



彭菁菁, 陈明, 汪家凯, 李妹娟, 刘彦卓, 胡香玉, 胡锐, 梁开明, 傅友强, 康子硕, 欧阳凤仔, 潘俊峰. 长江中下游短生育期甘蓝型冬油菜引种至华南种植的适应性研究[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(12): 228-240.

PENG Jingjing, CHEN Ming, WANG Jiakai, LI Meijuan, LIU Yanzhuo, HU Xiangyu, HU Rui, LIANG Kaiming, FU Youqiang, KANG Zishou, OUYANG Fengzai, PAN Junfeng. Adaptability of short-growth-duration winter rapeseed varieties introduced to South China [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(12): 228-240.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.12.19

长江中下游短生育期甘蓝型冬油菜引种至华南种植的适应性研究

彭菁菁¹ 陈明² 汪家凯¹ 李妹娟¹ 刘彦卓¹ 胡香玉¹ 胡锐¹ 梁开明¹
傅友强¹ 康子硕¹ 欧阳凤仔^{3*} 潘俊峰^{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, 广州 510640;
2. 江西省红壤及种质资源研究所/耕地改良与质量提升江西省重点实验室, 南昌 330046;
3. 吉安市农业科学研究所, 江西 吉安 343103)

摘要 为评价短生育期甘蓝型冬油菜在华南冬闲稻田种植的适应性,以‘阳光131’、‘中油925’、‘大地95’、‘中油995’、‘中油988’、‘湘油420’、‘中油早1号’和‘湘油228’等8个短生育期甘蓝型冬油菜品种为材料,在江西省吉安市(26°58'N)和广东省广州市(23°08'N)冬闲稻田同期种植,比较2个试验点供试油菜生育期、产量、品质等性状指标,并分析各指标与气象因子的相关性,评估短生育期甘蓝型冬油菜从长江流域南移至华南地区种植的可行性。结果表明:广州种植的甘蓝型冬油菜生育期比吉安试验点缩短了26~41 d,产量增加了-28.80%~11.61%;广州试验点的油菜株高、第一分枝高度和单角粒数比吉安试验点分别增加8.01%、16.33%和24.65%,一次分枝数、单株有效角果数和千粒重比吉安试验点分别低4.71%、9.70%和21.26%;菜籽硫代葡萄糖甙和含油量分别比吉安试验点升高27.86%和4.34%,芥酸、蛋白质含量比吉安试验点分别降低70.65%、6.68%。相关性分析表明,生育期、菜籽产量、千粒重与各发育阶段降雨量、终花-成熟期平均气温均呈显著正相关,与播种-终花期平均气温、昼夜温差以及全生育期积温、昼夜温差均呈负相关;单角粒数与各发育阶段降雨量、终花-成熟期平均气温均呈显著负相关,与播种-终花期平均气温、昼夜温差以及全生育期积温、昼夜温差均呈显著正相关。‘湘油420’、‘中油925’和‘中油988’等3个品种从吉安引种至广州种植,均表现熟期适宜,适应性较好,‘湘油420’生育期缩短至137 d,产量由1 891.39增加至2 111.08 kg/hm²,‘中油925’和‘中油988’的生育期分别缩短至142和144 d,产量分别为1 986.03和2 161.81 kg/hm²,其中‘湘油420’和‘中油925’的含油量均显著增加,且3个品种都符合“双低”油菜标准。综上,不同短生育期甘蓝型冬油菜品种南移种植的适应性差别大,其中熟期适宜、产量高、粒重较重或变化小、硫代葡萄糖甙含量低的油菜品种(‘湘油420’‘中油925’‘中油988’)引种到华南冬闲稻田种植可实现优质高产。

关键词 甘蓝型冬油菜;南移;产量;农艺性状;品质

中图分类号 S565.4;S344.13

文章编号 1007-4333(2025)12-0228-13

文献标志码 A

Adaptability of short-growth-duration winter rapeseed varieties introduced to South China

PENG Jingjing¹, CHEN Ming², WANG Jiakai¹, LI Meijuan¹, LIU Yanzhuo¹, HU Xiangyu¹,
HU Rui¹, LIANG Kaiming¹, FU Youqiang¹, KANG Zishou¹,
OUYANG Fengzai^{3*}, PAN Junfeng^{1*}

收稿日期: 2025-02-11

基金项目: 2024年广东省乡村振兴战略专项(粤农农计[2024]68号);国家油菜产业技术体系项目(CARS-12-64);江西省油料产业技术体系(JXARS-02);广东省农业科学院水稻研究所“优谷计划”项目(2024YG02)

第一作者: 彭菁菁(ORCID:0009-0001-8080-6412),硕士研究生,E-mail:1503530253@qq.com

通讯作者: 潘俊峰(ORCID:0000-0001-6661-5356),研究员,主要从事水稻高产生理与栽培研究,E-mail:panjunfeng@gdaas.cn

欧阳凤仔(ORCID:0009-0007-6864-7803),高级农艺师,主要从事油菜栽培育种研究,E-mail:janksofz@163.com

- (1. Rice Research Institute/Guangdong Key Laboratory of Rice Science and Technology, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China;
2. Jiangxi Institute of Red Soil and Germplasm Resources/Key Laboratory of Arable Land Improvement and Quality Improvement of Jiangxi Province, Nanchang 330046, China;
3. Ji'an Institute of Agricultural Science, Ji'an 343103, China)

Abstract To evaluate the feasibility of cultivating short-growth-duration winter rapeseed (*Brassica napus*) in low-latitude fallow paddy fields of South China, a total of 8 varieties ('Yangguang 131', 'Zhongyou 925', 'Dadi 95', 'Zhongyou 995', 'Zhongyou 988', 'Xiangyou 420', 'Zhongyouzao 1', and 'Xiangyou 228') from the middle and lower Yangtze River areas were tested in Guangzhou. These varieties were plan in winter fallow fields at two sites: Ji'an (26°58' N) in Jiangxi Province and lower-latitude area in Guangzhou (23°08' N) in Guangdong Province. Key agronomic traits including growth duration, seed yield, nutritional quality and their relationships with meteorological conditions were systematically analyzed. The results showed that: Compared to Ji'an, the growth duration in Guangzhou was significantly shortened by 26 to 41 d. Yield variations ranged from -28.80% to 11.61%, with 'Xiangyou 420', 'Zhongyou 925', and 'Zhongyou 988', which demonstrated their superior adaptability. Notably, 'Xiangyou 420' achieved a growth duration of 137 d and a yield increase from 1 891.39 to 2 111.08 kg/hm², while 'Zhongyou 925' and 'Zhongyou 988' yielded 1 986.03 and 2 161.81 kg/hm² with growth duration of 142 and 144 d, respectively. Agronomic trait analysis revealed significant geographical differences. The height of rapeseed plants, primary branch height and number of angle grains in Guangzhou test site increased by 8.01%, 16.33% and 24.65%, respectively, compared with Ji'an test site. However, the number of primary branches, productive siliques per plant, and 1 000-grain weight decreased by 4.71%, 9.70%, and 21.26%, respectively, highlighting trade-offs between vegetative and reproductive growth under warmer conditions. The contents of glucosinolate and oil increased by 27.86% and 4.34%, respectively. the content of erucic acid and protein was reduced by 70.65% and 6.68%, respectively. Correlation analysis demonstrated that growth duration, seed yield, and 1 000-grain-weight showed significant positive correlations with rainfall during various growth stages and average temperature from the final flowering to maturity, while exhibiting negative correlations with average temperature from sowing to initial flowering and from initial flowering to final flowering periods, diurnal temperature variation, accumulated temperature, and temperature difference throughout the entire growth duration. Conversely, the number of angle grains demonstrated significant negative correlations with rainfall during various growth stages and average temperature from the final flowering to maturity period, but it showed significant positive correlations with average temperatures from sowing to initial flowering and from initial flowering to final flowering, diurnal temperature variation, accumulated temperature, and temperature difference during the whole growth stage, which emphasized the sensitivity of reproductive traits to microclimate variations. In conclusion, significant adaptability differences exist among these short-growth-duration rapeseed varieties when introduced to low-latitude regions. Varieties such as 'Xiangyou 420', 'Zhongyou 925', and 'Zhongyou 988' combined with appropriate growth duration (137 to 144 d), have high yield stability, high seed weight or low variability, and superior nutritional profiles, which make them ideal candidates for expanding winter rapeseed cultivation into South China's fallow paddy fields.

Keywords winter rapeseed (*Brassica napus*); introduction trial; seed yield; agronomic traits; nutritional quality

油菜是我国最重要的油料作物之一, 占国产油料作物产油量的 50%^[1]。我国食用植物油自给率仅 30.20%, 对外依存度高, 是粮油安全体系中“卡脖子”的高风险因素^[2]。为了保障国家食用植物油供给安全, 2021—2025 年中央一号文件都明确指出: 扩种冬油菜和提升单产^[3-7]。全国农业科技工作者正在通过跨区域引种、耕作制度优化、配套栽培技术研发等手段, 积极推动冬油菜“北移、西扩和南进”的扩面工

作^[8-11]。据统计, 广东、广西、福建和海南 4 个省(自治区), 冬季空闲期 >100 d 的冬闲田有 96.50 万~115.30 万 hm^{2[12]}, 广东省“稻-稻-油”模式最适宜区和适宜区共计 32.70 万 hm^{2[13]}, 而当前冬油菜种植面积仅为 5.81 万 hm^{2[14]}; 此外, 种植冬油菜可实现土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量增加, 有利于稻田土壤可持续利用^[15], 挖掘华南双季稻冬闲田种植冬油菜潜力巨大。国内短生育期冬油菜主要在长江中下游

光温资源有限、茬口衔接紧张的稻田周年种植模式中应用,而华南与长江中下游冬季气象条件差异较大^[16],开展跨区域引种研究,可为适宜华南的冬油菜品种筛选和粮油兼丰耕作制度优化提供技术支撑。

左萃宸等^[17]研究发现,长江中游南部地区冬油菜单产比北部低25.28%,其中生育期、千粒重、单角粒数和有效分枝数分别降低1.87%、16.09%、4.43%和9.19%。11个甘蓝型冬油菜品种由甘肃省白银市(36°12'N)南移至甘肃省天水市(34°33'N),年平均气温增加4.00℃,全生育期缩减66 d,产量、千粒重和单角粒数分别降低4.53%、0.52%和5.61%^[11]。与陕西省永寿县(34°41'N)相比,湖北省阳逻区(30°42'N)年平均气温增加10.71℃,全生育期缩减59 d,产量、千粒重和单角粒数分别降低0.59%、14.32%和17.29%^[18]。可以看出,冬油菜南移会导致生育期缩短、产量及产量构成因子变化大,说明区域引种评价和筛选广适性品种对冬油菜扩种意义重大^[11,18]。以上研究均采用生育期超过200 d的迟熟甘蓝型冬油菜品种,在中、高纬度的“一年一熟”或“一年两熟”模式中开展,且重点考察冬油菜的越冬性和产量。从长江中下游(湖北、湖南、江西)向华南北回归线(23°26'N)附近的“一年三熟”区引种,短生育期油菜

品种才能满足模式所需^[13]。彭菁菁等^[10]以25个短生育期甘蓝型冬油菜品种在广东进行评价筛选,全生育期变幅为136~151 d,籽粒产量变幅1 279.00~2 288.10 kg/hm²,筛选出11个熟期适宜的品种可在“稻-稻-油”模式中应用。与种植在长江中下游相比,短生育期甘蓝型冬油菜引种到华南后,产量和品质变化特征以及关键发育期气象因子对产量、品质的影响规律还鲜有报道。本研究以8个长江中下游审定登记的短生育期甘蓝型冬油菜品种为材料,在江西吉安和广东广州2个试验点同期种植,比较农艺性状、产量、品质等生长发育指标的差异,以及与气象因子的关系,旨在探明短生育期甘蓝型冬油菜在华南低纬度区域种植的生态适应性及其南移的可行性,以期为华南地区筛选“稻-稻-油”模式适宜的冬油菜品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试的8个短生育期甘蓝型冬油菜品种的种子由中国农业科学院油料作物研究所育种团队和湖南农业大学刘忠松教授团队提供,品种名称、类型及选育单位,见表1。

表 1 供试材料及类型
Table 1 Profile of tested varieties

序号 Serial number	品种 Variety	类型 Category	育种单位 Breeding unit	区试生育期/d Regional trial growth duration
1	阳光 131	甘蓝型油菜杂交种	中国农业科学院油料作物研究所	173
2	中油 925	甘蓝型油菜杂交种	中国农业科学院油料作物研究所	192
3	大地 95	甘蓝型油菜常规种	中国农业科学院油料作物研究所	211
4	中油 995	甘蓝型油菜杂交种	中国农业科学院油料作物研究所	180
5	中油 988	甘蓝型油菜杂交种	中国农业科学院油料作物研究所	179
6	湘油 420	甘蓝型油菜常规种	湖南农业大学	176
7	中油早 1 号	甘蓝型油菜杂交种	中国农业科学院油料作物研究所	174
8	湘油 228	甘蓝型油菜杂交种	湖南农业大学	185

注:品种的区试生育期数据来源于农业农村部全国农作物种业统计系统, <http://202.127.42.47:6010/index.aspx>。
Note: The regional trial growth duration data of the varieties were sourced from the National Crop Seed Industry Statistics System of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, <http://202.127.42.47:6010/index.aspx>.

1.2 试验设计

试验于 2023 年 10 月（冬季）—2024 年 4 月（春季）在江西省吉安市农业科学研究所试验基地（26°58′ N, 114°55′ E, 海拔 55.60 m）和广东省农业科学院大丰试验基地（23°08′ N, 113°20′ E, 海拔 28.00 m）同期开展,播种时间分别为 2023 年 10 月 25 日和 10 月 27 日,小区面积均为 6 m² (2 m×3 m),开沟条播,行距 25.00 cm、株距 8.90 cm,3 叶期间苗,4~5 叶期定苗,统一密度 45 万株/hm²,每个品种重复 3 次,随机区组排列。吉安试验田表层 20 cm 土壤养分特征为:pH 5.43,有机质 17.75 g/kg,碱解氮 108.50 mg/kg,速效钾 181.25 mg/kg,速效磷 65.50 mg/kg。广州试验田表层 20 cm 土壤养分特征为:pH 5.66,有机质 27.11 g/kg,碱解氮 104.59 mg/kg,速效钾 107.98 mg/kg,速效磷 18.83 mg/kg。氮、磷、钾施用量分别

为:N 150.00 kg/hm²、P₂O₅ 60.00 kg/hm²、K₂O 75.00 kg/hm²和硼砂 15.00 kg/hm²,其中 70% 氮肥、80% 钾肥、全部磷肥和硼肥作为基肥施用,剩余氮、钾肥播种后 2 个月追施,两地肥料用量一致,其他管理同一般大田直播油菜。

1.3 气象数据

气象数据来源于田间的小型气象站(美国 Onset Computer Corporation 公司,HOBO U30 自动气象站),气象数据包括最高气温、最低气温、平均气温、降雨量等,并通过式(1)计算冬油菜生育期内 ≥0℃ 积温(AT0)。

$$AT0 = \sum_{i=1}^n (T_i - 0) \quad (1)$$

式中: $T_i > 0$;若 $T_i < 0$,则 $T_i - 0$ 以 0 计算; n ,冬油菜生育期,d; T_i ,第 i 天平均气温。生育期内主要气象因子,见表 2。生育期内气温的变化及降雨量的分布,见图 1。

表 2 冬油菜生育期间试验地点的主要气象因子

Table 2 Main meteorological factors during the whole growth duration in two trial sites

试验点 Trial site	平均气温/℃ Average temperature	平均最高气温/℃ Average daily maximum temperature	平均最低气温/℃ Average daily minimum temperature	平均昼夜温差/℃ Average diurnal temperature variation	生育期总降水量/mm Total rainfall during the whole growth duration	生育期积温/(℃·d) Accumulated temperature during the whole growth duration
吉安 Ji'an	13.34	17.89	10.25	7.64	697.30	2 426.80
广州 Guangzhou	17.97	22.80	13.99	8.82	134.24	2 695.31

1.4 指标测定

分别记录冬油菜播种、出苗、初花、终花和成熟的日期,各时期的判断标准参考彭菁菁等^[10]的方法。成熟期在小区内部连续取 10 株,测定植株高度(plant height, PH)、第一分枝高度(primary branch height, BH)、一次分枝数(number of primary branches, NPB)、单株有效角果数(number of effective siliques per plant, NES)、单角粒数(angle grain number, AN)、千粒重(1 000-grain weight, SW)等。避开小区边行实收 2 m²,晒干后

脱粒称重。

品质测定参考张亚宏等^[19]方法,采用丹麦 Foss 有限公司近红外光谱仪 NIR system 5000,采集供试油菜籽样品的近红外光谱,测得含油量、蛋白质、芥酸、硫代葡萄糖甙等品质指标数据。

1.5 数据分析

使用 Statistix 9 分析软件的单因子方差分析模型进行差异显著性检验。采用 IBM SPSS Statistics 27.0 软件进行 Pearson 相关性分析,利用 Excel 2021 制作图表。

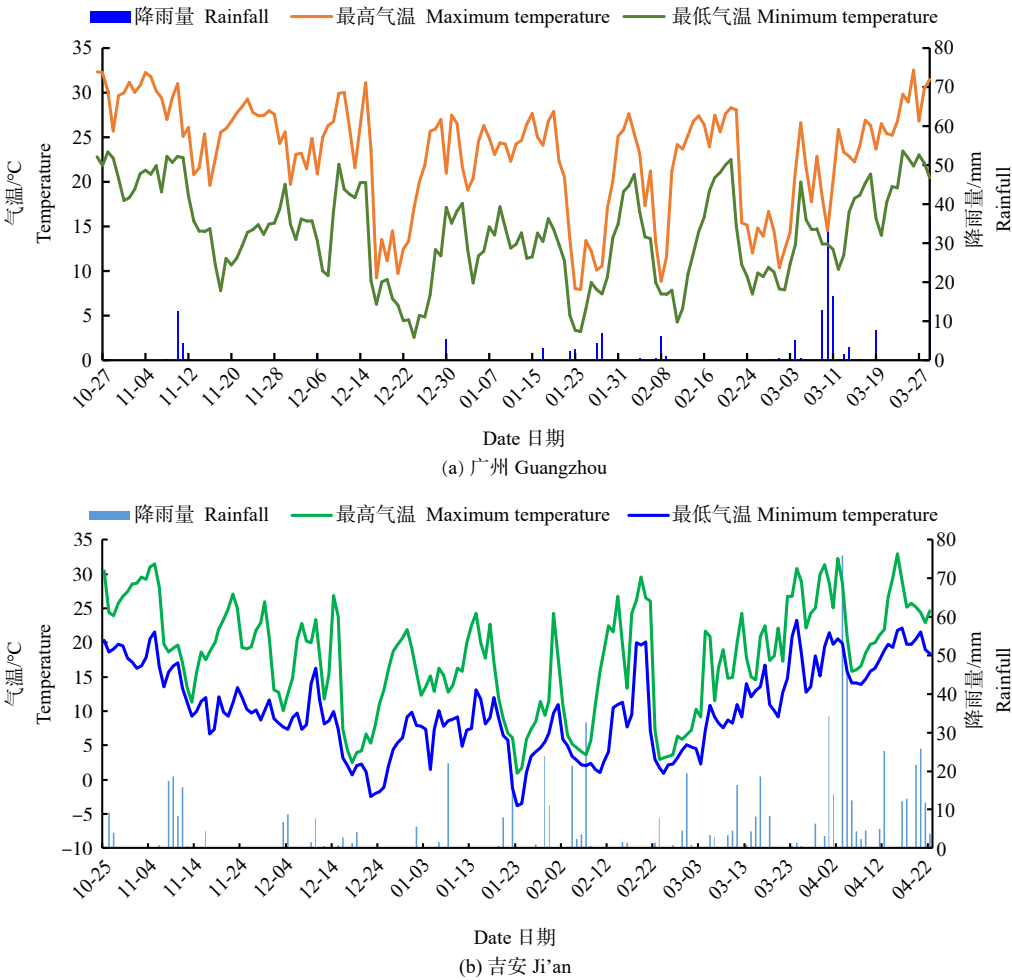


图1 2023—2024年冬油菜生长发育期的气温及降雨量

Fig. 1 Temperature and rainfall during the winter rapeseed growth duration (2023-2024)

2 结果与分析

2.1 南移种植的生育期及产量变化

由表3可知,8个品种从吉安南移至广州后,生育期均显著缩短。吉安试验点平均生育期为177 d,广州试验点平均生育期为146 d,平均缩短31 d,其中,播种-初花期生育时间缩短了11~53 d,初花-终花期‘湘油420’延长了8 d,其余7个品种缩短8~22 d。生育期缩短最多的品种为‘湘油420’缩短41 d,缩短最少品种为‘阳光131’,缩短26 d。

由表4可知,7个供试品种在广州试验点的产量较吉安试验点均显著降低,平均降低12.70% ($P<0.05$),降幅在7.03%~28.80%;而‘湘油420’南移至广州后增产11.61%,‘大地95’、‘中油995’和‘中油早1号’产量降幅均超过20%。因此,不同品种南

移后产量表现出较大的差异。

2.2 产量、生育期与种植区气象因子间的相关性分析

由表5可知,供试品种的生育期、产量与不同发育阶段气象因子均呈显著相关。生育期与终花-成熟期平均气温、发育各阶段降雨量均呈极显著正相关 ($P<0.01$),与播种-初花期及初花-终花期平均气温、昼夜温差、全生育期积温、昼夜温差均呈极显著负相关 ($P<0.01$)。产量与播种-初花期降雨量、终花-成熟期平均气温均呈显著正相关 ($P<0.05$),与初花-终花期及终花-成熟期降雨量均呈极显著正相关 ($P<0.01$);与播种-初花期平均气温、昼夜温差、初花-终花期昼夜温差、全生育期昼夜温差均呈显著负相关 ($P<0.05$),与初花-终花期平均气温、全生育期积温均呈极显著负相关 ($P<0.01$)。

表 3 供试油菜品种在 2 个试验点的生育期比较

Table 3 Comparison of growth duration of tested rapeseed varieties cultivated at two tested sites

品种 Variety	播种-初花期 Sowing to initial flowering		初花-终花期 Initial flowering to final flowering		全生育期 Whole growth duration	
	吉安 Ji'an	广州 Guangzhou	吉安 Ji'an	广州 Guangzhou	吉安 Ji'an	广州 Guangzhou
阳光 131 YG 131	96	81	48	38	175	149
中油 925 ZY 925	98	85	44	27	174	142
大地 95 DD 95	107	93	47	25	177	148
中油 995 ZY 995	107	96	37	22	176	148
中油 988 ZY 988	99	87	44	27	178	144
湘油 420 XY 420	115	62	37	45	178	137
中油早 1 号 ZYZ 1	99	87	42	32	177	149
湘油 228 XY 228	114	87	40	32	179	149
平均 Mean	104	85	42	31	177	146

表 4 供试油菜品种在 2 个试验点的产量比较

Table 4 Comparison of yield performance of tested rapeseed varieties cultivated at two tested sites

品种 Variety	产量/(kg/hm ²) Yield		较吉安增加/% Increase in comparison with Ji'an
	吉安 Ji'an	广州 Guangzhou	
阳光 131 YG 131	2 152. 67 ^{Aab}	1 987. 53 ^{Aab}	—7. 67
中油 925 ZY 925	2 286. 88 ^{Aa}	1 986. 03 ^{Aab}	—13. 16
大地 95 DD 95	2 188. 81 ^{Aab}	1 703. 91 ^{Ab}	—22. 15
中油 995 ZY 995	2 076. 97 ^{Aab}	1 645. 74 ^{Ab}	—20. 76
中油 988 ZY 988	2 325. 38 ^{Aa}	2 161. 81 ^{Aa}	—7. 03
湘油 420 XY 420	1 891. 39 ^{Bb}	2 111. 08 ^{Aa}	11. 61
中油早 1 号 ZYZ 1	2 358. 98 ^{Aa}	1 679. 68 ^{Bb}	—28. 80
湘油 228 XY 228	2 075. 70 ^{Aab}	1 792. 17 ^{Aab}	—13. 66
平均 Mean	2 169. 60 ^A	1 883. 49 ^B	—12. 70

注：同列数据后的不同小写字母表示同一地点不同品种间差异显著($P<0.05$,LSD),而同一行不同的大写字母表示同一品种的性状指标在两地的差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different lower-case letters in the same column indicate significant differences of traits among varieties in the same location($P<0.05$,LSD), while different capital letters in the same row indicate significant differences of traits between two places for a given variety ($P<0.05$). The same below.

2.3 南移种植农艺性状变化

由表 6 可知,冬油菜南移种植,农艺性状均发生变化。广州试验点各供试品种的株高和第一分枝高度、单角粒数比吉安试验点均表现为增加的趋势;一次分枝数、单株有效角果数、千粒重均表现为减少的趋势,其中单角粒数增加 24.65%,千粒重则下降 21.26%。

由表 7 可知,‘阳光 131’和‘大地 95’各农艺性状的平均变异系数均 $<10\%$,‘中油 988’、‘湘油 420’、‘中油早 1 号’各农艺性状的平均变异系数均 $<15\%$ 。6 个不同农艺性状中,千粒重、单角粒数、一次分枝数、单株有效角果数等 4 个性状在 2 个试验点的平均变异系数较大。可见,不同短生育期甘蓝型冬油菜对华南冬季光温条件的响应存在明显差异。

表 5 生育期、产量与关键生育期气象因子的相关性
Table 5 Correlation between the growth duration, yield and meteorological factors

性状 Trait	播种-初花期 Sowing to initial flowering			初花-终花期 Initial flowering to final flowering		
	平均气温 Mean temperature	降雨量 Rainfall	昼夜温差 Diurnal temperature variation	平均气温 Mean temperature	降雨量 Rainfall	昼夜温差 Diurnal temperature variation
生育期 Growth duration	−0.98**	0.96**	−0.96**	−0.84**	0.89**	−0.85**
产量 Yield	−0.59*	0.53*	−0.59*	−0.81**	0.70**	−0.52*

性状 Trait	终花-成熟期 Final flowering to maturity			全生育期 Whole growth duration	
	平均气温 Mean temperature	降雨量 Rainfall	昼夜温差 Diurnal temperature variation	积温 Accumulated temperature	昼夜温差 Diurnal temperature variation
生育期 Growth duration	0.97**	0.98**	0.23	−0.76**	−0.99**
产量 Yield	0.56*	0.65**	0.44	−0.78**	−0.62*

注：*和**分别表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平上显著相关(Pearson法)。降雨量、昼夜温差分别是对应生长阶段的累计降雨量、昼夜温差的均值。下同。
Note: * and ** indicate significant correlation at $P<0.05$ and $P<0.01$ level (Pearson). The rainfall and diurnal temperature variation are the mean values of rainfall and diurnal temperature variation at the corresponding growth stage. The same below.

表 6 供试油菜品种在 2 个试验点的农艺性状比较
Table 6 Comparison of agronomic traits of tested rapeseed varieties cultivated at two tested sites

农艺性状 Agronomic trait	吉安 Ji'an			广州 Guangzhou			
	变异幅度 Variation range	均值 Mean	变异系数/% Variation coefficient	变异幅度 Variation range	均值 Mean	变异系数/% Variation coefficient	较吉安增加/% Guangzhou/Ji'an
株高/cm PH	122.40~176.00	157.05	11.12	144.16~186.36	168.21	7.57	8.01
第一分枝高度/cm PBH	60.40~107.00	88.13	16.63	68.20~124.24	100.19	15.06	16.33
一次分枝数 NPB	2.00~6.00	4.18	26.74	2.40~4.80	3.64	17.74	−4.71
单株有效果数 NES	75.2~232.00	139.80	28.37	82.80~167.00	117.63	19.63	−9.70
单角粒数 AN	11.42~21.09	16.88	15.17	17.62~23.36	20.64	8.99	24.65
千粒重/g SW	3.22~5.47	4.25	14.83	2.42~3.83	3.30	11.23	−21.26

2.4 农艺性状与种植区气象因子间的相关性分析

由表 8 可知,供试品种的单角粒数与初花-终花期平均气温、昼夜温差均呈显著正相关($P<0.05$),与播种-初花期平均气温、昼夜温差以及全生育期积

温、昼夜温差均呈极显著正相关($P<0.01$);与初花-终花期降雨量呈显著负相关($P<0.05$),与播种-初花期降雨量、终花-成熟期平均气温、降雨量均呈极显著负相关($P<0.01$)。各供试品种的千粒重

表 7 供试油菜品种在 2 个试验点的农艺性状变异系数

Table 7 Variation coefficient of agronomic traits in tested rapeseed varieties cultivated at two tested sites

品种 Variety	株高 PH	第一分枝高度 PBH	一次分枝数 NPB	单株有效角果数 NES	单角粒数 AN	千粒重 SW	平均 ^① Mean
阳光 131 YG131	0.96	3.11	8.31	3.03	11.58	21.90	8.15
中油 925 ZY925	9.21	10.61	19.31	18.20	25.10	24.02	17.74
大地 95 DD95	1.42	8.44	9.15	7.48	13.48	14.93	9.15
中油 995 ZY995	4.40	17.79	27.10	16.96	15.00	20.25	16.92
中油 988 ZY988	3.93	13.27	17.92	29.29	13.50	7.68	14.27
湘油 420 XY420	5.79	12.94	16.42	18.53	13.22	6.07	12.16
中油早 1 号 ZYZ1	11.83	17.24	23.40	20.55	2.75	10.15	14.32
湘油 228 XY228	8.89	21.47	37.50	30.01	12.97	12.80	20.61

注：①，各农艺性状变异系数的平均值。
Note: ①, the mean value of the coefficient of variation of each agronomic trait.

表 8 供试油菜品种农艺性状与气象因子的相关性

Table 8 Correlation agronomical traits of tested rapeseed varieties and meteorological factors

农艺性状 Agronomic trait	播种-初花期 Sowing to initial flowering			初花-终花期 Initial flowering to final flowering		
	平均气温 Mean temperature	降雨量 Rainfall	昼夜温差 Diurnal temperature variation	平均气温 Mean temperature	降雨量 Rainfall	昼夜温差 Diurnal temperature variation
单角粒数 AN	0.72**	−0.73**	0.72**	0.58*	−0.60*	0.57*
千粒重 SW	−0.72**	0.74**	−0.74**	−0.62*	0.56*	−0.49

农艺性状 Agronomic trait	终花-成熟期 Final flowering to maturity			全生育期 Whole growth duration	
	平均气温 Mean temperature	降雨量 Rainfall	昼夜温差 Diurnal temperature variation	积温 Accumulated temperature	昼夜温差 Diurnal temperature variation
单角粒数 AN	−0.72**	−0.67**	−0.31	0.68**	0.70**
千粒重 SW	0.68**	0.67**	0.30	−0.69**	−0.70**

与初花-终花期降雨量呈显著正相关($P<0.05$),与播种-初花期降雨量、终花-成熟期平均气温、降雨量均呈极显著正相关($P<0.01$);与初花-终花期平均气温呈显著负相关($P<0.05$),与播种-初花期平均气温、昼夜温差以及全生育期积温、昼夜温差均呈极显著负相关($P<0.01$)。株高、第一分枝高度、一次分枝数、单株有效角果数与各发育阶段气象因子则无显著相关。

2.5 南移种植的籽粒品质性状变化

由表 9 可知,供试冬油菜从吉安南移至广州后,‘中油 925’、‘湘油 420’和‘中油早 1 号’的含油量均显著增加,‘湘油 228’则显著降低。‘中油 925’‘湘油 420’

‘中油早 1 号’的蛋白质含量均显著降低。‘中油 988’‘中油早 1 号’‘湘油 228’的芥酸含量均显著降低,‘阳光 131’‘中油 988’‘中油早 1 号’的硫代葡萄糖甙含量均显著增加。可见,不同品种的品质性状表现出显著的区域适应性差异。

2.6 品质与种植区气象因子间的相关性分析

由表 10 可知,供试油菜品种籽粒的蛋白质、芥酸、硫代葡萄糖甙与各主要气象因子间均存在显著相关。蛋白质与播种-初花期降雨量、终花-成熟期平均气温、降雨量均呈显著正相关($P<0.05$),与播种-初花期平均气温、昼夜温差、全生育期昼夜温差均呈显著负相关($P<0.05$)。芥酸与初花-终花期

表 9 供试油菜品种在 2 个试验点的籽粒品质性状变化

Table 9 Variations in seed quality traits of tested rapeseed varieties cultivated at two tested sites

品种 Variety	吉安 Ji'an				广州 Guangzhou			
	含油量 Oil content	蛋白质 Protein	芥酸 Erucic acid	硫代葡萄糖甙 Glucosinolate	含油量 Oil content	蛋白质 Protein	芥酸 Erucic acid	硫代葡萄糖甙 Glucosinolate
阳光 131 YG 131	43.30 ^{Aab}	22.23 ^{Ad}	7.68 ^{Aa}	22.31 ^{Bbc}	40.79 ^{Ac}	23.27 ^{Abc}	5.69 ^{Aa}	45.70 ^{Aa}
中油 925 ZY 925	43.25 ^{Bab}	23.48 ^{Ac}	0.39 ^{Ac}	22.32 ^{Abc}	46.08 ^{Aa}	19.18 ^{Be}	0.09 ^{Ab}	27.25 ^{Ab}
大地 95 DD 95	40.08 ^{Ad}	25.29 ^{Aa}	1.54 ^{Abc}	22.67 ^{Aabc}	43.03 ^{Ab}	23.30 ^{Abc}	0.25 ^{Ab}	23.27 ^{Ab}
中油 995 ZY 995	40.33 ^{Ad}	24.73 ^{Ab}	3.50 ^{Ab}	23.79 ^{Aab}	41.36 ^{Abc}	23.96 ^{Aab}	0.03 ^{Ab}	27.01 ^{Ab}
中油 988 ZY 988	42.05 ^{Ac}	23.68 ^{Ac}	7.81 ^{Aa}	25.24 ^{Ba}	45.67 ^{Aa}	21.84 ^{Acd}	0.29 ^{Bb}	29.83 ^{Ab}
湘油 420 XY 420	36.09 ^{Be}	25.24 ^{Aa}	0.28 ^{Ac}	25.06 ^{Aab}	42.08 ^{Abc}	22.59 ^{Bbc}	0.15 ^{Ab}	28.45 ^{Ab}
中油早 1 号 ZYZ 1	43.58 ^{Ba}	23.51 ^{Ac}	0.42 ^{Ac}	17.86 ^{Bd}	46.43 ^{Aa}	20.71 ^{Bd}	0.10 ^{Bb}	24.85 ^{Ab}
湘油 228 XY 228	42.8 ^{Ab}	24.53 ^{Ab}	0.44 ^{Ac}	21.03 ^{Ac}	40.44 ^{Bf}	24.99 ^{Aa}	−0.09 ^{Bb}	24.19 ^{Ab}
平均 Mean	41.44 ^B	24.09 ^A	2.76 ^A	22.54 ^B	43.24 ^A	22.48 ^B	0.81 ^B	28.82 ^A

表 10 供试油菜品种主要品质指标与气象因子的相关性

Table 10 Correlation between main nutritional quality of tested rapeseed varieties and meteorological factors

品质性状 Quality trait	播种-初花期 Sowing to initial flowering			初花-终花期 Initial flowering to final flowering		
	平均气温 Mean temperature	降雨量 Rainfall	昼夜温差 Diurnal temperature variation	平均气温 Mean temperature	降雨量 Rainfall	昼夜温差 Diurnal temperature variation
蛋白质 Protein	−0.54*	0.59*	−0.57*	−0.17	0.30	−0.28
芥酸 Erucic acid	−0.33	0.23	−0.32	−0.43	0.54*	−0.32
硫代葡萄糖甙 Glucosinolate	0.54*	−0.51*	0.54*	0.48	−0.48	0.50*

品质性状 Quality trait	终花-成熟 Final flowering to maturity			全生育期 Whole growth duration	
	平均气温 Mean temperature	降雨量 Rainfall	昼夜温差 Diurnal temperature variation	积温 Accumulated temperature	昼夜温差 Diurnal temperature variation
蛋白质 Protein	0.54*	0.50*	0.14	−0.26	−0.51*
芥酸 Erucic acid	0.31	0.35	0.29	−0.27	−0.36
硫代葡萄糖甙 Glucosinolate	−0.49	−0.53*	−0.23	0.50*	0.53*

降雨量呈显著正相关($P < 0.05$)。硫代葡萄糖甙与播种-初花期平均气温和昼夜温差、初花-终花期昼夜温差、全生育期积温和昼夜温差均呈显著正相关($P < 0.05$);而与播种-初花期及终花-成熟期降雨量均呈显著负相关($P < 0.05$)。

3 讨 论

3.1 南移种植的产量变化规律

短生育期甘蓝型冬油菜从长江中下游传统种植区南移至华南非传统地区种植(北回归线以南的亚热带地区),生育期、产量及构成因子、品质性状均呈现出较大的变化(表3、表4、表6和表9)。已有研究发现,气温、降水、光照、土壤等环境气象因素,以及品种、水肥管理、病虫害防控措施对冬油菜生长和产量形成都具有显著影响^[17,20]。本研究中,8个供试品种从江西吉安南移至广州,产量增加 $-679.30 \sim 219.69 \text{ kg/hm}^2$,平均减产 286.10 kg/hm^2 ,主要由于千粒重和单株有效角果数降低导致(表6)。曹小东等^[11]研究发现,甘蓝型冬油菜从甘肃省白银市($36^{\circ}12' \text{ N}$)南移至甘肃省天水市($34^{\circ}33' \text{ N}$),供试品种的平均生育期由340 d缩减到274 d,天水的产量比白银增加 $-1599.15 \sim 614.40 \text{ kg/hm}^2$,平均减产 175.81 kg/hm^2 ;3个甘蓝型冬油菜从陕西省咸阳市永寿县($34^{\circ}41' \text{ N}$)南移至湖北省武汉市阳逻区($30^{\circ}42' \text{ N}$),在陕西永寿的生育期为263 d,移至湖北阳逻缩短为204 d,移至阳逻的产量增加 $-865.50 \sim 1434.90 \text{ kg/hm}^2$,平均减产 18.20 kg/hm^2 ;甘蓝型冬油菜在海南种植,全生育期会缩短至 $77 \sim 124 \text{ d}$ ^[9];生育期、单角粒数和千粒重是冬油菜南移后下降最为明显的3个性状^[11,18],本研究也发现,冬油菜全生育期的积温和昼夜温差是导致生育期缩短和产量降低的主要气象因子(表5)。可见,生育期内气温升高、熟期缩短、千粒重下降是迟熟和早熟甘蓝型冬油菜南移种植产量降低的主要原因之一。本研究中‘湘油420’南移种植产量不降反增与黄方园等^[18]研究的‘中双11’和曹小东等^[11]研究中的‘甘杂1号’的结果类似,千粒重在不同纬度种植无显著变化,这3个品种的单产均达到或超过在高纬度种植的平均产量。结合彭菁菁等^[10]和曹小东等^[13]的研究结果可知,本研究筛选并应用熟期与双季稻能够良好接茬、产量高、籽粒较重,在不同纬度均表现稳定的油菜品种(表7),是实现华南

“稻-稻-油”周年粮油兼丰的基础。

3.2 ‘湘油420’南移种植增产的原因分析

本研究结果显示,‘湘油420’是南移种植的8个油菜品种中唯一表现增产的品种,该品种从江西吉安移至广州全生育期大幅缩短、株高不增反降、粒重变化最小,因此产量增加。增产原因分析如下:1)品种感温性强,完成全生育期所需积温 2438.15°C (8个品种中最低的),生育期内,广州的气温均 $>0^{\circ}\text{C}$,适宜气温激发了品种“早生快发”的潜力,营养生长加速,花期持续时间延长(初花-终花期延长8 d)(表3),增加了授粉几率。2)本研究追肥时间为播种后2个月,此时‘湘油420’正值初花期,其他品种仍处于抽薹前或抽薹期,推迟到初花期追肥有利于控制株高;刘霞等^[21]研究发现,适当降低油菜株高可以显著提高其抗倒伏能力,同时优化了植株营养物质的分配,减少了无效的营养生长,从而将更多养分用于角果和种子发育的生殖生长。胡志勇等^[22]研究表明,一次分枝数与单株产量呈极显著正相关。南移后‘湘油420’的一次分枝数较稳定,保证了足够的角果形成基础。3)在产量构成因子方面,粒重降低 5.73% (降低幅度最小),单角粒数增加 21.61% ,其他供试品种从吉安南移至广州后,千粒重降低 $10.15\% \sim 35.98\%$ (平均降低 21.50%)。因此,南移种植后‘湘油420’的单角粒数增加、千粒重稳定是其增产的主要原因。

3.3 南移种植的品质变化规律

近年来,短生育期优质高产甘蓝型冬油菜品种选育工作不断取得新进展,呈现品种数量增加、多样性丰富、含油率和品质提升明显、单产不断取得突破、利用多元化等特征^[1,23]。冬油菜品种在不同生态区之间的引种研究已有报道^[11,18],曹小东等^[11]研究发现,与高纬度种植相比,低纬度种植甘蓝型冬油菜的含油量和硫代葡萄糖甙含量均呈增加趋势,与本研究结果相似。与吉安试验点相比,广州试验点油菜全生育期积温高和昼夜温差大是导致硫代葡萄糖甙含量显著增加的主要原因(表10),8个品种硫代葡萄糖甙含量平均增加 27.86% ,若不考虑其他因素的影响,冬油菜在吉安种植的硫代葡萄糖甙含量 $\leq 22.31 \mu\text{mol/g}$,南移至广州种植可实现硫代葡萄糖甙达到“双低”要求^[24]。虽然芥酸含量与初花-终花期降雨量呈显著正相关(表10),而在广州整个生育期降雨量只有吉安的 $1/5$ (表2),说

明华南冬季干燥的气候有利于油菜形成对低芥酸品质。

3.4 南移华南种植的意义

充分利用南方冬闲田种植冬油菜是弥补我国菜籽油供应缺口的重要途径之一^[2]。以广东为例,广东省适宜“稻-稻-油”三熟制周年应用潜力的冬闲田约为32.70万hm²^[13],若按照潜在应用面积的60%开展“稻-稻-油”轮作,以冬油菜单产为130.00 kg/667m²和40%出油率计,菜籽油年产量预计增加15.30万t。按年消费25.90 kg/人计,1年可满足590.87万人的消费量,将使广东省食用油自给率提升4个百分点以上;此外,开展“稻-稻-油”水旱轮作对增加产量、经济收益、土壤肥力以及弥补经济社会发展和气候变化导致的耕地面积减少、周年产量损失等均具有显著促进作用^[15,25-27],可促进区域粮油自给率的提升。国内蛋白质需求的巨大缺口正在挑战中国粮食安全^[28],油菜加工植物油后的副产物菜籽饼,对标玉米在粗蛋白含量上并不存在劣势,菜籽饼中干物质粗蛋白含量约为35.70 g/100 g,不低于玉米干物质中粗蛋白含量(约为10.30 g/100 g)^[29],在“大食物观”背景下,以“稻-稻-油”种植模式为基础,米糠和菜籽饼是畜禽和水产养殖蛋白饲料替代的良好原料^[30]。与花生油、玉米油、大豆油、橄榄油、茶籽油、葵花籽油相比,双低菜籽油的饱和脂肪酸含量最低^[31],利用冬闲田种植“双低”短生育期甘蓝型油菜可满足华南地区食用油健康消费的需求。

4 结 论

短生育期甘蓝型冬油菜由长江中下游油菜主产区江西吉安(26°58' N,海拔55.60 m)南移至华南地区(23°08' N,海拔28.00 m)种植,产量降幅在7.03%~28.80%,平均降低12.70%($P<0.05$),从产量角度来看,不同品种表现出较大的适应性差异;单角粒数、硫代葡萄糖甙含量均表现为增加的变化趋势,而生育期、千粒重均表现为降低的趋势;冬油菜南移种植,生长发育各阶段较高的平均气温是导致冬油菜产量及构成因素和品质变化的主要原因。‘湘油420’‘中油925’‘中油988’3个短生育期甘蓝型冬油菜品种南移至华南地区种植表现熟期适宜、产量高、粒重较重或变化小、硫代葡萄糖甙含量低,适宜引种至华南地区冬闲稻田种植。

参考文献 References

- [1] 李荣德,何平,罗莉霞,史梦雅,侯乾,马振国,郭瑞星,成洪涛.“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
Li R D, He P, Luo L X, Shi M Y, Hou Q, Ma Z G, Guo R X, Cheng H T. Current situation of breeding and popularization of short-growth-period winter rapeseed varieties for rice-rice-rapeseed mode [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2024, 57(5): 846-854 (in Chinese)
- [2] 冯海棠,王汉中. 新形势下的我国食用植物油供给安全对策[J]. 中国油料作物学报, 2024, 46(2): 221-227
Feng H T, Wang H Z. Security strategy for the nation's edible vegetable oil supplies under the new circumstances [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2024, 46(2): 221-227 (in Chinese)
- [3] 中共中央 国务院. 关于全面推进乡村振兴加快农业农村现代化的意见[EB/OL]. (2021-02-21)[2025-02-01]. http://www.gov.cn/zhengce/2021-02/21/content_5588098.htm
Central Committee of the Communist Party of China and the State Council. Opinions on comprehensively promoting rural revitalization and accelerating agricultural and rural modernization released in Beijing[EB/OL]. (2021-02-21) [2025-02-01]. http://www.gov.cn/zhengce/2021-02/21/content_5588098.htm (in Chinese)
- [4] 中共中央 国务院. 关于做好2022年全面推进乡村振兴重点工作的意见[EB/OL]. (2022-02-21)[2025-02-01]. http://www.gov.cn/zhengce/2022-02/22/content_5675035.htm
Central Committee of the Communist Party of China and the State Council. Opinions on advancing key rural revitalization work in 2022 released in Beijing [EB/OL]. (2022-02-21)[2025-02-01]. http://www.gov.cn/zhengce/2022-02/22/content_5675035.htm (in Chinese)
- [5] 中共中央 国务院. 关于做好2023年全面推进乡村振兴重点工作的意见[EB/OL]. (2023-02-13)[2025-02-01]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2023/content_5743582.htm
Central Committee of the Communist Party of China and the State Council. Opinions on the work of comprehensively promoting rural revitalization in 2023 released in Beijing[EB/OL]. (2023-02-13)[2025-02-01]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2023/content_5743582.htm (in Chinese)
- [6] 中共中央 国务院. 关于学习运用“千村示范、万村整治”工程经验有力有效推进乡村全面振兴的意见[EB/OL]. (2024-02-03)[2025-02-01]. https://www.gov.cn/gongbao/2024/issue_11186/202402/content_6934551.html
Central Committee of the Communist Party of China and the State Council. Opinions on learning from and applying the experience of the “Thousand Villages Demonstration, Ten Thousand Villages Renovation” project to effectively promote comprehensive rural revitalization released in Beijing[EB/OL]. (2024-02-03)[2025-02-01]. https://www.gov.cn/gongbao/2024/issue_11186/202402/content_6934551.html (in Chinese)
- [7] 中共中央 国务院. 关于进一步深化农村改革 扎实推进乡村全面振兴的意见[EB/OL]. (2025-02-23)[2025-07-01]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202502/content_7005199.htm
Central Committee of the Communist Party of China and the State Council. Proposals on solidly advancing comprehensive rural revitalization released in Beijing [EB/OL]. (2025-02-23) [2025-07-01]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202502/content_7005199.htm (in Chinese)
- [8] Fan J Q, Yang G, Wu J Y, Pu Y Y, Liu L J, Ma L, Fan T T, Wang W T, Zhang Y H, Lei J M, Li Q, Hou X F, Zhao C X, Tang S, Chen C B, Zhang Z, Zhou J H, Miao C Q, Wang W P, Bai J, Sun B L, Sun X C, Li J M, Zhao

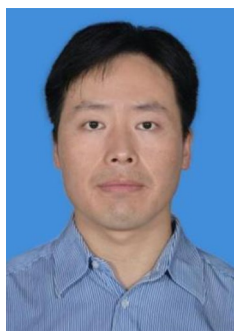
- J S, Wang S F, Gao S P, Chai P, Li L L, Hu F S, Fu Y L, Zhou D M, Sun W C. Feasibility analysis of expanding winter rapeseed northwards in China [J/OL]. *Agricultural and Forest Meteorology*, (2025-02-15). DOI:doi.org/10.1016/j.agrformet.2024.110297
- [9] 李孟娜, 竺莲, 农美英, 薛倩, 张文豪, 李赟, 刘平武. 甘蓝型油菜在海南种植的生育期、品质性状和育性分析[J]. 分子植物育种, 2024, 22(8): 2673-2683
- Li M N, Zhu L, Nong M Y, Xue Q, Zhang W H, Li Y, Liu P W. Investigation of Maturity, Quality and Fertility Traits of Early Maturity Lines in Hainan in *Brassica napus* L[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2024, 22(8): 2673-2683 (in Chinese)
- [10] 彭菁菁, 潘俊峰, 汪家凯, 李妹娟, 胡香玉, 梁开明, 傅友强, 刘彦卓, 胡锐, 王昕钰, 叶群欢, 尹媛红. 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 J J, Pan J F, Wang J K, Li M J, Hu X Y, Liang K M, Fu Y Q, Liu Y Z, Hu R, Wang X Y, Ye Q H, Yin Y H. 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 (in Chinese)
- [11] 曹小东, 刘自刚, 米文博, 徐春梅, 邹娅, 徐明霞, 郑国强, 方新玲, 崔小茹, 董小云, 米超, 陈其鲜. 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
- Cao X D, Liu Z G, Mi W B, Xu C M, Zou Y, Xu M X, Zheng G Q, Fang X L, Cui X R, Dong X Y, Mi C, Chen Q X. Analysis on the adaptability of northward planting of *Brassica napus*[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(20): 4164-4176 (in Chinese)
- [12] Wang X Y, He Y B, Zha Y, Chen H C, Wang Y Y, Wu X Y, Ning J, Feng A R, Han S N, Luo S J. Mapping winter fallow arable lands in Southern China by using a multi-temporal overlapped area minimization threshold method[J/OL]. *GIScience & Remote Sensing*, (2024-03-25). DOI: doi.org/10.1080/15481603.2024.2333587
- [13] 柳晔, 彭菁菁, 胡香玉, 李妹娟, 汪家凯, 梁开明, 王彤, 王华, 潘俊峰. “稻稻油”三熟模式在广东的气候适宜性分析[J/OL]. 中国油料作物学报, (2024-12-25)[2025-01-11]. DOI: doi.org/10.19802/j.issn.1007-9084.2024234
- Liu Y, Peng J J, Hu X Y, Li M J, Wang J K, Liang K M, Wang T, Wang H, Pan J F. Climatic suitability analysis of “rice, rice and oil” triple cropping model in Guangdong Province[J/OL]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, (2024-12-25) [2025-01-11] DOI: doi.org/10.19802/j.issn.1007-9084.2024234 (in Chinese)
- [14] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2024
- National Bureau of Statistics. *China Statistical Yearbook*[M]. Beijing: China Statistics Press, 2024 https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2024/indexch.htm (in Chinese)
- [15] 霍润霞, 张哲, 李雯萍, 张洋洋, 廖世鹏, 任涛, 李小坤, 陆志峰, 丛日环, 鲁剑巍. 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
- Huo R X, Zhang Z, Li W P, Zhang Y Y, Liao S P, Ren T, Li X K, Lu Z F, Cong R H, Lu J W. 40 years' change characteristics of soil basic properties in the main planting area of winter oilseed rape[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2023, 56(23): 4696-4705 (in Chinese)
- [16] 陈阜, 姜雨林, 尹小刚. 中国耕作制度发展及区划方案调整[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(3): 1-6
- Chen F, Jiang Y L, Yin X G. Adjustment of China's farming system regionalization scheme[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(3): 1-6 (in Chinese)
- [17] 左萃宸, 曾涛, 何永强, 唐浩蓝, 彭万祥, 杨成志, 张学昆, 徐劲松. 长江中下游南部油菜产区低产原因及育种对策[J]. 中国油料作物学报, 2024, 46(5): 969-976
- Zuo C C, Zeng T, He Y Q, Tang H L, Peng W X, Yang C Z, Zhang X K, Xu J S. Causes of low yield and breeding countermeasures in rapeseed producing areas in the middle reaches of the Yangtze River[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2024, 46(5): 969-976 (in Chinese)
- [18] 黄方园, 卞潇华, 蒋展, 肖晓璐, 段博, 陈畅, 马霓, 关周博. 不同生态区冬油菜根系生长及碳氮积累分配特征[J]. 中国农业科学, 2024, 57(12): 2404-2423
- Huang F Y, Bian X H, Jiang Z, Xiao X L, Duan B, Chen C, Ma N, Guan Z B. Characteristics of root growth, carbon and nitrogen accumulation and distribution in winter rapeseed in different ecological regions[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2024, 57(12): 2404-2423 (in Chinese)
- [19] 张亚宏, 范提平, 武军艳, 雷建明, 张岩, 张建国, 王芙蓉, 张桂荣, 付雅丽. 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
- Zhang Y H, Fan T P, Wu J Y, Lei J M, Zhang Y, Zhang J X, Wang F R, Zhang G R, Fu Y L. Main quality characters of strong winter rape (*Brassica napus* L) germplasm resources[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2022, 37(12): 162-168
- [20] Wynne K, Neely C B, Adams C, Kimura E, DeLaune P B, Hathcoat D, Gerrish B. Testing row spacing and planting rate for fall-planted spring canola in the southern United States[J]. *Agronomy Journal*, 2020, 112(3): 1952-1962
- [21] 刘霞, 张冰冰, 马兵, 赵娜, 田正书, 秦梦凡, 王阳, 郎丽娜, 刘亚萍, 黄镇, 徐爱遐. 甘蓝型油菜株高及其相关性状的基因组+多基因遗传分析[J]. 西北农业学报, 2018, 27(4): 528-536
- Liu X, Zhang B B, Ma B, Zhao N, Tian Z S, Qin M F, Wang Y, Lang L N, Liu Y P, Huang Z, Xu A X. Mixed major gene plus poly-gene genetic analysis of plant height and its related traits in *Brassica napus* L[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2018, 27(4): 528-536 (in Chinese)
- [22] 郭娜, 左凯峰, 张森, 张冰冰, 秦梦凡, 马宁, 刘翔, 李青青, 黄镇, 徐爱遐. 甘蓝型油菜主要株型和产量性状的综合分析[J]. 西北农业学报, 2020, 29(6): 898-906
- Guo N, Zuo K F, Zhang M, Zhang B B, Qin M F, Ma N, Liu X, Li Q Q, Huang Z, Xu A X. Comprehensive analysis of major plant-type and yield traits in *Brassica napus* L[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2020, 29(6): 898-906 (in Chinese)
- [23] 胡志勇, 鲜孟筑, 李俊. 我国油菜品种改良现状及发展趋势[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(3): 50-62
- Hu Z Y, Xian M Z, Li J. Current situation and development trends of rapeseed variety improvement in China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(3): 50-62 (in Chinese)
- [24] GB/T 11762-2006. 油菜籽[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006
- GB/T 11762-2006. Rapeseed [S]. Beijing: Standards Press of China, 2006 (in Chinese)
- [25] Ma C, Li M C, Jiang P H. The multiscale response of global cropland cropping intensity to urban expansion[J/OL]. *Agricultural Systems*, (2024-10-10). DOI:doi.org/10.1016/j.agry.2024.104138
- [26] Yin L C, Tao F L, Chen Y, Wang Y C, Ciaes P, Smith P. Novel cropping-system strategies in China can increase plant protein with higher economic value but lower greenhouse gas emissions and water use[J]. *One Earth*, 2023, 6(5): 560-572
- [27] Zhao J, Yang Y D, Zhang K, Jeong J, Zeng Z H, Zang H D. Does crop rotation yield more in China? A meta-analysis [J/OL]. *Field Crops Research*, (2020-01-01). DOI:doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107659

- [28] Zhao H, Fan X W, Bai Z, Bai Z H, Ma L, Wang C, Havlik P, Cui Z L, Balkovic J, Herrero M, Shi Z, Chang J F. Holistic food system innovation strategies can close up to 80% of China's domestic protein gaps while reducing global environmental impacts[J]. *Nature Food*, 2024, 5(7): 581-591
- [29] 中国农业科学院饲料研究所. 中国饲料成分及营养价值表(第35版)[J]. 中国饲料, 2024, (21): 182-197
- Institute of Feed Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences. Tables of feed composition and nutritive values in China (Thirty-Fifth Edition)[J]. *China Feed*, 2024, (21): 182-197 (in Chinese)
- [30] 李天尊, 蔡文韬, 王盛琪, 王柔淇, 齐智利. 菜籽油的加工工艺及其在畜禽生产中的应用研究进展[J]. 中国畜牧杂志, 2024, 60(1): 19-25
- Li T Z, Cai W T, Wang S Q, Wang R Q, Qi Z L. Research progress of rapeseed oil processing technology and its application in livestock and poultry production[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2024, 60(1): 19-25 (in Chinese)
- [31] 熊秋芳, 张效明, 文静, 李兴华, 傅廷栋, 沈金雄. 菜籽油与不同食用植物油营养品质的比较: 兼论油菜品质的遗传改良[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(6): 122-128
- Xiong Q F, Zhang X M, Wen J, Li X H, Fu T D, Shen J X. Comparison of nutritional values between rapeseed oil and several other edible vegetable oils: Discussion of rapeseed quality genetic improvement[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2014, 29(6): 122-128 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅



第一作者简介: 彭菁菁, 华南农业大学农学院农艺与种业专业硕士研究生。2023和2024年获华南农业大学校级三等和二等学业奖学金各1次, 广东省农业科学院水稻研究所联培生学术报告第一期暨粤稻青年论坛第十九期活动三等奖、广东省农业科学院水稻研究所学术之星荣誉称号。以第一作者在《华南农业大学》发表论文1篇、以共同第一作者在《中国油料作物学报》发表论文1篇。



通讯作者简介: 潘俊峰, 博士, 广东省农业科学院水稻研究所研究员, 硕士生导师, 主要从事稻田生态高效种植制度构建与优化、水稻高产栽培生理调控等研究。现为广东省农业科学院水稻研究所副所长, 是广州市珠江科技新星; 兼任广东省气象学会第十三届理事会气候与气候变化专业委员会副主任、广东省植物生理学会理事、《中国水稻科学》青年编委。主持或参与863计划、公益行业(农业)科研专项、广东省科技计划、国际科技合作等省部级项目30余项; 以第一作者和通讯作者在 *Agricultural Water Management*、*Scientific Reports*、*Journal of the Science of Food and Agriculture*、《中国水稻科学》等期刊发表学术论文16篇, 获广东省科技进步奖一等奖、神农中华农业科技奖二等奖等3项。



通讯作者简介: 欧阳凤仔, 吉安市农业科学研究所旱作物研究室主任, 高级农艺师, 主要从事旱作物育种以及三熟制短生育期油菜栽培等研究。现为江西省农作物品种审定委员会委员、江西省粮油作物标准化技术委员会委员、国家油菜产业技术体系吉安综合试验站执行站长、江西省油料产业技术体系赣中站站长。主持或参与省、部农业专项、科技计划项目20余项。获江西省科技进步奖三等奖3项, 二等奖1项; 江西省农牧渔业改进奖3项。