



## 内蒙古黄河灌区麦后复种油菜绿肥不同耕作模式下的适宜播种量

刘陈 王伟妮 廖世鹏 任涛 郭晨 许源源 于道海 刘俊梅 张豪强 孙霞 鲁剑巍

### Suitable sowing rate of green manure for replanting oilseed rape under different tillage patterns after wheat in the Yellow River tank farm area of Inner Mongolia

LIU Chen, WANG Weini, LIAO Shipeng, REN Tao, GUO Chen, XU Yuanyuan, YU Dao hai, LIU Jun mei, ZHANG Hao qiang, SUN Xia, LU Jian wei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0552>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 青贮玉米抽雄期后生物量积累和饲用品质的动态变化规律

Dynamic changes in biomass accumulation and forage quality of silage corn after tasseling stage

草业科学. 2022, 39(9): 1849 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0339>

#### 宁夏灌区不同牧草复种模式综合效益分析

Analysis of production performance and economic benefit of different forage multiple cropping modes in Ningxia irrigation area

草业科学. 2024, 41(10): 2458 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0262>

#### 基于DNDC模型长期复种翻压绿肥对土壤有机碳和小麦产量的模拟

Simulation of soil organic carbon and wheat yield by long-term multiple cropping and rolling green manure based on DNDC model

草业科学. 2024, 41(2): 332 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0395>

#### 土壤水分和种植密度对紫花苜蓿生物量分配的影响

Effects of soil water and planting density on biomass allocation of alfalfa

草业科学. 2024, 41(9): 2094 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2024-0060>

#### 不同年限川贝母生物量及异速生长

Study on the biomass and allometry of *Fritillaria cirrhosa* of different ages

草业科学. 2024, 41(1): 126 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0240>

#### 层次分析和灰色关联分析的青绿苔草无土草皮适宜播种量筛选

Selection of the suitable seeding rate of *Carex breviculmis* soilless turf based on the analytic hierarchy process and grey relational analysis

草业科学. 2023, 40(12): 3009 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0900>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0552

刘陈, 王伟妮, 廖世鹏, 任涛, 郭晨, 许源源, 于道海, 刘俊梅, 张豪强, 孙霞, 鲁剑巍. 内蒙古黄河灌区麦后复种油菜绿肥不同耕作模式下的适宜播种量. 草业科学, 2025, 42(3): 709-718.

LIU C, WANG W N, LIAO S P, REN T, GUO C, XU Y Y, YU D H, LIU J M, ZHANG H Q, SUN X, LU J W. Suitable sowing rate of green manure for replanting oilseed rape under different tillage patterns after wheat in the Yellow River tank farm area of Inner Mongolia. Pratacultural Science, 2025, 42(3): 709-718.

## 内蒙古黄河灌区麦后复种油菜绿肥 不同耕作模式下的适宜播种量

刘 陈<sup>1</sup>, 王伟妮<sup>2</sup>, 廖世鹏<sup>1</sup>, 任 涛<sup>1</sup>, 郭 晨<sup>3</sup>, 许源源<sup>1</sup>, 于道海<sup>1</sup>,  
刘俊梅<sup>2</sup>, 张豪强<sup>2</sup>, 孙 霞<sup>2</sup>, 鲁剑巍<sup>1</sup>

(1. 华中农业大学资源与环境学院 / 农业农村部长江中下游耕地保育重点实验室, 湖北 武汉 430070;

2. 鄂尔多斯市农牧业生态与资源保护中心, 内蒙古 鄂尔多斯 017010;

3. 内蒙古自治区农牧业科学院植物保护研究所, 内蒙古 呼和浩特 010031)

**摘要:** 为进一步明确麦后复种油菜 (*Brassica napus*) 绿肥适宜耕作方式和播种量参数, 在内蒙古达拉特旗开展田间试验, 在 3 种耕作模式 (秸秆移走翻耕、秸秆还田翻耕和秸秆移走免耕) 下设置了 7 个油菜绿肥播种量梯度 (7.50、11.25、15.00、18.75、22.50、26.25 和 30.00 kg·hm<sup>-2</sup>), 以油菜绿肥生物量和养分积累量为依据研究适宜的播种量。结果表明, 秸秆还田翻耕耕作模式下各播种量的平均干物质生物量达 8.92 t·hm<sup>-2</sup>, 较秸秆移走翻耕和秸秆移走免耕模式分别显著增加 26.5% 和 16.4% ( $P < 0.01$ )。播种量显著影响油菜绿肥的生物量和养分积累量 ( $P < 0.01$ ), 且在 3 种模式下表现为相似趋势。当播种量在 7.50~26.25 kg·hm<sup>-2</sup> 时, 油菜绿肥生物量随着播种量的增加而提高; 在播种量达到 26.25 kg·hm<sup>-2</sup> 时所有模式的油菜绿肥生物量均在 7 t·hm<sup>-2</sup> 以上; 当播种量高于 26.25 kg·hm<sup>-2</sup>, 油菜生物量无显著差异 ( $P > 0.05$ )。油菜绿肥碳、氮、磷和钾养分积累量随播种量的变化趋势与生物量基本一致。3 种耕作模式的适宜播种量略有不同, 根据油菜绿肥理论获得的最大生物量、养分归还量与播种量的拟合方程计算, 翻耕模式 (秸秆移走翻耕和秸秆还田翻耕) 适宜播种量为 24.39~28.36 kg·hm<sup>-2</sup>, 而秸秆移走免耕模式可以增加 20% 左右播种量, 适宜播种量为 30.03~37.84 kg·hm<sup>-2</sup>。

**关键词:** 沿黄灌区; 麦后复种; 油菜绿肥; 播种量; 生物量; 养分积累量

文献标识码: A 文章编号: 1001-0629(2025)03-0709-10

### Suitable sowing rate of green manure for replanting oilseed rape under different tillage patterns after wheat in the Yellow River tank farm area of Inner Mongolia

LIU Chen<sup>1</sup>, WANG Weini<sup>2</sup>, LIAO Shipeng<sup>1</sup>, REN Tao<sup>1</sup>, GUO Chen<sup>3</sup>, XU Yuanyuan<sup>1</sup>, YU Daohai<sup>1</sup>,  
LIU Junmei<sup>2</sup>, ZHANG Haoqiang<sup>2</sup>, SUN Xia<sup>2</sup>, LU Jianwei<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University / Key Laboratory of Arable Land Conservation (Middle and Lower Reaches of Yangtze River) in Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430070, Hubei, China;

2. Ordos Agricultural & Animal Husbandry Ecology and Resource Protection Center, Ordos 017010, Inner Mongolia, China;

3. Institute of Plant Protection, Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010031, Inner Mongolia, China)

收稿日期: 2023-10-16 接受日期: 2024-03-01

基金项目: 鄂尔多斯市“揭榜挂帅”项目“沿黄河流域农田污染防治与资源高效利用关键技术研究及示范”(JBGS-2021-001); 财政部和农业农村部项目“国家现代农业产业技术体系”(CARS-12)

第一作者: 刘陈 (2000-), 女, 湖北荆州人, 在读硕士生, 研究方向为作物养分管理。E-mail: liu\_chen@webmail.hzau.edu.cn

通信作者: 鲁剑巍 (1967-), 男, 湖北武穴人, 教授, 博导, 博士, 研究方向为作物养分管理。E-mail: lunm@mail.hzau.edu.cn

**Abstract:** To further clarify the suitable tillage patterns and sowing quantity parameters of rape green manure for multiple cropping after wheat, a field experiment was conducted in Dalad Banner, Inner Mongolia. Seven sowing quantity gradients (7.50, 11.25, 15.00, 18.75, 22.50, 26.25, and 30.00 kg·ha<sup>-1</sup>) were set under three tillage patterns (straw removal tillage, straw returning tillage, and straw removal no-tillage). The suitable sowing rate was studied based on the biomass and nutrient accumulation of rape green manure. Results showed that the average dry matter accumulation of each sowing amount under the straw returning tillage planting mode reached 8.92 t·ha<sup>-1</sup>, which significantly increased by 26.5% and 16.4% compared to the straw removal tillage and straw removal no tillage modes, respectively ( $P < 0.01$ ). The sowing amount significantly affects the biomass and nutrient accumulation of rapeseed green manure ( $P < 0.01$ ) and shows similar trends in the three modes. When the sowing amount ranges from 7.50 to 26.25 kg·ha<sup>-1</sup>, the biomass of rapeseed green manure increases with the increase of sowing amount. At 26.25 kg·ha<sup>-1</sup>, the biomass of rapeseed green manure in all modes can reach 7 t·ha<sup>-1</sup> or above. When the sowing rate exceeds 26.25 kg·ha<sup>-1</sup>, there is no significant difference in the biomass of rapeseed. The trend of the accumulation of carbon, nitrogen, phosphorus, and potassium nutrients in rapeseed green manure with the change of sowing amount is consistent with the biomass. The specific suitable sowing amounts for the three planting modes are slightly different. According to the fitting equation between the maximum biomass, nutrient return, and sowing amount obtained from the theory of rapeseed green manure, the suitable sowing amount range for the tillage mode (wheat straw removal and return) is 24.39~28.36 kg·ha<sup>-1</sup>. In contrast, the straw removal no tillage mode can increase the sowing amount by approximately 20%, with a suitable sowing amount range of 30.03 to 37.84 kg·ha<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Yellow River pumping irrigation region; multiple cropping after wheat; rape green manure; seeding rate; biomass; nutrient accumulation

**Corresponding author:** LU Jianwei E-mail: [lunm@mail.hzau.edu.cn](mailto:lunm@mail.hzau.edu.cn)

春小麦 (*Triticum aestivum*) 是我国内蒙古黄河灌区重要的粮食作物, 一般在 7 月中下旬收获。春小麦收获后到霜降前往往还有 2~3 个月秋闲时间, 因此在生产中春小麦种植区普遍存在“一季有余效益不高、两季不足下茬低效”的现象<sup>[1-2]</sup>。选择合适的作物进行复种能充分利用 7 月下旬到 10 月上、中旬光温资源, 提高土地利用率, 发挥秋闲田生产潜力。近年来, 春小麦收获后复种逐渐形成粮菜型 (小麦—蔬菜)、粮饲型 (小麦—青贮饲料)、粮油型 (小麦—油菜) 3 类主要复种模式<sup>[3-6]</sup>。3 类复种模式在生产中都有一定的应用面积, 但规模不大。

目前引黄灌区春小麦种植区生产过程中存在种植结构较为单一、化肥施用过量、有机肥施用不足和土壤连年耕作等问题, 导致土壤肥力下降、肥料利用率降低和生态环境压力增加等; 同时沿黄灌区长期采用大水洗盐的灌溉方式, 春季返盐现象严重, 加剧了土壤的盐渍化程度<sup>[7-8]</sup>。为实现减肥增效和农业可持续绿色发展, 将绿肥作物纳入小麦轮作体系<sup>[9]</sup>既能够充分利用当季的气候资源, 提高土地复种指数、增加绿色植被覆盖率、减少土壤侵蚀程度和水土流失、缓解土壤盐碱化, 又能替代部分化

肥施用、提高肥料利用率、改善土壤理化性状和培肥土壤等<sup>[10-12]</sup>。油菜 (*Brassica napus*) 是我国重要的油料作物, 同时也是一种适应性较广的优质绿肥, 与紫云英 (*Astragalus sinicus*) 和毛叶苕子 (*Vicia villosa*) 等传统绿肥作物相比, 油菜作绿肥具有种子成本低、容易获得, 种植和管理技术简单, 适应性和抗逆性较强, 生物量大, 养分含量高等优势<sup>[13-14]</sup>。

播种量是决定绿肥作物产量和养分积累量的关键因素之一, 适宜的播种量范围有助于调控作物群体发育质量、控制群体竞争力、构建高产群体, 从而实现绿肥的高效生产<sup>[15-17]</sup>。播种量过少会导致生物量偏低, 达不到绿肥还田以小肥养大肥的目的, 播种量过多, 因植株群体过大而抑制生长<sup>[18-20]</sup>, 因此探究油菜绿肥适宜的播种量是合理种植与利用的必要前提。此外, 麦后复种油菜绿肥当季没有直接的经济效益, 减少种植环节中整地次数是节省成本和实现轻简化的有效途径<sup>[21]</sup>。卢涌<sup>[22]</sup>和魏子奇<sup>[23]</sup>在麦后复种油菜绿肥的试验结果均表明适当增加播种量会促进油菜生物量和养分积累, 但两者均在单一耕作模式 (秸秆移走留茬翻耕) 下研究油菜绿肥适宜播种量, 有关秸秆还田以及免耕模式下的研究

相对较少。因此本试验通过研究不同耕作模式下不同油菜播种量对麦后复种油菜绿肥生物量、养分含量及养分积累量的影响,以期确定麦后复种油菜绿肥适宜耕作模式和播种量,从而为油菜绿肥的推广和应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试油菜品种为华中农业大学选育的‘华油杂 62’,该品种适应范围广,除在南方可作冬季油料作物外,在北方夏秋播适合作饲料和绿肥,具有生育期适中、生物量大、耐盐碱等特点<sup>[13,24]</sup>。

供试肥料为尿素(N 46%)和磷酸二铵(N 18%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%)。

1.2 试验点概况

本试验于 2022 年 7 月—10 月在内蒙古自治区鄂尔多斯市达拉特旗东海新村(40°28'20" N, 109°55'04" E)进行,位于沿黄河灌区,属典型的温带大陆性气候,干燥少雨,日照充足,年均日照时数约 3000 h。试验田前茬作物均为小麦,供试土壤为潮土,基础理化性质如表 1 所列,试验田土壤偏碱,有机质、全氮和速效磷含量均处于低水平;试验期间,试验点月平均气温为 17.3~24.1 ℃,降水量约 178.0 mm。

1.3 试验设计

试验采取裂区设计,主处理设置 3 种不同耕作模式,分别为秸秆移走翻耕、秸秆还田翻耕以及秸秆移走免耕,副处理设置 7 个不同的油菜播种量,分别为 7.50、11.25、15.00、18.75、22.50、26.25 和 30.00 kg·hm<sup>-2</sup>,每个处理 3 次重复,小区面积为 20 m<sup>2</sup>。小麦于 2022 年 7 月 17 日收获,油菜于 7 月 22 日撒播

播种,施肥随播种同时进行,施肥量均为 N 27.3 kg·hm<sup>-2</sup>和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 34.5 kg·hm<sup>-2</sup>(施肥量设置根据当地土壤养分状况以及已有的油菜绿肥试验<sup>[22]</sup>,如习惯上施用尿素和磷酸二铵,不施用钾肥),油菜播种时灌水量为 600 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>,生育期内无灌水,10 月 20 日进行油菜取样及测产。除整地环节和播种量外,不同模式间其他田间管理均相同,秸秆移走翻耕、秸秆还田翻耕和秸秆移走免耕模式整地成本分别为 2775、1950 和 825 元·hm<sup>-2</sup>。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 土壤样品测定

油菜播种前,在试验田内采用“S”形均匀布点 10 个,取 0—20 cm 耕层土壤样品,在室温下风干磨细,先后过 0.850 和 0.150 mm 筛备用,进行理化性质分析。pH 用水土比 2.5 : 1、电位法测定,有机质和土壤全氮含量用元素分析仪测定,速效磷含量用 0.5 mol·L<sup>-1</sup> NaHCO<sub>3</sub> 浸提—钼锑抗比色法测定,速效钾含量用 1 mol·L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>OAc 浸提—火焰光度法测定。

1.4.2 植株取样与收获

取样及样品处理:收获前一天在各小区选取有代表性的样方 1 个,面积为 0.25 m<sup>2</sup> (0.5 m × 0.5 m),收获地上部所有植株,称量鲜样质量,随后将样品置于鼓风式干燥箱,在 105 ℃ 条件下杀青 30 min,然后在 60 ℃ 条件下恒温干燥至恒重,称量干物质重量。干燥样品制样后保存留作养分测定。

收获:各小区全区收获地上部所有植株,称量鲜样品质量,根据各小区样方的含水率换算成干物质生物量,油菜生物量以干物质生物量为计。

1.4.3 植物养分测定

植物样品采用碳氮分析仪测定全碳含量;样品经 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮,流动注射分析仪测定氮、磷含量;火焰光度计法测定钾含量。

表 1 试验土壤基础理化性质  
Table 1 Chemical properties of basis soil of each experimental site

| 耕作模式<br>Tillage pattern            | pH   | 有机质<br>Organic matter/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 全氮<br>Total N/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 速效磷<br>Available P/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 速效钾<br>Available K/(mg·kg <sup>-1</sup> ) |
|------------------------------------|------|---------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 秸秆移走翻耕<br>Straw removal tillage    | 8.49 | 8.22                                        | 0.42                                | 10.27                                     | 158.8                                     |
| 秸秆还田翻耕<br>Straw returning tillage  | 8.32 | 12.36                                       | 0.61                                | 11.51                                     | 162.5                                     |
| 秸秆移走免耕<br>Straw removal no-tillage | 8.85 | 11.10                                       | 0.54                                | 9.08                                      | 163.7                                     |

1.5 数据处理

试验数据采用 Excel 2016 软件进行计算处理,采用 SPSS 软件对不同耕作模式和播种量下油菜生物量、收获密度及养分积累量进行双因素方差分析,并基于 Duncan 法对同一耕作模式下不同播种量油菜差异进行多重比较。

2 结果与分析

方差分析结果(表 2)显示,耕作模式和播种量对油菜生物量、收获密度和养分积累量均有极显著影响( $P < 0.01$ )。

2.1 不同耕作模式下播种量对油菜生物量的影响

秸秆还田翻耕模式下各播种量处理的油菜生物量平均为  $8.92\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,分别较秸秆移走翻耕和秸秆移走免耕模式提高 26.5% 和 16.4%。同一耕作模式下,播种量与油菜生物量呈现极显著一元二次函数关系( $P < 0.01$ ),在播种量为  $7.5\sim 26.25\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时,油菜绿肥生物量随着播种量的增加而提高,播种量达到  $30\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时与播种量为  $26.25\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时油菜生物量水平无显著差异(图 1)。秸秆移走翻耕模式下,在播种量为  $26.25\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时,油菜生物量可以达到  $8.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,较前 5 个播种量处理分别增加 52.62%、29.57%、13.14%、9.40% 和 4.28%,较播种量  $30.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时增加 1.57%;秸秆还田翻耕和秸秆移走免耕模式下,在播种量为  $26.25\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时,油菜生物量分别为  $9.88$  和  $8.66\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,均高于其他 6 个播种量处理。根据各拟合方程计算出秸秆移走翻耕、秸秆还田翻耕和秸秆移走免耕模式达到油菜理论最大生物量时所对应的播种量分别为 28.39、

25.56 和  $33.54\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,理论最大生物量分别为  $7.91$ 、 $9.74$  和  $8.78\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

秸秆移走免耕模式油菜收获密度平均为 77 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ ,较秸秆移走翻耕和秸秆还田翻耕模式分别下降 9.4% 和 11.5%。播种量显著影响油菜绿肥的收获密度( $P < 0.01$ ),随着播种量的增加,收获密度整体也呈现上升趋势(表 3),当播种量达到  $22.50\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时,油菜绿肥收获密度达到 88 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

2.2 不同耕作模式下播种量对油菜养分积累量的影响

秸秆还田翻耕模式下油菜 C、N、 $\text{P}_2\text{O}_5$  和  $\text{K}_2\text{O}$  养分积累量分别为 3096、237、56 和  $330\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,较秸秆移走翻耕模式平均增加 20.10%、24.29%、27.75% 和 27.18%,较秸秆移走免耕模式平均增加 22.67%、13.35%、20.08% 和 16.51%;秸秆移走翻耕和秸秆移走免耕模式下油菜整体上 C、 $\text{P}_2\text{O}_5$  积累量无显著差异( $P > 0.05$ ),平均为 2500 和  $43\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

同一耕作模式下不同播种量对油菜各养分积累量存在明显影响(图 2)。不同耕作模式下,随着播种量的增加,油菜各养分均在播种量为 22.50 或  $26.25\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时达到最大积累量,此后随着播种量的增加各养分积累量呈现略下降或趋于稳定的趋势。根据拟合方程,秸秆移走翻耕模式下,油菜 C、N、 $\text{P}_2\text{O}_5$  和  $\text{K}_2\text{O}$  养分积累量达到理论最高时所对应的播种量分别为 27.60、27.54、23.00 和  $27.28\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,理论最高养分积累量分别为 2895、208.32、45.26 和  $289.20\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ;秸秆还田翻耕模式下,油菜达到各养分积累量理论最高时所对应的播种量分别为 27.10、24.39、27.88 和  $27.62\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,秸秆移走免耕模式下,所对应的播种量分别为 37.84、30.03、25.27 和

表 2 耕作模式、播种量及其交互作用对油菜生物量、收获密度以及各养分积累量影响的方差分析(F)  
Table 2 Analysis of variance on the effects of tillage patterns, sowing rates, and their interactions on biomass, harvest density, and nutrient accumulation of rapeseed (F)

| 变异来源<br>Variation source                 | 生物量<br>Biomass     | 收获密度<br>Harvest density | 碳积累量<br>C accumulation | 氮积累量<br>N accumulation | 磷积累量<br>$\text{P}_2\text{O}_5$ accumulation | 钾积累量<br>$\text{K}_2\text{O}$ accumulation |
|------------------------------------------|--------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 耕作模式<br>Tillage pattern                  | 119.53**           | 40.99**                 | 108.08**               | 78.60**                | 51.58**                                     | 118.50**                                  |
| 播种量<br>Seeding rate                      | 48.52**            | 159.08**                | 56.94**                | 23.43**                | 4.82**                                      | 39.65**                                   |
| 耕作模式×播种量<br>Tillage pattern×seeding rate | 0.61 <sup>ns</sup> | 8.00**                  | 0.75 <sup>ns</sup>     | 0.38 <sup>ns</sup>     | 0.57 <sup>ns</sup>                          | 0.57 <sup>ns</sup>                        |

ns表示无显著影响; \*表示0.05水平影响显著; \*\*表示0.01水平影响显著。  
ns indicates no significant impact; \* indicates significant impact at the 0.05 level; \*\* indicates significant impact at the 0.01 level.

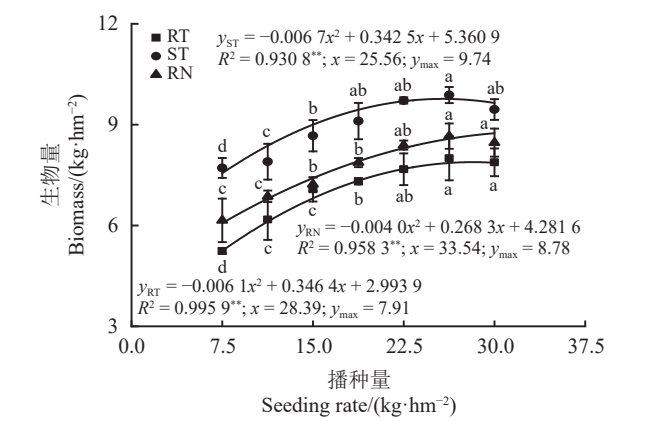


图 1 3 种耕作模式下不同播种量对油菜生物量的影响

Figure 1 Effects of different seeding rates on rape biomass under three tillage patterns

RT: 秸秆移走翻耕模式; ST: 秸秆还田翻耕模式; RN: 秸秆移走免耕模式。\*\*表示相关性极显著 ( $P < 0.01$ ), \*表示相关性显著 ( $P < 0.05$ ), ns 表示相关性不显著。下图同。

RT indicates straw removal tillage pattern, ST indicates straw returning tillage pattern, RN indicates straw removal no-tillage pattern. \*\* indicates extremely significant correlation at the 0.01 level, \* indicates significant correlation at the 0.05 level, ns indicates non-significant correlation. This is applicable for the following figures as well.

33.76 kg·hm<sup>-2</sup>。

2.3 不同耕作模式下油菜适宜播种量范围

油菜作绿肥还田, 生物量和养分积累量尤为重要。不同耕作模式下达到生物量、C、N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 养分积累量理论最大值时的播种量存在差异 (表 4), 为了获得更高的油菜绿肥还田生物量和 C、N 积累量, 秸秆移走免耕模式油菜较翻耕模式所需播种量

更大, 适宜播种量为 30.03~37.84 kg·hm<sup>-2</sup>; 两种翻耕模式获得最大养分还田量时播种量差异不明显, 适宜播种量为 24.39~28.36 kg·hm<sup>-2</sup>。

3 讨论

内蒙古黄河灌区春小麦收获后选择复种油菜绿肥是提高光温资源利用效率和培肥土壤的重要耕作模式, 本研究条件下麦后复种油菜干物质质量在 5.24~9.88 t·hm<sup>-2</sup>, 因此进一步探讨麦后复种油菜绿肥关键技术参数是必要的。

3.1 耕作模式对麦后复种油菜绿肥的影响

本研究条件下耕作模式显著影响油菜绿肥生物量和养分积累量。秸秆还田翻耕模式较秸秆移走翻耕和免耕两种模式油菜生物量平均提升 26.5% 和 16.4%, 平均可以达到 8.92 t·hm<sup>-2</sup>, 各养分积累量也显著高于其他模式。这与前人<sup>[25]</sup> 研究结果一致, 秸秆还田可以促进油菜生长和养分吸收。小麦秸秆含有氮、磷和钾等营养元素, 以及纤维素、蛋白质和碳水化合物等有机化合物, 化肥与秸秆联合施用是维持土壤健康的有效措施, 使有机养分资源得到合理利用, 通过增加土壤养分、提高土壤有机质含量、改善土壤结构和保水性以及增加有益微生物等方式, 从而提高土壤肥力和作物产量<sup>[26-27]</sup>。此外, 秸秆移走免耕模式收获密度较秸秆移走翻耕模式下降约 8.2%, 但其生物量和碳积累量与秸秆移走翻耕模式间不存在显著差异 ( $P > 0.05$ ), 分别在 7 t·hm<sup>-2</sup> 和 3 096 kg·hm<sup>-2</sup>

表 3 不同耕作模式下播种量对油菜收获密度的影响

Table 3 Effects of different sowing rates on nutrient content of rape under different tillage patterns

| 播种量<br>Seeding rate/(kg·hm <sup>-2</sup> ) | × 10 <sup>4</sup> plant·hm <sup>-2</sup>  |                                             |                                              |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                                            | 秸秆移走翻耕模式<br>Straw removal tillage pattern | 秸秆还田翻耕模式<br>Straw returning tillage pattern | 秸秆移走免耕模式<br>Straw removal no-tillage pattern |
| 7.50                                       | 62.0 ± 2.6d                               | 68.3 ± 3.5c                                 | 56.3 ± 2.8d                                  |
| 11.25                                      | 78.8 ± 2.6c                               | 78.0 ± 3.1b                                 | 68.0 ± 3.6c                                  |
| 15.00                                      | 83.7 ± 2.1c                               | 86.3 ± 4.0b                                 | 72.8 ± 3.6c                                  |
| 18.75                                      | 88.1 ± 2.8bc                              | 92.3 ± 2.5a                                 | 78.0 ± 3.4b                                  |
| 22.50                                      | 91.0 ± 1.0ab                              | 94.0 ± 4.4a                                 | 86.7 ± 4.4a                                  |
| 26.25                                      | 94.7 ± 2.4a                               | 95.5 ± 2.6a                                 | 88.2 ± 2.6a                                  |
| 30.00                                      | 95.3 ± 3.2a                               | 94.3 ± 3.1a                                 | 89.0 ± 3.6a                                  |

同列不同小写字母表示同一模式下不同播种量处理间差异显著 ( $P < 0.01$ )。

Different lowercase letters within the same column indicate significant differences between different seeding rate treatments with the same tillage mode at the 0.01 level.

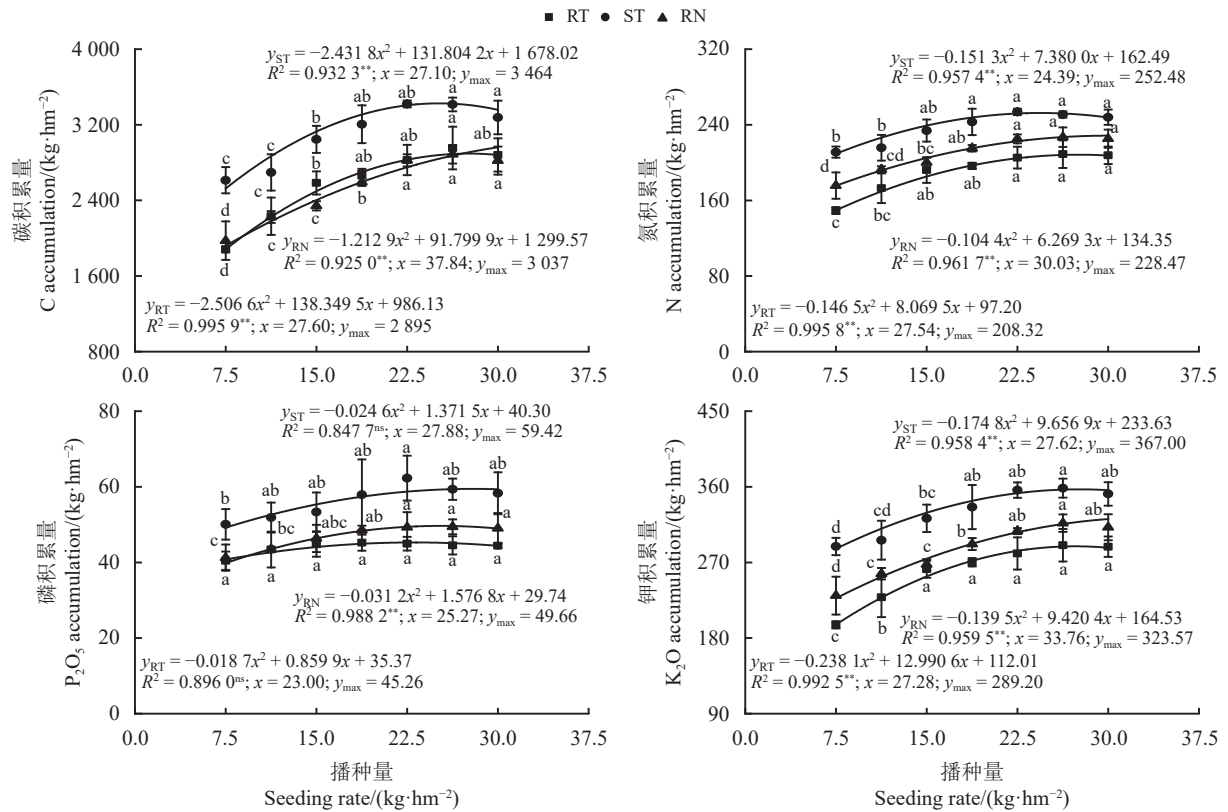


图 2 3 种耕作模式下不同播种量对油菜养分积累量的影响  
Figure 2 Effects of different seeding rates on rape nutrient accumulation under three tillage patterns

表 4 不同耕作模式下油菜生物量和养分积累量达到理论最大值时对应的播种量  
Table 4 The seeding rates corresponding to the theoretical maximum values of biomass and nutrient accumulation in rape under different tillage patterns

| 耕作模式<br>Tillage pattern            | 生物量<br>Biomass | kg·hm <sup>-2</sup> |       |                               |                  |
|------------------------------------|----------------|---------------------|-------|-------------------------------|------------------|
|                                    |                | C                   | N     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| 秸秆移走翻耕<br>Straw removal tillage    | 28.36          | 27.60               | 27.54 | 23.00                         | 27.28            |
| 秸秆还田翻耕<br>Straw returning tillage  | 25.56          | 27.10               | 24.39 | 27.88                         | 27.62            |
| 秸秆移走免耕<br>Straw removal no-tillage | 33.54          | 37.84               | 30.03 | 25.27                         | 33.76            |

左右。虽然免耕模式对油菜的收获密度有一定的抑制作用,但能促进油菜个体生长发育<sup>[28-29]</sup>,因此本研究在秸秆不还田条件下,翻耕和免耕模式下油菜总干物质积累量和养分积累量差异不大。而油菜作绿肥当季没有直接收入,因此减少整地次数是有效节省成本的方式之一<sup>[21]</sup>。秸秆移走免耕复种油菜减少了翻地整地步骤,机械成本为 825 元·hm<sup>-2</sup>,相较于秸秆移走翻耕和秸秆还田翻耕模式,分别节省 70% 和 58% 机械支出;秸秆还田翻耕模式中减少了麦秸打捆移走的成本,提高了秸秆就地利用率。此外,针对

秸秆移走免耕模式,可以探索秸秆全量还田免耕飞播模式<sup>[30]</sup>,在保证一定油菜生物量水平下进一步降低秸秆离田和整地投入。

3.2 播种量对麦后复种油菜绿肥的影响

播种量的选择对作物农艺性状、养分吸收以及产量具有显著影响,合理的播种量能够构建更高效的生产群体,充分利用光温资源,使作物在相同肥料投入条件下获得更高的产量<sup>[14, 17]</sup>。大量研究表明,作物生物量在一定播种量范围内随着播种量的增加而增加,但播种量持续增加作物生物量会趋于稳

定,甚至造成减产<sup>[19-20, 31]</sup>。与前人针对油菜绿肥播种量研究规律基本一致<sup>[22-23, 32]</sup>,本研究条件下当播种量在 $7.50\sim 26.25\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,油菜生物量随播种量增加而提高,播种量为 $26.25\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,不同耕作模式下油菜生物量均在 $7\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 以上,播种量大于 $26.25\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,油菜生物量呈下降或趋于稳定的趋势。

油菜作绿肥翻压还田,养分积累量极为重要。本研究中随着播种量的增加,各养分积累量均呈现先上升后稳定或下降的趋势,与生物量变化趋势大体一致。油菜翻压还田可以提供 $1800\sim 3400\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\text{ C}$ 和 $190\sim 350\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\text{ K}_2\text{O}$ ,本研究中施肥投入养分量为 $27.3\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\text{ N}$ 和 $34.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\text{ P}_2\text{O}_5$ ,油菜氮积累量可以达到投入量的 $5\sim 10$ 倍,与钾积累量相当,但磷积累量与投入量相差不大,可以达到磷投入的 $1.2\sim 1.8$ 倍,这与已有晚播油菜<sup>[33]</sup>和旱地油菜<sup>[20]</sup>绿肥养分积累量研究结果相符合。整体上在试验土壤肥力和施肥量水平下种植油菜绿肥可以补充农田碳源,活化归还土壤氮素,达到以小肥换大肥的目的。综合考虑油菜绿肥养分归还量,根据二次函数拟合方程确定麦后复种油菜绿肥适宜播种量,两种翻耕模式获得最大养分还田量时播种量差异不显著,适宜播种量为 $24.39\sim 28.36\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,秸秆移走免耕模式适宜播种量为 $30.03\sim 37.84\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。与秸秆还田翻耕模式相比,秸秆移走免耕模式油菜生物量和各养分积累量不存在显著差异,但达到最大理论产量所需播种量更大,这可能与油菜根系难下扎和肥料表撒施损失有关<sup>[34]</sup>。

### 3.3 麦后复种油菜用途

麦后复种油菜用途广泛,综合效益高,对于调

整耕作结构、促进稳粮增效具有巨大潜力<sup>[35]</sup>。一方面油菜作绿肥翻压还田,养分含量高,在减少土壤水土流失的同时,能替代部分化肥施用、提高肥料利用率、改善土壤理化性状。但油菜作绿肥当季没有直接经济收入,需要进一步评估油菜绿肥还田对土壤质量提升效果和可替代后茬小麦化肥量的效果。另一方面,麦后复种油菜饲草生物量大且饲用价值高<sup>[36-37]</sup>,既能解决禽畜冬春季饲料不足的问题,而且能显著改善种植小麦收益较低的问题,增加农民的收入。此外麦后复种油菜用于翻压绿肥或地上部收获作饲草、高留茬部分作绿肥,可增加土壤有机质含量,起到减肥增效培肥的作用。因此在研究麦后复种油菜适宜耕作栽培技术的同时,完善和发展肥饲兼用综合利用模式具有重要意义。

## 4 结论

1) 耕作模式显著影响麦后复种油菜绿肥生物量和养分积累量,秸秆还田翻耕模式提高了秸秆就地利用率促进油菜生长,油菜生物量和各养分积累量均显著高于其他两种秸秆移走模式,因此如果小麦秸秆没有其他综合利用途径建议秸秆还田。此外,秸秆移走免耕模式减少了整地步骤,且生物量和养分积累量与秸秆移走翻耕模式没有显著差异,因此推荐免耕播种,节省生产成本。

2) 播种量显著影响麦后复种油菜绿肥生物量和养分积累量,根据最大生物量和最大养分积累量拟合方程确定麦后复种油菜绿肥适宜播种量,两种翻耕模式(小麦秸秆移走和还田)获得最大养分还田量时播种量差异不显著,适宜播种量为 $24.39\sim 28.36\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,秸秆移走免耕模式较翻耕增加 $20\%$ 左右的播种量,适宜播种量为 $30.03\sim 37.84\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

## 参考文献 References:

- [1] 韩一军, 韩亭辉. “十四五”时期我国小麦增产潜力分析与实现路径. 农业经济问题, 2021(7): 38-46.  
HAN Y J, HAN T H. Analysis of China's wheat yield-increasing potential during the 14th Five-Year Plan period and its realization path. Agricultural Economic Issues, 2021(7): 38-46.
- [2] 贾立国, 郝云凤, 冯君伟, 李晓红, 苏亚拉其其格, 王斌, 樊明寿. 河套灌区春小麦化肥减施增效技术及其生理基础研究. 土壤通报, 2020, 51(6): 1416-1421.  
JIA L G, HAO Y F, FENG J W, LI X H, Suyalaqiige, WANG B, FAN M S. Study on the technology of reducing fertilizer application and increasing efficiency of spring wheat in Hetao irrigation area and its physiological basis. Chinese Journal of Soil Science, 2020, 51(6): 1416-1421.

- [3] 张思奇. 宁夏引黄灌区麦后复种模式的生产力、效益与价值链研究. 咸阳: 西北农林科技大学硕士学位论文, 2022.  
ZHANG S Q. Study on productivity, benefit and value chain of multiple cropping mode after wheat in Ningxia Yellow River irrigation area. Master Thesis. Xianyang: Northwest A & F University, 2022.
- [4] 孔庆全, 赵存虎, 贺小勇, 陈文晋, 田晓燕, 张自强, 郭晓晴. 麦后复种鲜食菜豆农艺性状及效益分析. *北方农业学报*, 2020, 48(5): 17-20.  
KONG Q Q, ZHAO C H, HE X Y, CHEN W J, TIAN X Y, ZHANG Z Q, GUO X Q. Agronomic characteristics and benefit analysis of multiple cropping fresh kidney beans after wheat. *Journal of Northern Agriculture*, 2020, 48(5): 17-20.
- [5] 张俊丽, 施安, 梁小军, 李聚才. 宁夏引黄灌区麦后复种高丹草、饲用高粱、青贮玉米营养及饲用价值评定. *饲料研究*, 2021, 44(4): 83-87.  
ZHANG J L, SHI A, LIANG X J, LI J C. Nutrition and feeding value evaluation of sorghum, forage sorghum and silage corn after wheat in Ningxia Yellow River Irrigation Area. *Feed Research*, 2021, 44(4): 83-87.
- [6] 邹超煜, 白岗栓, 杜社妮. 河套地区春小麦向日葵复种对土壤盐分及农田生产力的影响. *中国农业大学学报*, 2017, 22(6): 1-10.  
ZOU C Y, BAI G S, DU S N. Effects of multiple cropping of spring wheat and sunflower on soil salinity and farmland productivity in Hetao Area. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(6): 1-10.
- [7] 李争争, 屈忠义, 杨威, 王丽萍, 高晓瑜, 陈蒙. 暗管排水对鄂尔多斯地区重度盐碱地盐分迁移规律的影响. *灌溉排水学报*, 2021, 40(7): 122-129.  
LI Z Z, QU Z Y, YANG W, WANG L P, GAO X Y, CHEN M. Influence of pipe drainage on salt migration in severe saline-alkali land in Ordos Region. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2021, 40(7): 122-129.
- [8] 付同刚, 蒋莞艳, 刘鹏, 高会, 梁红柱, 韩立朴, 刘金铜. 内蒙古河套灌区盐碱地治理中农户参与意识及其影响因素. *中国生态农业学*, 2021, 29(4): 625-632.  
FU T G, JIANG G Y, LIU P, GAO H, LIANG H Z, HAN L P, LIU J T. Awareness of farmers' participation in saline-alkali land management in Hetao irrigation area of Inner Mongolia and its influencing factors. *China Ecological Agriculture*, 2021, 29(4): 625-632.
- [9] 李忠义, 唐红琴, 韦彩会, 蒙炎成, 董文斌, 何铁光. 乡村振兴战略下绿肥产业持续发展的 SWOT 分析与路径研究: 以广西壮族自治区为例. *中国农业资源与区划*, 2021, 42(7): 165-174.  
LI Z Y, TANG H Q, WEI C H, MENG Y C, DONG W B, HE T G. SWOT analysis and path research on sustainable development of green manure industry under the strategy of rural revitalization: Taking Guangxi Zhuang Autonomous Region as an example. *China Agricultural Resources and Zoning*, 2021, 42(7): 165-174.
- [10] 张磊, 徐昌旭, 刘佳, 李顺, 高嵩涓, 曹卫东. 减施 20% 化肥下绿肥翻压量对江西双季稻产量及氮素利用的影响. *植物营养与肥料学报*, 2022, 28(5): 845-856.  
ZHANG L, XU C X, LIU J, LI S, GAO S J, CAO W D. Effect of doubling green manure on yield and nitrogen utilization of double-cropping rice in Jiangxi Province under 20% fertilizer reduction. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2022, 28(5): 845-856.
- [11] 李可心, 王光美, 张晓冬, 张海波, 石一鸣, 季增诚, 周志勇. 毛叶苕子对滨海盐碱地土壤活性有机碳和后茬玉米产量的影响. *中国生态农业学报*, 2023, 31(3): 405-416.  
LI K X, WANG G M, ZHANG X D, ZHANG H B, SHI Y M, JI Z C, ZHOU Z Y. Effects of *Dryopteris pubescens* on soil active organic carbon and maize yield in coastal saline-alkali land. *Chinese Journal of Ecological Agriculture*, 2023, 31(3): 405-416.
- [12] NAZ A, REBI A, NAZ R, AKBAR M U, ASLAM A, KALSOM A, NIAZ A, AHMAD M I, NAWAZ S, KAUSAR R, ALI B, SALEEM M H, ZHOU J X. Impact of green manuring on health of low fertility calcareous soils. *Land*, 2023, 12(3): 546.
- [13] 傅廷栋, 梁华东, 周广生. 油菜绿肥在现代农业中的优势及发展建议. *中国农技推广*, 2012, 28(8): 37-39.  
FU T D, LIANG H D, ZHOU G S. Advantages and development suggestions of rape green manure in modern agriculture. *China Agricultural Technology Extension*, 2012, 28(8): 37-39.
- [14] 顾炽明, 李银水, 谢立华, 胡小加, 廖星, 秦璐. 浅析油菜作为绿肥的应用优势. *中国土壤与肥料*, 2019(1): 180-183.  
GU C M, LI Y S, XIE L H, HU X J, LIAO X, QIN L. Analysis on the application advantages of rape as green manure. *Soil and Fertilizer Science in China*, 2019(1): 180-183.
- [15] 周琦, 李岚涛, 张露露, 苗玉红, 王宜伦. 氮肥和播种量互作对冬小麦产量、生长发育和生态场特性的影响. *作物学报*, 2023,

- 49(11): 3100-3109.
- ZHOU Q, LI L T, ZHANG L L, MIAO Y H, WANG Y L. Effects of interaction between nitrogen fertilizer and sowing amount on winter wheat yield, growth and development, and ecological field characteristics. *Acta Agronomica Sinica*, 2023, 49(11): 3100-3109.
- [16] MCGLINCH G J, LINDESEY L E. Seeding rate effect on winter malting barley yield and quality. *Agronomy Journal*, 2022, 114(5): 2936-2946.
- [17] KHANAL R, MILLS A, CHOO T M, FILLMORE S, PAGEAU D, MOUNTAIN N. Optimum seeding rates for hulless barley production in eastern Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, 2022, 102(6): 1177-1184.
- [18] 周影, 魏启舜, 管永祥, 陈震, 王琳, 郭成宝, 文蔚明. 播种量对晚播紫云英生长及养分积累的效应. *土壤*, 2020, 52(3): 482-486.
- ZHOU Y, WEI Q S, GUAN Y X, CHEN Z, WANG L, GUO C B, WEN W M. Effects of different sowing rates on growth and nutrient accumulation of later-sown Chinese milk vetch. *Soils*, 2020, 52(3): 482-486.
- [19] MURRELL E G, SCHIPANSKI M E, FINNEY D M, HUNTER M C, BURGESS M, LACHANCE J C, BARAIBAR B, WHITE C M, MORTENSEN D A, KAYE J P. Achieving diverse cover crop mixtures: Effects of planting date and seeding rate. *Agronomy Journal*, 2017, 109(1): 259-271.
- [20] 陈晓芬, 张路平, 秦文婧, 陈静蕊, 徐样庚, 刘明, 刘佳. 红壤旱地上4种冬绿肥适宜播种量研究. *草业学报*, 2021, 30(10): 137-146.
- CHEN X F, ZHANG L P, QIN W J, CHEN Q R, XU Y G, LIU M, LIU J. Study on the suitable sowing amount of four winter green manures on red upland soil. *Acta Prataculturae Sinica*, 2021, 30(10): 137-146.
- [21] 周玮峰, 鲁剑巍, 程应德, 鲁明星, 任涛, 李小坤, 周志华. 油菜谷林飞播秸秆全量还田种植模式技术要点. *中国农技推广*, 2019, 35(S1): 46-48.
- ZHOU W F, LU J W, CHENG Y D, LU M X, REN T, LI X K, ZHOU Z H. Technical points of planting mode of returning rapeseed straw to field by air in valley forest. *China Agricultural Technology Extension*, 2019, 35(S1): 46-48.
- [22] 卢涌. 河套灌区麦后复种绿肥油菜关键技术参数研究. 武汉: 华中农业大学硕士学位论文, 2021.
- LU Y. Study on key technical parameters of multiple cropping green manure rape after wheat in Hetao irrigation area. Master Thesis. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2021.
- [23] 魏子奇. 施氮量与播种量对麦后复种饲料(绿肥)油菜产量及品质的影响. 银川: 宁夏大学硕士学位论文, 2019.
- WEI Z Q. Effects of nitrogen application rate and sowing rate on the yield and quality of rape in multiple cropping feed (green manure) after wheat. Master Thesis. Yinchuan: Ningxia University, 2019.
- [24] 汪波, 文静, 张风华, 李立军, 来永才, 任长忠, 鲁剑巍, 沈金雄, 郭亮, 周广生, 傅廷栋. 耐盐碱油菜品种选育及修复利用盐碱地研究进展. *科技导报*, 2021, 39(23): 59-64.
- WANG B, WEN J, ZHANG F H, LI L J, LAI Y C, REN C Z, LU J W, SHEN J X, GUO L, ZHOU G S, FU T D. Research progress of salt-tolerant rapeseed variety breeding and saline-alkali land restoration and utilization. *Science and Technology Herald*, 2021, 39(23): 59-64.
- [25] LIU B, XIA H, JIANG C C, RIAZ M, YANG L, CHEN Y F, FAN X P, XIA X G. 14 year applications of chemical fertilizers and crop straw effects on soil labile organic carbon fractions, enzyme activities and microbial community in rice-wheat rotation of middle China. *Science of the Total Environment*, 2022, 841: 156608.
- [26] 宋大利, 侯胜鹏, 王秀斌, 梁国庆, 周卫. 中国秸秆养分资源数量及替代化肥潜力. *植物营养与肥料学报*, 2018, 24(1): 1-21.
- SONG D L, HOU S P, WANG S B, LIANG G Q, ZHOU W. The quantity of straw nutrient resources in China and their potential for replacing chemical fertilizers. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2018, 24(1): 1-21.
- [27] 侯素素, 董心怡, 戴志刚, 巩细民, 徐志宇, 薛颖昊, 鲁剑巍. 基于田间试验的秸秆还田化肥替减潜力综合分析. *农业工程学报*, 2023, 39(5): 70-78.
- HOU S S, DONG X Y, DAI Z G, GONG X M, XU Z Y, XUE Y H, LU J W. Comprehensive analysis of chemical fertilizer substitution potential based on field experiments. *Journal of Agricultural Engineering*, 2023, 39(5): 70-78.
- [28] 鲁悦, 鲍雪莲, 霍海南, 杨雅丽, 赵月, 解宏图, 何红波. 免耕条件下不同量秸秆覆盖还田提高东北黑土玉米光合性能和产量的效应. *植物营养与肥料学报*, 2023, 29(5): 840-847.
- LU Y, BAO X L, HUO H N, YANG Y Y, ZHAO Y, XIE H T, HE H B. Effects of different amounts of straw mulching and

- returning to field under no-tillage conditions on improving photosynthetic performance and yield of maize in black soil region of Northeast China. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2023, 29(5): 840-847.
- [29] 王昆昆, 刘秋霞, 朱芸, 李小坤, 任涛, 鲁剑巍, 丛日环. 稻草覆盖还田对直播冬油菜生长及养分积累的影响. *植物营养与肥料学报*, 2019, 25(6): 1047-1055.
- WANG K K, LIU Q X, ZHU Y, LI X K, REN T, LU J W, CONG R H. Effect of straw mulching on growth and nutrient accumulation of direct-seeded winter rape. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2019, 25(6): 1047-1055.
- [30] 陈玲英. 稻草全量还田油菜免耕飞播种植关键技术参数优化研究. 武汉: 华中农业大学硕士学位论文, 2022.
- CHEN L Y. Study on optimization of key technical parameters of no-tillage and aerial seeding of rape with total straw returning to field. Master Thesis. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022.
- [31] 田贵生, 周志华, 程应德, 吴海亚, 赖细巧, 陈玲英, 鲁剑巍. 鄂东晚收稻田油菜两种飞播种植模式的产量及效益比较. *中国农学通报*, 2022, 38(18): 57-61.
- TIAN G S, ZHOU Z H, CHENG Y D, WU H Y, LAI X Q, CHEN L Y, LU J W. Comparison of yield and benefit of two aerial seeding planting patterns of rape in late-harvest paddy fields in eastern Hubei. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2022, 38(18): 57-61.
- [32] 蒋美艳, 李秋红, 李延莉, 江建霞, 杨立勇, 周德平, 王伟荣. 播种量和播种期对上海绿肥油菜生物产量及养分积累的影响. *上海农业学报*, 2021, 37(1): 35-38.
- JIANG M Y, LI Q H, LI Y L, JIANG J X, YANG L Y, ZHOU D P, WANG W R. The effects of sowing amount and sowing period on the biomass yield and nutrient accumulation of Shanghai green manure rapeseed. *Shanghai Agricultural Journal*, 2021, 37(1): 35-38.
- [33] 胡敏, 鲁剑巍, 王振, 游秋香. 晚播油菜绿肥适宜播种量研究. *作物杂志*, 2016(6): 120-123.
- HU M, LU J W, WANG Z, YOU Q X. Study on the suitable sowing amount of green manure for late-sowing rape. *Crops Journal*, 2016(6): 120-123.
- [34] 李心昊, 李俊, 万林, 刘丽欣, 刘君权, 马霓. 丘陵地区免耕条播对油菜生长、根系和产量的影响. *作物杂志*, 2021, 205(6): 139-144.
- LI X H, LI J, WAN L, LIU L X, LIU J Q, MA N. Effects of no-tillage drill sowing on rape growth, root system and yield in hilly areas. *Crops Journal*, 2021, 205(6): 139-144.
- [35] 刘露露, 刘根红, 买晓凤, 薛垠鑫, 张倩, 杨世琦. 宁夏引黄灌区春小麦复种牧草模式的综合效益评价. *干旱地区农业研究*, 2022, 40(1): 50-60, 103.
- LIU L L, LIU G H, MAI X F, XUE Y X, ZHANG Q, YANG S Q. Comprehensive benefit evaluation of spring wheat multiple cropping forage model in Ningxia Yellow River Irrigation Area. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2022, 40(1): 50-60, 103.
- [36] 汪波, 宋丽君, 王宗凯, 王积军, 熊明清, 甘丽, 刘芳, 张哲, 蒯婕, 傅廷栋, 周广生. 我国饲料油菜种植及应用技术研究进展. *中国油料作物学报*, 2018, 40(5): 695-701.
- WANG B, SONG L J, WANG Z K, WANG J J, XIONG M Q, GAN L, LIU F, ZHANG Z, KUAI J, FU T D, ZHOU G S. Research progress in the cultivation and application technology of feed rapeseed in China. *Chinese Journal of Oil Crops*, 2018, 40(5): 695-701.
- [37] 朱倩倩, 刘国宏, 许咏梅, 杨金钰, 张彦红. 水氮对新疆南部麦后复种饲料油菜产量和品质的影响. *中国生态农业学报*, 2019, 27(7): 1033-1041.
- ZHU Q Q, LIU G H, XU Y M, YANG J Y, ZHANG Y H. The effect of water and nitrogen on the yield and quality of rapeseed as feed for intercropping wheat in southern Xinjiang. *Chinese Journal of Ecological Agriculture*, 2019, 27(7): 1033-1041.

(责任编辑 王芳)