

起垄沟播方式调控北方寒旱区冬油菜 土壤微环境及生长发育的效应研究

李积铭¹ 管明威¹ 李和平¹ 武军艳² 翟兰菊¹ 马骊² 郭安强¹ 李爱国¹

¹河北省农林科学院旱作农业研究所/河北省农作物抗旱研究重点实验室, 053000, 河北衡水;

²甘肃农业大学农学院, 730070, 甘肃兰州)

摘要 为探索适宜北方寒旱区的冬油菜种植技术, 通过田间试验, 比较研究了起垄沟播和平播 2 种播种方式对冬油菜生长发育的影响。结果表明: 起垄沟播方式下, 土壤耕层(生长点以下 20 cm 土层)含水量较平播方式下提高 0.73%~3.65%; 生长点位置和土壤耕层(生长点以下 20 cm 土层)温度均比平播方式提高 2~3 °C; 生长点位置风速仅为平播的 1/4~1/3; 甘蓝型和白菜型冬油菜根冠比分别提高了 11.6%~27.5%和 4.5%~20.0%; 甘蓝型冬油菜平均越冬率较平播方式由 49.3%提高至 81.7%, 白菜型冬油菜越冬率由 95.6%提高至 100.0%; 甘蓝型和白菜型油菜产量分别平均提高 20.86%和 20.19%, 2 种播种方式产量存在显著性差异, 起垄沟播技术有效提高了冬油菜越冬率和抗寒能力。

关键词 冬油菜; 起垄沟播; 平播; 微环境; 生长发育

油菜是我国最重要的油料作物之一, 目前我国产油菜籽约占我国自产油料作物的 50%以上^[1], 我国油料消费市场对外依存度约为 70%, 提高油菜籽总产量是缓解我国食用植物油供给矛盾的重要举措^[2-3]。近年来, 随着强抗寒性品种的培育及配套栽培技术的研发, 冬油菜种植区域北移至北纬 38°左右, 可有效利用冬季农闲田和滨海盐碱地, 大幅增加了冬油菜种植面积^[4-6]。种植冬油菜增加了农田冬春季植被覆盖度, 提高了复种指数和土地利用效率, 经济及生态效益显著^[7]。由于华北平原区气候特点是秋旱冬冷多风, 冻害是油菜种植区域北移过程中最重要的限制因素。轻度冻害会造成植物叶片僵化, 细胞内及细胞间隙水分结冰, 细胞失水; 冻害严重时会使叶片发黄或萎缩, 花蕾掉落, 甚至茎秆断裂, 出现根拔现象, 导致植株死亡, 越冬率降低, 最终造成大幅减产^[8-9]。因此, 增强抗寒性是提高华北平原区油菜越冬率、稳定产量的重要前提。生产中, 可选用抗寒性强的品种, 以及结合适期早播、科学施肥、田间覆盖和适时冬灌等配套栽培技术措施减轻冻害^[10]。其中, 冬油菜起垄沟播技术在华北平原区冬油菜

蓄墒保苗与抗寒防冻中起到关键作用。

油菜起垄沟播技术是利用开沟器开沟(深约 5~8 cm), 将沟中土壤向两边分离, 分别起 10~15 cm 宽的小垄, 然后将油菜播种在所开的沟中, 播深 2~3 cm, 使垄沟内形成有利于作物生长发育的局部水、温、热微环境, 目前关于起垄沟播技术在北方寒旱区冬油菜生产中应用的研究较少。本研究选用 6 个不同类型的冬油菜品种(系), 以常规平播为对照, 分别对冬油菜越冬率、不同生育时期土壤耕层含水量及温度、植株生长发育、生育期、根冠比及产量的变化等进行分析研究, 探究冬油菜起垄沟播技术对北方寒旱区冬油菜土壤微环境及生长发育调控作用, 为推动北方寒旱区冬油菜种植、助力油菜扩面提产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验共选取 6 个冬油菜品种(系), 分别为 3 个甘蓝型和 3 个白菜型冬油菜材料, 如表 1 所示。

1.2 试验地概况

本试验于 2022 年 9 月-2024 年 6 月在河北省农

作者简介: 李积铭, 主要从事油菜育种及节水栽培技术研究, E-mail: 13831880303@163.com

李爱国为通信作者, 主要从事油菜育种及节水栽培技术研究, E-mail: 895478400@qq.com; 郭安强为共同通信作者, 主要从事冬油菜抗寒育种研究, E-mail: 15131857261@126.com

基金项目: 河北省现代农业产业技术体系(HBCT2023030203); 河北省农林科学院科技创新专项(2022KJCXZX-HZS-5); 国家油菜产业技术体系(CARS-12)

收稿日期: 2025-06-29; 修回日期: 2025-08-22; 网络出版日期: 2026-03-16

表 1 参试冬油菜品种（系）及来源
Table 1 Test winter rapeseed varieties (lines) and their sources

品种（系） Variety (line)	类型 Type	来源 Source
16GAU-1	甘蓝型	甘肃农业大学
天油 14 Tianyou 14	甘蓝型	天水市农业科学院
16GAU-2	甘蓝型	甘肃农业大学
天油 142 Tianyou 142	白菜型	天水市农业科学院
陇油 12 Longyou 12	白菜型	甘肃农业大学
衡油 8 号 Hengyou 8	白菜型	河北省农林科学院旱作农业研究所

林科学院旱作农业研究所护驾迟试验站 (37.53° N,

115.42° E) 进行, 试验站地处黑龙港流域, 海拔 18.2 m, 属暖温带季风气候, 年均气温 12.4 °C, 年均降水量 550 mm, 降水集中在 6-9 月^[11]。试验地块土壤为轻壤质底黏潮土, 土壤为黏质壤土, 有机质含量 2.17%、碱解氮 79.14 mg/kg、速效磷 22.81 mg/kg 和速效钾 237.87 mg/kg。区域内冬油菜生育期为 9 月至次年 5 月底, 生育期内多年平均降水量为 100~180 mm^[12], 年均最冷月份 (1 月) 日均气温-5~-12 °C, 2022-2023 年冬油菜生育期最低温度为-16.8 °C, 2023-2024 年冬油菜生育期最低温度为-21.4 °C (图 1)。

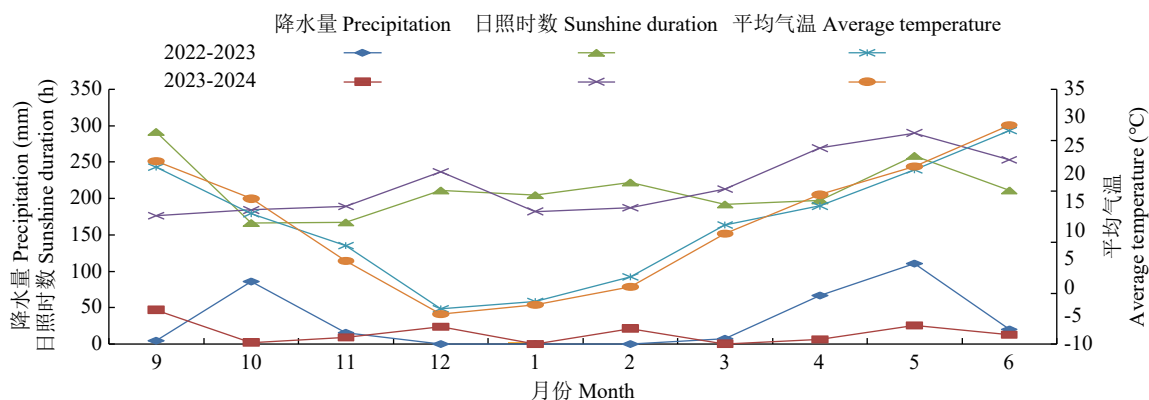


图 1 2022-2024 年冬油菜全生育期间气象条件

Fig.1 Meteorological conditions during the entire growth period of winter rapeseed from 2022 to 2024

1.3 试验设计

本试验选取 6 个参试品种（系），田间设计采用随机区组排列, 3 次重复, 共 36 个小区, 小区为长方形, 12 行区, 小区长 4.7 m、宽 3.2 m, 小区面积为 13.5 m², 重复间设走道 1.5 m。底施 N-P₂O₅-K₂O 均为 15% 复合肥 450 kg/hm², 适墒播种。利用开沟器开沟, 深约 6 cm, 将沟中土壤向两边分离, 分别起约 12 cm 宽的小垄, 油菜播种在所开的沟中, 播深距沟底约 3 cm。2022 年 9 月 10 日整地, 9 月 18 日播种, 2023 年 5 月 28 日收获; 2023 年 9 月 16 日整地, 9 月 22 日播种, 2024 年 5 月 29 日收获。株距为 8~10 cm, 行距均为 25 cm。全生育期雨养种植, 不进行冬灌, 其他田间管理措施同常规生产。

1.4 测定项目与方法

油菜越冬前和返青后分别统计每个试验小区的冬前总苗数和返青苗数, 计算每个品种（系）的越冬率, 越冬率 (%) = 冬后返青苗数 / 冬前总苗数 × 100。利用多探头智能土壤温湿度数据记录仪

(HZ-TJ1, 北京合众博普科技发展有限公司), 将探头分别埋置于各小区, 平播方式播种小区探头埋设深度为距地表面 20 cm, 起垄沟播播种方式探头埋设深度为距播种沟底 20 cm, 测定不同生育时期土壤耕层温度。于冬油菜各生育阶段使用土钻取土, 平播方式播种小区取土位置为距地面 20 cm 处, 起垄沟播方式播种小区取土位置为距播种沟底 20 cm 处, 测定油菜各生育时期土壤耕层含水量。分别定期于播种前 (9 月 18 日)、苗期 (10 月 25 日)、越冬期 (1 月 15 日) 利用风速测定仪进行油菜生长点位置风速测定。于 2 个生育期固定时期: 3~5 叶期 (10 月 15 日, 幼苗期)、8~10 叶期 (11 月 7 日, 苗期) 和越冬前 (12 月 11 日) 每小区选取 5 株进行全株取样, 测定地上和地下部分生物量, 计算根冠比。油菜成熟后, 根据《北方白菜型冬油菜品种试验记载规范》^[13] 中的有关方法, 各小区单独收获, 测定小区产量。

1.5 数据处理

采用 Excel 制作图表, 采用 SPSS 软件完成相

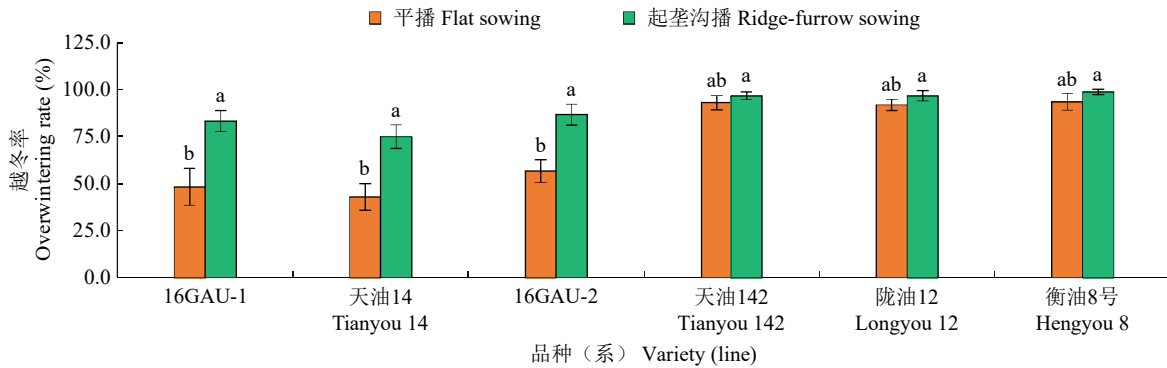
关性分析与差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 起垄沟播方式对冬油菜越冬率的影响

由图2可知,起垄沟播与平播方式相比,3个甘蓝型冬油菜材料起垄沟播方式下平均越冬率由49.3%提高至81.7%,其中16GAU-1越冬率由48.3%

提高至83.3%,天油14由42.9%提高至75.0%,16GAU-2由56.7%提高至86.7%;3个白菜型冬油菜材料平均越冬率由95.6%提高至100.0%,其中天油142越冬率由93.1%提高至96.8%,陇油12由91.8%提高至96.7%,衡油8号由93.5%提高至100.0%。起垄沟播较平播方式,尤其是对于抗寒性较差的甘蓝型冬油菜越冬率得到显著提高。



不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著,下同。

Different lowercase letters indicate significant differences at $P < 0.05$ level, the same below.

图2 起垄沟播与平播对越冬率的影响

Fig.2 Effect of ridge-furrow sowing and flat sowing on overwintering rate

2.2 起垄沟播方式对土壤耕层含水量及覆盖度的影响

对平播与起垄沟播方式下土壤耕层含水量的比对分析(图3)可知,平播方式下油菜全生育期

内土壤耕层含水量变幅为8.4%~14.9%;而起垄沟播方式下土壤耕层含水量范围为10.2%~15.6%。通过不同播种方式间耕层含水量的比较分析发现,冬油菜生育期内,起垄沟播方式可提高耕层含水量

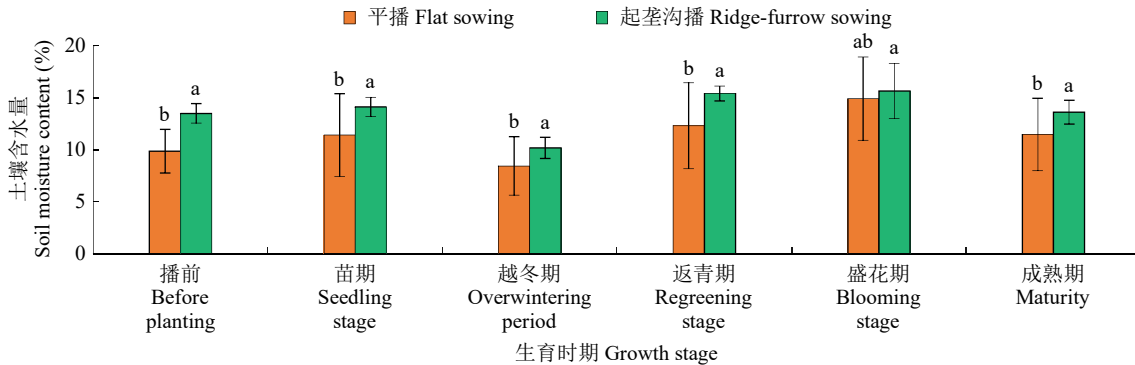


图3 起垄沟播与平播对土壤耕层含水量的影响

Fig.3 Effect of ridge-furrow sowing and flat sowing on soil moisture content in plough layer

0.73%~3.65%,其中在播前、返青期及成熟期等生育阶段,2种播种模式的土壤耕层含水量存在显著差异。具体而言,起垄沟播模式较平播模式可使播前、返青期及成熟期耕层含水量分别显著提高37.02%、25.08%和18.66%。由图4可知,起垄沟播方式通过增强越冬期地表覆盖(地面覆盖度达到98%),有效降低了土壤水分蒸发损耗,为油菜生长创造了更为有利的水分条件。

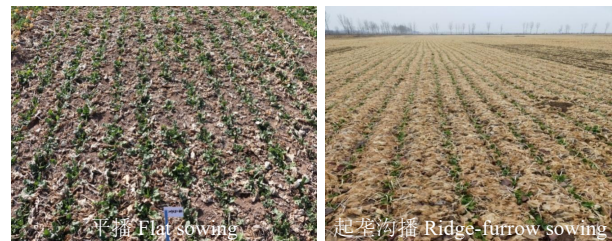


图4 平播和起垄沟播冬后地面覆盖度对比

Fig.4 Comparison of ground coverage between flat sowing and ridge-furrow sowing after winter

2.3 起垄沟播方式下冬油菜生长点及土壤耕层温度的变化

由图 5 可知，平播方式下不同生育时期油菜生长点及土壤耕层温度变幅分别为-6.3~26.3 °C和 2.3~20.3 °C，而起垄沟播方式下油菜生长点及土壤耕层温度变幅分别为-3.2~27.4 °C和 3.9~22.7 °C。对比分析显示，相较于平播方式，起垄沟播方式

可使油菜生长点温度在全生育期平均提高 1.1~2.7 °C，耕层温度提高 0.9~2.4 °C。其中，越冬期与返青期，起垄沟播方式下生长点及耕层温度均高于平播方式，越冬期分别提升 3.1 °C和 1.6 °C，返青期分别提升 1.2 °C和 1.5 °C。上述结果表明，起垄沟播模式通过改善土壤热环境，尤其是提高越冬期和返青期生长点及耕层温度，有效增强了油菜的低

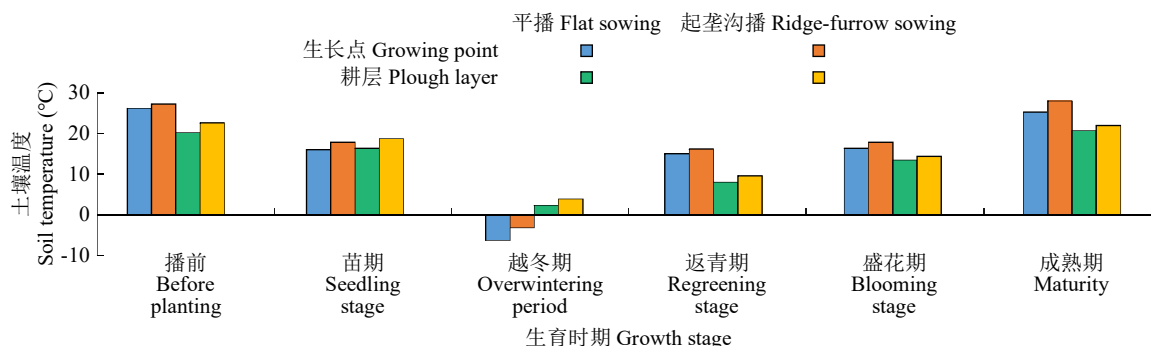


图 5 起垄沟播与平播对冬油菜生长点及土壤耕层温度变化的影响
Fig.5 The effects of ridge-furrow sowing and flat sowing on the growing point and soil temperature changes in the plough layer of winter rapeseed

温适应性，从而提升了越冬率。

2.4 起垄沟播方式下冬油菜生长点位置风速变化

进一步分析 2 种播种方式下冬油菜生长点位置的风速 (图 6) 发现，平播方式下播种前、苗期和越冬期油菜生长点位置平均风速分别为 4.94、8.60 和 6.53 m/s，而起垄沟播方式下分别为 2.09、2.39 和 1.20 m/s。在小垄的阻挡下，与平播方式相比，起垄沟播方式下各生育时期油菜生长点位置的风速显著降低，播种前、苗期和越冬期分别降低了 57.60%、72.20%和 81.61%，显著降低了冷风对冬油菜生长点部位的侵袭。

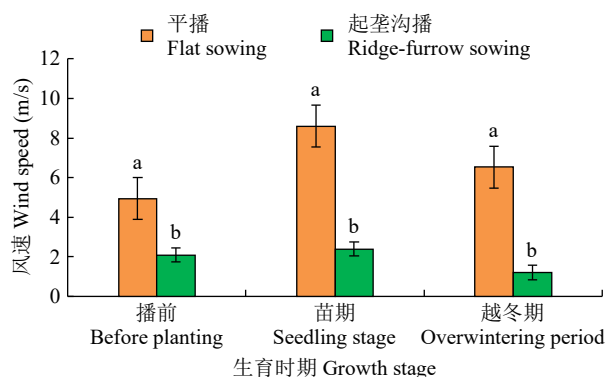


图 6 起垄沟播与平播对冬油菜生长点位置风速变化的影响
Fig.6 The effect of ridge-furrow sowing and flat sowing on the wind speed changes at the growing point of winter rapeseed

2.5 起垄沟播方式对冬油菜生育期的影响

生育期调查结果 (表 2) 显示，起垄沟播与平播方式相比，冬油菜雨养种植全生育期中，出苗期、返青期、现蕾期和初花期等均提前 2~3 d，而成熟期基本一致。可能是起垄沟播方式下种植，由于垄沟内油菜根系周围形成的水温微环境优于平播方式，因此能够促进冬油菜各生育阶段的快速发育；而成熟期一致，可能是冬油菜成熟期华北低平原区气温回升较快，在很大程度上形成种子高温胁迫成熟而非自然成熟，因此，起垄沟播方式下油菜前期较快的生长发育延长了角果灌浆时间 3~4 d，其中以衡油 8 号最为明显，灌浆期平均延长 4 d，有效促进了油菜角果籽粒干物质积累，提高了油菜产量。

2.6 起垄沟播方式下冬油菜越冬前根冠比及生物量的变化

对冬前油菜根冠比及生物量的分析显示 (表 3)，起垄沟播与平播方式相比，油菜生物量明显提高，地上部和地下部生物量均有明显增加。甘蓝型材料幼苗期、苗期及越冬前地上部分生物量分别增加了 5.21%、7.01%和 7.47%，地下部生物量分别增加了 38.24%、19.25%和 37.33%，根冠比增加了 32.08%、11.58%和 37.36%；白菜型材料幼苗期、苗期、越冬前地上部分生物量分别增加了 4.43%、

表 2 起垄沟播方式对冬油菜生育期的影响
Table 2 The effect of ridge-furrow sowing method on the growth period of winter rapeseed 月-日 month-day

播种方式 Sowing method	品种 (系) Variety (line)	年份 Year	物候期 Phenological phase									成熟期 Maturity	全生育期 Entire growth period (d)
			播种期 Sowing date	出苗期 Seedling date	五叶期 Five-leaf date	返青期 Green date	现蕾期 Budding date	初花期 First flowering	盛花期 Peak flowering	终花期 Final flowering			
平播 Flat sowing	16GAU-1	2022-2023	09-18	09-23	10-25	03-02	04-05	04-15	04-17	05-10	06-03	255	
		2023-2024	09-22	09-26	10-28	03-05	04-06	04-16	04-19	05-13	06-01	249	
	天油 14	2022-2023	09-18	09-23	10-25	03-01	03-30	04-11	04-14	05-08	05-28	250	
		2023-2024	09-22	09-26	10-28	03-05	04-01	04-13	04-15	05-10	05-29	247	
	16GAU-2	2022-2023	09-18	09-23	10-25	03-03	04-05	04-15	04-17	05-10	06-03	255	
		2023-2024	09-22	09-26	10-28	03-06	04-06	04-16	04-18	05-12	06-01	249	
	天油 142	2022-2023	09-18	09-22	10-21	02-27	03-28	04-09	04-12	04-28	05-26	248	
		2023-2024	09-22	09-25	10-24	02-28	03-31	04-10	04-12	04-30	05-27	245	
	陇油 12	2022-2023	09-18	09-22	10-21	02-27	03-27	04-09	04-12	04-28	05-26	248	
		2023-2024	09-22	09-25	10-24	02-28	03-28	04-10	04-13	04-30	05-27	245	
	衡油 8 号	2022-2023	09-18	09-22	10-21	02-26	03-12	03-22	03-25	04-23	05-21	243	
		2023-2024	09-22	09-25	10-24	02-26	03-15	03-27	03-30	04-25	05-22	240	
起垄沟播 Ridge-furrow sowing	16GAU-1	2022-2023	09-18	09-22	10-23	02-28	04-01	04-11	04-14	05-09	06-03	255	
		2023-2024	09-22	09-25	10-26	03-01	04-03	04-14	04-16	05-11	06-01	249	
	天油 14	2022-2023	09-18	09-22	10-23	02-28	03-27	04-08	04-11	05-07	05-28	250	
		2023-2024	09-22	09-25	10-26	03-01	03-29	04-09	04-12	05-10	05-29	247	
	16GAU-2	2022-2023	09-18	09-22	10-23	02-28	04-02	04-11	04-14	05-09	06-03	255	
		2023-2024	09-22	09-25	10-26	03-02	04-03	04-15	04-17	05-12	06-01	249	
	天油 142	2022-2023	09-18	09-21	10-19	02-25	03-26	04-07	04-09	04-26	05-26	248	
		2023-2024	09-22	09-24	10-21	02-26	03-28	04-09	04-12	04-27	05-27	245	
	陇油 12	2022-2023	09-18	09-21	10-19	02-25	03-26	04-08	04-10	04-27	05-26	248	
		2023-2024	09-22	09-24	10-21	02-26	03-27	04-09	04-12	04-29	05-27	245	
	衡油 8 号	2022-2023	09-18	09-21	10-19	02-25	03-10	03-21	03-23	04-20	05-21	243	
		2023-2024	09-22	09-24	10-21	02-26	03-12	03-24	03-27	04-21	05-22	240	

表 3 起垄沟播方式下冬油菜越冬前根冠比及生物量的变化

Table 3 Changes in root-shoot ratio and biomass of winter rapeseed before winter production under ridge-furrow sowing method

播种方式 Sowing method	油菜类型 Rapeseed type	生育期 Period	地上部分生物量 Aboveground biomass (g)	地下部分生物量 Underground biomass (g)	根冠比 Root-shoot ratio
平播 Flat sowing	甘蓝型 (16GAU-2)	幼苗期	31.76	6.72	0.21
		苗期	198.38	18.81	0.10
		越冬前	241.34	21.91	0.09
	白菜型 (衡油 8 号)	幼苗期	28.89	11.48	0.40
		苗期	106.37	35.48	0.33
		越冬前	186.37	52.15	0.28
起垄沟播 Ridge-furrow sowing	甘蓝型 (16GAU-2)	幼苗期	33.41	9.29	0.28
		苗期	212.33	22.43	0.11
		越冬前	241.38	30.09	0.13
	白菜型 (衡油 8 号)	幼苗期	30.17	13.63	0.45
		苗期	126.72	44.24	0.35
		越冬前	197.69	66.43	0.34

19.13%和 6.07%，地下部生物量分别增加了 18.73%、24.69%和 27.38%，根冠比分别增加了 13.85%、4.49%和 20.01%。由此说明，起垄沟播方

式更能使作物有效利用光、温及水资源，更有利于冬油菜营养体养分的积累（图 7），尤其是甘蓝型油菜根部（地下部分）养分积累增加更为明显，有

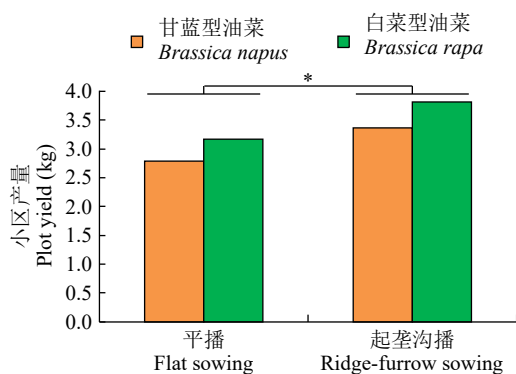
效地提高了冬油菜的抗寒能力，帮助其安全越冬。



图 7 平播和起垄沟播冬油菜根系对比
Fig.7 Comparison of winter rapeseed root system between flat sowing and ridge-furrow sowing

2.7 起垄沟播方式下冬油菜产量差异分析

对起垄沟播和平播 2 种方式下冬油菜雨养种植的产量进行分析，结果（图 8）显示，2 种播种方式下产量存在显著性差异，起垄沟播较平播甘蓝型油菜小区平均产量提高 20.86%，其中 16GAU-1、天油 14 和 16GAU-2 产量分别提高 21.1%、25.8% 和 16.1%；白菜型油菜小区平均产量提高 20.19%，其中天油 142、陇油 12 和衡油 8 号分别提高 13.9%、31.5% 和 13.6%。



“*”表示 2 种播种方式下产量差异显著 ($P < 0.05$)。
“*” indicates the significant difference in yield between two sowing methods ($P < 0.05$).

图 8 起垄沟播与平播 2 种方式冬油菜产量差异分析
Fig.8 Analysis of the yield difference of winter rapeseed between ridge-furrow sowing and flat sowing methods

3 讨论

我国油料消费市场以进口油料为主，以大豆、油菜籽和花生为主，占进出口绝大部分份额^[14]，其中我国食用油中菜籽油的消费量占比在 50% 以上。扩大油菜种植面积，提高我国油料作物产量是确保国家油料作物供给安全的重要发展方向^[15]。另一方面，我国可利用的耕地面积逐渐减少，且干旱地区

的土地荒漠化问题日益严重，严重阻碍了农业可持续发展^[16-17]。冬油菜因其抗逆性强、节水、节药等特点，在农业生产中的地位愈发重要。我国华北平原区有大量闲散地、闲耕地及轻度盐碱地，适宜发展冬油菜种植，但由于该地区冬春季气候干旱寒冷多风，冬油菜越冬安全挑战严峻，严重限制了北方冬油菜的生产发展^[18]。因此，改良油菜栽培方式、提高越冬率和产量，成为关键问题之一。而起垄沟播方式作为一种轻简化栽培措施，已在多种作物中广泛应用，并表现出显著的增产效果^[19]。

北方冬油菜越冬困难的主要原因是低温和风蚀导致生长点脱水死亡。华北平原区冬春季干旱寒冷多风，安全越冬是冬油菜稳产高产的关键^[20]。冬油菜尤其是甘蓝型油菜采用平播方式时，由于其自身生理特点，生长点暴露于地表，在冬季低温和风蚀的双重胁迫下，越冬率较低；而起垄沟播方式能有效集中水肥、增温保墒^[21]，使油菜生长点位置和耕层（20 cm）土壤温度较平播方式提高 2~3 °C，越冬前各生育期土壤含水量提高 1.76%~3.65%，各生育阶段甘蓝型和白菜型冬油菜根冠比分别提高了 11.6%~27.5% 和 4.5%~20.0%，地下部分干物质的积累充分，显著促进了越冬前根系发育，提高根冠比，增强抗寒能力。此外，垄沟结构明显减少风蚀影响，降低油菜根颈部脱水死亡风险，从而显著提高了冬油菜越冬率。

起垄沟播方式还能优化油菜生育进程，延长灌浆期，提高产量。类似效果在小麦^[22]及玉米^[23]等作物中已有报道。华北平原区冬油菜成熟期受高温胁迫影响，花期提前可延长灌浆时间，从而提高产量。起垄沟播方式仅需要对传统油菜播种机进行简单改装，在播种机原开沟器的前方对应位置新增一个开沟器，使新增开沟器与下种处开沟器对齐，启动播种机后，利用新增开沟器在土壤中开沟，将沟中土壤分向两边，形成小垄，油菜种子随后播种于小垄间的沟中，简单易操作，并不增加种植成本，适合在干旱、半干旱地区推广应用。同时该技术操作简便、成本低，结合抗寒品种选育，将成为促进北方寒旱区发展冬油菜种植的重要技术手段，可大幅提升华北平原区冬油菜种植面积，对保障我国油料安全具有重要意义。

4 结论

起垄沟播方式使油菜幼苗更加有效地利用水

温条件,改善土壤温湿度,促进根系发育以及减少风蚀影响,使冬油菜越冬率显著提升,为北方寒旱区冬油菜稳产奠定基础。起垄沟播播种方式下垄沟微环境优化了油菜生育进程,使得花期提前,进而延长了油菜灌浆时间,最终提高了冬油菜产量。

参考文献

- [1] 张冉,曹娟娟,濮超,等.中国油菜籽和菜籽油的生产、进出口及供需分析.中国油脂,2022,47(6):8-14.
- [2] 严茂林,葛玮玮,张翔,等.我国油料产业形势分析与发展对策.中国油脂,2023,48(6):8-17.
- [3] 周怀宗.一号文件提及大豆、油菜、花生,三种作物如何守护中国人的油瓶子.新京报,2025-02-25.
- [4] Fan J Q, Yang G, Wu J Y, et al. Feasibility analysis of expanding winter rapeseed northwards in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2025, 361: 1-15.
- [5] 李积铭,李爱国,李和平,等.环渤海区域耐盐碱冬油菜品种全生育期鉴定筛选.中国油料作物学报,2025,47(2):402-412.
- [6] 刘自刚,魏家萍,崔俊美,等.我国冬油菜北移的现状,问题与对策.中国农业科学,2023,56(15):2854-2862.
- [7] 王学芳,孙万仓,李芳,等.中国西部冬油菜种植的生态效应评价.应用生态学报,2009,20(3):647-652.
- [8] 龚德荣,杨晓琴,齐学杰.油菜受冻的症状及预防.现代农业科技,2000(11):6.
- [9] 李积铭,李和平,陶肖蕾,等.冬灌处理对河北冬油菜关键性状的影响.中国油料作物学报,2023,45(6):1227-1237.
- [10] 李廷俊,李震杰.甘蓝型油菜越冬死苗与环境条件的关系及其防御措施.中国农业气象,1997,18(1):4.
- [11] 刘学彤,曹彩云,党红凯,等.华北平原长期秸秆还田潮土土壤有机碳变化特征.干旱地区农业研究,2025(1):132-138.
- [12] 李积铭,李爱国,李和平,等.黑龙江流域不同白菜型冬油菜品种的农艺性状评价分析.分子植物育种,2021,19(4):1312-1319.
- [13] 孙万仓,刘自刚,雷建明,等.北方白菜型冬油菜品种试验记载规范:DB62-T 2643-2016.兰州:甘肃省质量技术监督局,2016.
- [14] 施文华,严茂林,刘昌勇,等.我国油料进口贸易的结构特征及对策分析.中国油脂,2023,48(8):1-8.
- [15] 邓乾春.加强中非油料科技合作 拓展多元化供给渠道.中国经济报告,2024(2):47-49.
- [16] 王礼先.我国荒漠化土地成因及其防治对策.世界林业研究,2000,13(6):32-37.
- [17] 彭云霄,魏威.土壤沙化的成因及危害分析.安徽农学通报,2019,25(10):98-99.
- [18] 蒲媛媛,赵玉红,武军艳,等.北方强冬性甘蓝型冬油菜品种(系)抗寒性评价.中国农业科学,2019,52(19):3291-3308.
- [19] 郭乔,王冬梅,张鹏,等.垄沟种植对干旱半干旱地区作物水分利用效率和产量的影响:基于Meta分析.水土保持通报,2024,44(3):190-200.
- [20] 孙万仓,马卫国,雷建民,等.冬油菜在西北旱寒区的适应性和北移的可行性研究.中国农业科学,2007,40(12):2716-2726.
- [21] 郑大玮,雷鸣,马和林.沟播小麦防冻保苗生态效应的探讨.农业气象,1984(1):31-36.
- [22] 罗晓颖.播种方式和播量对干旱区旱地小麦产量形成及水分运移规律的影响.乌鲁木齐:新疆农业大学,2023.
- [23] 王红丽,张绪成,于显枫,等.半干旱区氮肥运筹对全膜双垄沟播玉米水肥利用和产量的影响.应用生态学报,2020,31(2):449-458.

Study on the Effects of Ridge-Furrow Sowing on Soil Microenvironment and Growth of Winter Rapeseed in Northern Cold and Arid Regions

Li Jiming¹, Guan Mingwei¹, Li Heping¹, Wu Junyan², Zhai Lanju¹, Ma Li², Guo Anqiang¹, Li Aiguo¹

⁽¹⁾Institute of Dry Farming, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences/Key Lab of Crop Drought Tolerance Research of Hebei Province, Hengshui 053000, Hebei, China;

⁽²⁾College of Agriculture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract To identify suitable winter rapeseed planting techniques for cold and arid regions of northern China, a field experiment was conducted to compare the effects of ridge-furrow sowing and flat sowing on the growth and development of winter rapeseed. The results showed that under ridge-furrow sowing, soil moisture content in the plough layer (20 cm soil layer below the growth point) was consistently 0.73%-3.65% higher than that under flat sowing. The temperature at the growth point and in the plough layer was 2-3°C higher than that under flat sowing, while wind speed at the growth point was one-quarter to one-third of that under flat sowing. The root-shoot ratio increased by 11.6%-27.5% in *Brassica napus* and by 4.5%-20.0% in *Brassica rapa*. The average overwintering survival rate of *B. napus* increased from 49.3% to 81.7%, while that of *B. rapa* increased from 95.6% to 100.0%. Yield increased by 20.86% in *B. napus* and 20.19% in *B. rapa*, with significant differences observed between the two sowing methods, and ridge-furrow sowing effectively improved the overwintering survival and cold tolerance of winter rapeseed.

Key words Winter rapeseed; Ridge-furrow sowing; Flat sowing; Microenvironment; Growth and development