

# 稻秆还田方式对油菜产量及养分效率的影响

李银水<sup>1</sup>,余常兵<sup>1</sup>,戴志刚<sup>2</sup>,顾焯明<sup>1</sup>,秦璐<sup>1</sup>,沈欣杰<sup>1</sup>,胡小加<sup>1</sup>,谢立华<sup>1</sup>,廖星<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院 油料作物研究所,农业农村部油料作物生物学与遗传育种重点实验室,湖北 武汉 430062;

2. 湖北省耕地质量与肥料工作站,湖北 武汉 430070)

**摘要:**为探讨稻秆还田方式对油菜干物质积累、籽粒产量及氮磷钾吸收利用效率的影响,2017-2018年在中国农业科学院油料作物研究所武昌本部网室,选择2个不同地点、pH值差异较大的水稻土,设置稻秆不还田(CK)、稻秆焚烧后灰烬与土壤混匀还田(焚烧)、稻秆粉碎与土壤混匀还田(翻压)、稻秆粉碎后覆盖还田(覆盖)4个处理的盆栽试验。结果表明:稻秆还田能增加油菜干物质积累量和籽粒产量,其中以覆盖处理最好,相比CK,油菜苗期、花期和成熟期的干物质积累量,平均分别提高16.9%、18.5%、16.8%,籽粒产量平均提高13.9%;除麻城土苗期翻压处理外,覆盖处理各生育期的干物质积累量及籽粒产量均显著高于其他处理。稻秆还田能提高油菜氮磷钾吸收效率,同样以覆盖处理最好,相比CK,油菜苗期、花期和成熟期的养分吸收效率,氮素平均提高18.8%、17.4%、12.9%;磷素平均提高22.3%、18.6%、21.7%;钾素平均提高22.8%、20.0%、17.5%。花期是油菜氮磷钾吸收效率最高时期;成熟期是生理利用效率最高时期,根系在整个生育期内均保持较高的氮磷钾生理利用效率。从产量和肥料利用效率分析,稻秆覆盖还田是一种较为适宜的秸秆资源有效利用途径。

**关键词:**油菜;稻秆还田;干物质积累;产量;氮磷钾利用效率

**中图分类号:**S143.3;S365 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2021)01-0177-10

**doi:**10.7668/hbxb.20191303



## Effects of Rice Straw Returning Patterns on Rapeseed Yields and Nutrient Efficiency

LI Yinshui<sup>1</sup>, YU Changbing<sup>1</sup>, DAI Zhigang<sup>2</sup>, GU Chiming<sup>1</sup>, QIN Lu<sup>1</sup>,  
SHEN Xinjie<sup>1</sup>, HU Xiaojia<sup>1</sup>, XIE Lihua<sup>1</sup>, LIAO Xing<sup>1</sup>

(1. Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Biology & Genetic Improvement of Oil Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430062, China;

2. Cultivated Land Quality and Fertilizer Station of Hubei Province, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** In order to investigate the effects of rice straw returning on the dry matter accumulation, yield, NPK uptake and utilization of rapeseed, two pot experiments which was different in acid and alkaline soils fed from two locals of paddy soil were carried out in a greenhouse of the Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences from 2017 to 2018. Four treatments were arranged: no straw returning(CK), returning of ashes from straw burning to soil(Burning), returning of chopped straw to soil(Turning), mulching of chopped straw on soil(Mulching). The main results showed that: different rice straw returning patterns had effects on rapeseed dry matter accumulation and yield of rapeseed. Mulching treatment was the best pattern among the 4 treatments. Compared with the CK, the biomass of rapeseed in mulching treatment was increased by 16.9%, 18.5% and 16.8% in seedling, florescence and maturing stage, and the seed yield of rapeseed increased by 13.9%, respectively. There were significant differences among the mulching and other treatments(except of turning in seedling period of Macheng soil) full growth period in the biomass and seed yield of rapeseed. Rice straw returning could increase NPK nutrients uptake efficiency of rapeseed. Compared with the CK, N nutrient uptake efficiency of rapeseed in mulching was increased by 18.8%, 17.4% and 12.9% in seedling, florescence and maturing stage of rapeseed, respectively. P nu-

收稿日期:2020-11-22

基金项目:国家自然科学基金项目(31801311);国家重点研发计划项目(2018YFD0200904)

作者简介:李银水(1979-),女,云南大理人,助理研究员,硕士,主要从事植物营养与土壤肥料研究。李银水、余常兵为同等贡献作者。

通讯作者:廖星(1963-),男,湖南涟源人,研究员,硕士,主要从事土壤肥料与养分资源管理研究。

trient uptake efficiency of rapeseed in mulching was increased by 22.3%, 18.6% and 21.7% in seedling, florescence and maturing stage of rapeseed, respectively. K nutrient uptake efficiency of rapeseed in mulching was increased by 22.8%, 20.0% and 17.5% in seedling, florescence and maturing stage of rapeseed, respectively. Florescence was the period of maximum NPK nutrient uptake efficiency, and maturing stage was the period of maximum NPK physiological utilization efficiency of rapeseed. During the whole growth period of rapeseed, the root maintained a high level of NPK physiological utilization efficiency. The overall results suggested that rice straw mulching is one of the promising measurements of cyclic utilization of rice straw in rice-rapeseed rotation system.

**Key words:** Rapeseed; Straw returning to field; Dry-matter accumulation; Yield; NPK use efficiency

我国秸秆资源丰富,年均产量约为 8.2 亿 t,但秸秆利用科技手段滞后,造成大部分地区农作物秸秆被随意堆放或就地焚烧,但这一做法会带来环境污染,国家也出台相关规定禁止露天焚烧秸秆<sup>[1]</sup>。因此,研究寻找秸秆的合理利用途径,变废为宝,成为政府关心和农业科研人员面临的主要生产问题之一。秸秆还田是一种能够实现秸秆综合利用、促进农田生态系统良性循环的利用方式。已有研究表明,长期秸秆还田能显著改善 0~5 cm 土层的土壤物理性状,即降低土壤容重,增加孔隙度、非水稳性和水稳性团聚体的数量<sup>[2]</sup>。秸秆还田在改善土壤物理结构,提高土壤肥力的同时能有效提高土壤对氮素的吸持,提高氮肥偏生产力<sup>[3]</sup>。秸秆还田主要有翻压还田和覆盖还田 2 种,但是受气候以及土壤环境影响,相同耕作模式下的秸秆适宜还田方式仍有差异,如小麦-油菜复种,小麦收割后的 3 种(立茬免耕、粉碎翻耕、焚烧)秸秆还田方式,尹辉等<sup>[4]</sup>认为,立茬免耕复种油菜,具有环保、相对较高水分利用效率和经济效益,尤其有利于环境保护和旱地农作;而黄鹏等<sup>[5]</sup>、杨育川等<sup>[6]</sup>则认为,以留茬 20~25 cm 收割,旋耕粉碎还田后复种油菜为最佳,能综合经济效益和生态效益。

水稻-油菜轮作是长江流域油菜主产区最普遍的种植模式,近年来水稻机械化收获程度不断提高,为稻草粉碎覆盖免耕直播油菜还田技术的进一步推广提供了有利条件<sup>[7]</sup>。有关该种植模式下,不同秸秆还田方式对作物产量影响研究较多,现有研究表明秸秆还田提高作物产量,起主要作用的产量构成因素是小麦<sup>[8]</sup>、水稻<sup>[9]</sup>有效穗数的增加,油菜千粒质量<sup>[10]</sup>以及单株角果数和每角粒数的增加<sup>[8]</sup>,并保障收获密度促进油菜增产<sup>[11]</sup>。但从养分利用角度探究秸秆还田方式对油菜产量形成差异研究相对较少。为此,本研究拟通过盆栽试验精确控制秸秆还田量和还田方式,探讨不同秸秆还田方式对油菜生长发育、养分利用效率及产量的影响,以期明确该模式下的适宜秸秆还田方式,为区域秸秆资源高效利用提供理论参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验概况

试验于 2017-2018 年进行(北纬 30°31',东经 114°20'),亚热带季风性湿润气候,年平均气温 15.8~17.5 °C,年均降水量 1 205 mm,年日照总时数 1 810~2 100 h,活动积温 5 000~5 300 °C,年无霜期 240 d。2 个盆栽供试土壤分别采自武汉阳逻和湖北麻城,均为发育于河流冲积母质的水稻土,采集水稻-油菜轮作农田水稻季结束后的 0~20 cm 耕层土,土样风干后过 2 mm 筛备用。土壤理化性状:麻城土 pH 值 5.5,有机质 17.1 g/kg,碱解氮 54.1 mg/kg,有效磷 7.2 mg/kg,速效钾 68.1 mg/kg;阳逻土 pH 值 8.2,有机质 17.8 g/kg,碱解氮 49.9 mg/kg,有效磷 7.7 mg/kg,速效钾 129.3 mg/kg。油菜品种为中双 11 号,由中国农业科学院油料作物研究所育种团队提供。

### 1.2 试验设计

对 2 个供试土壤,分别设 4 个处理:①CK(稻秆不还田),②焚烧(稻秆焚烧成灰烬后与土壤混匀还田),③翻压(稻秆粉碎后与土壤混匀还田),④覆盖(稻秆粉碎后覆盖还田)。试验用盆钵为米氏钵(直径 20 cm,高 30 cm),每盆装土 6.5 kg, N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 用量 0.2-0.1-0.2 g/kg 土,即每盆施用尿素 2.71 g、磷酸二氢钾 1.25 g 和氯化钾 1.45 g;微量元素为阿农营养液,按 1 mL/kg 土添加,全部作基肥一次性施入。秸秆用量为 21 g/盆,即按 3.2 g/kg 风干土添加,约相当于大田 4.85 t/hm<sup>2</sup> 用量(生产中水稻秸秆 9.70 t/hm<sup>2</sup> 产量的半量还田)。肥料与风干土混匀放置 7 d 后,按要求进行稻秆还田。焚烧处理稻秆每盆在各自盆里灼烧,烧完后将灰烬与盆中土壤混匀;翻压及覆盖处理稻秆粉碎程度同普通大田(大约长 2 cm 左右),用剪刀各自剪碎。稻秆 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 含量为 6.3,1.1,8.5 mg/kg。每处理 10 盆,2 种土壤各装 40 盆,总计 80 盆,完全随机排列。

2017 年 10 月 5 日播种油菜,每盆播 6 粒,11 月 18 日定苗,每盆留长势中等均匀一致 3 株幼苗。盆

钵每 2 d 用称量法加水到播种时的初始质量,每次加水后调换盆钵位置以减小环境因子的影响。油菜生育期内及时防治病虫害。2018 年 4 月 29 日收获。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 样品采集 分别于油菜苗期(2018 年 1 月 16 日)、花期(3 月 27 日)和成熟期(4 月 29 日)破坏性取样,每次各取 3 盆,分根、茎秆、叶、花、果壳和籽粒等部位装袋,105 °C 下杀青 30 min,80 °C 烘干称质量统计生物量,磨细过 0.5 mm 筛用于养分含量测定。油菜成熟收获时,各取 1 盆油菜考种,考查株高、有效分枝数、单株角果数、每角粒数和千粒质量。

1.3.2 测定方法 采用浓  $H_2SO_4-H_2O_2$  消煮,凯氏定氮仪(KDY-9820)测全氮,电感耦合等离子发射光谱仪(Optima-7000)测全磷,火焰光度计(M410)测全钾。

1.3.3 计算方法 干物质积累量(Dry matter accumulation, g/盆) = 油菜各器官干物质质量之和;

氮磷钾总积累量(Nitrogen, phosphorus and potassium accumulation, g/盆) = 油菜各器官氮磷钾含量(%) × 各器官干物质质量(g/盆)/100 之和;

氮磷钾吸收效率(Nitrogen, phosphorus and potassium uptake efficiency, g/g) = 油菜各器官氮磷钾积累量(g/盆)/氮磷钾肥用量(g/盆);

氮磷钾生理利用效率(Nitrogen, phosphorus and potassium utilization, g/g) = 油菜各器官干物质质量(g/盆)/该器官氮磷钾积累量(g/盆);

氮磷钾收获指数(Nitrogen, phosphorus, potassium harvest index, %) = 籽粒氮磷钾积累量(g/盆)/油菜氮磷钾总积累量(g/盆) × 100。

### 1.4 数据处理

试验数据在 Excel 2010 中整理作图,采用 SPSS 19.0 统计软件的 Duncan's multiple-range test 方法进

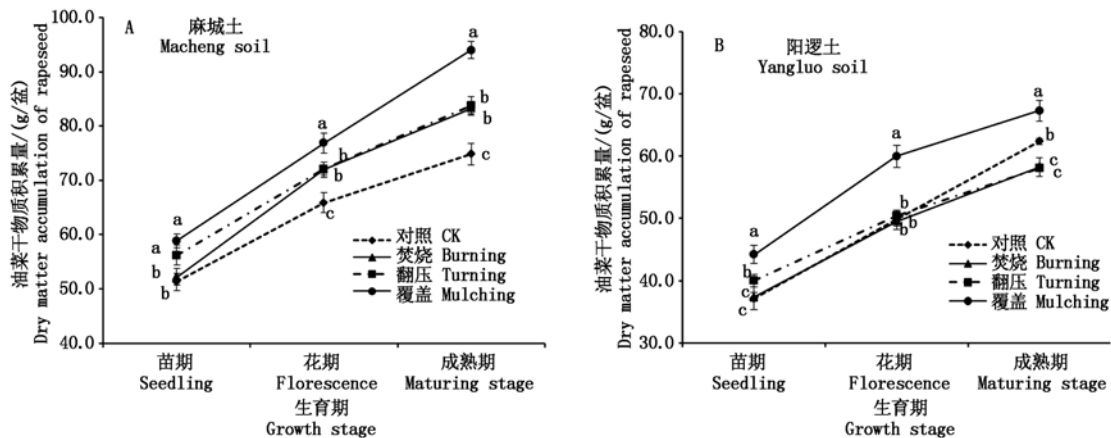
行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同稻秆还田方式对油菜干物质积累及产量构成的影响

图 1 结果显示,油菜干物质积累随生育期的推移不断增加,稻秆还田能在一定程度上提高油菜干物质积累量。成熟期是油菜干物质积累最高时期,3 种不同还田方式以覆盖最好,2 种供试土壤的表现基本一致。相比 CK,覆盖处理,油菜干物质积累量在苗期、花期和成熟期,麻城土分别提高 14.7%、16.6%、25.6%,阳逻土分别提高 19.0%、20.3%、7.9%,2 种土壤平均分别提高 16.9%、18.5%、16.8%,与 CK 差异均显著。相比其他 2 种(焚烧和翻压)处理,覆盖处理油菜苗期、花期和成熟期干物质积累量,麻城土平均提高 8.7%、6.7%、12.5%,阳逻土平均提高 14.3%、20.0%、15.7%。焚烧处理对油菜生长发育的影响因土而异,相比 CK,油菜花期和成熟期干物质积累量,麻城土提高 9.2%、11.2%,阳逻土下降 0.7%、6.6%。

表 1 结果显示,油菜分枝数因稻秆还田方式的不同有升有降,但稻秆还田能在一定程度上提高油菜的株高、角果数和籽粒产量,3 种不同还田方式以覆盖最好,该处理的籽粒产量显著高于其他 3 个处理。相比 CK,覆盖处理的籽粒产量,麻城土提高 16.9%、阳逻土提高 10.8% (平均提高 13.9%);相比其他 2 种(焚烧和翻压)处理,籽粒产量麻城土平均提高 10.2%,阳逻土平均提高 10.0%。秸秆还田对油菜籽粒产量的提高,主要通过增加单株有效角果数来实现(相比 CK,角果数麻城土增加 8.8%,阳逻土增加 4.6%)。



图中小写字母表示同一时期不同稻秆还田处理在 5% 水平上的差异性。图 2-5 同。  
The letters in the figure indicate significant difference at 0.05 level under different straw-returning methods treatments in the same period. The same as Fig. 2-5.

图 1 不同稻秆还田方式对油菜干物质积累的影响

Fig. 1 Effects of different straw-returning methods on dry matter accumulation of rapeseed

表 1 不同稻秆还田方式对油菜主要农艺性状及籽粒产量的影响

Tab.1 Effects of different straw-returning methods on main agronomic characters and seed yield of rapeseed

处理 Treatment	株高/cm Plant height	分枝数 /(No./株) Branch number	角果数 /(No./株) Pot number	每角粒数 /(No./角) Seed per pod	千粒质量/g 1000-seeds weight	籽粒产量 /(g/盆) Seed yield
麻城土 Macheng soil	对照 CK 141.0 ± 7.5a	4.7 ± 0.6b	83.0 ± 1.0b	20.0 ± 1.0a	3.788 ± 0.152a	16.05 ± 0.64b
焚烧 Burning	147.7 ± 5.1a	4.3 ± 0.6b	88.3 ± 2.5ab	20.0 ± 1.7a	3.889 ± 0.053a	17.06 ± 0.39b
翻压 Turning	145.3 ± 8.7a	4.7 ± 0.6b	90.3 ± 4.9a	20.0 ± 1.7a	3.774 ± 0.104a	17.00 ± 0.85b
覆盖 Mulching	146.3 ± 3.1a	5.7 ± 0.6a	90.3 ± 5.5a	20.7 ± 1.5a	3.936 ± 0.109a	18.77 ± 0.26a
阳逻土 Yangluo soil	对照 CK 127.7 ± 3.8a	4.3 ± 0.6a	65.7 ± 2.1a	17.7 ± 0.6a	3.765 ± 0.090a	10.52 ± 0.39b
焚烧 Burning	128.7 ± 3.2a	4.3 ± 0.6a	66.0 ± 3.0a	18.0 ± 1.0a	3.829 ± 0.140a	10.82 ± 0.34b
翻压 Turning	129.3 ± 6.4a	4.0 ± 1.0a	65.0 ± 2.6a	17.7 ± 0.6a	3.763 ± 0.099a	10.41 ± 0.43b
覆盖 Mulching	137.3 ± 4.9a	4.7 ± 0.6a	68.7 ± 3.8a	19.0 ± 1.0a	3.919 ± 0.137a	11.66 ± 0.48a

注:同列数据后不同字母表示差异达5%显著水平。表2同。

Note: Values followed by different letters in the same column mean significant at the 5% level. The same as Tab.2.

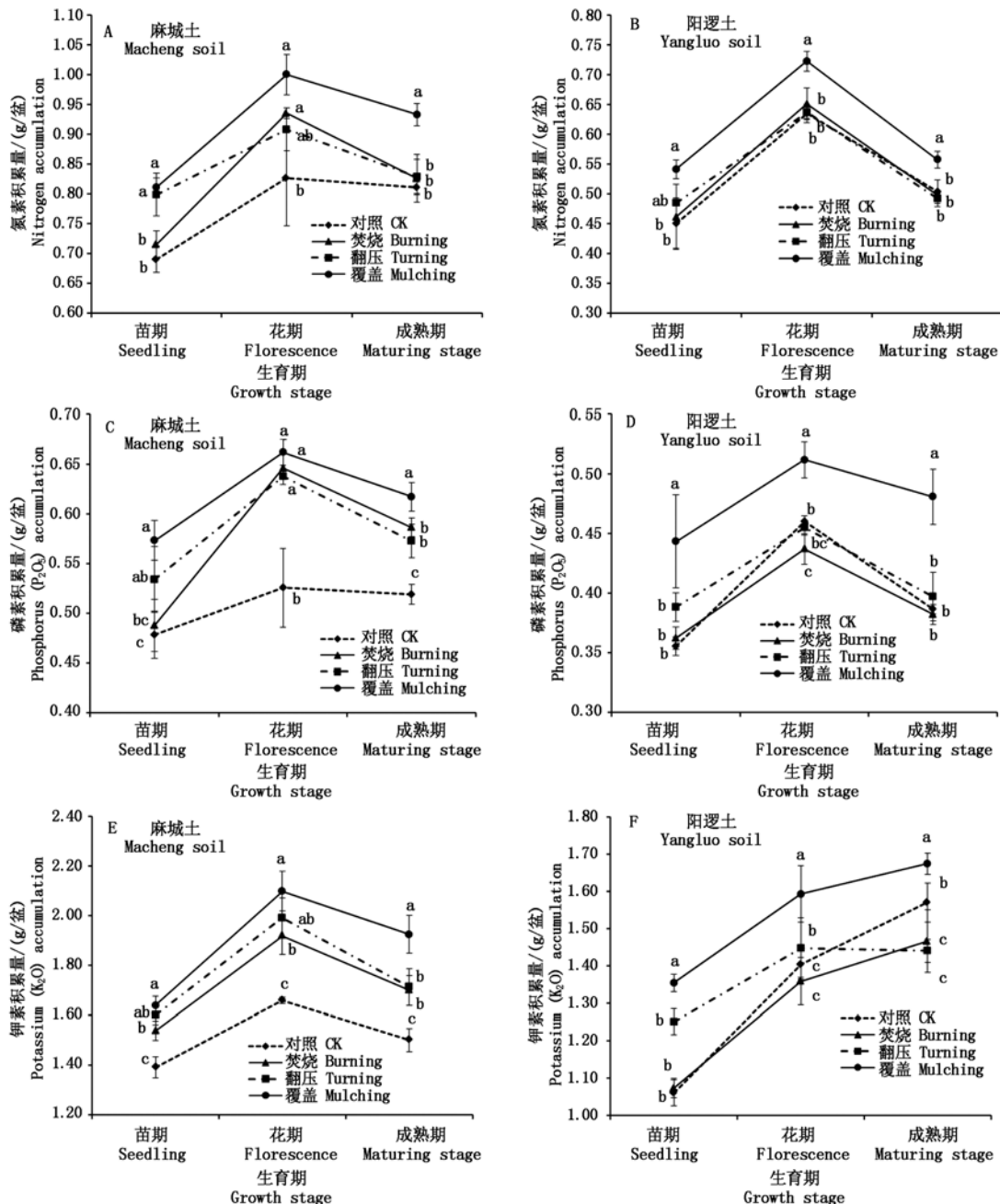


图 2 不同稻秆还田方式对油菜氮磷钾积累的影响

Fig.2 Effects of different straw-returning methods on nitrogen, phosphorus and potassium accumulation of rapeseed

## 2.2 不同稻秆还田方式对油菜氮磷钾积累的影响

图 2-A、B 结果显示,氮积累量显著受生育期和稻秆还田方式双重影响。整体表现趋势是随生育期的发展呈先升后降变化,3 种稻秆还田方式以覆盖影响最为显著。花期是油菜氮积累最大时期,覆盖处理的氮积累量分别达 1.001 (麻城土),0.723 g/盆(阳逻土),分别比 CK 提高 21.0%,13.8%。成熟期氮总积累量有所下降,但覆盖处理分别比 CK 提高 15.1%,10.0%。

磷积累变化趋势与氮基本一致,也是花期为最大积累时期,同时受稻秆还田方式和盆栽土壤类型影响(图 2-C、D)。麻城土无论是苗期、花期还是成熟期,稻秆还田均能提高油菜磷总积累量(花期焚烧、翻压和覆盖处理分别比 CK 提高 22.9%,21.3%,26.0%,成熟期覆盖处理籽粒磷积累量提高 17.4%)。阳逻土除覆盖处理能显著提高油菜磷总积累量外(苗期、花期

和成熟期分别提高 24.8%,11.2%和 24.4%),其余 2 个处理效果不显著。

钾积累变化趋势在 2 种土壤上的表现略有不同,麻城土表现为先升后降,花期仍为最大积累时期,焚烧、翻压和覆盖处理的积累量分别达 1.918,1.991,2.099 g/盆,分别比 CK 提高 15.6%,20.0%,26.5%;成熟期积累量有所下降,但覆盖处理的总积累量仍有 1.925 g/盆,比 CK 提高 28.3%。阳逻土整体表现为持续增加(翻压处理成熟期略有下降除外),但不同稻秆还田处理表现不一,覆盖处理均有促进作用(苗期、花期和成熟期分别提高 27.7%,13.5%,6.6%),翻压处理苗期、花期有促进作用,成熟期反而低于 CK;焚烧处理则花期和成熟期均低于 CK(图 2-E、F)。

## 2.3 不同稻秆还田方式对油菜氮磷钾吸收利用率的影响

2.3.1 不同稻秆还田方式对油菜氮磷钾吸收效率的影响 图 3-A、B 结果显示,油菜氮吸收效率的整

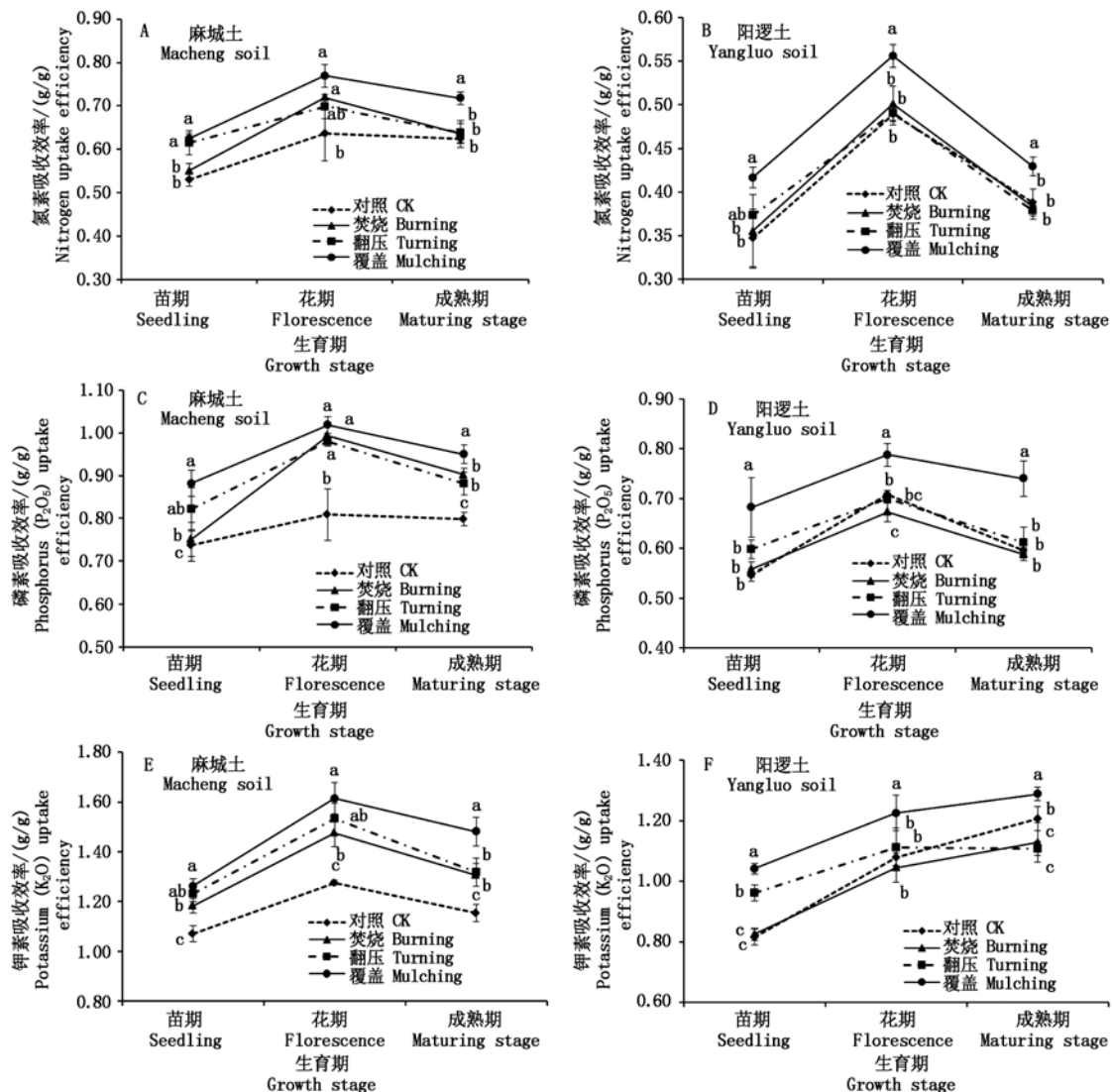


图 3 不同稻秆还田方式对油菜氮磷钾吸收效率的影响

Fig. 3 Effects of different straw-returning methods on the uptake efficiency of nitrogen, phosphorus and potassium in rapeseed

体表现是随生育期的发展呈先升后降变化,花期是氮吸收效率最高时期。稻秆还田能在一定程度上提高油菜氮吸收效率,3种还田方式仍以覆盖最好,相比CK,苗期、花期和成熟期覆盖处理的氮吸收效率,麻城土分别提高17.6%、21.0%、15.0%,阳逻土分别提高20.0%、13.8%、10.7%,2种土壤平均提高

18.8%、17.4%、12.9%,差异均显著。各器官的氮吸收效率(图4-A、B),在2种土壤上的表现基本一致,即苗期叶>根,花期花>根>茎>叶,成熟期籽粒>茎>根>壳;其中,成熟期油菜茎秆的氮吸收效率,覆盖处理麻城土显著高于其他3个处理,阳逻土则显著高于焚烧和翻压处理,但与对照差异不显著。

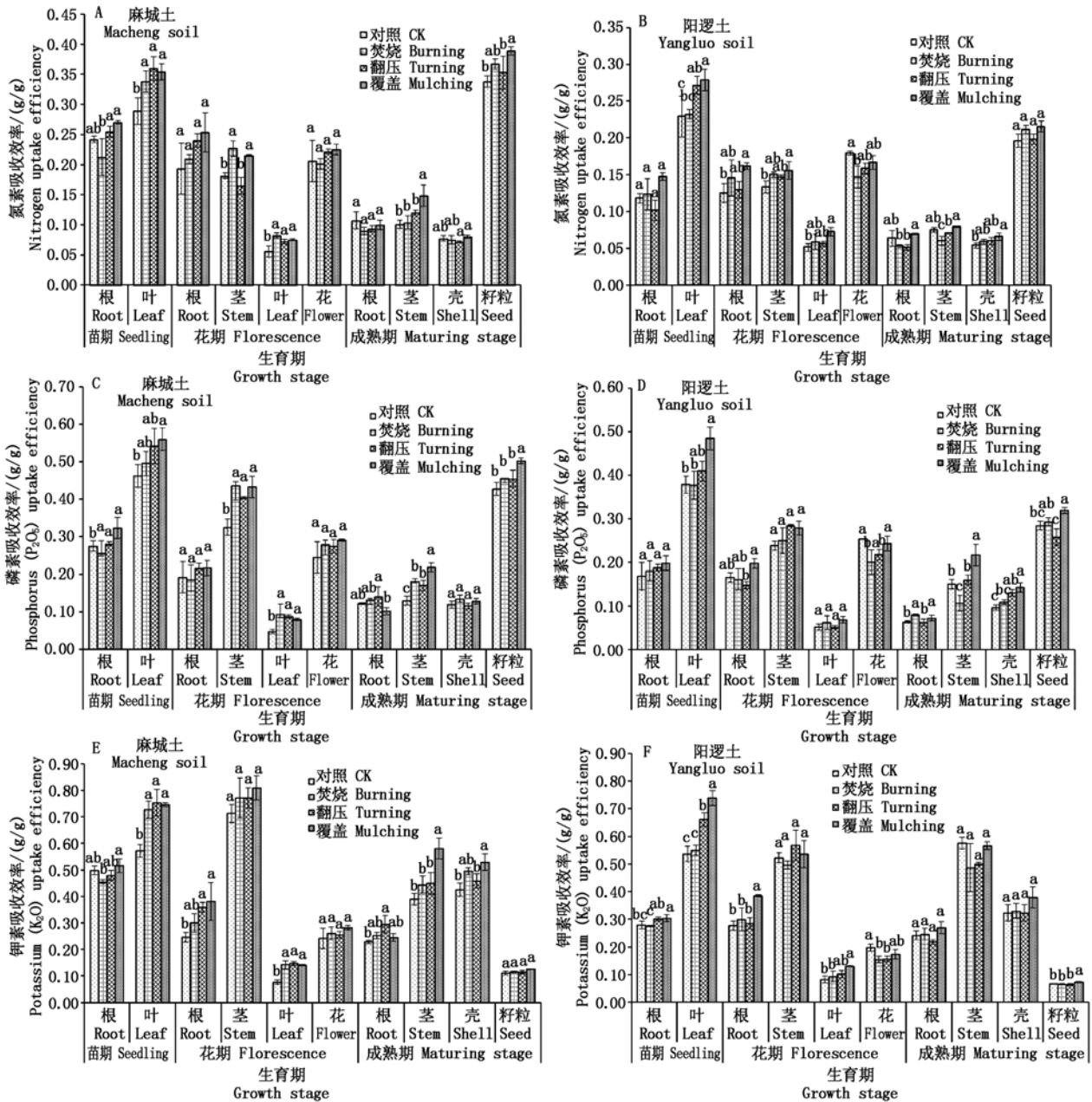


图4 不同稻秆还田方式对油菜各器官氮磷钾吸收效率的影响

Fig. 4 Effects of different straw-returning methods on the uptake efficiency of nitrogen, phosphorus and potassium in different organs of rapeseed

磷吸收效率变化趋势与氮基本一致,也是花期为最大吸收效率期,相比CK,覆盖处理的磷吸收效率苗期、花期和成熟期,麻城土分别提高19.8%、26.0%、18.9%,阳逻土分别提高24.8%、11.2%、24.4%,2种土壤平均提高22.3%、18.6%、21.7%,差异均显著(图3-C、D)。各器官的磷吸收效率(图

4-C、D)在2种土壤上的表现基本一致,苗期叶>根,花期茎>花>根>叶,成熟期麻城土籽粒>茎>根>壳,阳逻土籽粒>茎>壳>根;成熟期,无论是麻城土还是阳逻土,油菜茎的磷素吸收效率,覆盖处理均显著高于其他3个处理。钾吸收效率麻城土花期为最大吸收时期,阳逻土则成熟期为最大

吸收时期,相比 CK,苗期、花期和成熟期的钾吸收效率,覆盖处理麻城土分别提高 17.9%、26.5%、28.3%,阳逻土分别提高 27.7%、13.5%、6.6%,2 种土壤平均提高 22.8%、20.0%、17.5%,差异均显著(图 3-E、F)。各器官的钾吸收效率(图 4-E、F)在 2 种土壤上的表现基本一致,苗期叶 > 根,花期茎 > 根 > 花 > 叶,成熟期茎 > 壳 > 根 > 籽粒;与氮素吸收效率相一致,成熟期覆盖处理的钾吸收效率,麻城土是茎秆显著高于其他 3 个处理,阳逻土则是籽粒显著高于其他 3 个处理。

2.3.2 不同稻秆还田方式对油菜氮磷钾生理利用效率的影响 图 5 结果显示,油菜氮磷钾生理利用效率在整个生育期内持续增加,成熟期是生理利用

效率最高时期,油菜对 3 种养分的利用效率整体表现为磷 > 氮 > 钾。各器官对 3 种养分的生理利用效率在 2 种土壤上的表现基本一致。氮生理利用效率(图 5-A、B),苗期根略高于叶,花期茎 > 根 > 叶 > 花,成熟期根 = 茎 > 壳 > 籽粒;磷生理利用效率(图 5-C、D),苗期根 > 叶,花期根 > 茎 > 叶 > 花,成熟期根 > 茎 > 壳 > 籽粒;钾生理利用效率(图 5-E、F),同样为苗期根 > 叶,花期根 > 茎 > 花 > 叶,成熟期籽粒 > 根 > 茎 > 壳。4 种不同处理下,根系在整个生育期内均保持较高的氮磷钾生理利用效率。

2.3.3 不同稻秆还田方式对油菜氮磷钾收获指数的影响 表 2 结果显示,油菜氮磷钾收获指数受稻秆还田方式和土壤类型影响。氮收获指数在 2 种土

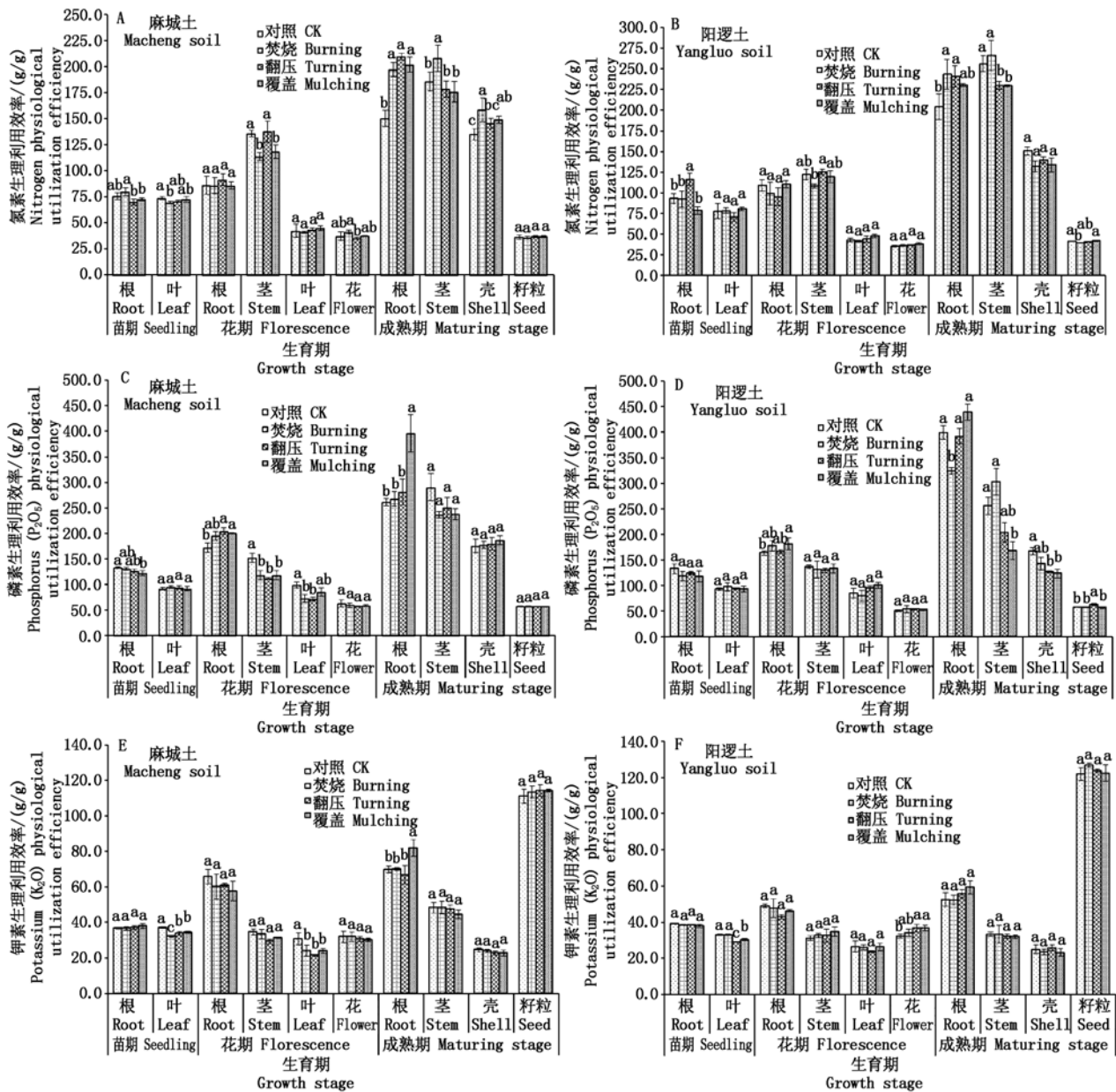


图 5 不同稻秆还田方式对油菜各器官氮磷钾生理利用效率的影响

Fig. 5 Effects of different straw-returning methods on the physiological utilization efficiency of nitrogen, phosphorus and potassium in different organs of rapeseed

壤的表现均以焚烧处理最高,分别比 CK 显著提高 3.64(麻城土),4.64(阳逻土)百分点。磷收获指数除阳逻土的焚烧处理略有增加外(比 CK 提高2.11 百分点,但差异不显著),其他处理反而有下降趋势。钾收获指数在 2 种土壤的表现刚好相反,焚烧、翻压和覆盖处理,相比 CK,麻城土分别下降0.80,

0.96,1.12 百分点,其中覆盖处理下降显著,阳逻土分别增加 0.33,0.34,0.19 百分点,但差异均不显著。稻秆还田虽然能增加油菜对钾的总累积量,但由于钾素主要分配于油菜茎秆、角壳等非经济部位,油菜氮磷钾收获指数氮 > 磷 > 钾。

表 2 不同稻秆还田方式对油菜氮磷钾收获指数的影响

Tab. 2 Effects of different straw-returning methods on nitrogen, phosphorus and potassium harvest index of rapeseed

处理 Treatment	麻城土 Macheng soil			阳逻土 Yangluo soil		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
对照 CK	54.13 ± 1.47b	53.46 ± 1.20a	9.65 ± 0.85a	50.56 ± 1.65b	47.74 ± 1.64a	5.50 ± 0.19a
焚烧 Burning	57.77 ± 1.72a	50.46 ± 0.59a	8.85 ± 0.44ab	55.20 ± 1.24a	49.85 ± 2.62a	5.83 ± 0.44a
翻压 Turning	55.24 ± 2.33ab	51.51 ± 2.85a	8.69 ± 0.37ab	52.29 ± 0.56b	42.07 ± 0.91b	5.84 ± 0.21a
覆盖 Mulching	54.20 ± 1.26b	52.81 ± 0.40a	8.53 ± 0.28b	50.22 ± 0.79b	43.11 ± 1.67b	5.69 ± 0.06a

### 3 讨论与结论

#### 3.1 不同稻秆还田方式的产量效应

秸秆还田可以逐步增加土壤有机碳和有机质含量<sup>[12]</sup>,改善土壤理化性状<sup>[13]</sup>,提高作物产量<sup>[14-16]</sup>。本研究结果表明,稻秆还田能在一定程度上提高油菜生物量和籽粒产量,但不同还田方式间存在明显差别,3 种还田方式以覆盖效果最好,除苗期麻城土的翻压处理外,覆盖处理各生育期的干物质积累量及籽粒产量均显著高于其他处理。秸秆翻压或焚烧处理,在 2 种供试土壤上的表现略有不同。分析其原因可能有以下几点:一是,稻秆覆盖还田增产的原因是有利于保温保墒,有效减缓冬油菜干旱和低温伤害<sup>[11]</sup>,提高油菜越冬率<sup>[13]</sup>,从而为全生育期内油菜生物量的增加以及籽粒产量的形成提供保障,本研究结果与前人研究基本一致。二是,稻秆翻压还田虽然能增加土壤有机碳和速效养分含量,但也有生物量增加不显著及降低的报道,降低的原因可能与秸秆还田导致土壤碳、氮比例失衡有关<sup>[17]</sup>,本研究 2 种供试土壤的碱解氮(麻城土 54.1 mg/kg,阳逻土 49.9 mg/kg)含量均为较低水平,因此,在同一氮肥用量下,稻秆翻压可能加剧了油菜与微生物间的竞争关系而影响生物量及籽粒产量的发挥(阳逻土较为明显)。三是,本研究条件下,焚烧处理的油菜生物量,麻城土略有促进,阳逻土反而有下降的表现,其原因可能与油菜本为喜酸性土壤植物,焚烧处理相当于碱性土(阳逻土 pH 值 8.2)增施碱性肥料(焚烧产物为草木灰,生产上主要作钾肥施用<sup>[18]</sup>)而影响油菜生长发育,且土壤钾含量(阳逻土速效钾 129.3 mg/kg)中等偏上施钾效果不明显有关,具体原因有待进一步明确。

#### 3.2 不同稻秆还田方式对油菜氮磷钾利用效率的影响

作物养分效率包括养分吸收效率和养分利用效率,在低养分投入下,籽粒产量取决于养分吸收效率,反之养分利用效率起主导作用<sup>[19]</sup>。提高基于总消耗养分的各种生理效率,既需要从减少养分的损失入手,又需要提高作物吸收的养分在作物体内的利用效率来实现<sup>[20]</sup>。秸秆覆盖还田能显著提高油菜<sup>[21]</sup>、水稻<sup>[22]</sup>、小麦<sup>[23]</sup>、玉米<sup>[24]</sup>的氮肥农学利用效率,原因是秸秆还田通过自身的氮素分解固氮与增加外源氮的固定量,从而提高氮肥利用效率<sup>[25]</sup>,也可能与秸秆还田对土壤水库的扩蓄增容作用,在提高作物水分利用效率的同时使养分利用效率相应提高<sup>[24]</sup>。然而也有研究认为,如果基础土壤钾素含量较高,秸秆还田对水稻和冬油菜的钾肥吸收效率没有显著影响,但均使 2 种作物的钾素利用效率显著降低,可能原因是秸秆还田条件下当前推荐钾肥用量偏高<sup>[26]</sup>。本研究结果表明,稻秆还田能提高油菜全生育期氮磷钾积累量,覆盖还田能显著提高油菜氮磷钾吸收效率,但氮磷钾生理利用效率因器官的不同而有差异,养分收获指数也因处理和元素的不同而有增加、持平或下降的不同表现。但是尽管如此,相比 CK,除麻城土翻压处理苗期和花期的氮磷钾吸收效率与覆盖处理差异不显著外,覆盖处理各生育期的氮磷钾吸收效率均显著高于其他处理。前人研究已表明,秸秆还田可以提高油菜氮磷钾积累量和农学利用效率,但养分收获指数均降低,原因是油菜吸收的养分更多用于营养体建成,为籽粒形成奠定基础<sup>[11]</sup>。相比水稻、小麦等作物,油菜的收获指数相对偏低,营养生长需要枝繁叶茂才能为生殖生长的籽粒形成提供基础。



### 3.3 水稻-油菜轮作下稻秆覆盖还田的适宜性评价

秸秆还田需要经过一系列的生物化学反应, 才能释放自身的养分并被作物吸收利用, 水稻-油菜轮作模式下, 土壤有机质和全氮质量分数较为稳定, 短时间内对土壤管理措施变化反应不敏感, 秸秆还田作为改善土壤肥力的措施需要长期坚持<sup>[27]</sup>。冬油菜季水稻秸秆还田, 生产上更应该关注秸秆还田在增强作物对逆境(低温或干旱)的抵抗作用, 缓解气温骤变对冬油菜生长的负面影响等正效应的发挥<sup>[28]</sup>。综合本试验产量结果, 稻秆覆盖还田在2种土壤上均表现出较好的增产优势, 相比其他2种秸秆还田(焚烧与翻压处理), 油菜苗期、花期和成熟期干物质累积量, 麻城土平均提高8.7%, 6.7%, 12.5%, 阳逻土平均提高14.3%, 20.0%, 15.7%; 成熟期籽粒产量, 麻城土平均提高10.2%, 阳逻土平均提高10.0%; 这种优势同样表现在油菜对氮磷钾的吸收积累上。生产中利用农业机械, 在水稻收获时将稻草粉碎就地抛洒, 均匀覆盖田间, 然后免耕直播油菜是一项较为适宜的稻秆综合利用技术。

以上结论对于指导湖北省油-稻轮作种植中的秸秆资源充分利用有一定的积极意义, 但由于盆栽土壤粉碎后秸秆覆盖与大田实际生产中免耕秸秆覆盖还田, 在土壤环境上存在较大的差异, 今后有必要延伸和完善本盆栽试验, 以及大田试验等, 对秸秆粉碎覆盖还田这种方式的应用作进一步探索, 以便更好地促进秸秆还田技术的改进和完善。

#### 参考文献:

- [1] 陈蒙蒙. 秸秆焚烧的法律规制[D]. 苏州: 苏州大学, 2014. Chen M M. Legal regulation of straw burning[D]. Suzhou: Soochow University, 2014.
- [2] 刘禹池, 曾祥忠, 冯文强, 秦鱼生, 王昌全, 涂仕华, 陈道全. 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. doi:10.11674/zwyf.2014.0615. Liu Y C, Zeng X Z, Feng W Q, Qin Y S, Wang C Q, Tu S H, Chen D Q. Effects of long-term straw mulch and fertilization on crop yields and soil physical and chemical properties under rice-rapeseed rotation[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2014, 20(6): 1450-1459.
- [3] 张维乐, 戴志刚, 任涛, 周先竹, 王忠良, 李小坤, 丛日环. 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. doi:10.3864/j.issn.0578-1752.2016.07.004. Zhang W L, Dai Z G, Ren T, Zhou X Z, Wang Z L, Li X K, Cong R H. Effects of nitrogen fertilization managements with residues incorporation on crops yield and nutrients uptake under different paddy-upland rotation systems[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(7): 1254-1266.
- [4] 尹辉, 张恩和, 王琦, 刘青林, 刘朝巍, 王田涛, 俞华林. 春小麦留茬处理对复种油菜产量和水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 83-88. doi:10.3969/j.issn.1002-6819.2011.02.013. Yin H, Zhang E H, Wang Q, Liu Q L, Liu Z W, Wang T T, Yu H L. Effect of spring wheat stubble treatments on grain yield and water use efficiency of multiple cropping rape[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(2): 83-88.
- [5] 黄鹏, 杨亚丽, 杨育川. 不同秸秆还田方式及施肥对小麦复种小油菜经济效益的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(27): 53-57. doi:10.3969/j.issn.1000-6850.2013.27.010. Huang P, Yang Y L, Yang Y C. Effect of economic benefits of wheat multiple cropping rape under different straw returning and fertilization[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(27): 53-57.
- [6] 杨育川, 郑月兰, 何智宏, 黄鹏, 李玲玲. 不同秸秆还田方式及施肥对春小麦复种小油菜产量和资源利用率的影响[J]. 中国农学通报, 2016, 32(9): 20-26. doi:10.11924/j.issn.1000-6850.casb15090043. Yang Y C, Zheng Y L, He Z H, Huang P, Li L L. Effect of straw returning and fertilization on yields of wheat-rape multiple cropping and resource use efficiency[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32(9): 20-26.
- [7] 余常兵, 胡威, 吕驰驰, 柯奇画, 李银水, 庞静. 添加水稻秸秆对油菜(*Brassica napus* L.) 幼苗生长的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(3): 253-261. doi:10.13254/j.jare.2015.0208. Yu C B, Hu W, Lü C C, Ke Q H, Li Y S, Pang J. Allelopathic effect of rice straw on rape (*Brassica napus* L.) seedlings[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2016, 33(3): 253-261.
- [8] 武际, 郭熙盛, 鲁剑巍, 王允青, 许征宇, 张晓玲. 水旱轮作制下连续秸秆覆盖对土壤理化性质和作物产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(3): 587-594. doi:10.11674/zwyf.2012.11304. Wu J, Guo X S, Lu J W, Wang Y Q, Xu Z Y, Zhang X L. Effects of continuous straw mulching on soil physical and chemical properties and crop yields in paddy-upland rotation system[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2012, 18(3): 587-594.
- [9] 丁奇. 稻草不同还田方式对水稻产量和土壤生态的影响[D]. 南昌: 江西农业大学, 2014. Ding Q. Effects of different return methods of straw on rice yield and soil ecology[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2014.
- [10] 张慧, 廖敦秀, 马连杰, 李燕, 冯牧野. 秸秆还田量对油菜产量及土壤肥力的影响[J]. 南方农业, 2016, 10(31): 6-9. doi:10.19415/j.cnki.1673-890x.2016.31.002. Zhang H, Liao D X, Ma L J, Li Y, Feng M Y. Effects of crop-residue incorporation on rapeseed yield and soil fertility[J]. *South China Agriculture*, 2016, 10(31): 6-9.
- [11] 刘秋霞, 任涛, 张萌, 廖世鹏, 李小坤, 丛日环, 鲁剑巍. 秸秆还田与氮磷钾化肥配施对直播冬油菜产量及其构成因子的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016(6): 68-73. doi:10.11838/sfsc.20160611. Liu Q X, Ren T, Zhang M, Liao S P, Li X K, Cong R H, Lu J W. Effects of straw incorporation with nitrogen, phosphate and potassium fertilization on yield and yield components of direct-sown winter oilseed rape[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2016(6): 68-73.
- [12] 徐一兰, 唐海明, 程爱武, 李益锋, 李永, 何炜, 胡赛晶, 王跃平. 长期不同施肥模式对双季稻田土壤养分及水稻产量的影响[J]. 华北农学报, 2017, 32(6): 192-197. doi:10.7668/hbxb.2017.06.028. Xu Y L, Tang H M, Cheng A W, Li Y F, Li Y, He W, Hu S J, Wang Y P. Effects of different long-term fertilizer managements on soil nutrients and rice yield in double cropping paddy field[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2017, 32(6): 192-197.
- [13] 战秀梅, 彭靖, 李秀龙, 李亭亭, 韩晓日, 宋涛, 潘全良. 耕作及秸秆还田方式对春玉米产量及土壤理化性状的影响[J]. 华北农学报, 2014, 29(3): 204-209. doi:

10. 7668/hbxb. 2014. 03. 037.
- Zhan X M, Peng J, Li X L, Li T T, Han X R, Song T, Pan Q L. Effects of tillage and crop residues incorporation on spring maize yield and physical and chemical properties of soil [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2014, 29 (3): 204 - 209.
- [14] 易镇邪, 刘书波, 陈冬林, 屠乃美. 不同复种制下秸秆还田对水稻生产能力的影晌[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2013, 39(6): 565 - 569. doi: 10. 3724/SP. J. 1238. 2013. 00565.
- Yi Z X, Liu S B, Chen D L, Tu N M. Effect of straw returning to field on rice productivity in different cropping systems [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2013, 39(6): 565 - 569.
- [15] 徐蒋来, 尹思慧, 胡乃娟, 顾泽海, 王保君, 朱利群. 周年秸秆还田对稻麦轮作农田土壤养分、微生物活性及产量的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2015, 21(6): 1100 - 1105. doi: 10. 3724/SP. J. 1145. 2015. 04005.
- Xu J L, Yin S H, Hu N J, Gu Z H, Wang B J, Zhu L Q. Effects of annual straw returning on soil nutrients, microbial activity and yield in a rice-wheat rotation system [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2015, 21(6): 1100 - 1105.
- [16] 邓小强, 李文雅, 龚雪飞, 王懿. 油菜秸秆还田对水稻产量、经济效益与土壤理化性状的影响[J]. 耕作与栽培, 2017(4): 12 - 13. doi: 10. 13605/j. cnki. 52-1065/s. 2017. 04. 004.
- Deng X Q, Li W Y, Gong X F, Wang Y. The influence of rape straw returned on rice yield, economic benefit, soil physical and chemical properties [J]. *Tillage and Cultivation*, 2017(4): 12 - 13.
- [17] 刘兰清, 杨晨璐, 王维钰, 孔德杰, Akhtar K, 任广鑫, 冯永忠, 杨改河. 免耕条件下秸秆还田与施肥对小麦-玉米轮作系统土壤养分和酶活性的影响[J]. 华北农学报, 2017, 32(6): 213 - 221. doi: 10. 7668/hbxb. 2017. 06. 031.
- Liu L Q, Yang C L, Wang W Y, Kong D J, Akhtar K, Ren G X, Feng Y Z, Yang G H. Effects of straw returning to field and fertilization on soil nutrient and enzyme activity in wheat-maize rotation system under no-tillage condition [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2017, 32(6): 213 - 221.
- [18] 张春苗, 王晶. 简述草木灰的使用 [J]. 新农业, 2019(22): 27 - 28.
- Zhang C M, Wang J. The use of plant ash [J]. *New Agriculture*, 2019(22): 27 - 28.
- [19] Erley G S, Behrens T, Ulas A, Wiesler F, Horst W J. Agronomic traits contributing to nitrogen efficiency of winter oilseed rape cultivars [J]. *Field Crops Research*, 2011, 124(1): 114 - 123. doi: 10. 1016/j. fcr. 2011. 06. 009.
- [20] 王火焰, 周健民. 肥料养分真实利用率计算与施肥策略 [J]. 土壤学报, 2014, 51(2): 216 - 225. doi: 10. 11766/trxb201312110588.
- Wang H Y, Zhou J M. Calculation of real fertilizer use efficiency and discussion on fertilization strategies [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51(2): 216 - 225.
- [21] Su W, Lu J W, Wang W N, Li X K, Ren T, Cong R H. Influence of rice straw mulching on seed yield and nitrogen use efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) in intensive rice-oilseed rape cropping system [J]. *Field Crops Research*, 2014, 159(6): 53 - 61. doi: 10. 1016/j. fcr. 2014. 01. 007.
- [22] 严奉君, 孙永健, 马均, 徐徽, 李玥, 杨志远, 蒋明金, 吕腾飞. 秸秆覆盖与氮肥运筹对杂交稻根系生长及氮素利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 23 - 35. doi: 10. 11674/zwyf. 2015. 0103.
- Yan F J, Sun Y J, Ma J, Xu H, Li Y, Yang Z Y, Jiang M J, Lü T F. Effects of straw mulch and nitrogen management on root growth and nitrogen utilization characteristics of hybrid rice [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2015, 21(1): 23 - 35.
- [23] 陆强, 王继琛, 李静, 王磊, 张丽, 哈丽哈什·依巴提, 王秋君, 张坚超, 黄启为, 沈其荣. 秸秆还田与有机无机肥配施在稻麦轮作体系下对籽粒产量及氮素利用的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2014, 37(6): 66 - 74. doi: 10. 7685/j. issn. 1000-2030. 2014. 06. 010.
- Lu Q, Wang J C, Li J, Wang L, Zhang L, Halihashi · Y B T, Wang Q J, Zhang J C, Huang Q W, Shen Q R. Effect of straw returning and combined applications of organic fertilizer and inorganic fertilizer on grain yield and nitrogen utilization under rice-wheat rotation system [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2014, 37(6): 66 - 74.
- [24] 白伟, 张立祯, 逢焕成, 牛世伟, 蔡倩, 孙占祥, 安景文. 秸秆还田配施氮肥对春玉米水氮利用效率的影响 [J]. 华北农学报, 2018, 33(2): 224 - 231. doi: 10. 7668/hbxb. 2018. 02. 031.
- Bai W, Zhang L Z, Pang H C, Niu S W, Cai Q, Sun Z X, An J W. Effects of straw returning plus nitrogen fertilizer on water use efficiency and nitrogen use efficiency of spring maize in northeast China [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2018, 33(2): 224 - 231.
- [25] van Asten P J A, van Bodegom P M, Mulder L M, Kropff M J. Effect of straw application on rice yields and nutrient availability on an alkaline and a pH-neutral soil in a sahelian irrigation scheme [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2005, 72(3): 255 - 266. doi: 10. 1007/s10705-005-3108-z.
- [26] 李继福, 薛欣欣, 李小坤, 任涛, 邹家龙, 陈华东, 丛日环, 周鹏, 鲁剑巍. 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. doi: 10. 11674/zwyf. 14516.
- Li J F, Xue X X, Li X K, Ren T, Zou J L, Chen H D, Cong R H, Zhou L, Lu J W. Substituting effect of crop residues for potassium fertilizer in rice-rapeseed rotation system [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2016, 22(2): 317 - 325.
- [27] 张丹, 付斌, 胡万里, 翟丽梅, 刘宏斌, 陈安强, 盖霞普, 张亦涛, 刘剑, 王洪媛. 秸秆还田提高水稻-油菜轮作土壤固氮能力及作物产量 [J]. 农业工程学报, 2017, 33(9): 133 - 140. doi: 10. 11975/j. issn. 1002-6819. 2017. 09. 017.
- Zhang D, Fu B, Hu W L, Zhai L M, Liu H B, Chen A Q, Gai X P, Zhang Y T, Liu J, Wang H Y. Increasing soil nitrogen fixation capacity and crop yield of rice-rape rotation by straw returning [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(9): 133 - 140.
- [28] 苏伟, 鲁剑巍, 周广生, 李小坤, 李云春, 刘晓伟. 稻草还田对油菜生长、土壤温度及湿度的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2): 366 - 373. doi: 10. 11674/zwyf. 2011. 0287.
- Su W, Lu J W, Zhou G S, Li X K, Li Y C, Liu X W. Influence of straw-returning on rapeseed (*Brassica napus* L.) growth, soil temperature and moisture [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2011, 17(2): 366 - 373.