



匡恩俊,迟凤琴,张久明,等. 秸秆错位轮还对大豆根系及土壤养分的影响[J]. 黑龙江农业科学,2021(8):27-33.

# 秸秆错位轮还对大豆根系及土壤养分的影响

匡恩俊<sup>1</sup>,迟凤琴<sup>1</sup>,张久明<sup>1</sup>,朱宝国<sup>2</sup>,宿庆瑞<sup>1</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所/黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室/黑龙江省肥料工程技术研究中心,黑龙江 哈尔滨 150086;2. 黑龙江省农业科学院 佳木斯分院,黑龙江 佳木斯 154007)

**摘要:**为探索寒区适宜耕作模式,本研究分别采用免耕(NT)、浅翻(ST)、深翻(DT)3种耕作方式与秸秆还田(S)相结合,分析各处理实施2年后对土壤养分和大豆根系形态的影响。结果表明:与秸秆不还田处理相比,秸秆还田可不同程度增加初花期大豆根系总根长和根系体积,免耕+秸秆还田(NS)、浅翻+秸秆还田(SS)和深翻+秸秆还田(DS)处理的大豆根系总长度分别比NT、ST和DT提高48.9%、52.0%和20.4%;根系体积分别增加60.0%、27.6%和43.8%,且差异显著( $P<0.05$ )。同时,秸秆还田与不还田处理相比明显增加土壤的土壤微生物量碳、氮(SMBC、SMBN)的含量,以20~40 cm土壤层次增加的效果明显。耕作方式、秸秆还田和土壤深度等单因素及交互显著影响土壤有效磷、速效钾和SMBC的含量;耕作方式和土层深度的单因素对有机碳的影响显著( $P<0.05$ 或 $P<0.01$ )。综上,秸秆错位轮还能明显增加深层次土壤的养分,并促进大豆根系的发育。

**关键词:**耕地方式;秸秆还田;土壤层次;根系形态;土壤养分

秸秆含有丰富的碳、氮、磷、钾等肥力资源<sup>[1]</sup>,秸秆还田可提高土壤肥力<sup>[2]</sup>,增加农作物产量,已经成为资源循环利用的一项重要措施<sup>[3-4]</sup>。秸秆错位轮还是指在玉米—大豆轮作条件下,玉米季秸秆粉碎后全部耕翻还田、大豆季秸秆平铺地表还田,实现年际间秸秆的错位还田,既能培肥土壤,还可缓解我国北方地区秸秆量大、腐解慢带来的春播质量不高、影响作物出苗等问题,这对于高寒地区秸秆还田的研究与推广至关重要<sup>[5]</sup>。汪军等<sup>[6]</sup>研究表示连续秸秆还田能提高稻田土壤有机质积累,同时增加土壤速效氮磷钾等养分含量。不同耕作措施对土壤养分和产量的影响不同。Ussiri等<sup>[7]</sup>认为,免耕能够降低土壤有机碳矿化率,显著增加0~15 cm土层有机碳含量。与垄作相比,连续4年大豆—玉米轮作,免耕的大豆和玉米增产幅度均小于垄作<sup>[8]</sup>;北方实施保护性耕作能提高作物产量10%左右,降低作业成本20%左右<sup>[9]</sup>。少耕和免耕等保护性耕作的生态效益良好,能减少土壤侵蚀量,减轻水土流失<sup>[10]</sup>,增加作物产量<sup>[11]</sup>。但连年免耕会使土壤容重增大,影响

作物根系的生长发育及养分的吸收利用<sup>[12]</sup>。耕翻则可改变土壤的表层结构,增加土壤通透性<sup>[13]</sup>,在温度较低的时候能保持较高的土壤温度<sup>[14]</sup>。慕平等<sup>[15]</sup>表示连续秸秆还田结合土壤浅耕,显著增加0~20 cm耕层有机质、速效氮磷钾含量;秸秆还田配合深翻还可提高深层次土壤的养分<sup>[16]</sup>,促进作物根系向深层土壤下扎<sup>[17]</sup>。根是作物吸收养分最活跃的器官,了解根系形态是提高作物对养分吸收的关键<sup>[18]</sup>,合理的耕作方式可为作物生长提供适宜的微环境,促进根系生长。宋日等<sup>[19]</sup>研究表明深翻耕作模式可改善深层土壤环境,促进深层根的生长;马立婷等<sup>[14]</sup>研究表明深耕可延长耕作层的根系功能期。

黑龙江省是我国重要的商品粮基地,不合理的耕作制度使得黑土肥力退化、土壤板结。本研究基于寒区玉米—大豆轮作体系下耕作方式与秸秆错位轮还的交互作用,分析免耕、浅翻和深翻3种耕作方式与秸秆还田相结合对土壤养分含量和大豆根系的影响,为寒区适宜的耕作模式提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验地点为中储粮北方农业开发公司科技园区(嫩江市)(49°33'35"N,125°27'5"E)。土壤为厚层粘底黑土,历年平均气温-0.1℃,无霜期

收稿日期:2021-05-13

基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0300806-2)。

第一作者:匡恩俊(1982—),女,硕士,助理研究员,从事土壤肥力研究。E-mail:kuangenj2002@163.com。

通信作者:迟凤琴(1963—),女,博士,研究员,从事土壤肥力研究。E-mail:fqchi2013@163.com。

105 d,降水量 570 mm,蒸发量 719 mm,有效积温 2 571.2 ℃。土壤耕层 0~20 cm 有机质含量为 31.0 g·kg<sup>-1</sup>,全氮 2.3 g·kg<sup>-1</sup>,全磷 0.9 g·kg<sup>-1</sup>,全钾 27.1 g·kg<sup>-1</sup>,pH5.1,碱解氮 60.2 mg·kg<sup>-1</sup>,有效磷 25.0 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾 167.7 mg·kg<sup>-1</sup>。

## 1.2 材料

供试大豆品种为黑河 43。

## 1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验于 2017 年采用玉米—大豆轮作模式,设置 3 种耕作方式(免耕、浅翻和深翻),分别与秸秆还田相配合,处理 1:免耕+秸秆不还田(NT);处理 2:免耕+秸秆还田(NS);处理 3:浅翻+秸秆不还田(ST);处理 4:浅翻+秸秆还田(SS);处理 5:深翻+秸秆不还田(DT);处理 6:深翻+秸秆还田(DS)。玉米用联合收割机收获后其秸秆直接粉碎平铺于地表,免耕处理为玉米收获后根茬留田,秸秆平铺于地表;浅翻、深翻分别为玉米收获后灭茬再用 210 马力格兰翻转型将秸秆翻到 0~25 cm 和 0~35 cm,秸秆不还田处理待玉米收获后秸秆全部移除田地。每个试验小区 26 m<sup>2</sup>,3 次重复。试验季春播大豆,大豆种植密度为 25.5 万株·hm<sup>-2</sup>,生长期不进行人工灌溉。各处理化肥均为统一施用,化肥基施用量为 325 kg·hm<sup>-2</sup>(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=2:1:0.5)。

1.3.2 测定项目及方法 于 2018 年的秋季大豆成熟期分别按 0~20 cm 和 20~40 cm 取土壤样品,在 4 ℃ 的冰箱冷藏保存一部分土样,用于测定土壤微生物量碳、氮,剩余的土样阴干后过 2 mm 筛,备用。

碱解氮采用碱解扩散法测定,有效磷采用 Olsen-钼锑抗法测定,速效钾采用乙酸铵浸提火焰光度法测定<sup>[20]</sup>,土壤有机碳采用重铬酸钾外加热法测定,土壤微生物量碳、氮用氯仿熏蒸-硫酸钾提取法测定<sup>[21]</sup>。

在大豆开花期,以根系周围土壤长×宽×深度为 20 cm×20 cm×60 cm 的根土混合体为目标,将其置于 60 目筛中,以清水冲洗,用根系分析系统分析大豆总根长、根系体积、根系直径等指标。

1.3.3 数据分析 采用 Excel 2016、SPSS 17.0 和 Sigmaplot 12.5 软件进行统计和相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对大豆根系形态的影响

大豆初花期是大豆生长的重要时期,了解不

同耕作方式和秸秆还田条件下大豆根系的发育特征至关重要。从图 1 可以看出,相同耕作措施下秸秆还田相较秸秆不还田对大豆的根系形态有影响。除 DS 处理的总根长较 DT 处理增加未达到显著水平外,其他耕作方式秸秆还田处理的总根长、根投影面积和根系体积均显著高于秸秆不还田处理( $P<0.05$ )。与 NT、ST 和 DT 相比,秸秆还田的处理 NS、SS 和 DS 的根系长度分别增加 48.9%、52.0%和 20.4%;根系投影面积分别显著增加 54.2%、39.0%和 31.4%( $P<0.05$ );根系体积分别显著增加 60.0%、27.6%和 43.8%( $P<0.05$ )。

如图 1 所示,不同耕作方式下秸秆不还田处理中,除浅翻(ST)处理根系直径和根系体积显著高于免耕(NT)和深翻(DT)处理外( $P<0.05$ ),对其他根系形态均未产生显著的影响;不同耕作方式下秸秆还田处理中,除根系直径未受到耕作方式的显著影响外,深翻还田(DS)处理均较浅翻还田(SS)处理显著降低了总根长、根投影面积和根系体积,与 NS 和 SS 相比,DS 处理总根长、根投影面积和根系体积分别显著降低了 19.0%和 24.6%、15.6%和 25.6%、12.0%和 26.8%( $P<0.05$ )。

可见,玉米秸秆还田对大豆根系形态的影响较为明显,这可能是由于施到土壤中的秸秆改善了土壤结构,从而促进根系下扎生长<sup>[22]</sup>。

### 2.2 不同处理对土壤微生物量碳、氮的影响

2.2.1 土壤微生物量碳 由图 2 可知,不同耕作措施结合秸秆还田条件下,在 0~20 cm 土层土壤微生物量碳(SMBC)含量无显著影响,在 20~40 cm,SS 处理 SMBC 含量比 NS 高出 86.7%( $P<0.05$ ),NS 和 DS 之间无显著性差别;秸秆不还田条件下,0~20 cm 土层 ST 和 DT 处理的 SMBC 含量相近,均比 NT 处理显著增加约 60%;20~40 cm 的 ST 和 DT 分别比 NT 显著增加 55.0%和 99.6%。

对于同一耕作方式而言,在 0~20 cm 土层秸秆还田与不还田处理相比,只有 NS 处理比 NT 处理显著增加了 47.5%( $P<0.05$ ),其他耕作方式下秸秆还田的 SMBC 含量均未与不还田处理有显著差异;20~40 cm 土层,秸秆还田的 NS 和 SS 处理的 SMBC 含量分别比秸秆不还田的 NT 和 ST 处理显著增加 81.2%和 117.3%( $P<$

0.05)。同免耕相比,无论秸秆还田与否,浅翻和深耕处理均增加了0~40 cm土层的 SMBC 的含

量。耕作措施与秸秆还田均能提高0~40 cm 土层的 SMBC 含量。

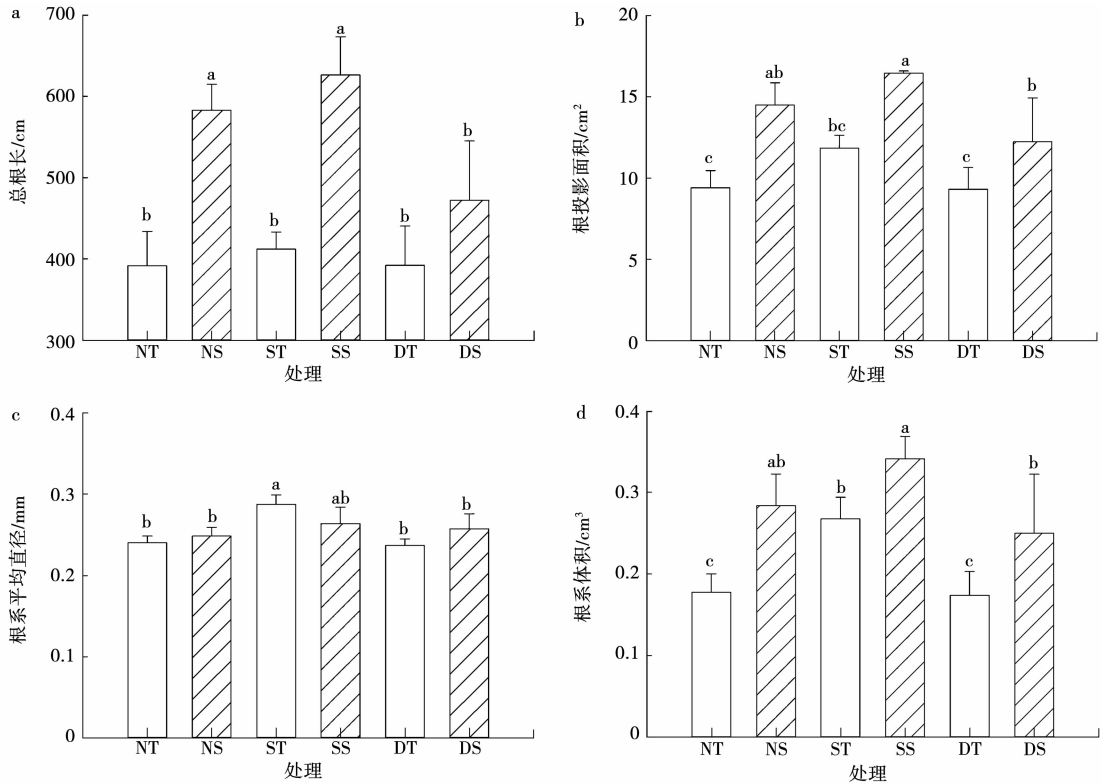


图1 不同耕作和秸秆还田措施对大豆根系的形态特征的影响

注:不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。下同。

2.2.2 土壤微生物氮 相同耕作措施下,秸秆还田后均较不还田处理增加了0~20 cm和20~40 cm土层的土壤微生物量氮(SMBN)含量,且差异均达到显著性水平( $P<0.05$ )。不同耕作措施相比,ST和DT的SMBN在0~20 cm和20~40 cm土层与NT差异不显著( $P>0.05$ ),秸秆还田后的3种耕作方式在两个土层中也均无明显差异(图2)。

2.3 不同处理对土壤养分的影响

由表1可知,相同耕作方式下,秸秆还田与不还田相比均能显著增加0~20 cm土层的有机碳含量( $P<0.05$ ),其中DS处理增加最多,为7.6%;与秸秆不还田处理相比,秸秆还田的SS和DS处理较ST和DT处理提高了0~20 cm、20~40 cm土壤碱解氮含量,NS较NT处理提高了0~20 cm土层碱解氮的含量;土壤有效磷含量仅DS处理0~20 cm和SS处理20~40 cm较DT和ST显著提高( $P<0.05$ ),分别增加42.3%

和32.9%,其他处理有效磷变化不明显;耕翻的SS和DS处理速效钾含量在0~20 cm分别较ST和DT增加20.0%和39.4%,20~40 cm增加19.9%和14.3%。所有耕作还田处理土壤速效钾含量增加明显,这可能是因为秸秆还田后,钾素能快速的被释放出来,补充了土壤中的钾含量,致使土壤中钾的含量增加较多,各处理中以提升0~20 cm土层效果明显<sup>[23]</sup>。

秸秆不还田条件下,不同耕作处理除了DT处理较NT显著提高了20~40 cm土层的有效磷含量外,其他ST和DT的处理的速效养分含量均与NT处理差异不显著或显著低于NT;秸秆还田后,耕作处理SS和DS比NS明显增加0~40 cm土层的有效磷和速效钾含量,分别增加了8.1%~65.3%、19.7%~40.2%,DS较NS显著增加了20~40 cm土层的碱解氮含量;DS较NS土壤有机碳仅在0~20 cm土层的显著增加了5.6%,其他处理无显著影响。

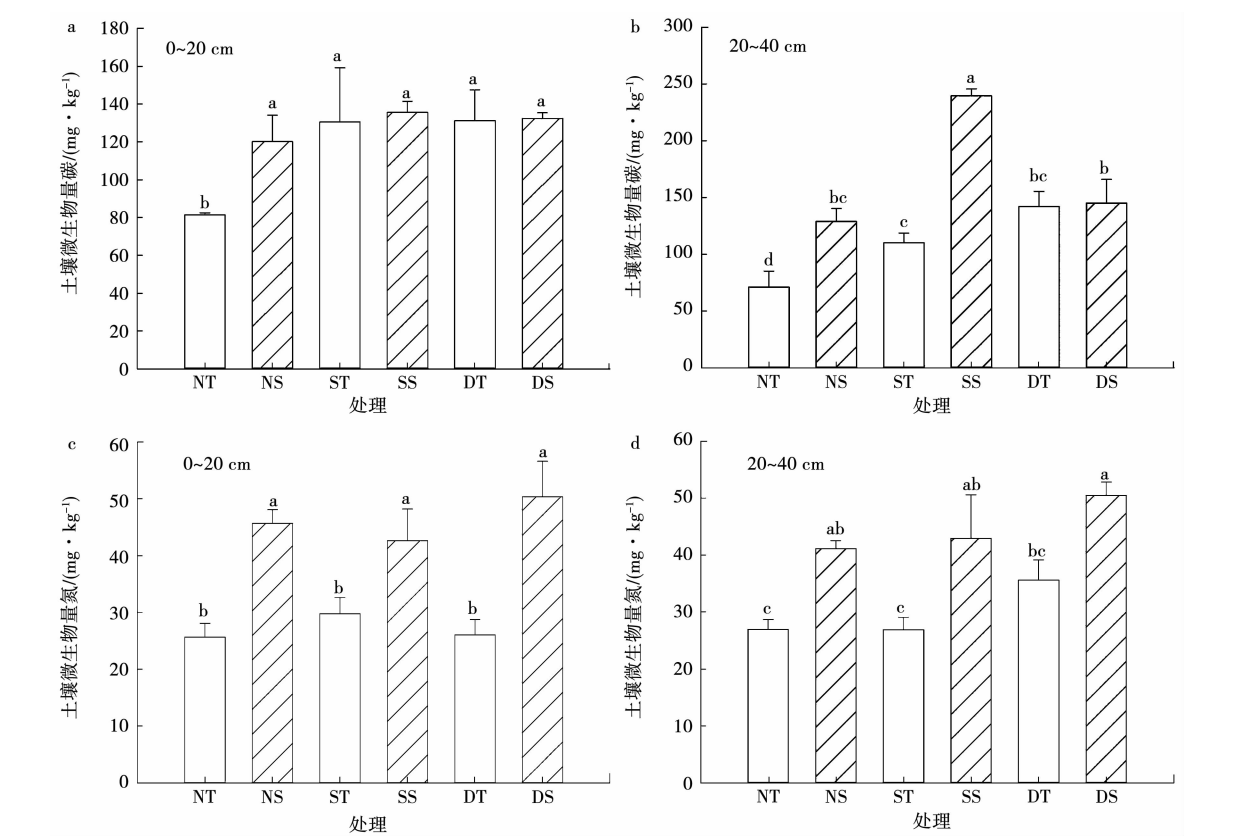


图 2 不同耕作和秸秆还田措施对土壤微生物量碳、氮含量的影响

表 1 不同处理对土壤养分含量的影响

| 处理 | 土壤总有机碳/(g·kg <sup>-1</sup> ) |             | 碱解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> ) |              | 有效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> ) |             | 速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> ) |               |
|----|------------------------------|-------------|----------------------------|--------------|----------------------------|-------------|----------------------------|---------------|
|    | 0~20 cm                      | 20~40 cm    | 0~20 cm                    | 20~40 cm     | 0~20 cm                    | 20~40 cm    | 0~20 cm                    | 20~40 cm      |
| NT | 26.0±0.15 b                  | 25.1±0.12 a | 89.3±1.48 ab               | 91.0±1.98 ab | 25.4±0.54 b                | 22.9±1.34 b | 260.5±5.44 c               | 213.4±7.93 bc |
| NS | 25.4±0.04 cd                 | 24.9±0.45 a | 97.3±0.00 a                | 83.3±2.97 bc | 22.2±1.34 c                | 21.8±0.80 b | 254.6±1.15 c               | 176.5±1.79 e  |
| ST | 24.8±0.00 d                  | 24.3±0.18 a | 89.6±3.96 ab               | 80.8±6.15 c  | 24.2±1.61 bc               | 22.2±1.26 b | 253.9±3.53 c               | 206.3±8.62 cd |
| SS | 25.7±0.06 bc                 | 23.4±1.54 a | 97.0±5.94 a                | 82.2±0.49 c  | 24.0±0.80 bc               | 29.5±1.61 a | 304.8±0.92 b               | 247.4±1.61 a  |
| DT | 24.9±0.47 d                  | 24.8±0.17 a | 80.5±2.97 bc               | 84.9±2.71 bc | 25.8±0.54 b                | 27.8±0.27 a | 233.3±1.34 d               | 194.4±0.45 d  |
| DS | 26.8±0.26 a                  | 25.1±1.05 a | 86.8±3.96 b                | 93.1±0.99 a  | 36.7±0.54 a                | 26.3±1.87 a | 325.3±8.46 a               | 222.2±7.71 b  |

注:同列数据后不同小写字母表示同一土层不同处理间差异显著(P<0.05)。

2.4 不同处理对各指标的方差分析

由表 2 可知,耕作对大豆的总根长、根投影面积、根平均直径和根系体积均有显著影响,与后三者差异达到极显著水平(P<0.01);秸秆还田对大豆总根长、根投影面积和根系体积的影响达到了极显著水平(P<0.01),而对大豆根平均直径影响不显著;二者的交互作用仅对根平均直径的影响达到显著水平(P<0.05)。总体而言,在大豆生育前期,耕作方式与秸秆还田处理对大豆根系有明显的促进作用。

表 2 耕作和秸秆还田及其交互作用对大豆根系形态的显著性分析

| 项目      | 总根长     | 根投影面积   | 根平均直径   | 根体积     |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 耕作      | 0.023*  | 0.006** | 0.003** | 0.004** |
| 秸秆还田    | 0.000** | 0.000** | 0.795   | 0.001** |
| 耕作×秸秆还田 | 0.063   | 0.427   | 0.045*  | 0.738   |
| R-sq/%  | 85.57   | 82.31   | 69.34   | 76.53   |

注:\*表示在 0.05 水平上差异显著,\*\*表示在 0.01 水平上差异显著。下同。

由表 3 可知,速效钾、有效磷和微生物量碳含量变化与耕作方式、秸秆还田及土壤层次以及它们之间的互作关系有显著相关性( $P<0.05$  或  $P<0.01$ ),且与耕作、秸秆还田和土层的单因素

达到了极显著水平( $P<0.01$ )。在本试验中土壤有机碳受耕作和土层、微生物量氮受耕作和秸秆还田的单因素影响显著。碱解氮与耕作及耕作相关的互作相关性都较高。

表 3 耕作、秸秆还田和土层深度及其交互作用对土壤养分的显著性分析

| 项目         | 土壤有机碳    | 碱解氮      | 有效磷      | 速效钾      | 微生物量碳    | 微生物量氮    |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 耕作         | 0.023 *  | 0.002 ** | 0.000 ** | 0.000 ** | 0.000 ** | 0.024 *  |
| 秸秆还田       | 0.400    | 0.665    | 0.001 ** | 0.000 ** | 0.000 ** | 0.000 ** |
| 土层         | 0.001 ** | 0.551    | 0.019 *  | 0.000 ** | 0.009 ** | 0.688    |
| 耕作×秸秆还田    | 0.065    | 0.009 ** | 0.000 ** | 0.000 ** | 0.002 ** | 0.447    |
| 耕作×土层      | 0.487    | 0.017 *  | 0.001 ** | 0.013 *  | 0.028 *  | 0.219    |
| 秸秆还田×土层    | 0.060    | 0.984    | 0.320    | 0.000 ** | 0.001 ** | 0.230    |
| 耕作×秸秆还田×土层 | 0.144    | 0.003 ** | 0.000 ** | 0.001 ** | 0.002 ** | 0.285    |
| R-sq/ %    | 60.64    | 71.17    | 92.37    | 98.53    | 88.63    | 84.32    |

3 讨论

3.1 耕作和秸秆还田对大豆根系形态的影响

良好的大豆根系是高产的重要指标<sup>[24]</sup>,尤其是生育前期根系的生长<sup>[25-26]</sup>。大豆开花期的根系性状与籽粒产量呈极显著正相关<sup>[27]</sup>,不同生态地区的高产大豆品种,其根量、根长等形态指标均超过低产类型品种<sup>[28-29]</sup>。有研究表明,根系的生长和分布受到耕作和施肥的双重控制<sup>[30]</sup>,在本试验中,耕作方式和秸秆还田均对大豆生育前期的总根长和根系体积影响显著,其原因是秸秆还田后在微生物的作用下能够向土壤中释放速效养分供作物根系吸收利用,进而影响作物根系的生长<sup>[31]</sup>。Goldberg 等<sup>[32]</sup>认为根系生长会朝着水分充足的地方生长;张万锋等<sup>[22]</sup>则表示,秸秆深埋可显著提高根冠比,从而利于养分和水分的吸收,构建了适宜的根系生长微环境,但秸秆覆盖不是提高深层根系根冠比及产量的关键因子;慕平等<sup>[33]</sup>的研究表明秸秆还田可减缓成熟期玉米的根系衰退,更有利于玉米生育后期吸收养分及产量的形成。

3.2 耕作和秸秆还田对土壤微生物量碳、氮及土壤养分的影响

土壤的耕作方式、环境条件等都能影响微生物数量和活性,进而影响土壤有机物的含量<sup>[34]</sup>,秸秆还田为土壤中的微生物提供了充足的碳、氮

等养分<sup>[35]</sup>。在本试验中,免耕秸秆覆盖没有增加 0~40 cm 土层的有机碳含量,而耕翻处理由于耕作的深度不同,土壤有机碳的增加趋势也不同,浅翻秸秆还田(SS)只增加了 0~20 cm 土层土壤有机碳含量,而深翻秸秆还田(DS)处理增加了 0~40 cm 土层土壤有机碳含量,从相关性来看耕作方式对有机碳的影响显著( $P=0.023$ )。李玉梅等<sup>[36]</sup>也表示,秸秆连续耕翻还田更有利于土壤 20~40 cm 土层有机碳的提高,并有向下层转移的趋势。但在本试验只考虑秸秆对土壤有机碳的影响时,差异却没有达到显著水平( $P=0.400$ ),这可能是秸秆粉碎还田后,与土壤充分接触,影响养分释放并刺激微生物分泌<sup>[37]</sup>,从而消耗了更多的碳源,秸秆还田单因素对土壤养分的影响可能会有差异,还需进一步验证。秸秆还田后不同耕作处理均能提高 0~20 cm 和 20~40 cm 土层土壤微生物碳、氮的含量,这与周东兴等<sup>[38]</sup>的研究结果一致,秸秆还田并配施足够的氮磷钾肥,不仅为微生物提供了充足的碳源及氮源,又能刺激微生物的繁殖<sup>[39-40]</sup>,这与微生物碳、氮与秸秆的施入有极显著相关性一致,其中,20~40 cm 土层微生物碳、氮提升的效果均好于 0~20 cm 层次。可见,无论秸秆覆盖还是耕翻还田均能提高土壤微生物量碳、氮的含量。

所有耕作配合秸秆还田处理土壤速效钾含量

均较不还田有提升,因为秸秆还田后,钾素能快速的被释放出来<sup>[23]</sup>。

## 4 结 论

在玉米-大豆轮作体系下的秸秆错位轮还,可不同程度提高土壤中的养分含量,尤其是提高20~40 cm 土层土壤微生物量碳、氮效果明显;秸秆还田与不还田相比对大豆的总根长、根系投影面积和根系体积有显著影响,能促进根系生长发育。玉米-大豆轮作实现秸秆错位轮还可减轻东北寒区秸秆量大的还田压力,为培肥土壤、作物高产提供重要的保障。

## 参考文献:

- [1] 王久臣,戴林,田宜水,等.中国生物质能产业发展现状及趋势分析[J].农业工程学报,2007,23(9): 276-282.
- [2] 任姗.玉米-大豆轮作对黑土区作物-土壤碳氮循环的模拟研究[D].长春:吉林农业大学,2016.
- [3] SANGINGA N. Role of biological nitrogen fixation in legume based cropping systems: A case study of west Africa farming systems[J]. Plant and Soil,2003,252(1): 25-39.
- [4] 盖志佳,赵文军,刘婧琦,等.美国俄亥俄州保护性耕作体系情况与黑龙江省农业持续发展建议[J].黑龙江农业科学,2017(8):125-129.
- [5] 孙瑞莲,赵秉强,朱鲁生,等.长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用[J].植物营养与肥料学报,2003,9(4):406-410.
- [6] 汪军,王德建,张刚,等.连续全量秸秆还田与氮肥用量对农田土壤养分的影响[J].水土保持学报,2010,24(5): 40-44.
- [7] USSIRI DAN,LAL R. Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous maize cropping system from an alfisol in Ohio[J]. Soil and Tillage Research,2009,104: 39-47.
- [8] JOHAN A,ARARSO E,TOMAS R. Crop yield in Swedish experiments with shallow tillage and no-tillage 1983-2012[J]. European Journal of Agronomy,2014,52:307-315.
- [9] 盖志佳,吴嘉彧,张敬涛,等.大豆玉米持续轮作免耕对土壤养分及作物产量的影响[J].中国农学通报,2019,35(5): 100-106.
- [10] 赵君范,黄高宝,辛平,等.保护性耕作对地表径流及土壤侵蚀的影响[J].水土保持通报,2007,27(6): 16-19.
- [11] 雷金银,吴发启,王健,等.保护性耕作对土壤物理特性及玉米产量的影响[J].农业工程学报,2008,24(10):40-45.
- [12] GAO H W,LI H W,CHEN J D. Sustainable mechanized dry land farming research in northern China[Z]. ISTRO International Conference,FortWort,Texas,U. S. A,2000;

- 2-5.
- [13] 郭新荣.土壤深松技术的应用研究[J].山西农业大学学报,2005(1): 74-77.
- [14] 马立婷,王沅,田平,等.杨斌耕作方式与玉米根系功能及其保护酶活性关系研究[J].玉米科学,2017,25(3): 59-64.
- [15] 慕平,张恩和,王汉宁,等.连续多年秸秆还田对玉米耕层土壤理化性状及微生物量的影响[J].水土保持学报,2011,25(5): 81-85.
- [16] 匡恩俊,迟凤琴,张久明,等.不同耕作方式与有机物料配施后对土壤主要特性的影响[J].土壤与作物,2019,8(4): 395-404.
- [17] 李蕊,杨越,李彦生,等.基于玉米-大豆轮作的不同施肥体系对大豆开花后根系形态及产量的影响[J].中国油料作物学报,2018,40(1): 64-73.
- [18] 梁宗锁,康绍忠,石培泽,等.隔沟交替灌溉对玉米根系分布和产量的影响及其节水效益[J].中国农业科学,2000,33(6):26-32.
- [19] 宋日,吴春胜,牟金明,等.深松土对玉米根系生长发育的影响[J].吉林农业大学学报,2000,22(4): 73-75.
- [20] 张玉先,罗奥,祁倩倩,等.不同耕作措施对黑龙江西部干旱地区土壤温度的影响[J].干旱地区农业研究,2009(5): 93-96.
- [21] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [22] 张万锋,杨树青,娄帅,等.耕作方式与秸秆覆盖对夏玉米根系分布及产量的影响[J].农业工程学报,2020,36(7): 117-124.
- [23] 匡恩俊,迟凤琴,宿庆瑞,等.三江平原地区不同有机物料腐解规律的研究[J].中国生态农业学报,2010,18(4): 736-741.
- [24] COSTA C,DWYER L M,HAMILTON R I,et al. A sampling method for measurement of large root systems with scanner-based image analysis [J]. Agronomy Journal,2000,92: 621-627.
- [25] 张含彬,任万军,杨文钰.氮肥处理下套作大豆根系建成与产量关系的研究[J].中国土壤与肥料,2007(2): 46-49.
- [26] 刘莹,肖付明,张孟臣.冀南地区不同产量类型夏大豆根系空间分布变化[J].大豆科学,2010,29(1):46-49.
- [27] 郭小红,王兴才,孟田,等.中美大豆Ⅲ熟期组代表品种根系形态和活力的比较研究[J].中国农业科学,2015,48(19):3821-3833.
- [28] MYERS D B,KITCHEN N R,SUDDUTH K A,et al. Soybean root distribution related to clay pan soil properties and apparent soil electrical conductivity[J]. Crop Science,2007,47:1498-1509.

- [29] 金剑, 王光华, 刘晓冰. 东北黑土区高产大豆 R5 期根系分布特征[J]. 中国油料作物学报, 2007, 29(3): 266-271.
- [30] KASPAR T C, STANLEY C D, TAYLOR H M. Soybean root growth during the reproductive stages of development[J]. Agronomy Journal, 1978, 70: 1105-1106.
- [31] SALEQUE M A, ABEDIN M J, BHUIYAN N I, et al. Long-term effects of inorganic and organic fertilizer sources on yield and nutrient accumulation of lowland rice[J]. Field Crop Research, 2004, 86: 53-65.
- [32] GOLDBERG D, GORNAT B, RIMON D. Drip irrigation: Principles, design and agricultural practices[M]. Israel: Drip Irrigation Science Publication, 1976.
- [33] 慕平, 张恩和, 王汉宁, 等. 不同年限全量玉米秸秆还田对玉米生长发育及土壤理化性状的影响[J]. 中国农业生态学报, 2012, 20(3): 291-296.
- [34] KANDELER E, PALLI S, STEMMER M, et al. Tillage changes microbial biomass and enzyme activities in particle-size fractions of ahaplic chiorizema[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1999, 31: 1253-1264.
- [35] GU Y F, ZHANG X P, TU S H, LINDSTROM K. Soil microbial biomass, crop yields, and bacterial community structure as affected by long-term fertilizer treatments under wheat-rice cropping[J]. European Journal of Soil Biology, 2009, 45(3): 239-246.
- [36] 李玉梅, 王根林, 孟祥海, 等. 秸秆还田方式对旱地草甸土活性有机碳组分的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2020(5): 1-16.
- [37] 韩晓增, 邹文秀, 陆欣春, 等. 利用牛粪和黑土构建肥沃耕层对沙性土壤有机质及养分含量的短期影响[J]. 土壤与作物, 2018, 7(4): 456-464.
- [38] 周东兴, 李磊, 李晶, 等. 玉米/大豆轮作下不同施肥处理对土壤微生物量及酶活性的影响[J]. 生态学杂志, 2018, 37(6): 1856-1864.
- [39] 刘骁倩, 涂仕华, 孙锡发, 等. 秸秆还田与施肥对稻田土壤微生物量及固氮菌群落结构的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(17): 5210-5218.
- [40] 张常仁, 杨雅丽, 程全国, 等. 不同耕作模式对东北黑土微生物群落结构和酶活性的影响[J]. 土壤与作物, 2020, 9(4): 335-347.
- [41] 赵士诚, 曹彩云, 李科江, 等. 长期秸秆还田对华北潮土肥力、氮库组分及作物产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6): 1441-1449.

## Effects of Soil Tillage and Straw Return on Soybean Roots and Soil Nutrients

KUANG En-jun<sup>1</sup>, CHI Fen-qin<sup>1</sup>, ZHANG Jiu-ming<sup>1</sup>, ZHU Bao-guo<sup>2</sup>, SU Qing-rui<sup>1</sup>

(1. Institute of Soil Fertilizer and Environment Resource, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Soil Environment and Plant Nutrition of Heilongjiang Province/Heilongjiang Fertilizer Engineering Research Center, Harbin 150086, China; 2. Jiamusi Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi 154007, China)

**Abstract:** In order to explore the suitable cultivation mode in cold region, No-tillage (NT), shallow tillage (ST), deep tillage (DT), and straw returning (S) were used to study the effects of different tillage methods on soil nutrients and soybean root morphology. The results showed that, compared with non-straw returning treatment, straw returning treatment could increase the total root length and root volume of soybean at the early flowering stage. The total root length of no-tillage with straw returning (NS), shallow tillage with straw returning (SS), and deep tillage with straw returning (DS) treatments were 48.9%, 52.0% and 20.4% higher than NT, ST, and DT, respectively. The root volume increased by 60.0%, 27.6% and 43.8% respectively, and the difference was significant ( $P < 0.05$ ). At the same time, straw returning treatment significantly increased the contents of soil microbial biomass carbon and nitrogen (SMBC and SMBN) compared with non-straw returning treatment, and the effect was obvious in 20-40 cm soil layer. Single-factor and interaction of tillage methods, straw returning and soil depth significantly affected the contents of soil available phosphorus, available potassium, and SMBC. The effects of tillage methods and soil depth on organic carbon were significant ( $P < 0.05$  or  $P < 0.01$ ). In conclusion, the straw dislocation wheel can significantly increase the nutrients of deep soil and promote the root development of soybean.

**Keywords:** plough method; straw return; root morphology; soil nutrients