秸秆的混埋质量, 所得结果表明:

1) 从 2 种耕作方式的地表耕作质量状况来看, 在相同条件下正转旋耕的秸秆埋覆率高于反转旋耕, 但反转旋耕的碎土性能、耕幅内地表平整度、入土性能都优于正转旋耕, 缺点是其刀辊前方壅土严重、缠草多, 且大

部分秸秆被拥堵在旋耕机前方与两侧。鉴于微耕机的作业幅宽仅为 60 cm 且为小区化试验, 因此造成反转旋耕的壅土及地表不平整度视觉效果较明显。与此相比, 作业幅宽为 180 cm 的中大型旋耕机因作业幅宽大、行程长, 这一视角效果并不显著。

2) 对于秸秆混埋入土后的空间分布状态测试表明, 反转旋耕秸秆混埋作业的秸秆沿土壤深度方向分布均匀性优于正转旋耕, 且土壤—秸秆混合效果更好, 利于秸秆腐解。但反转旋耕的秸秆纵向空间分布效果低于正转旋耕, 这是由于反转旋耕模式下刀辊前方壅土造成秸秆混埋过程不稳定所致。

3) 综合分析表明正转旋耕的秸秆混埋质量略有优势, 但具体选择混埋模式时还应考虑田间秸秆残留量。秸秆量较少时反转旋耕较适宜, 反之正转旋耕较好。

在生产中大型秸秆还田机的耕深可达 15 cm 以上, 秸秆混埋效果优于微耕机。与此相比, 本试验中地面力学试验台所配微耕机工作功率较小且耕深较浅, 不过试验发现其实际耕深也能达到 10 cm 以上, 从而保证耕后的耕层深度也达到 15 cm。另外, 田间实地调查也发现, 大中型旋耕机在耕作过程中很少真正达到 15 cm 实际耕深, 往往是耕后测得的旋松状态的土层达到 15 cm。因此本文所得结果可以作为评价大中型旋耕机秸秆混埋性能的参考。

【参 考 文 献】

- [1] 姜洁, 陈宏, 赵秀兰. 农作物秸秆改良土壤的方式与应用现状[J]. 中国农学通报, 2008, 24(8): 420—423.
Jiang Jie, Chen Hong, Zhao Xiulan. The application actuality and methods of meliorated soil with crop stalks[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(8):420—423. (in Chinese with English abstract)
- [2] 马欣, 周连仁, 王晓巍, 等. 秸秆对根区土壤酶活性、无机氮及呼吸量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012(4): 27—33.
Ma Xin, Zhou Lianren, Wang Xiaowei, et al. Effect of straw on enzyme activity, inorganic nitrogen and CO_2 respiration of root zone soil[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2012(4): 27—33. (in Chinese with English abstract)
- [3] 刘定辉, 蒲波, 陈尚洪, 等. 秸秆还田循环利用对土壤碳库的影响研究[J]. 西南农业学报, 2008, 21(5): 1316—1319.
Liu Dinghui, Pu Bo, Chen Shanghong, et al. Effect of crop straw returning to paddy soil on soil carbon pool in Sichuan Basin[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2008, 21(5): 1316—1319. (in Chinese with English abstract)
- [4] 赵勇, 李武, 周志华, 等. 秸秆还田后土壤微生物群落结构变化的初步研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(6): 1114—1118.
Zhao Yong, Li Wu, Zhou Zhihua, et al. Changes of microbial community structure in straw amended soil[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2005, 24(6): 1114—1118. (in Chinese with English abstract)
- [5] 吴涌泉, 屈明, 孙芬, 等. 秸秆覆盖对土壤理化性状、微生物及生态环境的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(14): 263—268.

- Wu Yongquan, Qu Ming, Sun Fen, et al. Effect of straw mulching on soil physical and chemical properties, soil microorganism and environment[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(14): 263—268. (in Chinese with English abstract)
- [6] 蒋向. 玉米秸秆还田对土壤理化性状与小麦根系发育和功能的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2012.
Jiang Xiang. Effects of Returning Maize Stalks into Field on Soil Physical and Chemical Properties Ties and Root Development and Function in Wheat (*Triticum aestivum* L.)[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2012. (in Chinese with English abstract)
- [7] 省政府办公厅关于印发江苏省农作物秸秆综合利用规划(2010-2015年)的通知[N]. 江苏省人民政府公报, 2009(24): 10—28.
- [8] 李永磊, 宋建农, 康小军, 等. 双辊秸秆还田旋耕机试验[J]. 农业机械学报, 2013, 44(6): 45—49.
Li Yonglei, Song Jiannong, Kang Xiaojun, et al. Experiment on twin-roller cultivator for straw returning[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(6): 45—49. (in Chinese with English abstract)
- [9] 糜南宏, 王景阳, 姜文荣. 稻麦秸秆机械化直接还田几种新机型介绍[J]. 江苏农机化, 2010(2): 16—18.
- [10] 宋建农, 李自华. 反转旋耕理论分析[J]. 北京农业大学学报, 1990, 10(3): 15—22.
Song Jiannong, Li Zihua. Theoretical studies of reverse rotary tillage[J]. Journal of Beijing Agricultural Engineering University, 1990, 10(3): 15—22. (in Chinese with English abstract)
- [11] 丁为民, 王耀华, 彭嵩植. 正、反转旋耕不同耕作性能的比较[J]. 南京农业大学学报, 2003, 26(3): 106—109.
Ding Weimin, Wang Yaohua, Peng Songzhi. Comparison on performances of up-cut and down-cut rotary tillage[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2003, 26(3): 106—109. (in Chinese with English abstract)
- [12] 孔令德, 桑正中. 正转旋耕土壤破碎情况的研究[J]. 农业机械学报, 2001, 32(3): 31—32, 54.
Kong Lingde, Sang Zhengzhong. Evaluation of crushing soil from rotary tillage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(3): 31—32, 54. (in Chinese with English abstract)
- [13] 桑正中, 王长兵. 逆转旋耕过程中土壤切削的研究[J]. 农业工程学报, 1996, 12(4): 123—126.
Sang Zhengzhong, Wang Changbing. Study on soil-cutting of up-cut rotary cultivation[J]. Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 1996, 12(4): 123—126. (in Chinese with English abstract)
- [14] 李永磊, 宋建农, 王继承, 等. SGTN-180型旋耕埋草施肥联合作业机的设计与试验[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(2): 143—147.
Li Yonglei, Song Jiannong, Wang Jicheng, et al. Design and experiment of a SGTN-180 type rotary tillage-straw returning-fertilization combined machine[J]. Journal of China Agricultural University, 2011, 16(2): 143—147. (in Chinese with English abstract)
- [15] 周勇, 余水生, 夏俊芳. 水田高茬秸秆还田耕整机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2012, 43(8): 46—49.
Zhou Yong, Yu Shuisheng, Xia Junfang. Design and experiment of cultivator for high straw returning in paddy field[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(8): 46—49. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王志山, 夏俊芳, 许绮川, 等. 船式旋耕埋草机螺旋刀辊作业功耗试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(12): 44—47.
Wang Zhishan, Xia Junfang, Xu Qichuan, et al. Power consumption experiment of rotary tillage and stubble-mulch knife roller[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 44—47. (in Chinese with English abstract)
- [17] Staricka J A, Allmaras R R, Nelson W W. Spatial variation of crop residue incorporated by tillage[J]. Soil Sci Soc Am J, 1991, 55(6): 1668—1674.
- [18] Christian D G, Miller D P. Straw incorporation by different tillage systems and the effect on growth and yield of winter oats[J]. Soil Tillage Res, 1986(8): 239—252.
- [19] Allmaras R R, Burford P M, Pikul J L, et al. Tillage Tool Influences on Incorporated Wheat Residue[C]. Soil Tillage Res Org, Haven, the Netherlands, 1988: 445—450.
- [20] Allmaras R R, Pikul J L, Wilkins D E, et al. A method for measuring incorporated crop residues and associated soil properties[J]. Soil Sci Soc Am J, 1988, 52(4): 1128—1133.
- [21] Liu J, Chen Y, Lobb D A, et al. Soil-straw-tillage tool interaction: Field and soil bin study[J]. Canadian Biosystems Engineering, 2007, 49(2): 1—6.
- [22] Akbolat D, Ekinici K. Rotary tiller velocity effects on the distribution of wheat (*Triticum aestivum*) residue in the soil profile[J]. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 2008, 36(4): 247—252.
- [23] 陈信信, 丁启朔, 丁为民, 等. 基于虚拟植物根系技术的冬小麦根系3D构型测试与分析[J]. 中国农业科学, 2014, 47(8): 1481—1488.
Chen Xinxin, Ding Qishuo, Ding Weimin, et al. Measurement and analysis of 3D wheat root system architecture with a virtual plant tool kit[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(8): 1481—1488. (in Chinese with English abstract)
- [24] 韩秋萍, 丁启朔, 潘根兴, 等. 基于Pro/E的土壤结构与小麦幼苗期根系关系模拟与分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(22): 4598—4604.
Han Qiuping, Ding Qishuo, Pan Genxing, et al. Modeling and analyzing the relationship between soil structure and wheat seedling root with Pro/E[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(22): 4598—4604. (in Chinese with English abstract)
- [25] Parr J F, Reuszer H W. Organic matter decomposition as influenced by oxygen level and method of application to soil[J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1959, 23: 214—216.
- [26] Brown P L, Dickey D D. Losses of wheat straw residue under simulate field conditions[J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1970, 34: 118—121.
- [27] Kasteel P, Garnier P, Vachier P, et al. Dye tracer infiltration in the plough layer after straw incorporation[J]. Geoderma, 2007, 137(3/4): 360—369.

Comparison of straw incorporation effect with down-cut and up-cut rotary tillage

Chen Qingchun¹, Shi Yong¹, Ding Qishuo^{1*}, Ding Weimin¹, Tian Yongchao²

(1. Nanjing Agricultural University /Key Laboratory of Intelligent Agricultural Equipment of Jiangsu Province, Nanjing 210031, China;

2. National Engineering and Technology Center for Information Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Due to the complexity of soil and straw properties and the interactions among soil, straw and tillage tools, specific straw incorporating implements were designed and developed for particular working conditions. Different types of rotary tillers that adapted to different field states were produced in the last decades for straw burial. However, past efforts of assessment on rotary tillers were focused mainly on their soil working performances. Seldom has been done to assess the performance of rotary tillers and their effect on both soil disturbance and straw distribution in the tilled soil layer. A field experiment was thus conducted to compare the performances of rotary tillers on mediating soil and straw after rice harvesting. A mini-power rotor tiller was run on a platform developed for in-situ tillage test. Soil surface and micro-relief was measured with profilometer. Straw distribution was measured with a three-dimension coordinate tester. The measured results were transferred to Pro-E software, in which the measured data of straw distribution in soil were modeled and assessed. It was found that down-cut rotary tillage resulted into a gently humped soil surface over the tilled region, whereas the up-cut treatment led to a sink of soil surface in the mid region and the ridges along two sides of the tilled plot. Severe humping of fragmented soil was also observed in the up-cut tillage. It was therefore concluded that, for mini-power rotor tillers in paddy field, the down-cut tillage provided better surface micro-relief than the up-cut. A higher percentage of buried straw, 88.91%, was acquired with the down-cut tilling. But it was low for the up-cut, which was 83.26%. The heaping-up of straw was also severe in the up-cut treatment, which was 33.02%, 8.19% higher than that from the down-cut. This indicated that the down-cut was more preferable for mini-power rotor tiller design compared with the up-cut. Analysis on the sectioned regions with the Pro-E revealed more straw concentration in the 5-10 cm soil layer for the down-cut tillage, while the up-cut treatment provided a more evenly distribution of straw in the soil volume. The modeled straw distribution in soil volume was sectioned into the grids at 3 different scales, and the total length of straw under the down-cut tillage revealed the smaller coefficient of variations ($P<0.05$). The up-cut tilling did prove its benefits, such as enhancing soil fragmentation and a highly leveled soil surface within the treated area. But the soil and straw heaping ahead of the machine was a main constraint for its adaptation to the paddy soil. Designing and developing of mini-rotor tillers for improving the performance of proper handling the soil and straw requires further investigation on the system optimization of soil structure, straw, tool geometry and working parameters.

Key words: straw; soils; agronomy; rotary tillage; incorporation; spatial distribution