

彭菁菁, 潘俊峰, 汪家凯, 等. 广东省适宜“稻稻油”模式早熟甘蓝型冬油菜品种的评价与筛选 [J]. 华南农业大学学报, 2024, 45(6): 956-965.
PENG Jingjing, PAN Junfeng, WANG Jiakai, et al. Evaluation and selection of early-maturing winter rape (*Brassica napus* L.) varieties suitable for “rice-rice-rape” cropping system in Guangdong[J]. Journal of South China Agricultural University, 2024, 45(6): 956-965.

广东省适宜“稻稻油”模式早熟甘蓝型冬油菜品种的评价与筛选

彭菁菁^{1,2}, 潘俊峰¹, 汪家凯^{1,2}, 李妹娟¹, 胡香玉¹, 梁开明¹, 傅友强¹,
刘彦卓¹, 胡锐¹, 王昕钰¹, 叶群欢¹, 尹媛红¹

(1 广东省农业科学院 水稻研究所/广东省水稻科学技术重点实验室/广东省水稻工程实验室,
广东 广州 510640; 2 华南农业大学 农学院, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】评价、筛选适宜广东“稻稻油”三熟制模式的早熟、高产、优质油菜品种, 解决目前生产上轮作茬口不衔接的突出问题, 促进广东粮油产能提升。【方法】试验在双季稻冬闲田实施, 以 25 个早熟甘蓝型冬油菜品种为评价材料, 调查测定各品种的生育期、产量、品质等重要性状, 分析其与气象因子的相关性。【结果】试验品种全生育期变幅为 136~151 d, 播种期至初花期、初花期至盛花期、盛花期至终花期、终花期至成熟期的持续时间均值分别为 88.0、7.2、21.1 和 30.0 d, 大于 0 °C 平均有效积温分别为 1 648.4、98.3、360.3 和 525.3 °C; 平均产量 1 832.1 kg·hm⁻²(变幅 1 279.0~2 288.1 kg·hm⁻²), 平均日产量 12.5 kg·hm⁻²(变幅 8.6~15.5 kg·hm⁻²); 每角粒数与产量呈极显著正相关 ($P<0.01$); 籽粒含油量 (w) 平均 44.5%(变幅 40.4%~48.4%), 蛋白质含量 (w) 平均 22.4%(变幅 19.2%~25.4%), 油酸含量 (w) 平均 58.5%(变幅 19.6%~73.3%)。相关分析表明, 产量与播种期至初花期的平均温度和光合有效辐射均呈极显著正相关, 含油量与播种期至初花期的平均温度呈显著正相关 ($P<0.05$)、与光合有效辐射呈极显著正相关。聚类分析表明, 11 个不同生育期的品种属于高产类型, 日产量高以及每角粒数、一次分枝数和单株有效果数多是其主要特征。【结论】早熟甘蓝型冬油菜品种在广东的适应性差别大, 日产量高以及每角粒数、一次分枝数和单株有效果数多的品种能够充分利用生育前期光温资源, 有利于高产和高油性状形成, 适宜在粤中与丘陵稻作区“稻稻油”模式中应用。

关键词: 三熟制; “稻稻油”模式; 水旱轮作; 甘蓝型冬油菜; 产量

中图分类号: S565.4; S344.13

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2024)06-0956-10

Evaluation and selection of early-maturing winter rape (*Brassica napus* L.) varieties suitable for “rice-rice-rape” cropping system in Guangdong

PENG Jingjing^{1,2}, PAN Junfeng¹, WANG Jiakai^{1,2}, LI Meijuan¹, HU Xiangyu¹, LIANG Kaiming¹,
FU Youqiang¹, LIU Yanzhuo¹, HU Rui¹, WANG Xinyu¹, YE Qunhuan¹, YIN Yuanhong¹

(1 Rice Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences/Guangdong Key Laboratory of Rice Science and Technology/Guangdong Rice Engineering Laboratory, Guangzhou 510640, China;

2 College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

收稿日期: 2024-08-13 网络首发时间: 2024-10-28 11:43:02

首发网址: <https://link.cnki.net/urlid/44.1110.S.20241025.1738.002>

作者简介: 彭菁菁, 硕士研究生, 主要从事作物栽培与耕作学研究, E-mail: 1503530253@qq.com; 通信作者: 潘俊峰, 研究员, 博士, 主要从事水稻高产生理与调控研究, E-mail: junfeng401@163.com

基金项目: 2024 年广东省乡村振兴战略专项(粤农农计〔2024〕68 号); 广东省农业科学院水稻研究所优谷计划(2024YG02)

Abstract: 【Objective】 To evaluate and select the early-maturing, high-yield and high-quality rape varieties suitable for the triple-cropping mode of “rice-rice-rape” in Guangdong Province, solve the outstanding problem of non-alignment of crop rotation at present, and promote the improvement of grain and oil production capacity in Guangdong Province. **【Method】** The experiment was carried out in the winter idle field of double-cropping rice. The 25 early-maturing winter rape (*Brassica napus* L.) varieties were selected as evaluation materials, their growth duration, yield and quality traits were assessed, and their correlations with meteorological factors were analyzed as well. **【Result】** The whole growth duration of 25 winter rape varieties ranged from 136 to 151 d. The average days from sowing stage to initial flowering stage, from initial flowering stage to full flowering stage, from full flowering stage to final flowering stage, and from final flowering stage to maturity stage were 88.0, 7.2, 21.1 and 30.0 d respectively; The average values of accumulative effective temperatures above 0 °C were 1 648.4, 98.3, 360.3 and 525.3 °C respectively. Their average yield was 1 832.1 kg·hm⁻², ranging from 1 279.0 to 2 288.1 kg·hm⁻². The average daily yield was 12.5 kg·hm⁻², ranging from 8.6 to 15.5 kg·hm⁻². The seed yield was significantly and positively correlated with seeds per pod ($P<0.01$). The seed oil content (w) averaged 44.5%, varying from 40.4% to 48.4%. The protein content (w) was 22.4% on average, with a range between 19.2% and 25.4%. Additionally, the average oleic acid content (w) was 58.5%, with a range between 19.6% and 73.3%. According to correlation analysis, from sowing stage to initial flowering stage, yield had extremely significant positive correlation with average temperature and photosynthetically active radiation, oil content had significant positive correlation with average temperature ($P<0.05$), and extremely significant positive correlation with photosynthetically active radiation. Cluster analysis discovered 11 high-yield-type varieties with various growth durations, and their daily yield, seeds per pod, number of primary branches and effective pods per plant were higher or greater. **【Conclusion】** Early-maturing winter rape varieties displays significantly different adaptability in Guangdong. The varieties with high daily yield, high seed number per pod, high primary branch number, and high effective pod number per plant can fully utilize the light and temperature resources in the early growth stages, leading to the formation of high-yield and high-oil traits. They are suitable for “rice-rice-rape” production in rice-growing region of central Guangdong and hilly area.

Key words: Triple-cropping system; “Rice-rice-rape” cropping system; Paddy-upland rotation; *Brassica napus* L.; Yield

双季稻两熟制是保障广东省粮食安全的最重要种植制度, 2022 年全省双季稻面积和产量分别占粮食作物总量的 82.3% 和 85.8%^[1]。由于常住人口数量多, 全省口粮自给率和食用油自给率分别为 60% 和 20% 左右^[2-3], 提高粮油产能是保障全省粮油安全和经济社会高质量发展的迫切需求。油菜是唯一适合冬季种植的油料作物, 可以利用冬闲田种植, 不与双季稻争地; 同时, 油菜生长过程可以优化土壤结构、增加土壤养分、培肥土壤地力、提高周年光温资源利用率, 具有用地养地的特征优势, 长期冬种油菜可实现土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量年均增幅分别达到 1.2%、0.7%、3.0% 和 4.0%^[4-5]。因此, 建立“稻稻油”模式并进行大面积应用对实现粮油兼丰和乡村振兴具有重要战略意义。广东省“稻稻油”模式的应用由来已久^[6]。

2022 年广东油菜播种面积为 5.07×10^3 hm²^[1], 而冬闲超过 100 d 的耕地有 $3\times10^5\sim3.74\times10^5$ hm²^[7], 利用冬闲田种植油菜潜力巨大。由于广东在冬油菜品种评价、筛选方面的研究较为缺乏, 导致目前生产上引进外省油菜品种多, 且大多不能与当地水稻生产实际匹配, 三熟制轮作冬油菜与早稻茬口矛盾突出, 冬油菜尚未成熟就需腾田, 无法收获菜籽。因此, 评价、筛选适宜广东“稻稻油”轮作的冬油菜品种是实现粮油兼丰的关键。

根据广东省最新稻作区划分, 与水稻安全生育期相匹配的冬种作物的全生育期为 130~155 d^[8]。在 2018—2023 年中国种业大数据平台中, 广东登记的油菜品种有 8 个, ‘粤油 28’ 生育期最短, 为 155 d^[9], 基本满足粤北与山地种植区三熟轮作的生育期需求, 但在生产上其产量和品质表现并不清

楚。前人于 2006—2008 年在广东湛江开展了甘蓝型冬油菜 *Brassica napus* L. 的评价、筛选, 甘蓝型冬油菜生育期 158~173 d, 产量可达 1 238~1 951 kg·hm⁻², 明确了华南生态气候适宜种植甘蓝型油菜^[10], 但筛选品种的生育期与该区域双季稻生产存在茬口矛盾。虽然前人在三熟制油菜品种评价、筛选方面开展了大量工作, 但多集中在长江流域各生态区^[11-13], 尽管也在广西桂林开展了评价^[14], 但品种筛选试验的播期和油菜品种的生育期等大多与广东各稻作区的茬口衔接时间和耕地冬闲天数不匹配, 而且油菜生长易受光、温、降水等环境因素影响^[15-16]。油菜品种选育不断取得突破, 生育期逐年缩短, 产量稳步提升, 含油量不断提高^[17-18]。针对广东省气候资源特点, 评价、筛选出适合本省“稻稻油”三熟制的早熟高产油菜新品种, 一方面可以丰富不同稻作区早熟油菜品种选择, 扩大冬油菜生产, 另一方面可确保周年顺利接茬, 实现粮油周年高产。

本研究根据广东省双季稻的晚稻和再生稻收获期, 引进短生育期甘蓝型冬油菜新品种 25 个, 明确广东冬闲稻田种植条件下油菜生育期、产量、品质等性状特征及其与主要气象因子的关系, 为广东省三熟制早熟高产油菜新品种的引种提供数据参考, 也为广东不同区域扩大冬种油菜面积和提升产量提供用种依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

25 个早熟甘蓝型冬油菜品种分别为 1: ‘中油 925’、2: ‘中油 298’、3: ‘中油 107’、4: ‘中油 995’、5: ‘中油 112’、6: ‘中油 916’、7: ‘中油 295 早’、8: ‘中油 988’、9: ‘希望 226’、10: ‘希望 599’、11: ‘希望 799’、12: ‘希望 299’、13: ‘希望 759’、14: ‘希望 2191’、15: ‘大地 95’、16: ‘希望 422’、17: ‘湘油 420’、18: ‘湘油 168’、19: ‘中油早 1 号’、20: ‘湘油 078’、21: ‘湘油 228’、22: ‘湘油 608’、23: ‘湘油 656’、24: ‘阳光 131’、25: ‘希望 990’; 其中, 1~16、19、24~25 来自中国农业科学院油料作物研究所, 17~18、20~23 来自湖南农业大学; 7、13、15~18、20~23、25 为常规种, 其余 14 个为杂交种。

1.2 大田试验

1.2.1 试验设计 试验于 2023—2024 年在广东省农业科学院大丰试验基地 (23°08'N、113°20'E) 进行。土壤 pH 5.66、有机质 27.11 g·kg⁻¹、全氮 1.23

g·kg⁻¹、全磷 0.71 g·kg⁻¹、全钾 15.18 g·kg⁻¹、碱解氮 104.59 mg·kg⁻¹、有效磷 18.83 mg·kg⁻¹、速效钾 107.98 mg·kg⁻¹、有效硼 0.21 mg·kg⁻¹。试验地块平整且灌排便利。10 月 27 日播种, 播种量 8.0 kg·hm⁻², 条播, 行距 33 cm, 每个品种 3 次重复, 随机区组排列, 共 75 个小区, 小区面积 6 m² (2 m×3 m), 于三叶期间苗, 补苗, 统一密度为每公顷 45 万株。

1.2.2 肥料管理 总施肥量分别为 N 150.0 kg·hm⁻²、P₂O₅ 60.0 kg·hm⁻²、K₂O 75.0 kg·hm⁻²、B₂O₃ 2.25 kg·hm⁻²。氮肥为尿素 (N 质量分数为 46%), 磷肥为过磷酸钙 (P₂O₅ 质量分数为 12%), 钾肥为氯化钾 (K₂O 质量分数为 60%), 硼肥为硼砂 (B₂O₃ 质量分数为 15%)。肥料分 2 次施用, 第 1 次为基肥, 施用 70%(w) 的氮肥、80%(w) 的钾肥和全部的磷、硼肥; 剩余的氮、钾肥在播种 2 个月后统一追施。

1.2.3 病虫害防治 播种覆土后用乙草胺进行杂草防治。按照品种生育期进行病虫害防治: 苗期用高效氯氟氰菊酯喷雾防治蚜虫、菜青虫, 用虫螨腈防治黄曲条跳甲; 初花期及初花期后 1 周用多菌灵防治菌核病; 终花后 15 d 用高效氯氟氰菊酯喷雾防治蚜虫、菜青虫。

1.2.4 生育期调查 生育期记载标准参照油菜品种区域试验品种考查项目统一调查记载标准和姜洪祥等^[19]的方法。分别记录播种期、初花期 (小区有 25% 植株开始开花)、盛花期 (小区有 75% 以上花序已经开花)、终花期 (小区有 75% 以上花序完全谢花) 和成熟期 (小区 75% 以上角果转黄色, 且种子呈成熟色泽)。

1.2.5 成熟期考种与测产 各小区选取长势均匀的区域连续取样 10 株, 测定株高、一次分枝数、分枝高度、单株有效角果数及每角粒数等指标。在每株主轴和上、中、下部的分枝花序上, 随机摘 20 个有效角果, 统计每角果饱满种子数, 计算每角粒数。避开边行每小区实收 2 m², 晒干后脱粒称质量, 作为实收产量。将晒干后的油菜籽 [含水量不高于 10%(w)] 去杂后, 用四分法取样 4 份, 用数粒板计数 1 000 粒并称质量, 计算 4 份样品的平均值, 即为千粒质量。

1.2.6 油菜籽品质测定 采用近红外光谱仪 (Foss, NIRsystem 5000) 测定油分、蛋白质、油酸、亚油酸、亚麻酸、棕榈酸、芥酸、硫代葡萄糖苷含量等品质指标^[20]。

1.3 气象数据

气象数据来源于田间小型气象站 (Onset Hobo U30 自动气象站), 记录的气象因子数据包括每 15

min 的最高温、最低温、平均温度、空气湿度、降雨量、光合有效辐射等, 并通过公式 (1) 计算油菜生育期内 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温 (AT_0)。

$$AT_0 = \sum_{i=1}^n (T_i - 0),$$

(1)

式中, T_i 为第 i 天平均气温, 若 $T_i < 0$, 则 $T_i - 0$ 以 0 计算; n 为油菜生育期天数。

在冬油菜大田生长期 (2023 年 10 月 27 日至 2024 年 3 月 26 日), 平均气温先降低后升高: 2023 年 10 月至 2024 年 1 月, 由 $25.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降至 $15.9\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2024 年 1 月后, 由 $15.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 升至 $20.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。降雨量变化趋势与平均温度相似: 2023 年 11 月和 2024 年 3 月累计降雨量较高。昼夜温差先升高后降低: 2023 年 10 月至 2023 年 11 月, 由 $7.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 升高到 $10.5\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2023 年 12 月至 2024 年 3 月, 由 $9.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降至 $7.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。光合有效辐射逐月下降, 2023 年 10 月至 2024 年 3 月由 $437.3\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 降至 $310.3\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。月平均空气相对湿度为 $72.6\%\sim 80.4\%$ 。

1.4 数据分析

利用 SPSS 27 数据分析软件对 25 份甘蓝型冬油菜品种的农艺性状、产量数据进行整理, 计算最大值、最小值、平均值、标准差, 进行 Pearson 相关性分析; 采用方差分析法进行差异显著性检验; 采

用系统聚类分析模块进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同油菜品种生育进程

据供试品种的生育期调查数据显示, ‘湘油 656’ 最长, 为 151 d, ‘希望 990’ 最短, 为 136 d, 两者相差 15 d。“稻稻油” 模式中冬种作物生育期约 130~155 d, 按照生育期每增加 5 d 分为 1 类的标准, 参试品种中, 全生育期 136~140 d 的品种有 ‘湘油 420’ ‘希望 990’; 141~145 d 的品种有 ‘中油 107’ ‘中油 925’ ‘中油 988’ ‘希望 226’ 和 ‘希望 759’; 其余 18 个品种 (‘中油 298’ ‘中油 995’ ‘中油 112’ ‘中油 916’ ‘中油 295 早’ ‘希望 599’ ‘希望 799’ ‘希望 299’ ‘希望 2191’ ‘大地 95’ ‘希望 422’ ‘湘油 168’ ‘中油早 1 号’ ‘湘油 078’ ‘湘油 228’ ‘湘油 608’ ‘湘油 656’ ‘阳光 131’) 全生育期都在 145 d 以上。本试验条件下, 所有参试品种均能够在 2024 年 3 月 31 日前成熟。

不同油菜品种各生育期持续时间如表 1 所示。总体上, 播种期至初花期持续时间最长, 平均 88.0 d, 最短和最长相差 35.0 d; 初花期至盛花期持续时间最短, 平均 7.2 d, 该阶段品种间变异系数最大, 为 39.8%; 盛花期至终花期平均 21.1 d, 最大相差 18.0 d。

表 1 早熟冬油菜品种不同生育期持续时间及所需有效积温

Table 1 Duration time and effective accumulated temperature in various growth stages of early-maturing winter rape varieties

时期 ¹⁾ Stage	持续时间 Duration time			有效积温 Effective accumulated temperature		
	变异幅度/d Variation range	均值/d Mean	变异系数/% Coefficient of variation	变异幅度/℃ Variation range	均值/℃ Mean	变异系数/% Coefficient of variation
A	62.0~97.0	88.0	8.9	1 195.5~1 765.9	1 648.4	7.4
B	3.0~12.0	7.2	39.8	48.8~182.1	98.3	38.8
C	17.0~35.0	21.1	18.5	288.1~549.1	360.3	17.3
D	30.0~30.0	30.0		511.4~552.7	525.3	1.3
合计 Total	136.0~151.0	146.2	2.6	2 394.4~2 746.4	2 632.2	3.2

1) A: 播种至初花, B: 初花至盛花, C: 盛花至终花, D: 终花至成熟。

1) A: From sowing to initial flowering, B: From initial flowering to full flowering, C: From full flowering to final flowering, D: From final flowering to maturity.

从各个生育期所需有效积温 (表 1) 来看, 播种期至初花期最大, 平均 $1\ 648.4\text{ }^{\circ}\text{C}$; 初花期至盛花期有效积温最少, 平均 $98.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 变异系数最大, 为 38.8%; 盛花期至终花期平均有效积温 $360.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 变异系数 17.3%; 终花期至成熟期平均有效积温 $525.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.2 不同油菜品种的产量及其构成因素

不同品种株高、分枝高度、一次分枝数、单株有效角果数、每角粒数、千粒质量、日产量、产量等均表现出一定差异 (表 2), 其中变异系数从大到小依次为一次分枝数>单株有效角果数>日产量>产量>分枝高度>每角粒数>千粒质量>株高。一次分枝

表 2 不同早熟冬油菜品种农艺性状比较¹⁾
Table 2 Comparison of agronomic traits in all early-maturing winter rape varieties

品种 Variety	株高/cm Plant height	分枝高 度/cm Branch height	一次分枝数 Number of primary branches	单株有效 角果数 Effective pods per plant	每角 粒数 Seeds per pod	千粒质 量/g 1 000-seed weight	日产量 (kg·hm ⁻²) Daily yield	产量 Yield	
								性状值/ (kg·hm ⁻²) Trait value	排名 Ranking
1	184.5ab	122.0ab	3.6c-h	116.5b-g	19.4f	3.3g-j	14.0a-d	1 986.0a-c	10
2	180.8a-c	84.5d-f	1.9m	83.2hi	19.4f	3.3f-j	11.9a-f	1 744.7a-e	15
3	185.2ab	121.9ab	4.6ab	134.7b	23.4bc	3.3f-j	14.4a-d	2 068.5a-c	7
4	176.2b-f	96.7b-f	3.4e-i	105.5d-h	21.8c-f	3.5e-g	11.1c-f	1 645.7b-e	20
5	171.0d-g	106.6a-e	4.5a-c	129.3bc	21.2c-f	3.2h-k	11.6b-f	1 728.5b-e	17
6	173.6c-f	102.3a-f	2.5k-m	80.9i	22.8b-e	3.7b-d	15.5a	2 288.1a	1
7	184.1ab	113.0a-c	3.7b-g	128.1b-d	20.5d-f	3.0k	11.0d-f	1 638.4b-e	21
8	178.3a-e	99.5b-f	3.7c-h	124.9b-e	22.7b-e	3.5d-f	15.0ab	2 161.8ab	3
9	170.6e-g	81.6ef	2.5j-m	96.8f-i	25.0b	3.4e-h	14.9ab	2 117.3a-c	4
10	178.5a-e	96.1b-f	3.1f-k	115.4b-g	—	3.9b	13.5a-e	1 990.7a-c	8
11	186.4a	126.1a	4.3a-d	130.2bc	20.3ef	3.6c-e	13.3a-e	1 972.9a-d	11
12	180.0a-c	108.1a-d	3.9a-f	117.9b-f	20.3ef	3.5e-g	8.6f	1 279.0e	25
13	159.5hi	101.6a-f	3.6c-h	102.8e-i	15.9g	3.4e-g	10.1ef	1 429.1de	23
14	179.7a-d	117.9ab	4.1a-e	130.5bc	15.9g	4.2a	12.0a-f	1 746.2a-e	14
15	176.8b-f	111.7a-c	3.9a-f	124.5b-e	19.0f	3.4f-i	11.5b-f	1 703.9b-e	18
16	176.4b-f	116.0a-c	4.3a-d	114.6b-g	27.5a	2.6i	14.2a-d	2 099.7a-c	6
17	150.8jk	78.2f	3.7c-h	116.9b-g	20.0ef	3.4e-h	15.4a	2 111.1a-c	5
18	149.5k	84.5d-f	3.6d-h	109.3c-g	23.3b-d	3.2h-k	14.8a-c	2 193.4ab	2
19	158.5h-j	97.3b-f	3.3e-j	94.6f-i	20.7c-f	3.2i-k	11.3b-f	1 679.7b-e	19
20	147.3k	77.2f	4.6ab	134.4b	20.2ef	3.1jk	11.7a-f	1 744.5a-e	16
21	151.9i-k	91.7c-f	2.8h-l	94.9f-i	19.0f	3.7bc	12.0a-f	1 792.2a-e	12
22	152.7i-k	83.1d-f	2.3lm	100.7f-i	21.6c-f	3.3g-j	12.2a-f	1 788.5a-e	13
23	163.0gh	99.9b-f	2.7i-m	101.0f-i	20.5d-f	3.2h-k	8.8f	1 329.7e	24
24	168.6fg	104.6a-e	4.7a	163.1a	22.6b-e	2.5m	13.3a-e	1 987.5a-c	9
25	153.0i-k	84.8d-f	2.9g-l	93.5g-i	15.1g	4.1a	11.6b-f	1 574.9c-e	22
均值 Mean	169.5±12.9	100.3±14.6	3.5±0.8	113.8±18.9	20.8±2.8	3.4±0.4	12.5±1.9	1 832.1±271.0	
CV/%	7.6	14.5	22.1	16.6	13.5	11.2	15.4	14.8	

1) “—” 表示数据未获得; CV表示变异系数; 同列数据后的不同小写字母表示品种间差异显著($P<0.05$, LSD法)。
1) “—” means that data are not obtained; CV stands for coefficient of variation; Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among varieties ($P<0.05$, LSD method).

数、单株有效角果数、每角粒数、千粒质量大的品种, 产量相对较高。‘中油 925’ ‘中油 107’ ‘中油 916’ ‘中油 988’ ‘希望 226’ ‘希望 599’ ‘希望 799’ ‘希望 422’ ‘湘油 420’ ‘湘油 168’ ‘阳光 131’ 11 个品种的产量均在 1 900 kg·hm⁻² 以上; ‘中油 298’ ‘中油 995’ ‘中油 112’ ‘中油 295 早’ ‘希望 2 191’ ‘大地 95’ ‘中油早 1 号’ ‘湘油 078’ ‘湘油 228’ ‘湘油 608’ 10 个品种的产量为 1 600~1 800 kg·hm⁻²; ‘希望 299’ ‘希望 759’ ‘湘油 656’ ‘希望 990’ 4 个品种的产量为 1 200~<1 600 kg·hm⁻²。

2.3 油菜产量、产量构成因子及生育期间的相关性

产量与每角粒数呈极显著正相关, 与单株有效角果数、千粒质量无显著相关性(表 3); 说明短生育期油菜品种在广东种植, 每角粒数的多少直接决定产量高低。每角粒数与千粒质量呈极显著负相关, 生育期与产量无显著相关性(表 3)。

2.4 基于产量和生育期的油菜品种聚类分析

以产量和生育期为聚类指标, 将 25 个参试品种聚为 4 个类群(表 4)。其中第 I 类为高产长生育期类型, 仅包含 ‘中油 916’; 第 II 类为高产短生育期类型, 包含 10 个品种, 分别是 ‘希望 599’

表 3 早熟冬油菜品种产量、产量构成因子及生育期间的相关性¹⁾

Table 3 Correlation among yield, yield component and growth duration of early-maturing winter rape varieties						
性状 Trait	产量 Yield	单株有效角果数 Effective pods per plant	每角粒数 Seeds per pod	千粒质量 1 000-seed weight	生育期 Growth duration	
产量 Yield	1.00					
单株有效角果数 Effective pods per plant	0.10	1.00				
每角粒数 Seeds per pod	0.58**	0.10	1.00			
千粒质量 1 000-seed weight	-0.11	-0.40	-0.63**	1.00		
生育期 Growth duration	-0.19	0.20	0.31	-0.38	1.00	

1) “**” 表示在 $P<0.01$ 水平显著相关(Pearson法)。
1) “**” indicates significant correlation at $P<0.01$ level (Pearson method).

表 4 各类群早熟冬油菜品种产量、生育期、含油量特征
Table 4 Yield, growth duration and oil content characters in various clustering groups of early-maturing winter rape varieties

分类 ¹⁾ Cluster	产量 Yield			生育期 Growth duration			含油量(w) Oil content		
	变异幅度/ (kg·hm ⁻²)	均值/ (kg·hm ⁻²)	变异系数/% Variation coefficient	变异幅度/d Variation range	均值/d Mean	变异系数/% Variation coefficient	变异幅度/% Variation range	均值/% Mean	变异系数/% Variation coefficient
	Variation range	Mean		range			range		
I		2 288.1			148.0			48.0	
II	1 972.9~2 193.4	2 068.9	3.9	137.0~149.0	144.9	2.6	40.8~48.4	45.5	5.2
III	1 574.9~1 792.2	1 707.9	3.9	136.0~149.0	147.0	2.6	40.4~48.2	43.6	5.3
IV	1 279.0~1 429.1	1 345.9	5.7	142.0~151.0	147.3	3.2	40.8~45.6	43.3	5.6
合计 Total	1 279.0~2 288.1	1 832.0	14.8	136.0~151.0	146.2	2.6	40.4~48.4	44.5	5.6

1) I: 高产长生育期, II: 高产短生育期, III: 中产长生育期, IV: 低产长生育期。
1) I: High-yield and long-growth duration, II: High-yield and short-growth duration, III: Middle-yield and long-growth duration, IV: Low-yield and long-growth duration.

‘阳光 131’ ‘中油 925’ ‘希望 799’ ‘中油 988’ ‘湘油 168’ ‘希望 226’ ‘湘油 420’ ‘希望 422’ ‘中油 107’; 第 III 类属于中产长生育期类型, 包含 11 个品种, 分别是 ‘中油 298’ ‘中油 995’ ‘中油 112’ ‘中油 295 早’ ‘希望 2 191’ ‘大地 95’ ‘中油早 1 号’ ‘湘油 078’ ‘湘油 228’ ‘湘油 608’ ‘希望 990’; 第 IV 类属于低产长生育期类型, 包含 3 个品种, 分别是 ‘希望 299’ ‘湘油 656’ ‘希望 759’。

2.5 不同油菜品种的品质

不同油菜品种的品质如表 5 所示。各品种平均含油量(w) 为 44.5%, 变幅为 40.4%~48.4%; 含油量最高品种为 ‘希望 226’, 最低品种为 ‘湘油 228’。蛋白质含量(w) 变幅为 19.2%~25.4%, 平均 22.4%; 蛋白质含量最高品种为 ‘湘油 656’, 最低品种为 ‘中油 925’。油酸含量(w) 变幅为 19.6%~73.3%, 平均 58.5%; 油酸含量最高品种为 ‘希望 422’, 最低品种为 ‘湘油 078’。亚油酸含量(w) 变幅为 11.9%~24.8%, 平均 21.2%; 亚油酸含量最高品种为 ‘湘油 228’, 最低品种为 ‘希望

422’。亚麻酸含量(w) 变幅为 4.9%~12.4%, 平均 10.2%; 亚麻酸含量最高品种为 ‘大地 95’, 最低品种为 ‘希望 422’。棕榈酸含量(w) 变幅为 3.3%~4.3%, 平均 3.9%; 棕榈酸含量最高品种为 ‘中油 298’ ‘湘油 656’, 最低品种为 ‘希望 226’ ‘湘油 078’。除 ‘希望 226’ ‘希望 422’ ‘湘油 078’ ‘阳光 131’ 以外, 其他品种的品质都符合双低油菜标准。

2.6 油菜主要农艺性状与主要气象因子的相关性

产量分别与播种期至初花期的平均温度和光合有效辐射呈极显著正相关, 与降雨量呈极显著负相关; 与初花期至盛花期的平均温度呈极显著负相关; 与初花期至盛花期的光合有效辐射以及终花期至成熟期的平均温度呈显著负相关。每角粒数与初花期至盛花期的平均温度呈显著负相关, 与光合有效辐射呈极显著负相关。千粒质量与盛花期至终花期的平均温度呈显著负相关。单株有效角果数与全生育期的气象因子均没有显著相关性。各生育期持续时间分别与各生育期平均温度和光合有效辐射呈负相关, 与各生育期降雨量呈极显著正相关(表 6)。

表 5 不同早熟冬油菜品种品质指标比较¹⁾

Table 5 Comparison of quality characters among all early-maturing winter rape varieties

品种 Variety	w/%							b(硫代葡萄糖苷)/ (μmol·g ⁻¹) Glucosinolate content
	油分 Oil	蛋白质 Protein	油酸 Oleic acid	亚油酸 Linoleic acid	亚麻酸 Linolenic acid	棕榈酸 Palmitic acid	芥酸 Erucic acid	
1	46.1b-e	19.2l	61.2c-f	21.9d-h	10.6d-f	4.0de	0.1d	27.3c-i
2	43.3f-i	22.4d-g	58.9fg	23.3bc	10.4e-g	4.3a	0.1d	25.1e-j
3	45.3d-f	21.0h-j	61.0c-g	22.0d-h	10.6d-f	4.0de	0d	25.9d-j
4	41.4i-k	24.0bc	60.9c-g	22.8b-e	10.7de	4.2a-d	0d	27.0c-i
5	42.0h-k	22.6c-g	62.5cd	21.1gh	9.9gh	4.0ef	0.3d	29.8c-e
6	48.0ab	19.6kl	60.9c-g	18.7i	9.4i	3.6ij	0.2d	29.4c-f
7	42.4h-k	22.8c-g	59.1fg	23.6b	11.5b	4.1b-e	0d	27.0c-i
8	45.7c-e	21.8f-i	59.2e-g	22.1d-g	10.6d-f	3.9ef	0.3d	29.8c-e
9	48.4a	21.4g-j	65.7b	16.2k	7.4k	3.3k	3.5c	30.2cd
10	45.8c-e	22.6c-g	60.4c-g	21.8e-h	10.7de	4.0de	0.3d	23.1ij
11	47.2a-d	21.8f-i	58.7fg	21.0h	10.3e-h	3.7hi	0.2d	21.7j
12	43.5f-h	22.3d-h	60.5c-g	21.3f-h	10.0gh	3.8gh	0.2d	26.5c-i
13	45.6c-e	20.3j-l	62.1c-e	21.4f-h	10.7de	3.8fg	0.1d	28.7c-g
14	44.9e-g	23.5cd	62.2cd	22.4c-f	9.8hi	4.0de	0.4d	27.2c-i
15	43.0g-i	23.3c-e	45.1j	22.5c-e	12.4a	4.0de	0.2d	23.3ij
16	47.7a-c	22.1e-i	73.3a	11.9l	4.9l	3.5ij	5.1b	23.5h-j
17	42.1h-k	22.6c-g	62.2cd	22.9b-d	10.3e-h	4.2ab	0.1d	28.5c-h
18	45.7c-e	23.0c-f	62.6c	19.0i	8.5j	3.5j	0.4d	30.9c
19	46.4a-c	20.7i-k	55.3h	22.2d-g	11.0cd	4.1c-e	0.1d	24.8f-j
20	48.2a	22.9c-f	19.6k	17.1j	10.6d-f	3.3k	40.9a	38.1b
21	40.4k	25.0ab	58.1g	24.8a	12.0a	4.2ab	0d	24.2g-j
22	42.6h-j	25.0ab	60.0c-g	23.6b	11.0cd	4.2a-c	0.2d	25.7d-j
23	40.9jk	25.4a	59.6d-g	23.5b	11.4bc	4.3a	0.2d	27.4c-i
24	40.8jk	23.3c-e	50.6i	21.7e-h	11.1b-d	3.9ef	5.7b	45.7a
25	45.1d-f	21.7f-i	62.2cd	21.3f-h	10.1f-h	4.0de	0.3d	28.0c-i
均值 Mean	44.5±2.5	22.4±1.6	58.5±9.5	21.2±2.8	10.2±1.5	3.9±0.3	2.3±8.2	28.0±5.0
CV/%	5.6	7.0	16.2	13.1	14.7	7.4	348.5	17.8

1) CV表示变异系数; 同列数据后的不同小写字母表示品种间差异显著($P<0.05$, LSD法)。

1) CV represents coefficient of variation; Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among varieties ($P<0.05$, LSD method).

表 6 早熟冬油菜品种农艺性状与气象因子的相关性¹⁾

Table 6 Correlation between agronomic traits of early-maturing winter rape varieties and meteorological factors

时期 Stage	气象因子 Meteorological factor	产量 Yield	每角粒数 Seeds per pod	千粒质量 1 000-seed weight	持续时间 Duration time
播种至初花 From sowing to initial flowering	平均温度	0.58**	0.28	-0.21	-0.74**
	降雨量	-0.53**	-0.17	0.16	0.85**
	光合有效辐射	0.57**	0.24	-0.12	-0.69**
初花至盛花 From initial flowering to full flowering	平均温度	-0.62**	-0.44*	0.18	-0.49*
	降雨量	0.40	0.28	-0.30	0.85**
	光合有效辐射	-0.48*	-0.52**	0.21	-0.34
盛花至终花 From full flowering to final flowering	平均温度	0.01	0.36	-0.40*	-0.27
	降雨量	0.37	-0.05	0.10	0.80**
	光合有效辐射	-0.30	0.16	-0.14	-0.73**
终花至成熟 From final flowering to maturity	平均温度	-0.44*	-0.02	-0.13	
	降雨量	-0.07	0.29	-0.18	
	光合有效辐射	-0.15	-0.26	0.05	

1) “*” “**” 分别表示在 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 水平显著相关(Pearson法)。

1) “*” “**” indicate significant correlations at $P<0.05$ and $P<0.01$ levels respectively (Pearson method).

2.7 油菜品质性状与主要气象因子的相关性

如表 7 所示, 含油量与播种期至初花期的平均温度呈显著正相关, 与光合有效辐射呈极显著正相关; 与初花期至盛花期的平均温度、光合有效辐射呈极显著负相关; 与终花期至成熟期的光合有效辐射呈显著负相关。蛋白质含量与初花期至盛花期的平均温度、盛花期至终花期的光合有效

辐射呈显著正相关; 与盛花期至终花期的降雨量呈显著负相关。亚油酸含量与初花期至盛花期的平均温度、光合有效辐射呈显著正相关。棕榈酸含量与播种期至初花期的光合有效辐射呈显著负相关; 与初花期至盛花期的平均温度、光合有效辐射呈极显著正相关。亚麻酸含量与各阶段的气象因子均没有显著相关性。

表 7 早熟冬油菜品种品质性状与气象因子的相关性¹⁾

Table 7 Correlation between quality traits of early-maturing winter rape varieties and meteorological factors

时期 Stage	气象因子 Meteorological factor	含油量 Oil content	蛋白质含量 Protein content	亚油酸含量 Linoleic acid content	棕榈酸含量 Palmitic acid content
播种至初花 From sowing to initial flowering	平均温度	0.43*	-0.39	-0.33	-0.37
	降雨量	-0.36	0.35	0.29	0.32
	光合有效辐射	0.51**	-0.39	-0.37	-0.42*
初花至盛花 From initial flowering to full flowering	平均温度	-0.61**	0.42*	0.46*	0.52**
	降雨量	0.31	-0.10	-0.24	-0.37
	光合有效辐射	-0.55**	0.21	0.43*	0.52**
盛花至终花 From full flowering to final flowering	平均温度	-0.16	0.39	0.02	-0.08
	降雨量	0.20	-0.43*	-0.18	-0.07
	光合有效辐射	-0.21	0.43*	0.16	0.06
终花至成熟 From final flowering to maturity	平均温度	-0.18	0.22	0.15	0.13
	降雨量	-0.12	0.38	0.04	-0.01
	光合有效辐射	-0.41*	0.34	0.21	0.33

1) “*” “**” 分别表示在 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 水平显著相关(Pearson法)。
1) “*” “**” indicate significant correlations at $P<0.05$ and $P<0.01$ levels respectively (Pearson method).

3 讨论与结论

3.1 早熟冬油菜与广东双季稻生产的匹配性

广东“稻稻油”三熟制模式一般要求早稻在 2 月底至 3 月初播种, 3 月底至 4 月上旬移栽; 晚稻在 7 月中旬播种, 8 月上旬移栽, 10 月底或 11 月初收获。构建“稻稻油”三熟制模式需冬油菜在 11 月上旬播种, 次年 3 月底最迟 4 月初收获^[8]。为保障三季作物茬口衔接, 粤北与山地稻作区的冬油菜全生育期需在 155 d 以内, 粤中与丘陵稻作区需在 130~155 d, 粤南与沿海稻作区需在 130 d 以内^[21]。本试验在广州开展, 且冬油菜品种全生育期都在 151 d 以内, 满足粤中与丘陵稻作区“稻稻油”三熟制模式对冬油菜的生育期要求。由于油菜生长发育易受气候条件影响^[22], 本研究也发现播种期至初花期的持续时间约占全生育期的 60%, 与该阶段平均温度极显著负相关, 线性关系方程为 $y=-13.56x+342.37$, $r=-0.74^{**}$, 其中 y 为播种期至初花期的持续时间, x 为该阶段平均温度。假如早熟油菜品种

在广州冬季种植时 x 为 18.8 °C, y 为 87.44 d, 1) 将该品种南进至茂名、湛江等更靠南的区域 (粤南与沿海稻作区) 种植, 若冬季平均气温比广州高 2 °C, 不考虑其他气象因素、品种感光特性等影响, 按照以上线性方程, 该品种播种期至初花期的持续时间理论上会减少 27.12 d, 本研究 25 个油菜品种的全生育期都会缩短至 130 d 以内, 适宜种植; 2) 假如将该品种北移到韶关、清远等区域 (粤北与山地稻作区) 种植, 冬季平均气温比广州低约 1.5 °C, 播种期至初花期的持续时间理论上将延长 20.34 d, 按此计算, 参试品种全生育期都会超过 155 d, 将不适宜在粤北“稻稻油”模式中应用。以上仅为引种生育期变化的理论估计值, 下一步仍需在粤北开展早熟冬油菜品种的适应性验证。曹小东等^[23] 同样研究发现, 年平均温度、最冷月平均温度、极端低温都与冬油菜的生育期呈极显著负相关; 冬油菜由定西 (35°58'N) 南进至天水 (34°33'N), 年平均温度增加 2.8 °C, 全生育期缩减 56.7 d, 由定西北移至白银 (36°12'N), 年平均温度降低 1.2 °C, 全生育期延长

9.5 d。由此可见, 温度是影响油菜生育期的重要气象因子, 冬油菜南进生育期缩短, 北移生育期延长, 与本研究结果相似。由以上可知, 本研究的参试品种可满足粤中与丘陵稻作区和粤南与沿海稻作区“稻稻油”模式的构建和应用。

3.2 适宜广东“稻稻油”模式的冬油菜品种与农艺性状特征

本研究的 25 个早熟冬油菜品种南进广州后产量表现出较大差异, 同时产量与生育期之间并无显著相关性; 因此, 选择高产和较早熟的品种将更有利于三熟制模式的周年高产和应用弹性。聚类分析显示, 第 I 类 (高产长生育期类型) 和 II 类 (高产短生育期类型) 共计 11 个品种都属于高产类型, 包含‘湘油 420’‘中油 925’‘中油 107’‘中油 916’‘中油 988’‘希望 226’‘希望 599’‘希望 799’‘希望 422’‘湘油 168’‘阳光 131’, 平均产量 ($2\,088.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)、平均每角粒数 (22.7)、平均一次分枝数 (3.7)、平均单株有效角果数 (118.5) 和平均日产量 ($14.4\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) 比后两类 (III 类和 IV 类) 指标均值分别高 28.1%、17.2%、8.9%、7.6% 和 29.8%。前人研究认为, “稻稻油”模式选择冬油菜品种时, 除了将产量作为重要选择指标外, 还应关注日产量, 增加品种日产量可减少因生育期缩短造成产量潜力低的不利影响^[12], 说明适宜广东“稻稻油”模式的冬油菜品种应具有较多的每角粒数、一次分枝数、单株有效角果数以及较高的日产量。

根据不同稻作区可用冬闲田的时间, 粤中与丘陵稻作区“稻稻油”模式的构建和应用可重点选择以上 11 个品种; 推荐粤南与沿海稻作区“稻稻油”模式选择其中生育期较短的‘湘油 420’‘中油 925’‘中油 107’‘中油 988’‘希望 226’; 粤北与山地稻作区选择‘湘油 420’进行适应性评价和验证。

3.3 广东冬季气象因子对早熟冬油菜产量和品质性状的影响

关于营养生长期平均温度对冬油菜产量的影响, 存在有利作用^[24]和有弊作用^[15]2 类研究结果。本研究发现在播种期至初花期, 产量与平均温度和光合有效辐射均呈极显著正相关, 与降雨量呈极显著负相关。由气象数据可知, 本研究苗期光热资源充足, 且全生育期并未遭遇 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及以下低温, 为后期生殖生长提供了物质保障, 贺亚琴等^[24]研究认为油菜苗期和蕾薹期的温度升高能够促进新陈代谢, 利于安全越冬; 相反, 连续降雨不仅易引起渍害还

会降低幼苗期生长气温导致减产^[25], 与本研究结果一致。

本研究发现含油量与播种期至初花期的平均温度呈显著正相关, 与光合有效辐射呈极显著正相关; 说明在没有低温冻害的情况下, 充分利用苗期和蕾薹期充足的光热资源, 对后期含油量性状的形成有积极影响, 具体机理需要进一步研究。有研究发现终花期至成熟期的平均温度、光合有效辐射和相对湿度均与油菜含油量呈显著负相关^[26-28], 本研究也发现相同趋势, 说明成熟期的高温高湿天气对油菜品质形成有不利影响。

3.4 结论

本研究在广州冬闲田开展了 25 个甘蓝型早熟冬油菜品种的评价、筛选研究。试验品种全生育期 136~151 d, 产量 $1\,279.0\sim2\,288.1\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; 冬油菜产量与播种期至初花期的平均温度和光合有效辐射呈极显著正相关, 含油量与播种期至初花期的平均温度呈显著正相关、与光合有效辐射呈极显著正相关; 适宜广东“稻稻油”模式的冬油菜品种应具有较多的每角粒数、一次分枝数和单株有效角果数以及较高的日产量; 以产量和生育期为指标筛选出‘湘油 420’‘中油 925’‘中油 107’‘中油 916’‘中油 988’‘希望 226’‘希望 599’‘希望 799’‘希望 422’‘湘油 168’‘阳光 131’ 11 个单产最高的品种, 全生育期 137~149 d, 含油量均大于 40%, 适宜在粤中与丘陵稻作区“稻稻油”三熟制模式中推广应用。

致谢: 中国农业科学院油料研究所胡琼研究员、湖南农业大学刘忠松教授和全国农业技术推广服务中心李荣德老师为本研究提供短生育期甘蓝型冬油菜品种, 江西省红壤及种质资源研究所郑伟研究员为本研究提供技术支持, 特此感谢。

参考文献:

- [1] 广东农村统计年鉴编辑委员会. 广东农村统计年鉴 (2023)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023.
- [2] 廖伯寿, 殷艳, 马霓. 中国油料作物产业发展回顾与展望[J]. 农学学报, 2018, 8(1): 107-112.
- [3] 张磊, 万忠, 方伟, 等. 广东省粮食生产现状、制约瓶颈及突破路径[J]. 南方农村, 2022, 38(1): 4-8.
- [4] 赵曼利, 戴志刚, 顾炽明, 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[J]. 中国油料作物学报, 2022, 44(6): 1139-1147.
- [5] 霍润霞, 张哲, 李雯萍, 等. 冬油菜主产区近 40 年土壤基本理化性质变化特征[J]. 中国农业科学, 2023, 56(23): 4696-4705.
- [6] 吴乐民, 温演望. 粤北作物生产潜势的分析[J]. 华南农

业大学学报, 1989(4): 19-28.

[7] WANG X, HE Y, ZHA Y, et al. Mapping winter fallow arable lands in Southern China by using a multi-temporal overlapped area minimization threshold method[J]. *GIS-science & Remote Sensing*, 2024, 61(1): 2333587.

[8] 杜尧东, 沈平, 王华, 等. 气候变化对广东省双季稻种植气候区划的影响[J]. *应用生态学报*, 2018, 29(12): 4013-4021.

[9] 农业农村部种业管理司. 中国种业大数据平台[DB/OL]. [2024-08-13]. <http://202.127.42.145/bigdataNew/home/ManageOrg>.

[10] 周鸿凯, 何觉民, 莫俊杰, 等. 华南种植冬性半冬性甘蓝型油菜的可行性研究[J]. *西南农业学报*, 2010, 23(1): 44-50.

[11] 钱银飞, 邱才飞, 彭春瑞, 等. “油-稻-稻”三熟制早熟冬油菜氮高效基因型及鉴定指标筛选[J]. *江西农业大学学报*, 2024, 46(4): 830-840.

[12] 郑伟, 陈明, 吕伟生, 等. 油稻稻三熟制早熟高产油菜品种筛选[J]. *土壤与作物*, 2019, 8(2): 205-211.

[13] 李孟琼, 周岩, 罗丹, 等. 耐迟播短生育期油菜品种的鉴定与筛选[J]. *中国油料作物学报*, 2023, 45(6): 1238-1246.

[14] 李云娟, 钟丽, 张宗急, 等. 广西三熟制地区早熟油菜产量与其构成的主要性状关联度分析[J]. *种子科技*, 2023, 41(6): 37-39.

[15] 丛日环, 张智, 鲁剑巍. 长江流域不同种植区气候因子对冬油菜产量的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2019, 41(6): 894-903.

[16] 左萃宸, 曾涛, 何永强, 等. 长江中游南部油菜产区低产原因及育种对策[J/OL]. *中国油料作物学报* (2023-09-05) [2024-08-10]. <https://link.cnki.net/urlid/42.1429.S.20230904.1141.003>

[17] 曹小东, 陆晏天, 郑国强, 等. 2017—2021 年间中国登记油菜品种的主要性状演变分析[J]. *农学学报*, 2023, 13(5): 21-27.

[18] 李荣德, 何平, 罗莉霞, 等. “稻-稻-油”生产模式下短生育期冬油菜品种选育与推广现状分析[J]. *中国农业科学*, 2024, 57(5): 846-854.

[19] 娄洪祥, 黄肖玉, 江萌, 等. 长江流域迟播甘蓝型油菜播种期和播种量优化配置研究[J]. *作物学报*, 2024, 50(8): 2091-2105.

[20] 张亚宏, 范提平, 武军艳, 等. 强冬性甘蓝型油菜种质资源的主要品质性状研究[J]. *中国粮油学报*, 2022, 37(12): 162-168.

[21] 赵华. 广东水稻区划研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2020.

[22] 李勤, 刘小焱, 盛紫微, 等. 我国油菜适合机械化收获关键农艺性状研究进展[J]. *中国油料作物学报*, 2023, 45(5): 1053-1061.

[23] 曹小东, 刘自刚, 米文博, 等. 甘蓝型冬油菜北移种植的适应性分析[J]. *中国农业科学*, 2020, 53(20): 4164-4176.

[24] 贺亚琴, 冷博峰, 冯中朝. 基于“超越对数生产函数”对湖北省油菜生长产量的气候影响探讨[J]. *资源科学*, 2015, 37(7): 1465-1473.

[25] 何泽威, 丁晓雨, 徐劲松, 等. 播种期降水偏多对油菜重要农艺性状和产量的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2024, 46(1): 92-101.

[26] 康文霞, 董军刚, 孟倩, 等. 甘蓝型油菜种子含油量与气象因子的相关性[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2016, 44(11): 97-103.

[27] 孙璇, 姚琳, 咸拴狮, 等. 油菜籽含油量与气象因子相关性分析[J]. *山西农业科学*, 2021, 49(8): 952-956.

[28] 宁宁, 莫娇, 胡冰, 等. 长江流域不同生态区油菜籽关键品质比较研究[J]. *作物学报*, 2023, 49(12): 3315-3327.

【责任编辑 李庆玲】