doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.05.004

# 正反转旋耕后土壤和秸秆位移试验分析

郭　俊　姬长英　方会敏　张庆怡　华风玲　张　纯
(南京农业大学工学院, 南京 210031)

**摘要**: 土壤和秸秆在耕作后的位移变化是保护性耕作和秸秆还田重要组成部分。为分析和比较耕作后两者的位移变化,针对正、反转旋耕 2 种作业方式以及 180、230、280 r/min 3 种转速设置重复性试验。试验中按刀辊轴向布置标记铝块和横、纵向秸秆,运用示踪法(以点代面)思想,即根据标记的铝块和秸秆前后坐标变化值来代替机具在幅宽范围内土壤和纵、横向秸秆的位移变化。将得到的标记点位置进行标定,并在二维 CAD 中绘制出标记点在二维地表的形态,该形态与旋耕刀在刀轴上排列相似。2 种耕作方式的地表形态和位移对比分析表明:正转旋耕的秸秆埋覆率要高于反旋,反转旋耕破碎率要优于正旋;土壤在耕作后分布较均匀,横、纵向秸秆在正反旋作业后均出现聚集现象,正旋作业更为明显;土壤以及地表秸秆位移反旋作业大于正旋作业,但随着机具转速增加,反旋作业位移呈递减,正旋作业位移呈递增。基于以上因素考虑,可以根据实际作业需要来改变耕作方式、转速以及刀具在刀辊上螺旋线形状来满足不同农艺要求。

**关键词**: 正反转旋耕; 位移; 示踪素法; 试验; 土壤; 秸秆
**中图分类号**: S156.99; S233.1　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-1298(2016)05-0021-06

# Experimental Analysis of Soil and Straw Displacement after Up-cut and Down-cut Rotary Tillage

Guo Jun　Ji Changying　Fang Huimin　Zhang Qingyi　Hua Fengling　Zhang Chun
(*College of Engineering*, *Nanjing Agricultural University*, *Nanjing* 210031, *China*)

**Abstract**: The displacement of soil and straw is an important part of conservation tillage and straw returning to field. To analyze and compare the displacements, field experiments with down-cut and up-cut rotary tillage were conducted under rotational speeds of 180, 230, 280 r/min. The aluminum block and colored straw were labeled and arranged in lines parallel to the rotor axial to measure soil and straw displacement. The original and final positions of soil and straw tracers were drawn in CAD, it is found that the shape of final positions was similar to the arrangement of rotary blades attached to the rotor. The comparison of soil surface morphology and displacements of soil and straw were done with down-cut and up-cut rotary tillage, and conclusions are drawn as follows: straw burial rate in the down-cut rotary tillage was higher than that of up-cut rotary tillage, but the soil breakage rate in up-cut rotary tillage was higher. The distribution of soil tracers was uniform after tillage; lateral and longitudinal straws appear aggregation phenomenon after two kinds of tillage and down-cut rotary tillage was more obvious. The displacements of soil and straw in up-cut rotary tillage are better than those of down-cut rotary tillage, the displacements in up-cut rotary tillage decreased with increasing rotational speed while the displacements in down-cut rotary tillage increased with increasing rotational speed. Based on these findings, the operation type, rotational speed and the shape of the arrangement of rotary blades could be adjusted to meet the different requirements in horticulture.

**Key words**: up-cut and down-cut rotary tillage; displacement; tracer method; experiment; soil; straw

收稿日期: 2015-11-24　修回日期: 2015-12-24
**基金项目**: 国家自然科学基金项目(51275250)
**作者简介**: 郭俊(1986—),男,博士生,主要从事农业工程技术研究,E-mail: gj_njau@163.com
**通信作者**: 姬长英(1957—),男,教授,博士生导师,主要从事农业机械理论与技术研究,E-mail: chyji@njau.edu.cn

## 引言

随着保护性耕作[1-5]和秸秆还田新技术[6-9]的实施,对农机具性能要求也在逐步提高。保护性耕作要求耕作后土壤扰动量小;秸秆还田技术要求耕作后秸秆被均匀埋覆在地表以下并均匀分布。在实际生产中,若两者能有效结合,既不会对土壤原有生物群落结构有较大的破坏,又能使农作物均匀吸收秸秆在田间腐解变成的有机肥,从而提高作业质量及效率,保护生态环境。但国内外研究者更加注重对农机具[10-12]自身的改进,而不够重视从秸秆和土壤两方面共同来解决实际耕作中的问题。

目前中国南方地区主要以水稻和小麦种植为主,收获后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、多功能秸秆还田机和秸秆粉碎抛撒还田机[13-14],这些机具均以旋耕机为基础进行了改进[14]。国外以前主要采用正转旋耕,反旋较少,原因是正旋作业过程消耗的功率较小,但近年来反转旋耕也受到较多关注[15]。目前,对于正、反转旋耕的研究主要集中在土壤耕作后性能评价[16-18],而对秸秆和土壤空间分布[19]情况,尤其对旋耕作业后秸秆和土壤混埋后各自位移变化及位置情况研究较少,目前仅使用秸秆埋覆率、秸秆破碎率以及土壤破碎率作为指标评价[20-21]。本文在灭茬机作业后,进行正旋机还田作业和直接运用反旋灭茬还田一体机作业,并设置对比试验。根据对比试验,分析沿轴向排列标记土壤和秸秆坐标变化,并将其位置点在二维空间进行描述并评价。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地及处理

田间试验于 2015 年 6 月上旬在南京市江浦农场进行,土壤类型为粘性,前茬作物是小麦。根据 GB/T 5668—2008《旋耕机》中规定的试验方法,用土壤盒分别取地表向下 0 ~ 5 cm、5 ~ 10 cm、10 ~ 15 cm 土壤,每层取样量不少于 30 g(去掉石块和植物残差等杂质),得到各层土壤平均含水率分别为 23.6%、24.5%、27.1%。各层土壤平均圆锥指数为 63.42、168.66、350.44 kPa。

试验设备采用河南豪丰机械制造有限公司生产的正反转旋耕机、灭茬机以及自行搭建互相垂直的直角测定位移台架,该台架主要用来测定土壤和秸秆在旋耕前后的坐标。

试验中采用示踪法[22]分别测试 2 种作业方式下秸秆和土壤的位移变化,并根据行业标准(JB/T 6678—2001)测定了秸秆还田机的掩埋率和破碎率。收获机收获小麦后直接对平铺在地表的秸秆和留茬进行作业,试验田面积为 60 m × 200 m,灭茬机幅宽为 2 m,正反转旋耕机幅宽为 2 m,选用 180、230、280 r/min 3 种转速作业(设为转速 1、2、3),机具前进速度为 0.5 m/s。正反转 2 种作业方式分别进行 3 次重复试验。耕作完成后分别测试不同作业条件下土壤和秸秆的位移变化。

### 1.2 秸秆和土壤位移测试方法

2 种作业方式是:①对平铺在地面和留茬秸秆进行灭茬(图 1a),再进行正旋作业。②直接对未灭茬的秸秆进行反旋作业(图 1b)。

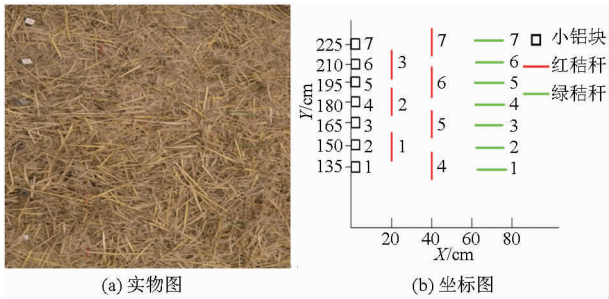


(a) 灭茬后 (b) 未灭茬

图 1 作业前地表状况

Fig. 1 Surface condition before tillage

在灭茬后和未灭茬的地表放上小铝块(2 cm × 2 cm × 2 cm)和标记有红、绿颜色的秸秆(长 15 cm),根据铝块和标记秸秆来测定土壤和秸秆横、纵向位移变化情况,红、绿秸秆和铝块各设 7 组,分别标有数字 1 ~ 7,排列方式及坐标如图 2 所示,经过旋耕机作业后,一层一层拨出表面土壤,确定每个标记铝块的位置(在该过程中,对于其位置的确定,由于人为扰动因素较大,会影响准确度,所以需轻拨),并通过自行设计的坐标标尺测量每个铝块和红绿秸秆坐标值,根据旋耕前、后各自坐标位置可以确定每个标记的位移变化。由于收获机械作业后,秸秆在田间的分布是杂乱无序的,因此试验分别布置与刀辊平行和垂直的秸秆,根据以上 2 种秸秆在二维地表坐标值变化来反映机具幅宽范围内横、纵向秸秆的位移变化)。每组试验重复 3 次,将每次试验得到 7 组数据进行平均,最后对 3 次试验得到




(a) 实物图 (b) 坐标图

图 2 标记秸秆和铝块排列方式

Fig. 2 Arrangement of labeled straw and aluminum block

数据进行总平均，即得到各自位移。

试验数据处理采用 SPSS 中 LSD 检验方法。根据求得的各标记点的位移平均值和标准偏差，以变异系数 $C_V$ 衡量土壤和秸秆在二维地表运动的均匀性，计算式为

$$C_V = \frac{S_D}{M} \times 100\%$$

式中　$C_V$——变异系数　　$S_D$——标准偏差

$M$——平均值

## 2　结果与分析

### 2.1　旋耕作业后土壤和秸秆位移分析

根据正、反旋作业后坐标位置的变化，沿刀辊轴向排列的标记点在 3 种转速下描述其位移，结果如图 3 所示。随着转速增加，土壤和横、纵向秸秆各标记点位移均在减小，而对于反转旋耕作业，位移随转速增加而递减。正转旋耕作业时，各标记点位移变化较稳定；反转旋耕作业时，大部分位移波动较正转旋耕时大。通过比较，转速 2 下土壤和秸秆位移变化最为稳定；比较图 3a、3e 与图 3b、3f，由于土壤和秸秆（横向）排列方式相同，各标记点变化趋势线接近，正旋作业时，靠近刀辊一端的标记点在 3 种转速下位移近似相等，反旋作业时，靠近刀辊两端的标记点在转速 1、2 下位移近似相等；比较图 3c、3d 与图 3e、3f，2 种耕作方式下，标记点 4、5 秸秆在 3 种转速下位移较接近。

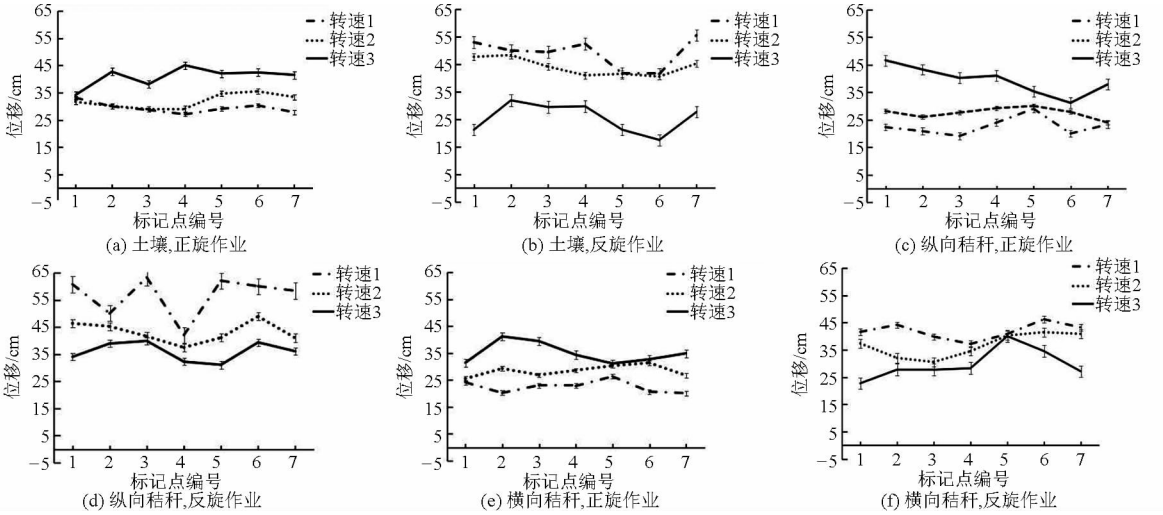



图 3　土壤和秸秆位移变化曲线

Fig. 3　Displacement changing curves of soil and straw

综上分析可知，秸秆和土壤在正旋作业时，位移随着转速增加而增加，反旋作业时，随着转速增加而减小。除纵向标记秸秆外，横向标记秸秆和土壤在正旋作业时，刀辊一侧位移近似相等，反旋作业时在转速 1、2 下位移近似相等。2 种耕作方式下，无论横、纵向秸秆，在刀辊中间某个位置，会出现位移不受其耕作方式和转速影响的标记点。相对来说，正、反旋作业在转速 2 下秸秆和土壤位移变化较为稳定。

### 2.2　土壤和秸秆在二维地表位置特征分析

国内外旋耕机上刀片基本按螺旋线排列。耕作后地表形状与螺旋线形状是否有关系以及这些螺旋线形状是否影响作业质量等一系列问题随之出现。本文中试验按轴向布置标记的铝块和横向秸秆，通过标记点确定位置，并在 CAD 中描绘出其形状，如图 4 所示，无论正旋作业还是反旋作业，这些点的轨迹均呈现螺旋状，由于每个刀片入土时间间隔不同，导致螺旋的形状不尽相同，但从整体来说，轨迹形状与旋耕机上刀片排列方式证明耕作后地表形状与螺旋线形状是相关的。试验选择了 3 个转速进行对比，结果显示转速不会改变地表土壤和秸秆的位置形状，只会改变其位移大小。

土壤和秸秆在正旋作业后，各标记点位置呈两侧均匀分布，而在反旋作业后，基本分布在机具运动的反方向上，本次试验中选取的 7 个等间距的标记点，仅有 1 个点的分布与机具运动同向。虽然秸秆的布置方式不同，但不会影响正、反旋作业后分布情况。从图 4c 可知，纵向布置的秸秆分布在机具运动反方向上且秸秆出现明显聚集现象，均匀性较与刀辊平行（横向）的秸秆要差。

综上并结合图 4，转速和秸秆的排列方式不会影响耕作后秸秆和土壤地表分布形状，只改变各自位移；秸秆排列方式不同，只会影响正转旋耕后地表秸秆分布的均匀性。

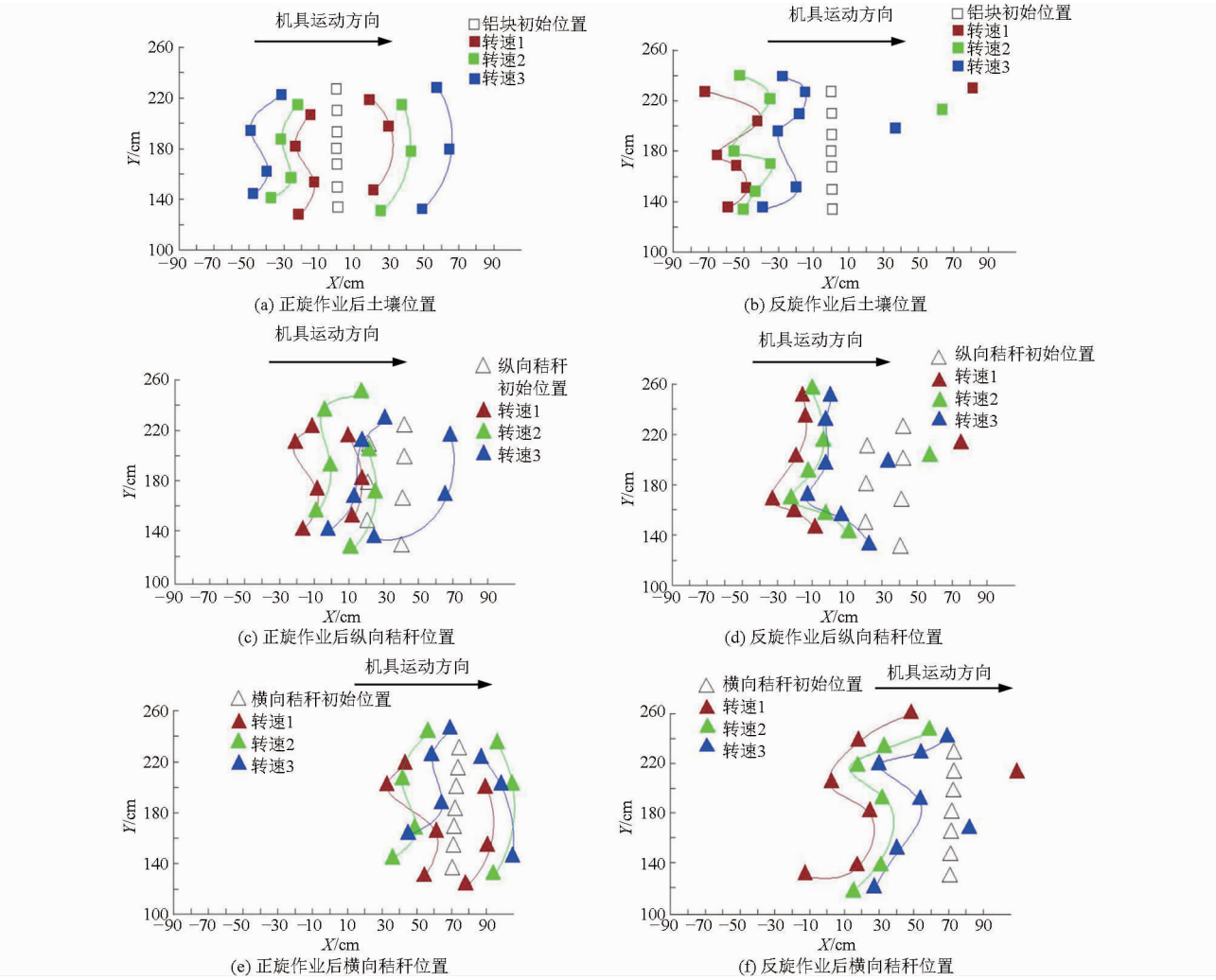



图 4 旋耕后土壤和秸秆二维地表位置分布

Fig. 4 Two-dimensional location distribution of soil and straw in surface after rotary

### 2.3 土壤和秸秆综合评价

运用替代法的思想,根据这些标记点运动前后土壤和秸秆位移来表述机具在耕作幅宽内位移。将 7 个标记点位移进行平均,并运用 SPSS 中 LSD 分析,对耕作后整个作业幅宽内的秸秆掩埋、土壤破碎以及两者位移进行描述。正、反旋作业后地表质量状况如图 5 所示,正旋作业后地表没有反旋作业平整,且地表抬升较反旋作业高。秸秆埋覆率和土壤破碎率如表 1 所示。

正旋作业是先挤压秸秆入土,然后完成切土;反旋作业是先将土壤切碎,然后抛向前方使之覆盖于秸秆表面。由于 2 种作业在秸秆入土方式上的差异,所以秸秆的存在以及在田间分布是否均匀会影响秸秆的埋覆和土壤的破碎。受聚集现象和残留在田间与刀辊平行(纵向)秸秆影响,刀片要首先挤压、撕裂秸秆,大大降低了土壤的切碎性能,从而影响正旋作业;与刀辊轴向垂直(横向)秸秆,刀片首先切断秸秆,大大降低了秸秆的埋覆性能,从而影响反旋作业。

随着机具转速的增加,土壤破碎和秸秆的掩埋

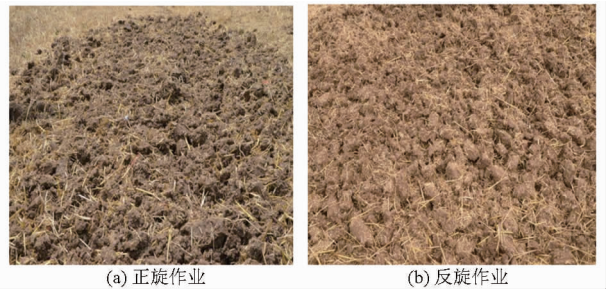



图 5 耕作后地表

Fig. 5 Surface condition after tillage

表 1 秸秆埋覆率和土壤破碎率

Tab. 1 Straw burying rate and soil breaking rate

| 工作方式 | 转速/(r·min$^{-1}$) | 秸秆埋覆率/% | 土壤破碎率/% |
|---|---|---|---|
| 正旋作业 | 180 | 84.13 | 33.70 |
| | 230 | 90.50 | 40.79 |
| | 280 | 82.09 | 37.06 |
| 反旋作业 | 180 | 82.93 | 43.58 |
| | 230 | 86.78 | 44.82 |
| | 280 | 79.15 | 47.61 |

性能在一定转速范围内随之增加，但由于土壤容纳秸秆的量有限，转速过快反而会降低埋覆率。正转旋耕时，若转速过低，由于刀片速比 $\lambda$[23] 小于 1，其运动轨迹是短摆线，如图 6a 所示，此时出现刀片端点向前推土的现象，而起不到切碎土壤作用；若转速过快时，$\lambda$ 大于 1，刀片能正常切土，但此时会出现原地打转的现象，影响切削效率。反旋作业时，其作业轨迹是余摆线，如图 6b 所示，刀端绝对速度的水平分速度与机具前进方向始终保持相反，刀片可向后切削土壤。正、反旋作业中，由于正旋受 $\lambda$ 影响，所以在正旋作业过程中合理选择转速尤为重要。

机具在幅宽范围内作业时位移如表 2 所示，与沿轴向排列各点位移变化趋势相同，土壤和秸秆在机具幅宽范围内位移总体均表现为反旋大于正旋，

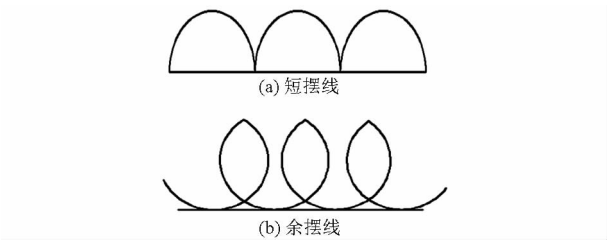



图 6　旋耕刀运动轨迹

Fig. 6　Trajectory of rotary blade

正旋作业时，秸秆转速 1、2 之间无显著性差异；反旋作业时，秸秆在转速 2、3 之间无显著性差异，在 3 种转速下对应的变异系数显示正旋作业比反旋作业的变异系数小，表明正旋作业位移变化稳定性优于反旋作业。以上结果综合表明转速过高会降低正旋作业时秸秆埋覆率和破碎率，而对反旋作业是有利的。

**表 2　正、反旋作业各转速下土壤和秸秆位移**

**Tab. 2　Displacement of soil and crop straw under different rotation speeds**

| 工作方式 | 转速/(r·min$^{-1}$) | 土壤 | | 纵向秸秆 | | 横向秸秆 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 位移/cm | 变异系数/% | 位移/cm | 变异系数/% | 位移/cm | 变异系数/% |
| 正旋作业 | 180 | 29.40$^{a}$ | 3.9 | 22.64$^{e}$ | 6.94 | 22.45$^{i}$ | 7.74 |
| | 230 | 31.85$^{a}$ | 8.6 | 27.56$^{e}$ | 11.34 | 28.36$^{i}$ | 11.67 |
| | 280 | 40.87$^{b}$ | 6.0 | 39.37$^{f}$ | 8.70 | 34.99$^{j}$ | 10.94 |
| 反旋作业 | 180 | 49.13$^{c}$ | 14.43 | 56.61$^{g}$ | 13.49 | 41.82$^{k}$ | 12.66 |
| | 230 | 44.10$^{c}$ | 8.96 | 43.06$^{h}$ | 12.15 | 36.67$^{l}$ | 12.08 |
| | 280 | 25.52$^{d}$ | 22.14 | 35.91$^{h}$ | 14.39 | 29.68$^{l}$ | 14.02 |

注：* 同一列数值后的不同小写字母表示处理在 $p < 0.05$ 水平差异显著。

## 3　讨论

基于以上考虑，可以根据实际作业需求改变机具转速或旋耕机具上刀片的螺旋排列方式来满足农艺要求。相继入土的刀片，原则上是刀轴上轴向距离越大越好，可以减少堵塞，但间距过大，不能满足作业要求，降低了作业质量。从试验中秸秆的布置发现，秸秆在田间是否均匀以及排列方式从某种意义来说影响了机具作业质量，若田间残留纵向秸秆较多，反转旋耕略有优势；若田间残留横向秸秆较多，正、反转旋耕均可以，且机具转速为 230 r/min 时作业效果更好；若从保护性耕作角度考虑，由于正旋作业对土壤的扰动量较小，应优先考虑正旋作业。若从秸秆还田效果角度考虑，反旋作业秸秆位移较大，并能均匀分布在地表以及地中，有利于农作物均匀吸收秸秆腐解后的有机肥。本文所得结果可以为旋耕作业后土壤破碎、秸秆埋覆以及其位移变化作参考。

## 4　结论

（1）沿轴线排列的铝块和秸秆的位移变化，反转旋耕大于正转旋耕作业。除纵向标记秸秆外，横向标记秸秆和土壤在正旋时，刀辊一侧位移近似相等，反转旋耕在转速 1、2 下位移近似相等。2 种耕作方式下，无论横、纵向秸秆，在刀辊中间某个位置，一定会出现位移受作业方式以及转速影响最小点。

（2）耕作后各标记点在二维地表位置表明，这些点的排列是按螺旋线形态排列，且形态不随转速改变。土壤位置变化，反旋作业主要集中在机具运动反方向上，正旋作业均匀分布在标记点两侧；与刀辊平行秸秆在正转旋耕时会出现聚集现象，所以机具正旋作业时存在缠草问题。

（3）从耕作后地表质量状况来看，相同条件下，正转旋耕的秸秆埋覆率高于反转旋耕；而土壤的破碎性能、耕幅内地表平整度、入土性能反转旋耕都优于正转旋耕。

## 参　考　文　献

1　TEODOR Rusu. Energy efficiency and soil conservation in conventional, minimum tillage and no-tillage[J]. International Soil and Water Conservation Research, 2014, 2(4): 42 – 49.

2 王芸. 保护性耕作对麦田土壤微生物特性及理化性状的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2007.
WANG Yun. Effects of conservation tillage on soil microbial properties and physical and chemical characteristics of wheat field [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2007. (in Chinese)

3 ZHANG Shixiu. Conservation tillage positively influences the microflora and microfauna in the black soil of Northeast China[J]. Soil & Tillage Research, 2015,149: 46 - 52.

4 高焕文. 中国特色保护性耕作技术[J]. 农业工程学报,2003, 19(3): 1 - 4.
GAO Huanwen. Conservation tillage technology with Chinese characteristics[J]. Transactions of the CSAE, 2003,19(3): 1 - 4. (in Chinese)

5 薛建福, 赵鑫. 保护性耕作对农田碳、氮效应的影响研究进展[J]. 生态学报,2013, 33(19):6006 - 6013.
XUE Jianfu,ZHAO Xin. Advances in effects of conservation tillage on soil organic carbon and nitrogen[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013,33(19): 6006 - 6013. (in Chinese)

6 WANG Xiaohua. Effects of ditch-buried straw return on soil organic carbon and rice yields in a rice-wheat rotation system[J]. CATENA, 2015,127: 56 - 63.

7 YANG Haishui. Soil nitrogen retention is increased by ditch-buried straw return in a rice-wheat rotation system[J]. European Journal of Agronomy, 2015,69: 52 - 58.

8 潘剑玲, 戴万安. 秸秆还田对土壤有机质和氮素有效性影响及机制研究进展[J]. 中国生态农业学报,2013, 21(5): 526 - 535.
PAN Jianling,DAI Wanan. Review of research progress on the influence and mechanism of field straw residue incorporation on soil organic matter and nitrogen availability[J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2013, 21(5):526 - 535. (in Chinese)

9 方会敏,姬长英,Farman Ali Chandio,等. 基于离散元法的旋耕过程土壤运动行为分析[J]. 农业机械学报,2016,47(3): 22 - 28.
FANG Huimin, JI Changying, FARMAN Ali Chandio, et al. Analysis of soil dynamic behavior during rotary tillage based on distinct element method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(3):22 - 28. (in Chinese)

10 孔令德,桑正中. 斜置旋耕刀的研制[J]. 农业机械学报,2000,31(6): 46 - 48.
KONG Lingde, SANG Zhengzhong. Development of an oblique rotary tillage blade[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2000, 31(6): 46 - 48. (in Chinese)

11 方会敏,姬长英,Ahmed Ali Tagar,等. 秸秆-土壤-旋耕刀系统中秸秆位移仿真分析[J]. 农业机械学报,2016,47(1):60 - 67.
FANG Huimin, JI Changying, AHMED Ali Tagar, et al. Simulation analysis of straw movement in straw - soil - rotary blade system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(1):60 - 67. (in Chinese)

12 FANG Huimin, ZHANG Qingyi, Chandio F A, et al. Effect of straw length and rotavator kinematic parameter on soil and straw movement by a rotary blade[J]. Engineering in Agriculture, Environment and Food. Doi:10.1016/j.eaef.2016.01.001.

13 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)

14 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.

15 宋建农,李自华. 反转旋耕理论分析[J]. 北京农业工程大学学报,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)

16 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)

17 汲文峰. 旋耕-碎茬仿生刀片[D]. 长春:吉林大学,2010: 70 - 73.
JI Wenfeng. Biomimetic blades for soil-rototilling and stubble-breaking[D]. Changchun: Jilin University, 2010:70 - 73. (in Chinese)

18 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)

19 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 CSAE, 2015,31(9): 13 - 18. (in Chinese)

20 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)

21 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)

22 LIU J, CHEN Y, KUSHWAHA R L. Effect of tillage speed and straw length on soil and straw movement by a sweep [J]. Soil & Tillage Research, 2010,109(11): 9 - 17.

23 李宝筏. 高等农业机械学[M]. 北京:中国农业出版社,2003: 31.