

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.22305

## 留茬高度与秸秆粉碎程度对稻-油产量和土壤养分的影响

赵越<sup>1</sup>, 夏贤格<sup>1</sup>, 陈云峰<sup>1</sup>, 郭熙法<sup>2</sup>, 余小平<sup>3</sup>, 刘东海<sup>1</sup>, 张智<sup>1\*</sup>

(1. 湖北省农业科学院植保土肥研究所, 农业农村部废弃物肥料化利用重点实验室, 湖北武汉 430064; 2. 湖北省武穴市办事处农业技术推广服务中心, 湖北黄冈 435404; 3. 赤壁青砖茶产业发展集团有限公司, 湖北咸宁 437317)

**摘要:** 优化水稻-油菜轮作模式下秸秆还田方式, 为秸秆还田机械化提供技术参数, 为作物高产和土壤培肥的协同发展提供理论支撑。2017—2019年在长江中游稻-油轮作区开展秸秆还田田间试验, 共设置4个处理, 分别为: 不留茬+细粉碎、留中茬+细粉碎、留中茬+粗粉碎、留高茬+细粉碎, 对比分析不同留茬高度和秸秆粉碎程度对作物生长与产量, 以及作物生长过程中土壤养分含量的影响。结果表明: 水稻和油菜均表现为留茬越高越有利于提高基本苗, 且秸秆粗粉碎基本苗高于细粉碎, 但不同留茬高度和秸秆粉碎程度对作物苗期 SPAD 值未表现出明显影响。第一季作物产量均是以留中茬高于不留茬和留高茬(水稻和油菜产量增幅分别为 7.1% ~ 21.1% 和 2.4% ~ 4.6%)、细粉碎高于粗粉碎(增幅分别为 11.7% 和 12.9%), 但第二季作物产量处理间差异均未达到显著水平。作物生育期内土壤养分含量整体变化为先降低、到收获期有略微升高的趋势; 在作物生育前期, 水稻季不留茬+细粉碎、油菜季留中茬+粗粉碎可提高土壤铵态氮和硝态氮含量; 在作物收获期, 水稻和油菜季均是以留中茬+粗粉碎处理土壤有效磷和速效钾含量较高。因此, 在作物产量反映和土壤养分变化的基础上, 综合考虑秸秆还田作业成本与能耗, 本研究推荐长江中游稻-油轮作周年秸秆还田方式为水稻留中茬、油菜留中茬或高茬, 秸秆粉碎程度均为细粉碎。

**关键词:** 秸秆还田; 稻-油轮作; SPAD; 产量; 土壤养分

农作物秸秆是一种重要的可再生有机资源, 含有丰富的碳和矿质成分, 我国拥有丰富的秸秆资源, 但传统的直接焚烧处理方式不仅浪费了秸秆资源, 还造成了严重空气污染<sup>[1]</sup>。近年来, 随着农作物秸秆资源数量持续增加和对秸秆还田相关技术的研究不断深入, 农作物秸秆的资源利用率低等问题正在逐步得到解决, 使实现秸秆还田方式下作物持续增产的目标成为可能<sup>[2]</sup>。国内外学者对秸秆还田的产量效应进行了大量研究, 主要涉及小麦、玉米、水稻秸秆等<sup>[3-5]</sup>。盆栽试验结果显示, 秸秆还田可以有效增加水稻产量, 提高土壤全碳、全氮和腐殖质的含量, 改善土壤微生物群落结构, 提高根系碳的矿化潜力<sup>[6-7]</sup>; 同样地, 田间试验也表明

秸秆还田促进作物增产增收, 农田径流氮磷流失减少, 土壤养分含量提高<sup>[8-9]</sup>。因此, 秸秆还田对于指导施肥具有重要意义。然而, 实际生产中秸秆还田操作不规范、机械化程度低的问题仍普遍存在, 秸秆还田方式有待进一步优化。

长江中下游地区是我国主要的水稻-油菜轮作种植区, 前人研究表明稻-油轮作有利于均衡利用土壤养分, 调节土壤生物功能, 改善土壤性状<sup>[10-11]</sup>。近年来越来越多的研究关注到秸秆还田对土壤养分的影响, 秸秆还田5年后, 土壤活性有机质、总有机质及微生物量碳含量均有明显提高, 但不同的还田方式下土壤总有机质差异不明显<sup>[12]</sup>; 在土壤速效养分方面, 9年水稻-油菜轮作秸秆还田定位试验结果显示, 0~5和5~15 cm 土层的碱解氮、有效磷和速效钾含量都比对照显著增加<sup>[13]</sup>; 另外, 秸秆直接还田还表现出阻控土壤酸化的效果<sup>[14]</sup>。然而, 以往的研究大多集中在氮<sup>[15-16]</sup>、磷<sup>[17-18]</sup>等肥料的施用效果, 以及轮作对土壤酶活性<sup>[19]</sup>、微生物多样性<sup>[20]</sup>等方面的影响, 且有关留茬高度的研究主要集中在北方旱作区<sup>[21-22]</sup>, 水

收稿日期: 2022-05-18; 录用日期: 2022-06-17

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD1901200); 湖北省技术创新专项(2018ABA091); 湖北省农业科技创新中心重大成果培育课题(2017CGPY01)。

作者简介: 赵越(1994-), 助理研究员, 硕士, 从事土壤培肥研究。E-mail: zhaoyue0421@163.com。

通讯作者: 张智, E-mail: z497211609@163.com。



旱轮作区留茬高度与粉碎程度相关的研究较少。因此,本研究以长江中游水稻-油菜轮作区为代表,研究秸秆留茬高度与粉碎程度对稻-油菜轮作作物长势、周年产量及土壤养分的影响,以期水稻-油菜轮作区农田高效生产和土壤培肥提供技术支撑与参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验点概况

本研究于2017—2019年连续2年4季在湖北省黄冈市武穴市大法寺镇(东经115°27′17.3″,北纬29°56′34.5″)进行,该区域为鄂东南丘陵区,

属亚热带季风气候。土壤类型为黄棕壤,供试土壤(0~20 cm)基础理化性质:pH 7.1、有机质22.6 g/kg、碱解氮147.8 mg/kg、有效磷30.0 mg/kg、速效钾154.8 mg/kg。

### 1.2 试验设计

本研究为秸秆还田同田对比定位试验,种植模式为一年两熟的水稻-油菜轮作<sup>[23]</sup>。共设置4个处理,分别为:(1)不留茬+细粉碎;(2)秸秆留中茬+细粉碎;(3)秸秆留中茬+粗粉碎;(4)秸秆留高茬+细粉碎。水稻和油菜秸秆具体的留茬高度和秸秆粉碎程度如表1所示,每个处理3次重复,小区面积为30 m<sup>2</sup>。

表1 水稻-油菜轮作秸秆还田留茬高度和秸秆粉碎程度 (cm)

| 处理      | 水稻秸秆 |      | 油菜秸秆 |      |
|---------|------|------|------|------|
|         | 留茬高度 | 粉碎程度 | 留茬高度 | 粉碎程度 |
| 不留茬+细粉碎 | <3   | <8   | <3   | <10  |
| 留中茬+细粉碎 | 20   | <8   | 20   | <10  |
| 留中茬+粗粉碎 | 20   | 15   | 20   | 20   |
| 留高茬+细粉碎 | 40   | <8   | 40   | <10  |

水稻季所还秸秆为油菜秸秆,还田量为6.8 t/hm<sup>2</sup>;油菜秸秆两年的氮、磷、钾平均含量分别为8.1、0.8和11.7 g/kg;水稻季氮、磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾(K<sub>2</sub>O)肥用量分别为158、40、50 kg/hm<sup>2</sup>;氮肥按基肥:分蘖肥:孕穗肥=4:3:3施用,磷钾肥均作为基肥一次性施用;水稻品种为黄华占,6月播种,10月收获,采用人工直播的方式,播种量为60 kg/hm<sup>2</sup>。油菜季所还秸秆为水稻秸秆,还田量为6.0 t/hm<sup>2</sup>;水稻秸秆两年的氮、磷、钾平均含量分别为6.3、1.0和23.7 g/kg;油菜季氮、磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾(K<sub>2</sub>O)肥用量分别为143、40、50 kg/hm<sup>2</sup>;氮肥按基肥:苗肥:薹肥=4:3:3施用,磷钾肥均作为基肥一次性施用;油菜品种为华双5号,10月播种,5月收获,采用人工撒播的方式,播种量为9.6 kg/hm<sup>2</sup>。为保证试验一致性,每季作物收获时均采用人工收割,移出小区内所有秸秆,粉碎到相应长度后翻压还田,还田深度为15~20 cm。除秸秆还田措施外,其他田间管理措施均采用当地农机部门推荐的措施进行。

### 1.3 样品采集与测定

土壤样品按生育期采样,水稻季采样时期为苗期、分蘖期、拔节期、收获期,油菜季采样时期为苗期、薹期、花期、成熟期。采样方法为5点采样

法,采样深度为20 cm。混合后测定土壤铵态氮、硝态氮、有效磷和速效钾<sup>[24-25]</sup>。其中铵态氮、硝态氮采用2 mol/L KCl溶液浸提,连续流动分析仪测定;有效磷采用0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub>浸提,钼锑抗比色法测定;速效钾采用1 mol/L NH<sub>4</sub>OAc浸提-火焰光度法测定;采用SPAD-502仪测量叶片不同区域的SPAD值,每个区域重复测量5次,取平均值作为此部位的SPAD值<sup>[26]</sup>。

### 1.4 数据处理

试验结果分两部分分析,一部分分析秸秆留茬高度对秸秆还田效果的影响,选留不留茬+细粉碎、留中茬+细粉碎和留高茬+细粉碎3个处理;另一部分分析秸秆粉碎程度对秸秆还田效果的影响,选留留中茬+细粉碎和留中茬+粗粉碎2个处理。采用单因素方差分析,多重比较采用最小显著差数法(LSD)。不满足齐次性统计假设的数据在分析之前采用平方根、倒数、lg(x+1)等方式进行转换,如若转换后仍不满足齐次性要求,采用Mann-Whitney非参数检验。秸秆粉碎程度对秸秆还田效果的影响采用t检验分析。所有分析采用SPSS 11.5完成,P<0.05表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 留茬高度和秸秆粉碎程度对水稻和油菜长势的影响

由表 2 可知, 水稻在留茬条件下基本苗数多于不留茬, 同样留中茬条件下, 细粉碎基本苗数低于粗粉碎; 油菜基本苗数留高茬 > 留中茬 > 不留茬,

同样留中茬条件下, 2018—2019 年细粉碎基本苗数为 96 株 /m<sup>2</sup>, 略低于粗粉碎 109 株 /m<sup>2</sup>; 水稻和油菜基本苗数都在第二年显著高于第一年, 留中茬 + 粗粉碎条件下水稻和油菜株数增加最多, 水稻秸秆由 160 株 /m<sup>2</sup> 增加至 182 株 /m<sup>2</sup>, 油菜秸秆由 93 株 /m<sup>2</sup> 增加至 109 株 /m<sup>2</sup>, 表明秸秆还田对水稻苗数、油菜苗数增加效果比较明显。

表 2 水稻和油菜基本苗数 (株 /m<sup>2</sup>)

| 处理        | 水稻     |        | 油菜          |             |
|-----------|--------|--------|-------------|-------------|
|           | 2017 年 | 2018 年 | 2017—2018 年 | 2018—2019 年 |
| 不留茬 + 细粉碎 | 157b   | 172b   | 86b         | 94b         |
| 留中茬 + 细粉碎 | 157b   | 176b   | 95a         | 96b         |
| 留中茬 + 粗粉碎 | 160ab  | 182ab  | 93a         | 109a        |
| 留高茬 + 细粉碎 | 169a   | 187a   | 98a         | 110a        |

注: 同列不同字母表示处理间差异达到显著水平 ( $P<0.05$ ), 下同。

根据表 3 分析可知, 水稻苗期 SPAD 值留高茬 > 留中茬 > 不留茬, 在同样留中茬条件下, 2017 年秸秆细粉碎 SPAD 值略高于粗粉碎, 2018 年秸秆细粉碎 SPAD 值略低于粗粉碎。水稻苗期 SPAD 值在第二年明显高于第一年, 留中茬 + 粗粉碎方式下水稻 SPAD

值增长最多。油菜苗期 SPAD 值留高茬 > 留中茬 > 不留茬, 在同样留中茬条件下, 秸秆细粉碎 SPAD 值与粗粉碎基本保持一致。油菜苗期 SPAD 值在第二年与第一年基本保持同一水平。表明留茬高度和秸秆粉碎程度对水稻和油菜苗期 SPAD 值作用不明显。

表 3 水稻和油菜苗期 SPAD

| 处理        | 水稻     |        | 油菜          |             |
|-----------|--------|--------|-------------|-------------|
|           | 2017 年 | 2018 年 | 2017—2018 年 | 2018—2019 年 |
| 不留茬 + 细粉碎 | 30.5a  | 37.9b  | 44.4b       | 45.8a       |
| 留中茬 + 细粉碎 | 31.8a  | 39.4a  | 46.3a       | 46.3a       |
| 留中茬 + 粗粉碎 | 30.9a  | 39.6a  | 46.6a       | 46.4a       |
| 留高茬 + 细粉碎 | 33.4a  | 39.8a  | 46.7a       | 47.3a       |

2.2 留茬高度和秸秆粉碎程度对水稻和油菜产量的影响

留茬高度和秸秆粉碎程度对作物产量影响如表 4 所示, 2017 年水稻在留高茬状态下产量明显低于留中茬和不留茬, 留中茬时细粉碎方式下水稻产量为 5547 kg/hm<sup>2</sup>, 高于粗粉碎处理产量 (4965 kg/hm<sup>2</sup>);

2018 年水稻在留中茬条件下产量最高, 不留茬产量最低, 留中茬时细粉碎方式下水稻产量为 10593 kg/hm<sup>2</sup>, 低于粗粉碎处理 (10884 kg/hm<sup>2</sup>)。2018—2019 年油菜产量较 2017—2018 年显著提升, 留中茬 + 粗粉碎方式下增产最多, 产量由 887 kg/hm<sup>2</sup> 增加至 1156 kg/hm<sup>2</sup>, 油菜产量在留高茬条件下普遍高于不留茬。

表 4 水稻和油菜产量 (kg/hm<sup>2</sup>)

| 处理        | 水稻     |        | 油菜          |             |
|-----------|--------|--------|-------------|-------------|
|           | 2017 年 | 2018 年 | 2017—2018 年 | 2018—2019 年 |
| 不留茬 + 细粉碎 | 5176ab | 10294a | 957ab       | 1144a       |
| 留中茬 + 细粉碎 | 5547a  | 10593a | 1001a       | 1201a       |
| 留中茬 + 粗粉碎 | 4965ab | 10884a | 887b        | 1156a       |
| 留高茬 + 细粉碎 | 4580b  | 10456a | 978ab       | 1202a       |

### 2.3 留茬高度和秸秆粉碎程度对土壤铵态氮与硝态氮的影响

留茬高度和秸秆粉碎程度对土壤铵态氮与硝态氮含量的影响如图 1 所示。2017 年水稻生育期内土壤铵态氮含量整体高于 2018 年，不同处理均表现为不留茬 + 细粉碎处理土壤铵态氮含量整体高于

其他处理；油菜生育期内土壤铵态氮表现为先降低后略微升高的趋势，不同处理间无显著差异。两年水稻生育期内土壤硝态氮含量整体较低，不同处理均低于 2.5 mg/kg；油菜生育期内土壤硝态氮含量变化趋势与铵态氮类似，成熟期各留茬高度和粉碎程度条件下土壤硝态氮含量差异较小。

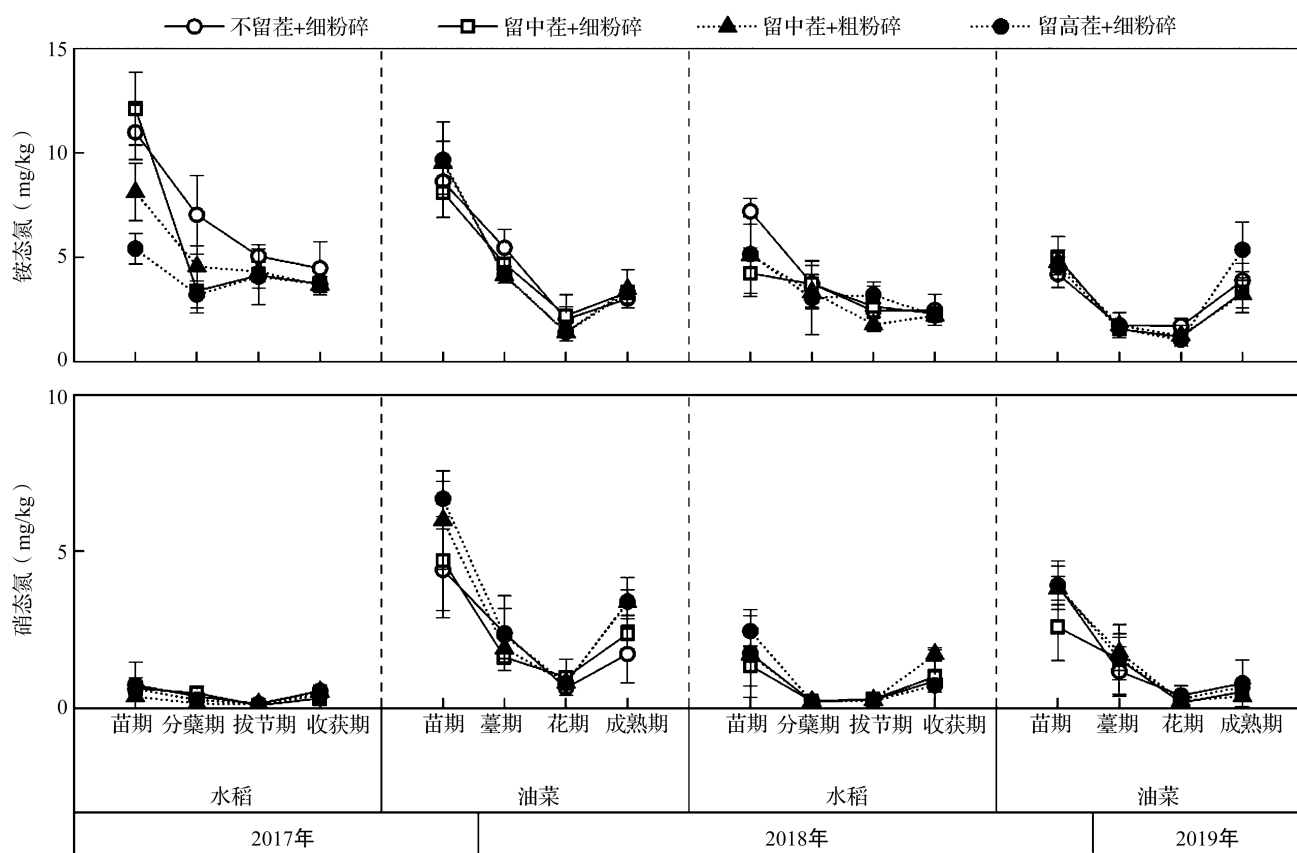


图 1 土壤铵态氮和硝态氮含量

### 2.4 留茬高度和秸秆粉碎程度对土壤有效磷与速效钾的影响

留茬高度和秸秆粉碎程度对土壤有效磷与速效钾含量的影响如图 2 所示。2017 年水稻生育期内土壤有效磷含量整体高于 2018 年，但两年水稻收获期土壤有效磷含量差异较小，整体介于 12.8 ~ 18.0 mg/kg；水稻生育期内不同处理有效磷含量均无明显差异，收获期则以留中茬 + 粗粉碎和留高茬 + 细粉碎处理相对较高。两年油菜生育期内土壤有效磷含量整体变幅较小，且处理间无明显差异，成熟期则以不留茬 + 细粉碎处理相对较高。从土壤速效钾含量来看，整体表现出上升的趋势，即从 2017 年水稻季的 106 ~ 140 mg/kg 升至 2018—2019 年油菜季的 150 ~ 195 mg/kg；从不同处理来

看，两种作物收获期土壤速效钾均是以留中茬 + 粗粉碎处理相对较高。

## 3 讨论

秸秆是非常重要的可利用的有机肥源，秸秆通过合理处理后还田可在节约成本的同时增加农作物产量，有效减少环境污染，对农业可持续发展具有十分重要的意义<sup>[27-28]</sup>。本研究结果表明，水稻、油菜生育期内，秸秆还田对水稻苗数、油菜苗数增加效果明显，且留茬条件下水稻、油菜苗数显著高于不留茬；秸秆还田对促进水稻苗期 SPAD 值作用显著，此结论与 Wang 等<sup>[29]</sup>、Gomez-Ramirez 等<sup>[30]</sup>、王麒等<sup>[31]</sup>学者的前期研究结果保持一致。但秸秆还田对油菜苗期 SPAD 值作用不明显，相关研究表明，

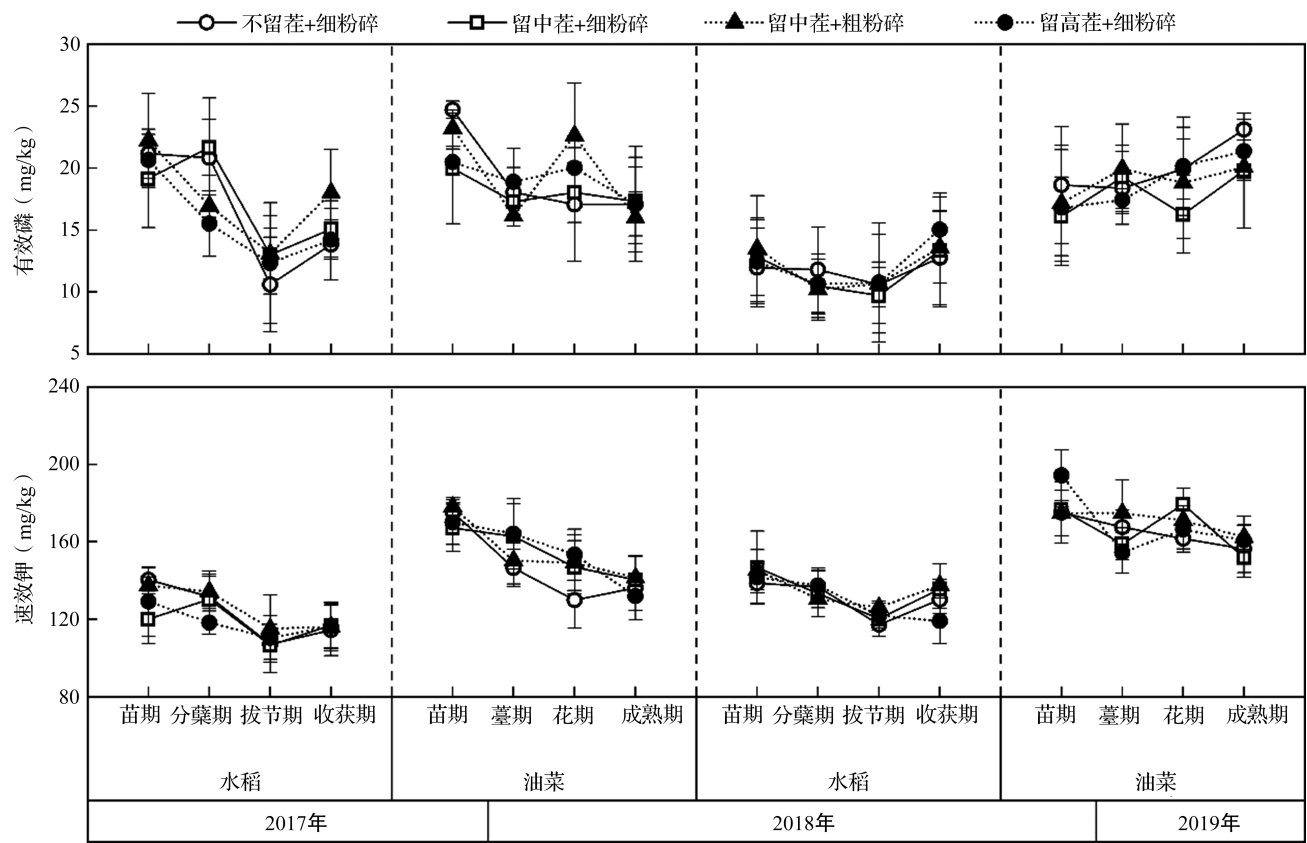


图2 土壤有效磷和速效钾含量

油菜苗期 SPAD 值受作物株型、种植密度、行距影响明显, 增加密度后油菜苗期个体生长受到抑制, 秸秆还田后第二年油菜苗数显著增加, 密度加大, 群体光合面积增加的同时个体生长受限, 油菜苗期 SPAD 值保持稳定<sup>[32]</sup>。

秸秆还田时留高茬和细粉碎处理方式对水稻增产影响最为显著, 秸秆还田不仅是秸秆自身腐解的过程, 也是养分释放的过程, 相关研究表明, 高茬稻秸体内物质组成存在垂直分布差异, 留高茬可以延缓养分回收, 秸秆留高茬还田处理, 可以有效增加土壤速效钾含量<sup>[33-34]</sup>。本研究结果显示秸秆还田在留高茬和留中茬条件下对土壤速效钾有较明显的提高作用, 粉碎方式对土壤速效钾的效果并不明显。水稻生育期内土壤碱解氮呈现苗期、分蘖期降低、收获期升高的趋势, 2017—2018 年油菜生育期内土壤碱解氮先增高, 成熟期降低, 2017—2018 年油菜生育期内则是平稳升高, 成熟期总体含量最高, 相关研究表明, 秸秆还田可以有效提高土壤中碱解氮含量, 其含量的变化趋势与作物的吸收规律有关<sup>[35]</sup>。土壤有效磷是土壤中可被植物吸收利用的

磷, 前人研究表明水稻生长期土壤淋溶水中磷素浓度随时间延长而下降, 化肥磷是重要的有效磷来源, 降低磷肥投入会降低土壤中有效磷含量, 本研究中磷肥作为基肥一次性施用, 磷肥施用不足, 可采用生物炭、秸秆还田与化肥相结合的方法可有效增加土壤有效磷含量<sup>[36-37]</sup>。

#### 4 结论

留中、高茬 + 秸秆粗粉碎有利于提高水稻和油菜基本苗, 但留茬高度和秸秆粉碎程度对作物 SPAD 值无明显影响。留中茬、秸秆细粉碎条件下, 水稻和油菜均表现出较高的产量。水稻留中茬或不留茬 + 秸秆细粉碎、油菜留中茬 + 秸秆粗粉碎可能会提高作物生育期内土壤养分含量, 但影响均未达到显著水平。因此, 在综合考虑作物生长、产量, 以及土壤养分含量的基础上, 结合秸秆还田作业成本与能耗, 本研究推荐长江中游稻 - 油轮作采用水稻留中茬、油菜留中茬或高茬、秸秆细粉碎的方式进行周年秸秆还田。



## 参考文献:

- [1] 田宜水. 我国农作物秸秆综合利用产业促进政策研究[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(9): 28-36.
- [2] 陈云峰, 夏贤格, 杨利, 等. 秸秆还田是秸秆资源化利用的现实途径[J]. 中国土壤与肥料, 2020(6): 299-307.
- [3] 王嘉豪, 李廷亮, 黄璐, 等. 秸秆还田替代化肥对黄土旱塬小麦产量及水肥利用的影响[J]. 水土保持学报, 2022, 36(3): 1-9.
- [4] 于博, 徐松鹤, 任琴, 等. 秸秆还田研究进展及内蒙古玉米秸秆深翻还田现状[J]. 作物杂志, 2022(2): 6-15.
- [5] 王子阳, 陈婉华, 袁伟, 等. 双季稻地区不同类型水稻秸秆与还田深度对还田秸秆腐解进程的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(2): 170-174.
- [6] 管方圆, 刘琛, 傅庆林, 等. 添加秸秆对水稻产量和土壤碳氮及微生物群落的影响[J]. 农业工程学报, 2022, 38(2): 223-230.
- [7] 刘峰, 王云秋, 张昀, 等. 长期秸秆还田对水稻根系碳矿化与激发效应的影响[J]. 环境科学, 2022, 43(8): 4372-4378.
- [8] 何如海, 薛中俊, 汪玉芳, 等. 油菜秸秆还田及化肥配施的水稻经济环境效益分析[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(6): 42-49.
- [9] 靳玉婷, 刘运峰, 胡宏祥, 等. 持续性秸秆还田配施化肥对油菜-水稻轮作周年氮磷径流损失的影响[J]. 中国农业科学, 2021, 54(9): 1937-1951.
- [10] 刘晓鹏, 张青松, 肖文立, 等. 稻油轮作区驱动圆盘犁对置组合式耕整机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2017, 48(12): 33-41.
- [11] 袁嫚嫚, 郭刚, 胡润, 等. 秸秆还田配施化肥对稻油轮作土壤有机碳组分及产量影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(1): 27-35.
- [12] 张娟琴, 郑宪清, 张翰林, 等. 长期秸秆还田与氮肥调控对稻田土壤质量及产量的影响[J]. 华北农学报, 2019, 34(1): 181-187.
- [13] 刘禹池, 曾祥忠, 冯文强, 等. 稻-油轮作下长期秸秆还田与施肥对作物产量和土壤理化性状的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6): 1450-1459.
- [14] 杨彩迪, 卢升高. 秸秆直接还田和炭化还田对红壤酸度、养分和交换性能的动态影响[J]. 环境科学, 2020, 41(9): 4246-4252.
- [15] 张维乐, 戴志刚, 任涛, 等. 不同水旱轮作体系秸秆还田与氮肥运筹对作物产量及养分吸收利用的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(7): 1254-1266.
- [16] 王博博, 徐新朋, 侯云鹏, 等. 东北中部黑土连续秸秆还田下玉米适宜氮肥用量研究[J]. 华中农业大学学报(自然科学版), 2022, 41(2): 71-79.
- [17] 胡雅杰, 钱海军, 吴培, 等. 秸秆还田条件下氮磷钾用量对软米水稻产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(3): 817-824.
- [18] 王昆昆, 廖世鹏, 任涛, 等. 连续秸秆还田对油菜水稻轮作土壤磷素有效性及作物磷素利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2020, 53(1): 94-104.
- [19] 石丽红, 李超, 唐海明, 等. 长期不同施肥措施对双季稻田土壤活性有机碳组分和水解酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2021, 32(3): 921-930.
- [20] 杨佩文, 李铭刚, 张庆, 等. 洱海流域稻油轮作农田土壤微生物多样性特征[J]. 中国土壤与肥料, 2021(4): 59-68.
- [21] 戚颖, 李铁男, 白雪峰, 等. 秸秆覆盖对寒旱区农田土壤理化性状的影响[J]. 东北农业大学学报, 2021, 52(7): 56-63.
- [22] 张雯, 赵洪亮, 丛巍巍, 等. 东北冷凉风沙区不同保护性耕作措施对玉米耕层土壤肥力水平的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2009, 40(6): 658-662.
- [23] 卜容燕, 任涛, 廖世鹏, 等. 不同轮作和氮肥分配季节下土壤氮素供应和油菜氮素吸收差异[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(3): 412-420.
- [24] 周吴文, 王香琪, 齐永波, 等. 矿物质调理剂用量对酸性土壤养分状况和油菜生长的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(3): 243-249.
- [25] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [26] 赵琨, 王珺珂, 王楚锋, 等. 基于高光谱成像技术的油菜SPAD值空间分布预测及最佳测量叶位[J]. 华中农业大学学报, 2018, 37(4): 78-84.
- [27] 刘颖颖, 卜容燕, 唐杉, 等. 连续秸秆-紫云英协同还田对双季稻产量、养分积累及土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(6): 1008-1016.
- [28] 李继福, 薛欣欣, 李小坤, 等. 水稻-油菜轮作模式下秸秆还田替代钾肥的效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(2): 317-325.
- [29] Wang H, Yang G, Wang X, et al. Oilseed rape straw returning changes soil reducibility and affects the root and yield of rice in the rape-rice rotation field at Sichuan Basin area of China[J]. Agronomy Journal, 2020, 112: 4681-4692.
- [30] Gomez-Ramirez L F, Uribe-Velez D. Phosphorus solubilizing and mineralizing *Bacillus* spp. contribute to rice growth promotion using soil amended with rice straw[J]. Current Microbiology, 2021, 78: 932-943.
- [31] 王麒, 王术. 秸秆还田下氮肥施用量对东农428水稻叶片生长及根系形态的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2014, 45(4): 469-472.
- [32] 蒯婕, 李真, 汪波, 等. 密度和行距配置对油菜苗期性状及产量形成的影响[J]. 中国农业科学, 2021, 54(11): 2319-2332.
- [33] 赵长坤, 王学春, 吴凡, 等. 油菜秸秆还田对水稻根系分布及稻谷产量的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2021, 27(1): 96-104.
- [34] 顾克军, 张传辉, 顾东祥, 等. 水稻秸秆养分垂直分布特征与不同留茬高度下还田养分估算[J]. 中国土壤与肥料, 2017(3): 99-104.
- [35] 陈忠平, 龙昌智, 朱树伟, 等. 油菜秆还田和氮肥种类对水

- 稻生长过程中土壤养分的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(21): 73-81.
- [36] 韩晓飞, 谢德体, 高明, 等. 减磷配施有机肥对水旱轮作紫色水稻土磷素淋失的消减效应[J]. 生态学报, 2017, 37(10): 3525-3532.
- [37] 华玲玲, 王洪媛, 翟丽梅, 等. 玉米秸秆生物炭对稻油轮作农田磷流失风险的影响[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(7): 1376-1383.

### Effects of stubblein height and grinding degree during straw application on crop yield and soil nutrients under rice-rapeseed rotation

ZHAO Yue<sup>1</sup>, XIA Xian-ge<sup>1</sup>, CHEN Yun-feng<sup>1</sup>, GUO Xi-fa<sup>2</sup>, YU Xiao-ping<sup>3</sup>, LIU Dong-hai<sup>1</sup>, ZHANG Zhi<sup>1\*</sup>  
(1. Institute of Plant Protection and Soil Fertilizer, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Fertilization from Agricultural Wastes, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan Hubei 430064; 2. Extend Agricultural Technology Promotion Service Center of Wuxue Office, Wuxue Hubei 435404; 3. Chibi Qing Zhuang Tea Industrial Development Group Co. Ltd., Xianning Hubei 437317)

**Abstract:** The effects of straw returning on crop yield and soil nutrients under rice-rapeseed rotation were studied, so as to provide technical parameters for the mechanization of straw returning, and provide reference for the coordinated development of high yield and soil fertility. In this study, the comparative positioning experiment of straw returning to the field was carried out during 2017—2019 in Wuxue city, Hubei province. Field experiments of straw returning were conducted in the rice-rapeseed rotation farming area of the middle reaches of the Yangtze River from 2017 to 2019. Four treatments were set up: no stubblein+fine grinding, middle stubblein+fine grinding, middle stubblein+coarse grinding and high stubblein+fine grinding. The effects of straw returning to the field on the growth and yield of rice and rapeseed, and soil nutrients under different stubblein heights and grinding degrees were studied. The results showed that the higher the stubblein height was, the better it was to improve the basic seedlings, and it was higher in coarse grinding than that in fine grinding both in rice and rapeseed seasons. Different stubblein height and straw grinding degree had no significant effect on the SPAD value at seedling stage. In the first season, the yield with medium stubble was higher than that without stubble and with high stubble (the yield increment of rice and rapeseed was 7.1%–21.1% and 2.4%–4.6%, respectively), and that of fine grinding was higher than that of coarse grinding (the increment was 11.7% and 12.9%). However, the yield difference in the second season between the treatments was not significant. During the crop growth period, the soil nutrient content decreased first and increased slightly in the harvest period. In the early stage of crop growth, no stubblein+fine grinding in rice season and middle stubblein+coarse grinding in rapeseed season increased the content of ammonium nitrogen and nitrate nitrogen. In the harvest period, the contents of available phosphorus and available potassium in both rice and rapeseed seasons were higher in middle stubblein+coarse grinding. Therefore, on the basis of yield response and soil nutrient change, considering the operation cost and energy consumption of straw returning to the field, this study recommends that the annual straw returning mode of rice-rapeseed rotation in the middle reaches of the Yangtze River should be rice with middle stubblein, rapeseed with middle or high stubblein, and the straw grinding degree should be fine grinding.

**Key words:** straw returning to the field; rice-rapeseed rotation; SPAD; yield; soil nutrients