

# 沿黄灌区不同种植模式下麦后复种油菜适宜施氮量研究

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>

<sup>1</sup>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, 430070, 湖北武汉;

<sup>2</sup>鄂尔多斯市农牧业生态与资源保护中心, 017010, 内蒙古鄂尔多斯;

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

**摘要** 为明确麦后复种油菜的适宜种植模式和施氮量, 在内蒙古达拉特旗开展田间试验, 在3种植模式(秸秆移走翻耕(T1)、秸秆还田翻耕(T2)和秸秆移走免耕(T3))下设置5个施氮量梯度(0、30、60、90和120 kg/hm<sup>2</sup>), 以油菜生物量、养分积累量和经济效益为依据研究适宜的氮肥用量。研究表明, T2处理的油菜地上部生物量、碳和钾积累量均高于T1和T3处理, T2处理下各施氮处理的鲜草重、干草重、碳积累量和钾积累量平均可以达到60.5 t/hm<sup>2</sup>、8.0 t/hm<sup>2</sup>、2981 kg/hm<sup>2</sup>和253 kg/hm<sup>2</sup>。施氮量显著影响油菜生物量和养分积累量, 在本试验施氮量范围内油菜生物量和各养分积累量均随着施氮量的增加而提高, 与不施氮相比, 施氮量为30 kg/hm<sup>2</sup>时油菜地上部鲜草重和干草重分别增加39.8%和35.1%; 施氮量60 kg/hm<sup>2</sup>时分别增加63.0%和67.9%; 施氮量90 kg/hm<sup>2</sup>时分别增加78.1%和89.0%; 施氮量120 kg/hm<sup>2</sup>时分别增加86.5%和98.1%, 油菜绿肥各养分积累量随播种量变化的趋势与生物量基本一致。不同种植模式和施氮量下不同用途的油菜投入成本和产出不同, 综合考虑不同模式下不同用途油菜的生物量和养分积累量、经济效益等因素, 小麦收获后油菜可以采用麦秸移走免耕方式种植, 在油菜做青贮饲料时适宜的施氮量为120 kg/hm<sup>2</sup>, 做油菜绿肥时适宜施氮量为90 kg/hm<sup>2</sup>。

**关键词** 沿黄灌区; 麦后复种; 油菜; 种植模式; 施氮量; 经济效益

春小麦是我国北方重要的粮食作物, 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, 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, 导致北方300万hm<sup>2</sup>以上麦后土地闲置<sup>[1-3]</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, 提高土地利用效率, 发挥麦后秋闲田生产潜力。

油菜是我国重要的油料作物, 也是一种适应性广的优质绿肥和饲料, 与紫云英和毛叶苕子等传统绿肥作物相比, 油菜用作绿肥具有种子成本低、容易获得、种植和管理技术简单、较强的适应性和抗逆性、生物量大和养分含量高优势<sup>[4-5]</sup>, 此外, 油菜作饲料时还具备营养价值高、适口性高和饲养效果优良等优点<sup>[6-7]</sup>。目前沿黄灌区麦后复种油菜已经有一定规模, 不仅可以充分利用休闲期光热水资源, 形成绿色覆盖, 有效减少土壤水分蒸发, 降低土壤盐碱度, 也可以缓解冬季饲料不足问题, 增加农民收益<sup>[8-10]</sup>, 但其配套栽培技术与传统油菜存在差异, 不够完善, 因此在区域内开展麦后复种油菜

种植技术研究是非常必要的。

施氮量是决定油菜产量和养分积累量的关键因素之一, 马致慧等<sup>[11]</sup>在宁夏试验区研究发现, 施肥肥效表现为氮肥>磷肥>钾肥。油菜氮素吸收量较大, 依靠土壤提供的氮素远远不能满足自身生长, 随着氮肥用量的增加, 油菜叶面积增大, 光能利用率增加<sup>[12]</sup>, 但施氮量过多可能导致经济效益下降, 因此探究油菜适宜的施氮量是合理种植与利用的必要前提。此外, 麦后复种油菜减少了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>[13-14]</sup>。因此, 本试验通过研究不同种植模式下不同施氮量对麦后复种油菜生物量、养分积累量及经济效益的影响, 以期确定麦后复种油菜适宜的种植模式和施氮量, 从而为麦后复种油菜的推广和应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于2022年7-10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°55'4" E)

作者简介: 刘陈, 主要从事作物养分管理研究, E-mail: liu\_chen@webmail.hzau.edu.cn

鲁剑巍为通信作者, 主要从事作物养分管理和土壤培肥研究, E-mail: lunm@mail.hzau.edu.cn

基金项目: 鄂尔多斯市“盐碱地农牧业综合利用科技创新试验示范”项目(2023-KJCX-01); 财政部和农业农村部“国家现代农业产业技术体系”项目(CARS-12)

收稿日期: 2024-10-09; 修回日期: 2024-12-06; 网络出版日期: 2025-06-03

进行, 该地位于沿黄灌区, 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

理化性质见表 1, 试验田土壤偏碱性, 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 17.3~24.1 °C, 降水量约 178.0 mm。

表 1 试验土壤基础理化性质  
Table 1 Experimental soil basic physicochemical properties

处理 Treatment	种植模式 Cropping pattern	pH	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)
T1	秸秆移走翻耕	8.49	8.22	0.42	10.27	158.80
T2	秸秆还田翻耕	8.32	12.36	0.61	11.51	162.50
T3	秸秆移走免耕	8.85	11.10	0.54	9.08	163.70

## 1.2 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, 在南方可作冬季油料作物, 在北方夏秋播适合作饲料和绿肥, 具有生育期适中、生物量大和耐盐碱等特点<sup>[4,15]</sup>。供试肥料为尿素 (N 46%) 和重过磷酸钙 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 40%)。

## 1.3 试验设计

试验采取裂区设计, 主处理为 3 种不同种植模式, 分别为秸秆移走翻耕 (T1)、秸秆还田翻耕 (T2) 及秸秆移走免耕 (T3), 副处理为 5 个不同的施氮量处理, 分别为 0、30、60、90 和 120 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, 播种量为 18.75 kg/hm<sup>2</sup>, 施肥随播种同时进行, 施磷量均为 34.5 kg/hm<sup>2</sup>, 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。同时播种前用 30% 噻虫嗪拌种, 药剂使用量为播种量的 0.2%, 在油菜苗期时, 喷施烯草酮 420 mL/hm<sup>2</sup> 和二氯吡啶酸 150 g/hm<sup>2</sup> 控草, 喷施甲维·虫螨腈 150 mL/hm<sup>2</sup> 和虱螨脲 300 mL/hm<sup>2</sup> 防虫; 除整地环节和施氮量外, 不同模式间其他田间管理均一致。

## 1.4 测定项目与方法

1.4.1 土壤理化性质 两季田间试验油菜播种前, 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, 在室温下风干磨细过 20 和 100 mm 筛备用, 进行理化性质分析<sup>[16]</sup>。采用水土比法 (2.5:1) 和电位法测定 pH, 采用元素分析仪测定有机质和土壤全氮含量, 采用 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 浸提—钼锑抗比色法测定速效磷含量, 采用 1 mol/L 醋酸铵浸提—火焰光度法测定速效钾含量。

1.4.2 生物量 收获前 1 d 在各小区选取具有代表性的样方 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草重, 随后将样品置于鼓风式干燥箱, 在 105 °C 条件下杀青 30 min, 然后在

60 °C 条件下恒温干燥至恒重, 称量干物质重, 干燥样品制样后保留留作养分测定。各小区全区收获地上部所有植株, 称量鲜草重, 根据各小区样方的含水率换算成干草重。

1.4.3 植物养分 采用元素分析仪测定植物全碳含量; 采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 联合消煮法测定全氮含量, 采用流动注射分析仪测定全磷含量; 采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 联合消煮法和火焰光度计法测定全钾含量。

1.4.4 经济效益 油菜种植成本分为机械成本、肥料成本和其他种植成本, T1、T2 和 T3 处理机械成本分别为 2775、1950 和 825 元/hm<sup>2</sup>; 不同施氮量氮肥成本分别为 0、209、417、626 和 835 元/hm<sup>2</sup>, 磷肥用量各处理均一致, 成本为 297 元/hm<sup>2</sup>; 其他种植成本包括种子、农药和水费, 各处理均一致, 为 280 元/hm<sup>2</sup>。收益按饲料油菜和绿肥油菜分别计算, 油菜作饲料用时, 油菜鲜草按 0.35 元/kg 计算<sup>[17]</sup>; 油菜作绿肥用时, N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 分别按照 7.0、9.9 和 11.6 元/kg 计算。

## 1.5 数据处理

试验数据采用 Excel 2022 软件进行计算处理, 利用 SPSS 26.0 软件进行统计分析, 通过 LSD 法检验处理间  $P < 0.05$  水平的差异显著性。同时采用 Origin 2022 软件作图。

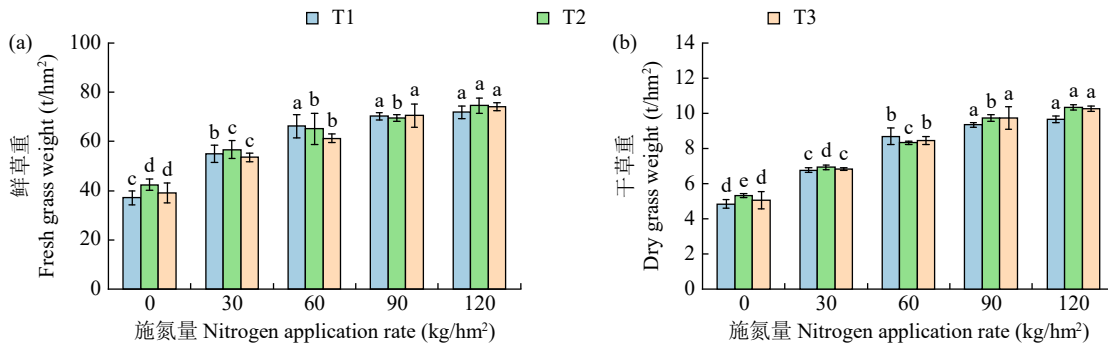
## 2 结果与分析

### 2.1 不同种植模式下施氮量对油菜生物量的影响

由图 1 可知, T1、T2 和 T3 处理下的油菜平均鲜草重分别为 60.1、61.7 和 59.7 t/hm<sup>2</sup>, 平均干草重分别为 7.8、8.1 和 8.0 t/hm<sup>2</sup>, 3 种植模式下油菜生物量整体上没有明显差异, T2 处理较 T1 和 T3 处理鲜草重分别增加 2.7% 和 3.4%, 干草重增加 3.8% 和 1.3%。随着施氮量的增加, 不同种植模式下油菜生物量均呈上升趋势, 与不施氮处理相比,

施氮量为 30 kg/hm<sup>2</sup> 时 3 个处理鲜草重和干草重整  
体分别增加 39.8% 和 35.1%；施氮量 60 kg/hm<sup>2</sup> 时  
分别增加 63.0% 和 67.9%；施氮量 90 kg/hm<sup>2</sup> 时分  
别增加 78.1% 和 89.0%；施氮量 120 kg/hm<sup>2</sup> 时分别  
增加 86.5% 和 98.1%，3 种模式下鲜草重和干草重

均在施氮量为 120 kg/hm<sup>2</sup> 时达到最大。施氮量为  
90 kg/hm<sup>2</sup> 时，T1 和 T3 处理鲜草重和干草重与施氮  
量为 120 kg/hm<sup>2</sup> 时无显著差异；T2 处理下在施氮  
量 120 kg/hm<sup>2</sup> 时鲜草重较 90 kg/hm<sup>2</sup> 时显著高出  
7.4%，干草重显著高出 5.5%。



不同小写字母表示同一种植模式下不同施氮量处理差异显著 ( $P < 0.05$ )，下同。

Different lowercase letters indicate significant differences among nitrogen application rates under the same planting mode ( $P < 0.05$ ), the same below.

图 1 不同种植模式下施氮量对油菜生物量的影响

Fig.1 The effect of nitrogen application rate on the biomass of rapeseed under different planting modes

## 2.2 不同种植模式下施氮量对油菜养分积累量的影响

由表 2 可知，相同施氮量下不同种植模式的  
碳和钾积累量间存在极显著差异，T2 处理平均碳  
积累量为 2981 kg/hm<sup>2</sup>，较 T1 和 T3 处理分别增加

6.5% 和 4.9%；T2 处理平均钾积累量为 253 kg/hm<sup>2</sup>，  
较 T1 和 T3 处理均增加 4.5%；相同施氮量下不同  
种植模式油菜氮和磷积累量不存在显著差异，3 种  
种植模式下氮和磷积累量平均为 171 和 48 kg/hm<sup>2</sup>。  
随着施氮量的增加，3 种种植模式下油菜各养分积

表 2 不同种植模式下施氮量对油菜养分积累量的影响

Table 2 The effect of nitrogen application rate on nutrient accumulation in rapeseed under different planting patterns kg/hm<sup>2</sup>

处理 Treatment	施氮量 Nitrogen application rate	碳积累量 Carbon accumulation	氮积累量 Nitrogen accumulation	磷积累量 Phosphorus accumulation	钾积累量 Potassium accumulation
T1	0	1689±68d	106±3d	33±2c	182±7d
	30	2392±33c	146±1c	42±1b	253±2c
	60	3095±187b	188±9b	54±3a	323±21b
	90	3337±41a	200±4a	56±2a	345±6ab
	120	3480±60a	203±4a	56±3a	353±11a
T2	0	1928±37e	116±5e	35±2d	203±5e
	30	2530±59d	150±5d	43±2c	261±8d
	60	3057±62c	178±4c	51±4b	314±3c
	90	3589±77b	204±1b	56±1a	366±3b
	120	3800±80a	215±3a	57±1a	381±11a
T3	0	1766±152d	110±12d	33±4c	190±17d
	30	2407±46c	147±4c	42±3b	251±2c
	60	2984±81b	180±7b	50±3a	310±8b
	90	3439±220a	202±10a	54±4a	347±15a
	120	3616±78a	208±3a	54±4a	359±7a
方差分析 Analysis of variance		F-value			
种植模式 Cropping pattern (C)		12.7***	2.0ns	1.7ns	8.7**
施氮量 Nitrogen application rate (N)		484.4***	411.6***	109.8***	446.2***
种植模式×施氮量 C×N		1.4ns	1.7ns	0.4ns	1.6ns

不同小写字母表示同一种植模式下不同施氮量处理差异显著 ( $P < 0.05$ )，\*\*\*\* 表示处理间在  $P < 0.001$  水平上差异极显著；\*\*\* 表示  
处理间在  $P < 0.01$  水平上差异极显著；\*\* 表示处理间在  $P < 0.05$  水平上差异显著；ns 表示处理间无显著差异，下同。

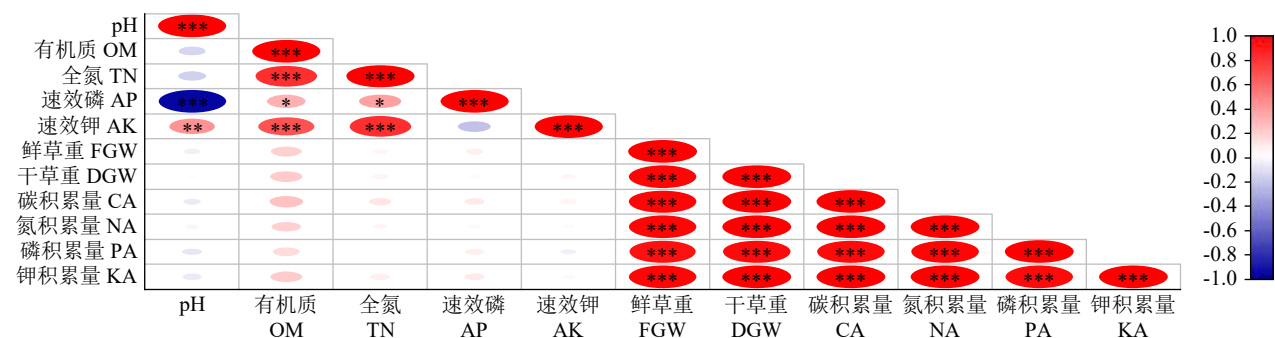
Different lowercase letters indicate significant differences among nitrogen application rates under the same planting mode ( $P < 0.05$ ), \*\*\*\* indicates  
extremely significant difference among treatments at  $P < 0.001$  level; \*\*\* indicates extremely significant difference among treatments at  
 $P < 0.01$  level; \*\* indicates that significant difference among treatments at  $P < 0.05$  level; ns indicates that there is no significant difference  
among treatments, the same below.

累量均呈现显著上升趋势。当施氮量为 120 kg/hm<sup>2</sup> 时, 3 个处理油菜碳、氮、磷和钾总积累量较不施氮处理总积累量分别平均增加 102.2%、88.6%、65.3%和 90.1%。其中, T1 处理碳、氮、磷和钾积累量较不施氮处理平均分别增加 106.0%、91.5%、69.7%和 94.0%, 但与施氮量为 90 kg/hm<sup>2</sup> 时无显著差异; T2 处理较不施氮处理分别增加 97.1%、85.3%、62.9%和 87.7%; 与施氮量 90 kg/hm<sup>2</sup> 处理相比, 油菜碳、氮和钾积累量显著高出 211、11 和 15 kg/hm<sup>2</sup>。T3 处理下油菜养分积累量规律与 T1 处理基本一致, 当施氮量为 120 kg/hm<sup>2</sup> 时油菜各养分积累量与 90 kg/hm<sup>2</sup> 时无显著差异, 且较不

施氮处理分别平均增加 104.8%、89.1%、63.6%和 88.9%。

### 2.3 土壤理化性质对油菜生物量和养分积累量的影响

不同种植模式下整体生物量和养分积累量与各试验地块土壤基础理化性质的相关性分析 (图 2) 表明, 尽管 3 个试验地块的基础土壤理化性质存在差异, 但各指标与油菜整体生物量 (鲜草重和干草重) 及各养分积累量 (碳、氮、磷和钾) 之间均未呈现显著相关性。这可能由于土壤肥力处于同一丰缺等级范围内, 不同种植模式下油菜生物量和养分积累量差异主要来源于种植模式和施氮量差



“\*\*\*”、“\*\*”和“\*”分别表示处理间在  $P < 0.001$ 、 $P < 0.01$  和  $P < 0.05$  水平上差异显著。  
 “\*\*\*”, “\*\*”, and “\*” indicate significant difference among treatments at  $P < 0.001$ ,  $P < 0.01$ , and  $P < 0.05$  levels, respectively. OM: organic matter, TN: total N, AP: available P, AK: available K, FGW: fresh grass weight, DGW: dry grass weight, CA: carbon accumulation, NA: nitrogen accumulation, PA: phosphorus accumulation, KA: potassium accumulation.

图 2 土壤理化性质对油菜生物量和养分积累量的影响

Fig.2 The impact of soil physicochemical properties on the biomass and nutrient accumulation of rapeseed

异, 而非地块间土壤基础条件的制约。

### 2.4 不同种植模式和施氮量对油菜经济效益的影响

针对不同种植模式下油菜种植成本以及不同用途下经济效益进行分析 (表 3), 除机械成本外整体上不同模式间肥料和种子等成本一致, 其中

T3 处理减少了翻耕整地环节, 机械成本较 T1 和 T2 处理分别节省 70%和 58%, T2 处理减少了麦秸打捆移走的成本, 又较 T1 处理减低了 30%。按照青贮饲料草的市场价格 0.35 元/kg 计算, 油菜作饲料时鲜草产值在 12 964~26 105 元/hm<sup>2</sup> 不等, 不同种

表 3 不同种植模式下施氮量对油菜养分积累量的影响

Table 3 Effects of nitrogen application rate on nutrient accumulation of rape seed under different cropping patterns

处理 Treatment	施氮量 Nitrogen application rate	种植成本 Planting cost				收益 Earning		净收益 Net earning	
		机械 Mechanical	氮肥 Nitrogen fertilizer	磷肥 Phosphorus fertilizer	其他 Others	鲜草产值 Fresh grass output	可替代化肥价值 Alternative fertilizer value	饲料油菜 Forage rape seed	绿肥油菜 Manure rape
T1	0	2775	0	297	280	12 964	3144	9592	-228
	30	2775	209	297	280	19 286	4327	15 705	746
	60	2775	417	297	280	23 168	5534	19 379	1745
	90	2775	626	297	280	24 593	5897	20 595	1899
	120	2775	835	297	280	25 172	6000	20 965	1793
T2	0	1950	0	297	280	14 852	3510	12 305	963
	30	1950	209	297	280	19 846	4501	17 091	1745
	60	1950	417	297	280	22 795	5384	19 831	2420
	90	1950	626	297	280	24 317	6221	21 143	3048
	120	1950	835	297	280	26 105	6478	22 723	3096

元/hm<sup>2</sup> yuan/hm<sup>2</sup>

续表 3 Table 3 (continued)

处理 Treatment	施氮量 Nitrogen application rate	种植成本 Planting cost				收益 Earning		净收益 Net earning	
		机械 Mechanical	氮肥 Nitrogen fertilizer	磷肥 Phosphorus fertilizer	其他 Others	鲜草产值 Fresh grass output	可替代化肥价值 Alternative fertilizer value	饲料油菜 Forage rape seed	绿肥油菜 Manure rape
T3	0	825	0	297	280	13 670	3296	12 248	1874
	30	825	209	297	280	18 734	4350	17 104	2719
	60	825	417	297	280	21 446	5343	19 606	3504
	90	825	626	297	280	24 717	5976	22 668	3928
	120	825	835	297	280	25 919	6150	23 662	3893

植模式下平均产值差异不大,且产值随着氮肥投入的增加而增加,在施氮量为 120 kg/hm<sup>2</sup> 时,不同种植模式下饲料油菜净收益均达到最大,T1、T2 和 T3 处理净收益分别为 20 965、22 723 和 23 662 元/hm<sup>2</sup>。与不施氮处理相比,氮肥投入成本增加 209、417、626 和 835 元/hm<sup>2</sup> 时,产值分别增加 4994~6322、7776~10 204、9465~11 629 和 11 253~12 253 元/hm<sup>2</sup>。油菜作绿肥时当季无直接经济收益,以油菜氮、磷和钾养分积累量进行可替代化肥量价值计算,结果表明可替代化肥量随着施氮量的增加而增加,且不施氮时由于机械成本高,其产出低于投入,整体上油菜净收益往往在施氮量为 90 kg/hm<sup>2</sup> 时达到最大。

### 3 讨论

#### 3.1 不同种植模式和施氮量对油菜生物量和养分积累量的影响

耕作模式是影响作物生长的关键因素<sup>[18]</sup>。本试验条件下 T2 处理较 T1 和 T3 处理油菜鲜草重分别增加 2.5%和 3.3%,干重增加 3.1%和 1.1%,但没有达到显著水平。与前人<sup>[19-20]</sup>研究结果一致,秸秆还田可以促进作物的生长和养分吸收积累,T2 处理下油菜平均碳和钾积累量分别为 2981 和 253 kg/hm<sup>2</sup>,显著高于 2 种秸秆移走模式,且较 T1 处理分别增加 6.5%和 4.5%,较 T3 处理分别增加 4.9%和 4.5%。相同施氮量下不同种植模式油菜氮和磷积累量不存在显著差异,3 种植模式下油菜氮和磷积累量平均分别为 171 和 48 kg/hm<sup>2</sup>,种植模式差异对油菜氮和磷积累量无显著影响,这可能与小麦秸秆带入的氮、磷含量相对较低相关<sup>[21]</sup>。此外,土壤理化性质也会影响油菜生长,本试验不同种植模式在相邻小麦田开展,试验田土壤均偏碱性,有机质、全氮和速效磷含量均处于低水平,土壤理化性质与油菜生物量和养分积累量相关性分

析结果表明,本试验条件下,土壤基础理化性质不是影响油菜生长的主要因素。

油菜对氮素吸收量较大,杨瑞吉等<sup>[12]</sup>研究表明,增施氮肥能明显提高复种油菜株高、叶面积指数、相对生长率以及群体同化率和生长率,进而促进油菜干物质积累和群体形态结构建成,达到适时丰产。本试验施氮量处理下,随着施氮量的增加,不同种植模式下油菜生物量各养分积累量均呈现显著上升趋势,T2 处理下,当施氮量为 120 kg/hm<sup>2</sup> 时,油菜鲜重和干重较不施氮处理分别平均增加 86.5%和 98.1%,碳、氮、磷和钾养分积累量较不施氮处理分别平均增加 102.2%、88.6%、65.3%和 90.1%。T1 和 T3 处理油菜生物量和养分积累量在 120 kg/hm<sup>2</sup> 时达到最大,但与 90 kg/hm<sup>2</sup> 时不存在显著差异,而秸秆还田模式下,施氮量为 120 kg/hm<sup>2</sup> 时油菜养分积累量显著高于低氮处理,可能与高氮条件下秸秆养分释放快有关,小麦秸秆的 C/N 在 30~90 左右,含有更多难分解的纤维素和木质素,氮肥的投入可以调节碳氮比,从而影响土壤微生物活动,进而影响油菜养分积累<sup>[22-23]</sup>。此外,已有研究<sup>[24-25]</sup>也表明高施氮量饲料油菜更有利于粗蛋白、粗脂肪的累积,从而达到更好的饲用价值。

#### 3.2 不同种植模式和施氮量对油菜经济效益的影响

减少整地次数是节省种植成本的有效方式,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>,与 2 种翻耕模式相比,机械支出分别节省 70%和 58%;尽管由于免耕油菜鲜草重有所下降,鲜草产值较翻耕模式分别下降了 139 和 686 元/hm<sup>2</sup>,但净收益反而增加了 1810 和 439 元/hm<sup>2</sup>;做油菜绿肥时净收益较 2 种翻耕模式分别增加了 929 和 1993 元/hm<sup>2</sup>。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,同时秸秆的添加促进了油菜的生长,鲜草产值和可替代化肥值较秸秆移走模式分别平均增加 616

和 217 元/hm<sup>2</sup>。

氮肥的投入显著增加了油菜的生物量和养分积累量,进而提高了经济效益。产值随着氮肥投入的增加而增加,在施氮量为 120 kg/hm<sup>2</sup>时,3 种植模式下饲料油菜净收益均达到最大。与不施氮处理相比,氮肥投入成本增加 209、417、626 和 835 元/hm<sup>2</sup>时,产值分别增加 4994~6322、7776~10 204、9465~11 629 和 11 253~12 253 元/hm<sup>2</sup>。因此,当油菜作饲料时应适当增施氮肥。以油菜氮、磷和钾养分积累量进行可替代化肥量价值计算,油菜做绿肥时可替代化肥价值也随着施氮量的增加而增加,且当施氮量达到 90 kg/hm<sup>2</sup>时油菜绿肥净收益在不同模式间达到最大或与更高施氮量不存在显著差异。此外,由于秸秆移走翻耕模式的机械成本高,油菜在不施肥条件下其产出低于投入,造成亏损 228 元/hm<sup>2</sup>。油菜做绿肥时施用氮肥在 90 kg/hm<sup>2</sup>时能实现产量效益和环境效益协同增加。

### 3.3 麦后复种油菜种植与利用展望

本研究主要针对沿黄灌区麦后复种油菜栽培技术开展研究,探究了不同种植模式和施氮量下油菜地上部生物量和养分积累量差异,并通过评估不同利用模式下的经济效益来确定适宜施氮量,但种植不同用途油菜的适宜施氮量范围需要进一步确定。西北地区利用小麦等作物收获后秋闲田复种油菜既可用作饲料又可用作绿肥,如果作为饲料则需要进一步评估饲料油菜种植模式和施氮量对饲用价值的影响<sup>[26]</sup>;另一方面,油菜根系生长可以优化土壤物理性状,减少水土流失和缓解土壤盐碱化<sup>[27]</sup>,同时根系碳、氮、磷和钾积累量在盛花期为地上部各养分积累量的 14.2%、5.1%、7.3%和 5.3%<sup>[28]</sup>,碳积累量相对丰富,对于土壤培肥的效应不可低估,因此需要进一步探究包括根系在内的整个油菜绿肥对土壤质量的提升效果和可替代后茬小麦化肥量的效果<sup>[29-30]</sup>。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>[31]</sup>,在保证一定生物量水平下进一步降低秸秆离田和整地投入。

## 4 结论

种植模式和施氮量显著影响油菜生物量、养分积累量、种植成本投入和经济产出。综合考虑不同模式下不同用途油菜生物量和养分积累量、经济效

益等因素,建议小麦收获后麦秸还田,油菜可以采用免耕方式播种,在油菜做青贮饲料时适宜的施氮量为 120 kg/hm<sup>2</sup>,做油菜绿肥时适宜施氮量为 90 kg/hm<sup>2</sup>。

### 参考文献

- [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.
- [2] 贾立国, 郝云凤, 冯君伟, 等. 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.
- [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. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
- [4] 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.
- [5] 顾焱明, 李银水, 谢立华, 等. 浅析油菜作为绿肥的应用优势. 中国土壤与肥料, 2019(1): 180-183.
- [6] 汪波, 周广生, 傅廷栋. 饲料油菜: 极具发展前景的大田饲料作物. 中国农村科技, 2022(9): 9-11.
- [7] 谷志勇, 刘宇航, 王海波, 等. 饲用油菜梯度替代日粮中粗饲料对湖羊生长性能和经济效益的影响. 饲料研究, 2023, 46(7): 6-9.
- [8] 刘振华, 张霞, 夏清, 等. 磷肥与播量对麦后复种饲料油菜干物质质量及土壤肥力的影响. 山西农业科学, 2022, 50(10): 1446-1454.
- [9] Litalien A, Zeeb B. Curing the earth: a review of anthropogenic soil salinization and plant-based strategies for sustainable mitigation. Science of the Total Environment, 2020, 698: 134235.
- [10] 景宇鹏, 张建中, 李秀萍, 等. 种植绿肥作物对河套灌区盐碱土改良效果研究. 北方农业学报, 2019, 47(6): 42-46.
- [11] 马致慧, 李惠霞, 何文寿. 不同施肥量对麦后复种饲料油菜养分吸收及产量的影响——以宁夏引黄灌区为例. 湖南农业科学, 2020(5): 26-30, 36.
- [12] 杨瑞吉, 王开柏, 袁政祥, 等. 不同施氮水平对麦茬复种饲料油菜生长性状的影响. 西北农业学报, 2007(2): 46-50, 79.
- [13] 熊元清, 崔琴. 油菜四种不同机械化种植方法的产量与效益分析. 农机科技推广, 2023(8): 33-35.
- [14] 田贵生, 周志华, 程应德, 等. 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.
- [15] 汪波, 文静, 张凤华, 等. 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.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [17] 张力, 张占琴, 杨相昆. 不同施肥方式和施肥量对麦后复种饲料油菜产量及经济效益的影响. 新疆农垦科技, 2021, 44(5): 44-46.
- [18] 刘水苗, 关小康, 刘长硕, 等. 适宜耕作模式提高黄淮海平原冬小麦产量并改善土壤水肥状况. 农业工程学报, 2023, 39(18): 82-91.
- [19] 侯素素, 董心怡, 戴志刚, 等. 基于田间试验的秸秆还田化肥替代潜力综合分析. 农业工程学报, 2023, 39(5): 70-78.
- [20] 鲁悦, 鲍雪莲, 霍海南, 等. 免耕条件下不同量秸秆覆盖还田提高东北黑土区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.
- [21] 杜光辉, 史鹏飞, 聂良鹏, 等. 有机肥替代氮肥对小麦产量、品质及养分积累的影响. 江苏农业科学, 2023, 51(18): 83-87.
- [22] 葛君, 孟自力, 张志标, 等. 肥料配施对小麦根系、根际土壤微生物及秸秆养分积累的影响. 江苏农业科学, 2022, 50(11): 214-219.

- [23] 梁鑫宇, 宋明丹, 韩梅, 等. 不同农作物秸秆腐解规律及模型预测评价. 核农学报, 2023, 37(6): 1244-1252.
- [24] 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, 2019.
- [25] 朱倩倩, 刘国宏, 许咏梅, 等. 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.
- [26] 胡敏, 魏全全, 任涛, 等. 刈割后氮肥施用对饲料油菜地上部产量及品质的影响. 草业科学, 2017, 34(10): 2124-2129.
- [27] 赵曼利, 戴志刚, 顾焯明, 等. 油菜用地养地的作物优势及其在冬闲田开发中的应用潜力. 中国油料作物学报, 2022, 44(6): 1139-1147.
- [28] 刘康, 韦彩会, 廖祥生, 等. 广西绿肥专用型油菜品种(系)筛选试验. 现代农业科技, 2021, 21: 47-51.
- [29] 周鹏. 麦后复种油菜有机无机肥配施与翻压方式对土壤肥力及作物产量的影响. 银川: 宁夏大学, 2020.
- [30] 毕影东, 樊超, 周广生, 等. 北方寒区饲肥兼用型油菜综合利用研究进展. 中国油料作物学报, 2023, 45(3): 437-443.
- [31] 陈玲英, 任涛, 周志华, 等. 鄂东稻田油菜免耕飞播技术模式的产量及效益评价. 湖北农业科学, 2022, 61(9): 8-12.

## Study on Optimal Nitrogen Application Rate for Relay Cropped Rapeseed after Wheat under Different Planting Patterns in the Yellow River Irrigation Region

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>

(<sup>1</sup>College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University/Key Laboratory of Arable Land Conservation (Middle and Lower Reaches of Yangtze River), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430070, Hubei, China; <sup>2</sup>Ordos Agricultural & Animal Husbandry Ecology and Resource Protection Center, Ordos 017010, Inner Mongolia, China; <sup>3</sup>Plant Protection Institute, Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010031, Inner Mongolia, China)

**Abstract** In order to clarify the suitable planting pattern and nitrogen application rate for rapeseed relay cropped rapeseed after wheat, a field experiment was conducted in Dalad Banner, Inner Mongolia. Five nitrogen application rate gradients (0, 30, 60, 90 and 120 kg/ha) were set under three planting modes, including straw removal+tillage (T1), straw returning+tillage (T2), and straw removal+no tillage (T3). The optimal nitrogen rate was determined based on rapeseed biomass, nutrient accumulation, and economic benefits. The results showed that the aboveground biomass, carbon accumulation and potassium accumulation of rapeseed under T2 treatment were all higher than those under T1 and T3 treatments. Under T2 treatment, the average of fresh grass weight, dry grass weight, carbon accumulation, and potassium accumulation of all nitrogen application treatments could reach 60.5 t/ha, 8.0 t/ha, 2981 kg/ha, and 253 kg/ha, respectively. Nitrogen application rate significantly affected the biomass and nutrient accumulation of rapeseed under different planting modes. The biomass and nutrient accumulation of rapeseed increased with the increase of nitrogen application rate within the nitrogen application rate range. Compared with no nitrogen application treatment, the fresh grass weight and dry grass weight of rapeseed increased by 39.8% and 35.1% respectively when the nitrogen application rate was 30 kg/ha, 63.0% and 67.9% at 60 kg/ha, 78.1% and 89.0% at 90 kg/ha, 86.5% and 98.1% at 120 kg/ha. The trend of nutrient accumulation of rapeseed green manure was basically consistent with that of biomass. The input costs and outputs of rapeseed for different purposes varied under different planting modes and nitrogen application rates. Considering the factors such as biomass, nutrient accumulation, and economic benefits of rapeseed for different purposes under different modes, rapeseed can be planted with no-tillage method with wheat straw removal following wheat harvest. The optimal nitrogen application rate for rapeseed as silage feed is 120 kg/ha, and for rapeseed as green manure, the optimal nitrogen application rate is 90 kg/ha.

**Key words** Yellow River Irrigation Region; Multiple cropping after wheat; Rape; Cropping pattern; Nitrogen application rate; Economic benefits