

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.S0.009

秸秆还田方式对种床土壤物理性质和小麦生长的影响

赵宏波 何进 李洪文 王庆杰 李问盈 刘文政

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: 华北平原一年两熟区粮食产量高、秸秆量大,玉米收获后播种小麦时需要对秸秆进行适宜的处理。为解决此问题,本文于2016—2018年在河北涿州试验站开展田间定位试验,研究了不同玉米秸秆还田与种床位置关系对种床土壤含水率、地温、水稳性团聚体含量、冬小麦出苗率及产量的影响。试验共设置4个处理:秸秆混埋(SM)、少量秸秆混埋(HSM)、秸秆覆盖(SC)和秸秆不还田(CK)。试验结果表明,相较于秸秆不还田对照组CK,秸秆还田可以提高0~30 cm种床土壤含水率,效果由大到小依次为:SC、HSM、SM;显著增加水稳性大团聚体(>0.25 mm)含量,SM、HSM、SC分别提高6.3、4.9、4.8个百分点;对地温变化呈现出“缓解效应”,其效果从大到小依次为SC、SM、HSM,导致越冬期土壤回暖变慢;增加冬小麦出苗率,HSM、SC、SM平均增加40.1%、34.1%、14.8%,且HSM在第1年显著高于SM;提高产量,SC、HSM、SM平均增产17.2%、10.9%、2.9%,且第1年SM产量显著低于SC。本研究结果表明,秸秆还田对地温有负面影响,但可以增加土壤水分,改善土壤结构,因此最终提高了小麦产量;3种秸秆还田处理中,由于秸秆混埋(SM)使土壤含水率、出苗率、产量均最低,且对地温影响较大,因此优先推荐秸秆覆盖(SC)和少量秸秆混埋(HSM)。

关键词: 秸秆还田方式; 冬小麦; 出苗率; 种床; 地温; 产量

中图分类号: S365 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)S0-0060-08

Effect of Straw Returning Manners on Seedbed Soil Physical Properties and Winter Wheat Growth

ZHAO Hongbo HE Jin LI Hongwen WANG Qingjie LI Wenying LIU Wenzheng

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In the double cropping area of North China Plain, the straw amount is huge as a result of the tremendous grain production, therefore, the maize straw needs proper handling during wheat seeding for the good of soil health and wheat grown. In order to address this issue, a field experiment was conducted in the experimental station at Zhuozhou, Hebei Province in 2016—2018, the effects of straw returning position on the seedbed physical properties of soil moisture content, soil temperature, soil aggregate size distribution, percentage emergence and yield of winter wheat were studied. Four treatments were investigated, including straw mixture (SM), half straw mixture (HSM), straw cover (SC) and controlled check of no straw returning (CK). Experiment results showed that straw return could: increase seedbed soil moisture content at 0~30 cm, SC and HSM had significant increasing effect while SM had not, which was even lower than CK at 0~10 cm depth in 2016; increase seedbed soil water stable macroaggregates, SM, HSM, SC all showed significant effect and macroaggregates were increased by 6.3, 4.9 and 4.8 percentage points, respectively; mitigate soil temperature change, soil temperature of CK at noon was significantly higher than the straw returning treatments, indicating that straw return could lead to slower warm up of soil which was not good for wheat growth; increase percentage emergence of winter wheat, the order from high to low was HSM, SC, SM and CK, and percentage emergence was increased by 40.1%, 34.1%, 14.8%, respectively, however, only HSM showed significant effect, besides SM was significantly lower than HSM in 2016; increase winter wheat yield by 17.2%, 10.9%

收稿日期: 2018-07-10 修回日期: 2018-08-20
基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-03)、教育部创新团队发展计划项目(IRT13039)和公益性行业(农业)科研专项资金项目(201503136)
作者简介: 赵宏波(1990—),男,博士生,主要从事保护性耕作研究,E-mail: zhaohongbo2014@126.com
通信作者: 何进(1979—),男,教授,博士生导师,主要从事保护性耕作研究,E-mail: hejin@cau.edu.cn

and 2.9% of SC, HSM and SM, respectively. It could be concluded that straw returning, although impacted soil temperature, it could increase soil water content, improve soil structure and soil health, thus ultimately increasing winter wheat yield. Among the three straw returning treatments, SC obtained the highest yield, then HSM of half straw mixture. SM of straw mixture obtained the highest water stable macroaggregates, but nonetheless the soil moisture and percentage emergence of it was the least, besides it had a certain impact on soil temperature, thus leading to the lowest yield of the three treatments, therefore straw returning positions of SC and HCM were more recommended.

Key words: straw returning manners; winter wheat; percentage of emergence; seedbed; soil temperature; yield

0 引言

秸秆还田具有减少水土流失,改良土壤结构,提升土壤肥力等功效^[1-2]。实施秸秆还田,有利于保障我国粮食安全,推进农业可持续性发展^[3]。华北平原一年两熟区是我国最重要的粮食主产区之一,粮食产量高,秸秆量大,且玉米收获后需立即播种小麦,处理时间紧迫。适宜的秸秆还田方式有利于节约农时,提高秸秆利用率,减少秸秆焚烧^[4-6]。

近年来,国内外研发了一系列秸秆处理机具以解决玉米秸秆覆盖地播种小麦的问题,而不同的秸秆处理方式,会产生不同的秸秆-种床位置关系。如利用动力驱动式防堵播种机作业时,会将部分秸秆和种床土壤混埋在一起,另外一部分留在地表^[7],且不同的动力驱动防堵装置混埋秸秆的量也有不同^[8];而利用拨草轮等被动式防堵播种机作业时,会将种床上的秸秆拨走,种床不覆盖秸秆^[9];利用圆盘播种机播种时,则会将秸秆留在地表,覆盖于种床之上^[10]。

众多研究表明,秸秆还田有利于保土保水,改良土壤结构,从而促进作物生长^[11-14],但是也可能产生负面效应,如降低地温^[15],腐解过程中产生毒素^[16],影响种子发芽和后续生长等,因此适宜的秸秆还田管理尤为必要。蒋向^[17]研究了旋耕和翻耕玉米秸秆还田,证明秸秆还田对土壤性质和作物生长有影响。MORRIS等^[18]研究了小麦秸秆还田方式和还田量对甜菜和油菜出苗的影响,发现秸秆还田方式对出苗率,出苗日期都有显著影响。

少免耕播种小麦时不同播种机具会产生不同玉米秸秆位置关系,但现有研究多集中于秸秆覆盖还田或埋入还田单一效应,对秸秆还田方式对种床土壤物理性质和小麦生长的影响研究较少。因此,本文基于定位田间试验,针对不同秸秆还田方式与种床位置关系进行研究,以期为秸秆还田作业方式提供依据和理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在河北省涿州市东城坊镇中国农业大学耕

地保育科学观测实验站进行(东经 115°44′、北纬 39°21′,海拔 45 m),试验地土壤为沙壤土,前茬作物为夏玉米,秸秆量为 2.4 kg/m²,粉碎后秸秆平均长度为 9.1 cm。涿州 2016—2017 年全年及 2018 年 1—6 月平均气温 13.4、13.7、11.33℃,平均降水量为 490、507、108 mm。

1.2 试验设计

试验于 2016—2018 年进行,共设置 4 个处理:秸秆混埋(SM)、秸秆少量混埋(HSM)、秸秆覆盖(SC)和秸秆不还田(CK),各处理示意图和田间处理后效果如图 1 所示。试验采用完全随机设计,每个处理设置 3 个重复,每个小区面积 7 m × 4.8 m。各处理实施方法及作业后种床-秸秆位置关系为:秸秆混埋(SM),在全部粉碎后的玉米秸秆覆盖地直接用条带旋切播种机播种,播种机旋刀可将秸秆和种床土壤混埋在一起,种床秸秆量为 2.4 kg/m²;秸秆少量混埋(HSM),秸秆粉碎作业前人工砍掉并移除一半秸秆,然后进行秸秆粉碎还田和播种作业,播种机旋刀将秸秆和种床土壤混埋在一起,种床秸秆量约为 1.2 kg/m²;秸秆覆盖(SC),先将地表秸秆全部人工砍掉移除,然后播种,待播种后在地表均匀铺洒秸秆,秸秆位于种床之上,覆盖量为 2.4 kg/m²;秸秆不还田(CK),将地表秸秆移除后直接播种,种床无秸秆。播种作业于 10 月玉米收获后立即进行,均采用自行研制的条带旋切后抛防堵小麦播种机^[7]进行播种,其一次作业可播种 6 行小麦,行距 200 mm,幅宽 1 300 mm。各处理播期、播量、浇水、施肥量、病虫害防治等管理措施均一致。冬小麦品种选用轮选 169。

1.3 测试方法

1.3.1 含水率

用环刀法于小麦出苗期测定土壤耕层(0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm、20 ~ 30 cm)含水率。

1.3.2 地温

于小麦越冬期使用地温计记录耕层(0 ~ 5 cm、5 ~ 10 cm)06:00、12:00、18:00 地温。

1.3.3 水稳性团聚体含量

于小麦越冬期测定土壤耕层(0 ~ 10 cm)水稳

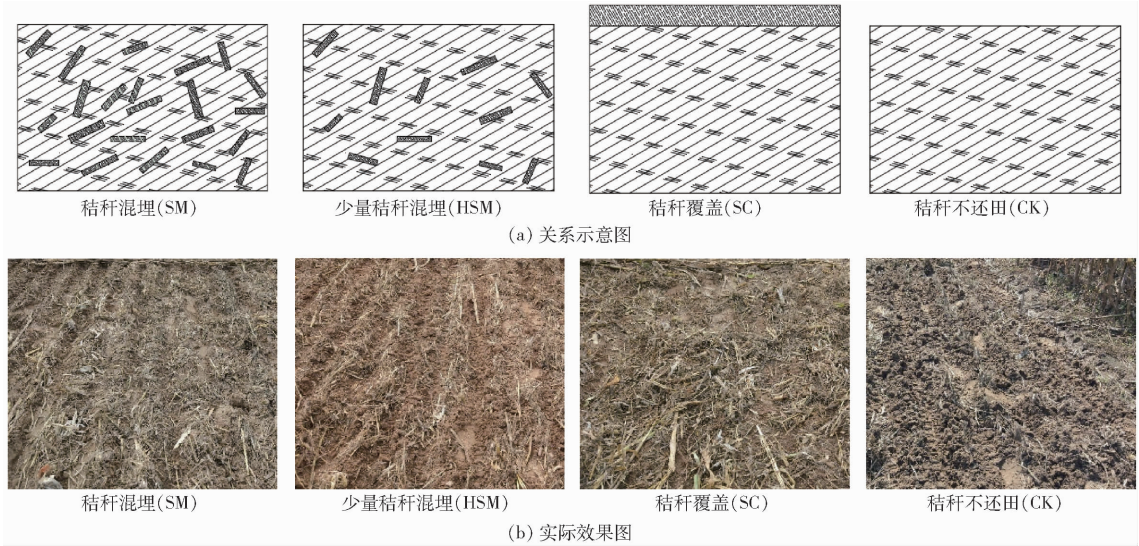


图 1 不同秸秆-种床位置关系处理

Fig. 1 Treatment of straw-seedbed positions

性团聚体含量。利用湿筛法将土样筛过,自然晾干后称取各粒径土壤干质量,并计算其百分比。采用日本 DIK-2012 型恒温式土壤团粒结构分析仪进行测定。

1.3.4 出苗率

播种 14 d 后,在试验小区按“之”字形取样法,每个播种行取 30 cm,测定小麦出苗数,然后计算小麦出苗率^[19],即

C_m = \frac{m_h LnB_z}{300m_s S} \times 100\% \tag{1}

式中 C_m——小麦出苗率,%

m_h——每行出苗数

n——总播种行数

L——播种行长度,m

m_s——播种机单位面积播种量,kg/m²

B_z——小麦种子千粒质量,kg

S——播种面积,m²

1.3.5 产量

于小麦成熟时,每个处理按照“S”型随机取 5 个点,每个小区取 1 m × 1 m 范围内的小麦,干燥后

称量。

1.4 数据分析

采用 Excel 2016 和 IBM SPSS 20.0 软件对数据进行处理和分析,并利用 matplotlib 软件进行图形绘制。

2 结果与分析

2.1 含水率

土壤含水率是影响小麦出苗和生长的关键因素之一。由图 2 可以看出,除了 2016 年 0 ~ 10 cm 处 CK 含水率高于 SM,其余年份和深度各处理种床土壤含水率变化趋势一致,从大到小依次为: SC、HSM、SM、CK。秸秆还田的 3 个处理中,SC 和 HSM 在 2016 年 10 ~ 30 cm、2017 年 0 ~ 20 cm 相对于 CK 含水率均有显著提高,其中 SC 处理含水率最高,2016、2017 年较 CK 分别提高 14.9% 和 11.0%,HSM 分别提高 11.1% 和 10.8%,而 SM 在大部分情况下与 CK 无显著差异,甚至在 2016 年 0 ~ 10 cm 处小于 CK 的含水率,但差异不显著。

2.2 地温

2016—2017 年越冬期种床地温数据如表 1 所

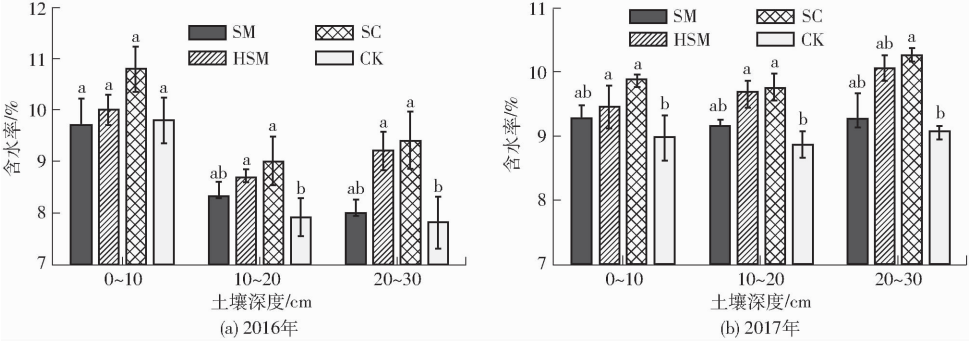


图 2 2016—2017 年不同秸秆还田方式种床含水率变化

Fig. 2 Soil moisture content under four treatments in 2016 and 2017

示。整体呈现出中午(12:00)高,早晚(06:00 和 18:00)低的趋势,且晚上温度略高于早上。

早上和晚上,各处理间温度大小顺序一致,由大到小依次为:SC、HSM、SM、CK。06:00,2016 年 SC 在 0~10 cm 处均显著高于其他 3 个处理 0.46~0.84℃;2017 年早上 SC 在 5~10 cm 处高于其他 3 个处理 0.23~0.33℃。18:00,2016 年 SC 在 0~10 cm 处显著高于其他 3 个处理,5~10 cm 处,HSM 和 SM 还显著高于 CK;2017 年 SC 在 0~5 cm

显著高于 CK,在 5~10 cm 深度各处理间差异不显著。

12:00 秸秆还田位置对地温的影响与 06:00 和 18:00 正好相反,由大到小趋势为:CK、SM、HSM、SC,2016 年 0~10 cm 处 CK 显著高于其他 3 个处理 0.54~0.8℃,除此之外 5~10 cm 深度 SC 显著小于其他 3 个处理。2017 年 0~5 cm 处 CK 显著高于 SC 0.11℃,5~10 cm 处 CK 显著高于 SM 和 SC,HSM 的地温也显著高于 SC。

表 1 秸秆还田方式对地温的影响

Tab.1 Effect of different straw returning manners on soil temperature

℃

深度/cm	处理	2016 年			2017 年		
		06:00	12:00	18:00	06:00	12:00	18:00
0~5	SM	(-0.13±0.06) ^b	(0.90±0.00) ^b	(0.10±0.12) ^b	(-0.10±0.20) ^a	(1.23±0.05) ^{ab}	(0.37±0.06) ^{ab}
	HSM	(-0.07±0.21) ^b	(0.93±0.05) ^b	(0.13±0.10) ^b	(-0.10±0.10) ^a	(1.24±0.04) ^{ab}	(0.30±0.10) ^{ab}
	SC	(0.53±0.02) ^a	(0.77±0.03) ^b	(0.26±0.04) ^a	(0.13±0.19) ^a	(1.21±0.42) ^b	(0.40±0.10) ^a
	CK	(-0.23±0.06) ^b	(1.53±0.03) ^a	(0.07±0.21) ^b	(-0.17±0.06) ^a	(1.32±0.02) ^a	(0.17±0.15) ^b
5~10	SM	(0.07±0.06) ^b	(0.77±0.01) ^{bc}	(0.17±0.06) ^b	(-0.10±0.10) ^b	(1.15±0.01) ^b	(0.63±0.05) ^a
	HSM	(0.13±0.32) ^b	(0.93±0.03) ^b	(0.21±0.12) ^b	(-0.13±0.06) ^b	(1.15±0.03) ^{ab}	(0.63±0.06) ^a
	SC	(0.67±0.31) ^a	(0.67±0.03) ^c	(0.33±0.06) ^a	(0.13±0.15) ^a	(1.11±0.01) ^c	(0.73±0.15) ^a
	CK	(-0.17±0.06) ^b	(1.47±0.04) ^a	(0.10±0.15) ^c	(-0.20±0.10) ^b	(1.18±0.01) ^a	(0.57±0.15) ^a

注:同一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。

2.3 水稳性团聚体含量

水稳性团聚体含量是表征土壤结构的一个物理特性,对土壤水热传导有着重要影响^[20]。不同秸秆还田方式种床土壤水稳性团聚体含量如表 2 所示,CK 大团聚体含量(>0.25 mm)最低,2016、2017 年占比为分别 44.0% 和 45.4%,显著小于其他 3 种秸秆还田处理。在 3 种秸秆还田处理中,SM 大团聚体含量最高,2016、2017 年占比分别为 49.1% 和

52.9%,其次是 SC 和 HSM,但这 3 个处理之间差异均不显著。

各处理大团聚体含量(>0.25 mm)和小团聚体含量(0~0.25 mm)几乎各占一半,大团聚体中,0.25~2 mm 粒径的团聚体占比最大。其中,2016 年 CK 显著小于其他 3 个秸秆还田的处理,但这 3 个处理间差异不显著,而 2017 年 CK 显著小于 SM 和 SC。

表 2 土壤水稳性团聚体含量

Tab.2 Soil water stable aggregate size classes under different straw positions

%

年份	处理	大团聚体			小团聚体
		>2 mm	0.25~2 mm	>0.25 mm	0~0.25 mm
2016	SM	(2.3±0.3) ^a	(46.8±2.0) ^a	(49.1±2.2) ^a	(50.9±2.2) ^b
	HSM	(1.2±0.3) ^b	(47.0±0.6) ^a	(48.2±0.7) ^a	(51.8±0.7) ^b
	SC	(1.4±0.3) ^b	(47.2±3.0) ^a	(48.6±3.4) ^a	(51.4±3.4) ^b
	CK	(0.3±0.3) ^c	(43.7±0.6) ^b	(44.0±0.6) ^b	(56.0±0.6) ^a
2017	SM	(2.9±1.3) ^a	(50.0±0.3) ^a	(52.9±1.2) ^a	(47.1±1.2) ^b
	HSM	(3.7±0.8) ^a	(47.4±0.6) ^{ab}	(51.0±1.3) ^a	(49.0±1.3) ^b
	SC	(1.5±0.0) ^b	(48.8±1.1) ^a	(50.3±1.1) ^a	(49.7±1.1) ^b
	CK	(0.7±0.3) ^b	(44.7±0.4) ^b	(45.4±0.2) ^b	(54.6±0.2) ^a

2.4 出苗率

2016—2017 年出苗率数据(图 3)表明,秸秆还田相较于秸秆不还田可以提高小麦出苗率(2016 年 SM、HSM、SC 相较于 CK 分别提高 16.7%、57.4%、48.1%,2017 年分别提高 12.9%、22.9%、20.0%)。

但只有 HSM 的出苗率显著大于无秸秆还田的 CK,其他处理之间不显著。其中 HSM 出苗率最高,其次是 SC 和 SM,并且 2016 年 HSM 出苗率显著大于 SM 的。另外,2017 年各处理出苗率相较于 2016 年均有所提高。

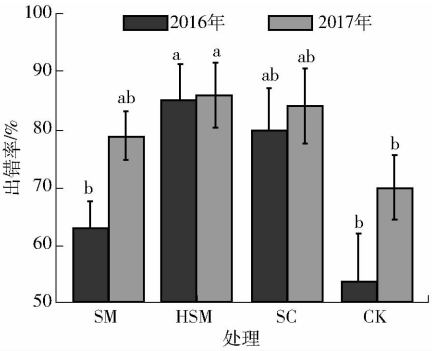


图3 2016—2017年秸秆还田方式对出苗率的影响
Fig.3 Effect of straw manners on wheat emergence from 2016—2017

2.5 产量

由图4可知,3种秸秆还田处理相较于秸秆不还田(CK)小麦产量均有提高,2017年HSM,SM,SC相较于CK产量分别提高3.2%、10.5%、15.7%,2018年分别提高2.4%、11.2%、18.6%。各处理产量由大到小顺序为:SC、HSM、SM、CK,其中2017年HSM、SC、SM产量均显著高于CK,且SC显著高于SM,2018年只有SC显著高于CK,其余处理之间差异不显著。

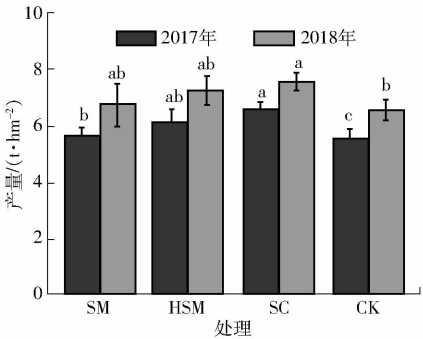


图4 2017—2018年秸秆还田方式对产量的影响
Fig.4 Effect of different straw manners on wheat yield from 2017—2018

3 讨论

3.1 秸秆还田方式对含水率的影响

本文研究结果表明,秸秆还田可以提高土壤耕层含水率,且在降水量较低2016年效果更加明显,此结果与蒋向^[17]、王庆杰等^[19]研究结果一致。其原因可能为:秸秆还田可以减少水分蒸发^[21-22],秸秆还田可以改善土壤结构,增加水分入渗,提高土壤持水能力^[23]。含水率的提升有助于缓解苗期干旱,降低出苗时间,提高出苗率^[24]。

另外,秸秆还田混埋量大的情况下,含水率反而低于少量秸秆混埋(HSM),这是由于土壤中混埋大量秸秆会造成土壤过于悬松,水分蒸发严重^[17],因此SM含水率低于HSM和SC,甚至于2016年0~

10 cm处含水率低于CK;但随着秸秆逐渐腐解,土壤逐渐紧实,土壤水分蒸发减少,SM含水率上升,因此2017年的SM的含水率高于CK,但仍然小于HSM和SC。

3.2 秸秆还田方式对地温的影响

早晚温度低时秸秆还田处理地温均高于秸秆不还田CK,而中午温度高时秸秆还田处理地温较低,说明秸秆还田会对地温变化产生“缓解效应”。即在温度高时地温降低,温度低时地温上升。赵亚丽等^[25]的研究也发现了类似结果,其原因是秸秆热传导率在高温时更小^[26],而在低温时秸秆可以减少热量的散失^[22];并且秸秆还田水分蒸发减少,也会降低土壤地温升高的速率^[27]。

3种秸秆还田处理中,SM由于将秸秆混埋在土壤中,对太阳光的反射不太明显,因此对温度的缓解效应低于SC。而HSM由于混埋的秸秆量少,其缓解效应又低于SM。秸秆覆盖早晚气温低时地温较高,但气温升高时地温反而更低,可能造成地温时回暖较慢,不利于麦苗安全越冬。

3.3 秸秆还田方式对水稳性团聚体含量的影响

除含水率有所提升以外,本文研究表明,相对于无秸秆还田的CK处理,两年秸秆还田土壤水稳性团聚体中大团聚体含量(>0.25 mm)提高了4.8~6.3个百分点,与ZHANG等^[28]研究结果类似。其原因是通过秸秆还田,可以增加土壤耕层微生物的量以及活性^[29],从而增加水稳性大团聚体含量。

3种秸秆还田处理中秸秆混埋(SM)大团聚体含量最多,其次是秸秆覆盖(SC)。这是因为秸秆埋入土中,可以加快腐解速率^[30]。而少量秸秆混埋(HSM)由于秸秆还田量少,因此第1年大团聚体含量较低,但经过1年的累积,更多秸秆腐解,所以在2017年其含量超过SC。3个秸秆还田处理2017年大团聚体含量均高于2016年,证明有秸秆还田对大团聚体含量有累计效应。另外,由于2017年降水增多,也更加有利于秸秆腐解。

3.4 秸秆还田方式对出苗率的影响

秸秆还田方式及还田量均会影响作物出苗率。本文研究表明,秸秆还田可提升小麦出苗率,相较于秸秆不还田CK,HSM、SC、SM分别提高40.1%、34.1%、14.8%,其中HSM对出苗率提升最为明显。第2年由于降水量较大,秸秆对含水率提升效应减小^[31],从而导致秸秆还田出苗率提升效果减小,且CK出苗率相比2016年呈现较大幅度增长。

相较于少量秸秆混埋(HSM),秸秆还田量较大的SM和SC出苗率更低,这是因为:秸秆还田会释放出一定的毒素,影响种子发芽,从而降低出苗率,

秸秆量越大影响越大,SM 处理由于将秸秆和土壤混埋在一起,与种子位置更近,因此负效应更加明显,第 1 年出苗率显著小于 HSM。如果秸秆量太大,种子发芽后有可能难以突破秸秆层。土壤中混埋秸秆时,种子受秸秆影响,与土壤接触不够充分,无法很好吸收水分和养分^[17]。

3.5 秸秆还田方式对产量的影响

与 ZHANG 等^[11]和 KARAMI 等^[32]研究结果一致,本文发现秸秆还田在一定程度上增加了小麦产量,SC、HSM、SM 平均增产 17.2%、10.9%、2.9%。农作物的产量受众多因素综合影响,其中土壤含水率和土壤结构是关键因素。旋耕等作业会产生犁底层,降低土壤通气透水性能,但秸秆还田可以缓解这一问题,本文研究表明秸秆还田处理增加了大团聚体含量,从而改善了土壤结构,而且含水量上升,因此最终增产。

由试验结果可知,各处理 2017 年产量低于 2018 年,且 2017 年 3 种秸秆还田处理相较于 CK 均显著增产,而 2018 年仅有 SC 显著增产,其他处理之间无显著差异,这可能是因为 2018 年降水量更多,从而导致秸秆对含水率提升效应下降,从而增产效果减弱。而 3 个秸秆还田处理之间,2017 年 SC 产量还显著大于 SM,但 2018 年各处理间无显著差异。SM 增加水稳性大团聚体含量效果最为明显,但含水率和出苗率均最低,且对地温影响较大,最终产量较低。

根据以上研究,尽管秸秆还田相较于不还田会

影响地温,但由其在含水率、水稳性大团聚体含量、以及产量方面的提升,建议在华北一年两熟区采用秸秆还田作业。3 种秸秆还田处理方式中,SM 虽然增加水稳性大团聚体含量效果最明显,但含水率最低和出苗率最低,且对地温影响较大,因此建议优先采用秸秆覆盖(SC)和少量秸秆混埋(HSM)。其中秸秆覆盖可通过驱动圆盘切茬开沟实现^[33],也可借鉴花生播种中的秸秆粉碎后抛^[34]、侧抛^[35]等方式及机具实现。若播种地区秸秆量较小,可通过条带旋耕播种机作业实现少量秸秆混埋。但如果秸秆量较大,还需研发更适合的机具,将部分秸秆从种床移走,从而达到减少种床秸秆含量,提升作业效果的目的。

4 结束语

通过定位田间试验,对秸秆还田方式对种床土壤物理性质和小麦生长的影响进行了研究。结果表明,秸秆还田对地温变化有缓解效应,会降低越冬期地温回暖速度,产生一定负面影响,但可以增加种床土壤含水率,提高土壤大团聚体含量,从而改良土壤结构,因此最终提高了小麦产量。3 个秸秆还田处理中,秸秆覆盖(SC)产量最高,其次是少量秸秆混埋(HSM),而秸秆混埋(SM)虽然水稳性大团聚体含量最高,但含水率最低和出苗率最低,且对地温影响较大,最终产量较低,因此在这 3 种处理中优先推荐秸秆覆盖(SC)和少量秸秆混埋(HSM)。

参 考 文 献

- 高焕文. 保护性耕作技术与机具[M]. 北京:化学工业出版社, 2004.
- 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)
- HE Jin, LI Hongwen, RASAILY R G, et al. Soil properties and crop yields after 11 years of no tillage farming in wheat-maize cropping system in North China Plain[J]. Soil & Tillage Research, 2011, 113(1): 48-54.
- 卢彩云. 免耕播种机滑板压秆旋切式防堵技术与装置研究[D]. 北京:中国农业大学, 2014.
LU Caiyun. Study on anti-blocking technology and device of rotary cutting with slide plate pressing straw for no-till seeder[D]. Beijing: China Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- 余坤,冯浩,李正鹏,等. 秸秆还田对农田土壤水分与冬小麦耗水特征的影响[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(10): 116-123. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20141019&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2014.10.019.
YU Kun, FENG Hao, LI Zhengpeng, et al. Effects of different pretreated straw on soil water content and water consumption characteristics of winter wheat[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(10): 116-123. (in Chinese)
- 高焕文,李洪文,姚宗路. 我国轻型免耕播种机研究[J]. 农业机械学报, 2008, 39(4): 78-82.
GAO Huanwen, LI Hongwen, YAO Zonglu. Study on the Chinese light no-till seeders[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(4): 78-82. (in Chinese)
- 赵宏波,何进,李洪文,等. 条带式旋切后抛防堵装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(5): 65-75. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180508&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2018.05.008.

- ZHAO Hongbo, HE Jin, LI Hongwen, et al. Design and experiment of strip rotary-cut-throw anti-blocking implement [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(5): 65–75. (in Chinese)
- 8 王浩. 玉米少免耕播种机种带灭茬清理装置设计与试验[D]. 北京: 中国农业大学, 2018.
- WANG Hao. The design and experiment of strip cleaning device of no and minimum-till corn planter [D]. Beijing: China Agricultural University, 2018. (in Chinese)
- 9 高娜娜, 张东兴, 杨丽, 等. 驱动分禾杆与被动分禾栅板组合式防堵机构设计[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(6): 85–91, 52. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140614&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2014.06.014.
- GAO Nana, ZHANG Dongxing, YANG Li, et al. Design of anti-blocking mechanism combined driven divider with passive residue separating device[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(6): 85–91, 52. (in Chinese)
- 10 HE Jin, ZHANG Zhiqiang, LI Hongwen, et al. Development of small/medium size no-till and minimum-till seeders in Asia: a review[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2014, 7(4): 1–12.
- 11 ZHANG Peng, WEI Ting, JIA Zhikuan, et al. Soil aggregate and crop yield changes with different rates of straw incorporation in semiarid areas of Northwest China[J]. Geoderma, 2014, 230–231(7): 41–49.
- 12 ZHANG Peng, WEI Ting, JIA Zhikuan, et al. Effects of straw incorporation on soil organic matter and soil water-stable aggregates content in semiarid regions of Northwest China[J]. Plos One, 2014, 9(3): e92839.
- 13 LI Shuo, CHEN Juan, SHI Jianglan, et al. Impact of straw return on soil carbon indices, enzyme activity, and grain production [J]. Soil Science Society of America Journal, 2017, 81(6): 1475–1485.
- 14 BARTEL C A, BANIK C, LENSSEN A W, et al. Living mulch for sustainable maize stover biomass harvest[J]. Crop Science, 2017, 57(6): 3273–3290.
- 15 张德奇, 岳俊芹, 李向东, 等. 耕作方式对豫南雨养区土壤微环境及冬小麦产量的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(增刊2): 32–38.
- ZHANG Deqi, YUE Junqin, LI Xiangdong, et al. Effects of tillage regimes on soil micro-environments and yield of winter wheat in rainfed areas in southern Henan province, China[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(Sup.2): 32–38. (in Chinese)
- 16 GAO S, TANJI K, SCARDACI S. Impact of rice straw incorporation on soil redox status and sulfide toxicity[J]. Agronomy Journal, 2004, 96(1): 70–76.
- 17 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 and root and development function in wheat[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- 18 MORRIS N L, PCH M, ORSON J H, et al. The effect of wheat straw residue on the emergence and early growth of sugar beet (*Beta vulgaris*) and oilseed rape (*Brassica napus*) [J]. European Journal of Agronomy, 2009, 30(3): 151–162.
- 19 王庆杰, 王宪良, 李洪文, 等. 华北一年两熟区玉米秸秆覆盖对冬小麦生长的影响[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(8): 192–198. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170822&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.08.022.
- WANG Qingjie, WANG Xianliang, LI Hongwen, et al. Effect of maize straw mulching on winter wheat growth in double cropping area of Northern China[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(8): 192–198. (in Chinese)
- 20 王清奎, 汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J]. 土壤通报, 2005(3): 415–421.
- WANG Qingkui, WANG Silong. Forming and stable mechanism of soli aggregate and influencing factors [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2005(3): 415–421. (in Chinese)
- 21 陈素英, 张喜英, 裴冬, 等. 玉米秸秆覆盖对麦田土壤温度和土壤蒸发的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 171–173.
- CHEN Suying, ZHANG Xiying, PEI Dong, et al. Effects of corn straw mulching on soil temperature and soil evaporation of winter wheat field[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(10): 171–173. (in Chinese)
- 22 CHEN Suying, ZHANG Xiying, PEI Dong, et al. Effects of straw mulching on soil temperature, evaporation and yield of winter wheat: field experiments on the North China Plain[J]. Annals of Applied Biology, 2010, 150(3): 261–268.
- 23 王增丽. 秸秆不同处理还田方式对土壤理化特性和作物生长效应的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- WANG Zengli. Effects of different straw incorporation manners on soil physical and chemical properties and crop growth [D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2012. (in Chinese)
- 24 SRIVASTAVA P C, TOTEY N G, PRAKASH O. Effect of straw extract on water absorption and germination of wheat (*Triticum aestivum* L. variety RR-21) seeds[J]. Plant & Soil, 1986, 91(1): 143–145.
- 25 赵亚丽, 薛志伟, 郭海斌, 等. 耕作方式与秸秆还田对土壤呼吸的影响及机理[J]. 农业工程学报, 2014, 30(19): 155–165.
- ZHAO Yali, XUE Zhiwei, GUO Haibin, et al. Effects of tillage and crop residue management on soil respiration and its mechanism [J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(19): 155–165. (in Chinese)
- 26 SAUER T J, HATFIELD J L, PRUEGER J H, et al. Surface energy balance of a corn residue-covered field[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1998, 89(3–4): 155–168.
- 27 SHINNERS K J, NELSON W S, WANG R. Effects of residue-free band width on soil temperature and water content [J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1994, 37(1): 39–49.
- 28 ZHANG Guosheng, CHAN K Y, ALBERT O, et al. Relationship between soil structure and runoff/soil loss after 24 years of

conservation tillage[J]. Soil & Tillage Research, 2007, 92(1-2):122-128.

29 TISDALL J M, OADES J M. Organic matter and water stable aggregates in soil[J]. Journal of Soil Science, 1982,33(2): 141-163.

30 王允青,郭熙盛. 不同还田方式作物秸秆腐解特征研究[J]. 中国生态农业学报,2008,16(3):607-610.
WANG Yunqing, GUO Xisheng. Decomposition characteristics of crop-stalk under different incorporation method[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2008,16(3):607-610. (in Chinese)

31 BAKER C J, SAXTON K E, RITCHIE W R, et al. No-tillage seeding in conservation agriculture[M]. 2nd ed. Oxford, UK: CAB International/FAO, 2006.

32 KARAMI A, HOMAEI M, AFZALINIA S, et al. Organic resource management: impacts on soil aggregate stability and other soil physical-chemical properties[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2012,148: 22-28.

33 张喜瑞,何进,李洪文,等. 免耕播种机驱动圆盘防堵单元体的设计与试验[J]. 农业工程学报,2009,25(9):117-121.
ZHANG Xirui, HE Jin, LI Hongwen, et al. Design and experiment on the driving disc of anti-blocking unit for no-tillage planter [J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(9):117-121. (in Chinese)

34 王汉羊,陈海涛,纪文义. 2BMFJ-3 型麦茬地免耕精播机防堵装置[J/OL]. 农业机械学报,2013,44(4):64-70. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20130412&journal_id=jcsam. DOI:10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2013. 04. 012.
WANG Hanyang, CHEN Haitao, JI Wenyi. Anti-blocking mechanism of type 2BMFJ-3 no-till precision planter for wheat stubble fields[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(4):64-70. (in Chinese)

35 顾峰玮,胡志超,陈有庆,等. “洁区播种”思路下麦茬全秸秆覆盖地花生免耕播种机研制[J]. 农业工程学报,2016, 32(20):15-23.
GU Fengwei, HU Zhichao, CHEN Youqing, et al. Development and experiment of peanut no-till planter under full wheat straw mulching based on “clean area planting” [J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(20): 15-23. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 59 页)

23 付乾坤,荐世春,贾洪雷,等. 玉米灭茬起垄施肥播种机的设计与试验[J]. 农业工程学报,2016,32(4):9-16.  
FU Qiankun, JIAN Shichun, JIA Honglei, et al. Design and experiment on maize stubble cleaning fertilization ridging seeder[J]. Transactions of the CSAE,2016,32(4):9-16. (in Chinese)

24 文立阁. 灭茬刀辊仿生减阻研究[D]. 长春:吉林大学,2009.  
WEN Lige. Study on bionic and resistance-reduction of stubble crushing blade roller[D]. Changchun: Jilin University,2009. (in Chinese)

25 李常营. 留高茬式玉米收获机切割部件的仿生设计及其切割机理[D]. 长春:吉林大学,2014.  
LI Changying. Bionic blade of corn harvester for leaving high stubble and its cutting mechanism[D]. Changchun:Jilin University, 2014. (in Chinese)

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

27 郭俊,张庆怡, MUHAMMAD S M,等. 仿鼹鼠足趾排列的旋耕-秸秆粉碎锯齿刀片的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017,33(6):43-50.  
GUO Jun, ZHANG Qingyi, MUHAMMAD S M, et al. Design and experiment of bionic mole's toe arrangement serrated blade for soil-rototilling and straw-shattering[J]. Transactions of the CSAE, 2017,33(6): 43-50. (in Chinese)

28 王庆杰,牛琪,葛士林,等. 保护性耕作双翼对称旋切式浅松刀设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(增刊):104-107. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=2016s016&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2016s016&journal_id=jcsam). DOI:10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2016. S0. 016.  
WANG Qingjie, NIU Qi, GE Shilin, et al. Design and experiment of double-vane symmetrical rotary blade for surface tillage[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(Supp.):104-107. (in Chinese)

29 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007.

30 丁为民,彭嵩植. 旋耕刀正切刃设计方法的研究[J]. 农业机械学报,1995,26(4):56-61.  
DING Weimin, PENG Songzhi. Research on design of sidelong edge of rotary blade[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,1995,26(4): 56-61. (in Chinese)

31 贾洪雷,汲文峰,韩伟峰,等. 旋耕-碎茬通用刀片结构参数优化试验[J]. 农业机械学报,2009,40(7):45-50.  
JIA Honglei, JI Wenfeng, HAN Weifeng, et al. Optimization experiment of structure parameters of rototilling and stubble breaking universal blade[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2009,40(7): 45-50. (in Chinese)

32 马廷玺,钟宝瑜. 旋耕刀齿正切面安装角的确定及计算机绘图分析[J]. 北京农业工程大学学报,1986(1):13-22.  
MA Tingxi, ZHONG Baoyu. The determination of the mounting angle of the front cutting surface of the rotary tiller blade and its computer graphic annlyses[J]. Journal of Beijing Agricultural Engineering University,1986(1):13-22. (in Chinese)