

高原气候下西藏不同熟期甘蓝型春油菜光温资源利用效率比较分析

蒙祖庆^{1,2}, 宋丰萍², 霍嘉慧², 张漠峰², 杨涪超², 郑维列^{1*}, 刘翠花^{1*}

(1. 西藏农牧学院高原生态研究所, 西藏 林芝, 860000;

2. 西藏农牧学院植物科学学院, 西藏 林芝, 860000)

摘要:为了充分协调产量潜力与气候资源高效利用的关系,研究高原气候下不同熟期甘蓝型春油菜的光温利用效率,选用3个不同熟期甘蓝型春油菜品系,设置4个播期,分析不同播期下西藏甘蓝型春油菜的生长发育及产量形成规律。结果表明:随着播期的推迟,参试油菜生育期间的温度升高,达到有效积温的天数较少,参试油菜生育期缩短;其中苗期、薹期和花期较早播呈缩短趋势,角果成熟期有延长趋势。晚播油菜的茎秆伸长期雨热充足,参试油菜的株高较早播有增加,而茎粗有降低;晚播造成参试油菜前期营养生长不足,成熟期干物质积累较早播下降。晚播油菜生育后期遇持续降雨造成成熟期油菜的有效分枝数、单株有效角果数和单株粒重的降低,较早播油菜明显减产。播期改变了参试油菜的光、温利用效率,早熟品系NY16在B2播期(2021年3月15日)下光、温利用效率较高,分别为 $0.081\text{ g}\cdot\text{MJ}^{-1}$ 和 $1.017\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$;中熟品系NY28和晚熟品系NY52均在B1播期(2021年3月8日)下光、温利用效率较高,分别为 $0.1\text{ g}\cdot\text{MJ}^{-1}$ 、 $1.282\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ 和 $0.134\text{ g}\cdot\text{MJ}^{-1}$ 、 $1.712\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。同一播期下中晚熟品系的光、温利用效率大于早熟品系。因此,适时早播可促进甘蓝型春油菜光温利用效率的提高,促进产量形成,早熟品系在3月15–22日,中晚熟品系在3月8–15日播种适宜。西藏一年一熟种植制度下,为充分协调生态条件与生产潜力关系,一定无霜期范围内,中晚熟品系的选育和利用可有效提高甘蓝型春油菜产量。

关键词:西藏高原;甘蓝型春油菜;播期;光温利用效率;不同熟期

中图分类号:S565.4

文献标识码:A

文章编号:1007-9084(2023)01-0063-09

Comparative analysis on light-temperature resource use efficiency of spring rapeseed (*Brassica napus*) differing in maturity in China Tibet under plateau climate

MENG Zu-qing^{1,2}, SONG Feng-ping², HUO Jia-hui², ZHANG Mo-feng², YANG Fu-chao²,
ZHENG Wei-lie^{1*}, LIU Cui-hua^{1*}

(1. Research Institute of Tibet Plateau Ecology, Tibet Agricultural and Animal Husbandry University, Nyingchi 860000, China; 2. College of Plant Science, Tibet Agricultural and Animal Husbandry University, Nyingchi 860000, China)

Abstract: In order to fully coordinate the relationship between yield potential and efficient utilization of climate resources, and investigate the light and temperature utilization efficiency of spring rapeseed under plateau climate in Tibet, 3 spring rapeseed (*Brassica napus* L.) lines (with different maturity) were selected as materials, and 4 sowing dates were set in field experiments. The lines were analyzed on growth and yield formation under different sowing dates. Results showed that, with the delay of sowing date, the temperature during rapeseed growth period increased, thus it took fewer periods to reach the effective accumulated temperature. Meanwhile, growth period of the lines was shortened, among which seedling stage, bolting stage and flowering stage were also earlier, resulting to a prolonged silique maturation period. Under the late sowing treatment, plants (at stem extension period) encountered more sufficient rainfall and more heat than those of early sowing, thus the plant height increased, and the stem

收稿日期:2022-02-14

基金项目:国家自然科学基金(31860387;31360341);西藏自治区自然科学基金(XZ2017ZRG-35(Z))

作者简介:蒙祖庆(1983–),男,教授,博士研究生,主要从事作物种质创新与利用研究,E-mail: mengzuqing@126.com

* 通讯作者:郑维列(1963–),男,教授,博士,主要从事植物种群生态学及植物分类研究,E-mail: weiliezheng@126.com;

刘翠花(1963–),女,教授,主要从事土壤学与植物营养学研究,E-mail: lchutb@163.com

diameter decreased. At the same time, late sowing resulted in insufficient vegetative growth in the early growth stage, and dry matter accumulation in mature stage was less than those of early sowing. Under the late sowing treatment, plants (at mature stage) encountered continuous rainfall which caused the reduction of branch number, silique number and seed weight, as a result, seed yield was significantly lower than that of early sowing. Sowing date changed the light-temperature utilization efficiency of the rapeseed. Early maturing line NY16 had higher light-temperature utilization efficiency at B2 sowing date (March 15, 2021), as $0.081 \text{ g} \cdot \text{MJ}^{-1}$ and $1.017 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ respectively. The light-temperature utilization efficiency of medium maturing line NY28 and late maturing line NY52 were higher at B1 sowing date (March 8, 2021), as $0.1 \text{ g} \cdot \text{MJ}^{-1}$, $1.282 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, $0.134 \text{ g} \cdot \text{MJ}^{-1}$ and $1.712 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, respectively. Under the same sowing date, the light-temperature utilization efficiency of medium- and late-maturing lines was higher than that of early-maturing lines. Therefore, timely (and early) sowing could improve the light-temperature utilization efficiency and promote rapeseed yield. Suitable sowing date was from March 15 to March 22 for early-maturing rapeseed, and March 8 to March 15 for medium- and late-maturing lines. Moreover, for the single-cropping system in Tibet, medium- and late-maturing rapeseed breeding might improve the yield of spring rapeseed.

Key words: Tibetan plateau; spring rapeseed (*Brassica napus* L.); sowing date; light-temperature resource use efficiency; differing in maturities

光、温、水是调控作物高产的重要生态因子,分期播种可通过改变油菜生长期内的光合辐射量、温度和水分等生态因子影响油菜的生育进程及产量性状^[1,2],使生态因子的利用最大化,对于实现油菜高产具有重要意义。不同熟期油菜的光温生态反应不同,生育期天数与油菜产量构成因素紧密相关^[3]。因此选用不同熟期油菜品种并配合调整播种期,是促进气候资源高效利用的重要途径。播期可通过温度调控油菜的生长发育进程,Luo等通过播期试验,分析了温度对油菜花芽分化启动和花芽数量的影响,获得了油菜花芽分化启动期所需温度范围,并预测不同熟期油菜开花的启动时间^[4]。播期可通过调控油菜的光周期和春化反应,影响不同熟期油菜的内源激素水平,进而调节花芽分化的起始、现蕾和抽薹时间。康洋歌等研究发现播期改变油菜苗后期内源激素含量和比例是调节早熟油菜成花的关键因素^[5]。播期对油菜生长发育的调控同时也体现在营养生长方面,杨国浪研究发现分期播种可改变春播甘蓝型油菜的心叶出叶速度,并依此指导油菜水肥管理^[6]。袁圆等研究发现适时播种可增加油菜茎秆木质素和纤维素含量,改善输导组织结构,获得较强的茎秆抗倒性及较高的小区产量^[7]。廖桂平等研究发现播期可改变油菜的干物质分配与转移特性,早播油菜具有较大的干物质积累与输出能力^[8]。综上前人利用播期试验广泛研究了油菜的光温生态特性及其与生长发育间的关系,但目前有关高原气候下不同熟期油菜产量性状与光温利

用的生态关系尚不清楚。

西藏高原气候寒凉,昼夜温差较大且太阳辐射量丰富,但随全球变暖,气温升高,西藏部分主要农区具有初霜期推迟、终霜期提早、无霜期延长的趋势,主要作物的生长季气温以 $0.35^\circ\text{C}/10$ 年的速率显著增加,作物的物候期均呈现延长趋势^[9,10]。油菜是西藏地区主要油料作物,受气候变化影响,种植区域分布发生了明显变化,一是种植北界具有“东减、北移、西扩”特征;二是种植地明显向高海拔地区扩展^[11,12]。这些变化部分缓解了西藏高海拔区双低甘蓝型油菜推广限制的问题,有利于西藏油菜品质和产量的改良。但该区主推及引进油菜生育期长短不一,播期、生育期和品种等与生态区温光资源的不匹配,严重限制了油菜产量和资源利用效率的提升。本试验选用3个不同熟期油菜品系通过调整播期,改变油菜生长期的温光条件,揭示不同熟期油菜在分期播种条件下的生长发育及产量形成规律,充分协调产量潜力与气候资源高效利用的关系,为西藏甘蓝型油菜高效选育及配套高产栽培技术的高效利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

所用3个西藏甘蓝型春油菜品系,包括早熟品系NY16,中熟品系NY28,晚熟品系NY52,是由西藏芥菜型油菜品种和西藏常规甘蓝型油菜品种为亲本,通过种间远缘杂交和定向选育等方法育成的甘

蓝型油菜稳定品系,由西藏农牧学院选育并提供。

1.2 试验设计

试验于2021年在西藏农牧学院试验基地进行,该农场海拔2970 m,年平均气温 8.8°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的有效积温2000~2200 $^{\circ}\text{C}$,无霜期160~180 d。试验采用随机区组设计,每个小区面积为 $18\text{ m}^2(2\text{ m}\times 9\text{ m})$,3次重复,种植密度为 $4.5\times 10^5\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。设置4个播种时间,分别为B1播期,2021年3月8日;B2播期,2021年3月15日;B3播期,2021年3月22日;B4播期,2021年3月29日,直播于大田,并在油菜三叶期定苗。试验地四周设保护行,土壤沙性土质,肥力适中,前茬为青稞,播种前一次性施复合肥(N:P:K=15:15:15)450 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和150 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 作基肥,后期不再追肥。试验过程中施肥水平、栽培管理及病虫害防治同常规管理。成熟期收获并于阴凉干燥处自然晾干进行相关指标的测定。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生育期性状记载及积温计算 参照伍晓明2007版《油菜种质资源描述规范和数据标准》^[13]对参试3个西藏甘蓝型油菜品系的生育时期,包括出苗、现蕾、抽薹、初花、终花、成熟的日期分别进行调查和记载;对各生育时期及全生育期的日均温累加计算,获得参试油菜品系各生育时期及全生育期的积温。相应气象数据采集自西藏林芝市气象站,由中国气象科学数据共享服务网提供。

1.3.2 生长动态调查 从6~8叶期到终花期,每间隔3 d,每个小区随机抽取5株油菜植株测定株高和茎粗的生长指标。

1.3.3 成熟期产量性状及农艺性状调查 当全田约1/3角果变黄时,在每个小区抽取10株,考察单株有效角果数、每角果粒数、千粒重、单株产量、株高、茎粗、有效分枝高度、主花序长度、主花序有效角果数、一次有效分枝数、二次有效分枝数;同时将小区剩余油菜植株集中采收、脱粒、测产,得到小区籽粒产量,并用小区产量折合得到每公顷的籽粒产量。

1.3.4 光能和温度的利用效率计算 公式如下:

光能利用效率($\text{g}\cdot\text{MJ}^{-1}$) = 每公顷油菜籽粒产量/每公顷太阳辐射量

温度利用效率($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$) = 每公顷油菜籽粒产量/生育期积温^[14]

1.4 数据分析方法

采用SPSS 21.0软件(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)统计分析数据,Origin 9.0软件和Excel作图,采用LSD-test法比较处理间差异。

2 结果与分析

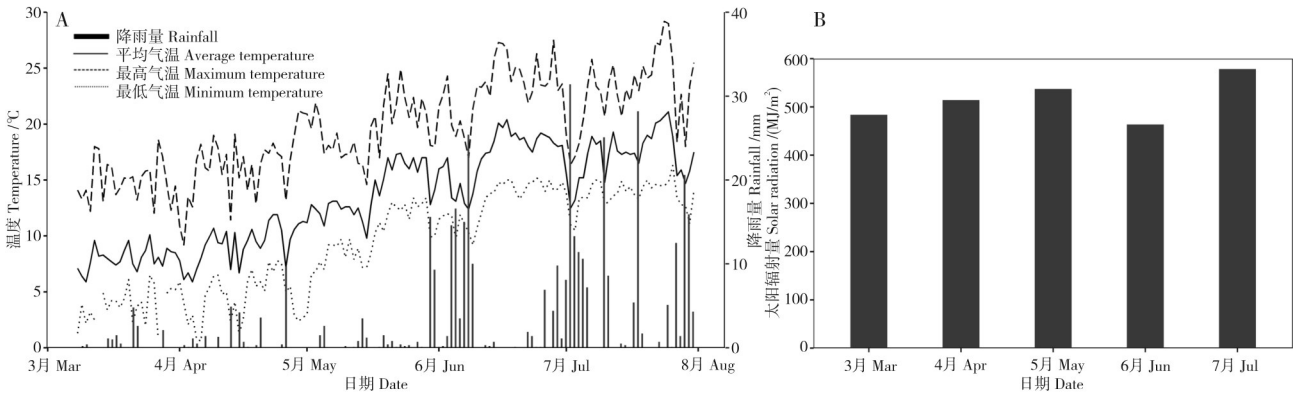
2.1 2021年西藏油菜生长期间的温度、降水量和太阳辐射量

2021年西藏油菜生育期内的气象因子基本情况见图1。计算油菜生长期内的月平均温度为 $8.01\sim 17.29^{\circ}\text{C}$,月最低温度平均为 3.49°C ,发生在3月份,月最高温度平均为 23.27°C ,发生在6月份。油菜生长季内的月最低降水量为14.2 mm,发生在3月份;而月降水量最高为212.4 mm,月太阳辐射量最高为578.35 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$,均发生在7月份;月太阳辐射量最低为463.62 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 发生在6月份。整个油菜生长期,日平均温度均在 5°C 以上,自播种后,日平均温度逐渐升高,其中3月8日至4月21日的日平均温度稳定在 $5\sim 10^{\circ}\text{C}$,4月22日至5月18日稳定在 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$,5月19日至7月31日稳定在 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$,生长期未出现极端温度,有利于油菜的生长发育和产量形成。自油菜播种后,整个油菜生长期降水量逐渐增加。其中3月8日至5月30日期间的降水较少,多以5 mm以下零星降水为主,5~10 mm的降水有3次;5月30以后,雨季来临,较多的降水量集中在6~7月,月降水量分别为113.8 mm和212.4 mm。

2.2 播期对不同油菜品系生育时期及积温的影响

调查了参试3个油菜品系在不同播期条件下的平均生育期、生育时期并计算各生长阶段的积温值(表1)。随着播期的推迟3个油菜品系的生育期呈缩短趋势,其中早熟品系不同播期下平均生育期为117~125 d,晚播条件下生育期缩短2~8 d;中熟品系不同播期条件下平均生育期121~132 d,晚播下生育期缩短1~11 d;晚熟品系不同播期条件下平均生育期122~136 d,晚播下生育期缩短3~14 d。参试品系晚播条件下生育期的缩短主要与晚播下油菜苗期、蕾期和花期的天数减少有关。晚播条件下,角果期天数均有不同程度的增加,早熟品系晚播条件下角果期增加2~5 d,中熟品系增加2~3 d,晚熟品系增加2~3 d,这与生育后期的气候因子有关。在相同播期条件下,与早熟品系相比,中晚熟品系主要表现在苗期和角果期两个生育时期有延长,其中,中熟品系较早熟品系苗期和角果期分别延长了2 d,2~4 d;晚熟品系分别延长2~3 d,4~6 d。

参试3个油菜品系生育期内的平均积温分别为1672.03 $^{\circ}\text{C}$ 、1781.68 $^{\circ}\text{C}$ 、1825.43 $^{\circ}\text{C}$ (表1),中晚熟品系所需积温较高主要是由于相同播期下,中晚熟品系在苗期和角果期所需积温大于早熟品系。随着



注:A:油菜生长季节内的温度和降雨量;B:油菜生长季内的月辐射量
Note: A: temperature and rainfall during the experimental period; B: monthly solar radiation during spring rapeseed growing period in the experimental seasons

图1 2021年油菜生长季的主要气象因子

Fig. 1 Main meteorological factors in rapeseed growing season during 2021

播期的推迟,参试油菜品系的生育期均有缩短,其中早、中熟品系在晚播条件下生育期内总积温较早播B1播期下有增加。这与晚播条件下日均温的升高,较早达到所需积温有关。而晚熟品系在晚播B3和B4播期下总积温低于早播B1,这与晚播条件下晚熟品系生育期缩短天数较多有关。

2.3 播期对不同油菜品系生长动态的影响

不同播期下3个品系的株高生长动态趋势较一致(图2)。植株生长前期参试3个品系的株高增长较慢,同一品系早播条件下株高生长优势明显,而晚播条件下株高较低。随着生育进程的推进,植株

生长中期茎秆伸长逐渐增快,其中晚播B3和B4条件下株高的增长优势明显并逐渐超出早播B1和B2,当达到一定植株高度后逐渐平稳。其中早熟品系NY16的株高较早熟品系NY28和晚熟品系NY52的株高较早达到最大值并平稳,但株高最大值低于中晚熟品系。

不同播期下3个品系的茎粗生长动态趋势较一致(图3)。茎粗随着生育进程的推进逐渐增加,于生长后期增长减慢并逐渐达到稳定。同一品系在早播B1和B2条件下茎粗增长优势明显,而晚播B3和B4条件下茎粗低于早播。表明播期推迟可造成

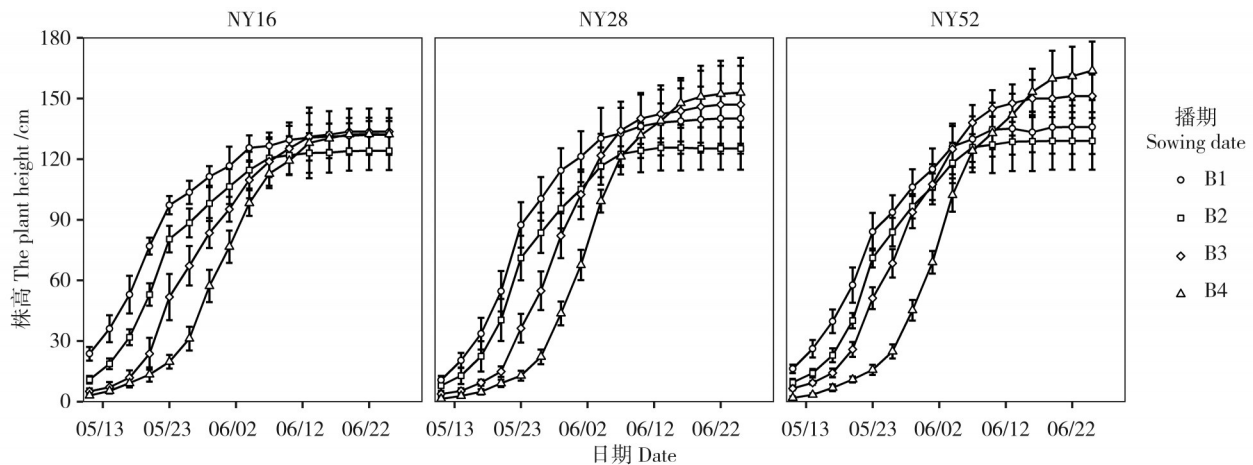
表1 不同播期下参试油菜的生育期、生育时期及积温

Table 1 Growth period and accumulated temperature of the tested rapeseed under different sowing date treatments

品系 Line	播期 Sowing	苗期		蕾薹期		花期		角果期		全生育期	
		Seedling period		Bolting period		Flowering period		Silique maturation period		The whole growth stage	
		天数	积温	天数	积温	天数	积温	天数	积温	天数	积温
		Calender days /d	Thermal time /°C	Calender days /d	Thermal time /°C	Calender days /d	Thermal time /°C	Calender days /d	Thermal time /°C	Calender days /d	Thermal time /°C
NY16	B1	57.00	517.70	15.00	189.50	26.00	429.40	27.00	494.90	125.00	1631.50
	B2	55.00	527.07	13.00	177.23	26.00	438.20	29.00	521.90	123.00	1664.40
	B3	53.00	531.30	12.00	182.87	24.00	409.53	31.00	560.20	120.00	1683.90
	B4	51.00	540.90	11.00	193.70	23.00	386.80	32.00	586.90	117.00	1708.30
NY28	B1	59.00	541.50	15.00	199.17	27.00	454.93	31.00	559.20	132.00	1754.80
	B2	57.00	547.73	14.00	206.47	27.00	462.90	33.00	604.40	131.00	1821.50
	B3	55.00	554.57	13.00	222.00	23.00	383.93	34.00	619.80	125.00	1780.30
	B4	53.00	579.57	10.00	181.83	23.00	391.50	34.00	617.20	121.00	1770.10
NY52	B1	59.00	541.50	15.00	199.07	29.00	492.83	33.00	601.20	136.00	1834.60
	B2	58.00	564.27	13.00	184.60	27.00	468.23	35.00	635.70	133.00	1852.80
	B3	56.00	563.80	12.00	193.43	25.00	427.00	36.00	642.47	128.00	1826.70
	B4	54.00	585.33	9.00	154.60	24.00	406.57	36.00	641.10	122.00	1787.60

注:B1~B4为不同的播期;B1:2021年3月8日;B2:2021年3月15日;B3:2021年3月22日;B4:2021年3月29日

Note: B1~B4: sowing dates; B1: March 8, 2021; B2: March 15, 2021; B3: March 22, 2021; B4: March 29, 2021



注: B1~B4 为不同的播期; B1: 2021 年 3 月 8 日; B2: 2021 年 3 月 15 日; B3: 2021 年 3 月 22 日; B4: 2021 年 3 月 29 日

Note: B1~B4: sowing dates; B1: March 8, 2021; B2: March 15, 2021; B3: March 22, 2021; B4: March 29, 2021

图2 不同播期下参试油菜的株高生长动态

Fig. 2 Growth dynamics in plant height of the tested rapeseed under different sowing date treatments

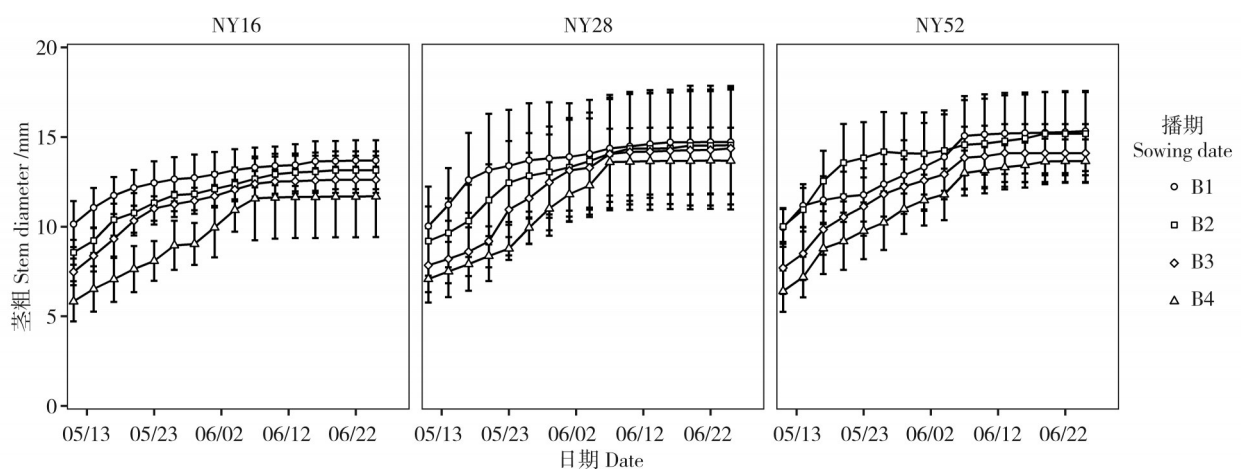
参试油菜茎秆营养物质积累不足而表现较细。同一播期条件下,中晚熟品系的茎粗最大值大于早熟品系。

2.4 播期对不同品系油菜产量、产量构成因素及农艺性状的影响

如表2所示,参试品系在不同播期处理下的产量和产量构成因素存在显著差异。其中早熟品系 NY16 在 B2 播期下的每公顷油菜籽粒产量较大,其次是 B3 播期,而在 B1 和 B4 播期下产量较低。中熟品系 NY28 和晚熟品系 NY52 在 B1 和 B2 播期下的每公顷籽粒产量大于 B3 和 B4 播期,并在 B1 密度下籽粒产量达最大值。在相同播期条件下,中晚熟品系的籽粒产量高于早熟品系,中熟品系 NY28 在 B1 播期下籽粒产量最高为 $2250.20 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,比 B1 播期

下早熟品系 NY16 产量高 29.68%;晚熟品系 NY52 在 B1 播期下籽粒产量最高为 $3141.38 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,比 B1 播期下早熟品系 NY16 产量高 49.63%,表明中晚熟品系的籽粒产量较早熟品系具有较高优势。

从参试品系的产量构成因素变化看(表2),晚播 B3 和 B4 条件下参试品系的单株粒重和单株有效角果数均小于早播 B1 和 B2,并在 B4 播期下均达最低值显著低于早播。而不同播期下参试品系的每角果粒数和千粒重变化趋势不一致,其中早熟和晚熟品系的每角果粒数在晚播 B3 和 B4 条件下较早播 B1 和 B2 有减少,但中熟品系只较 B1 有减少;中晚熟品系的千粒重在晚播 B4 条件下较早播有显著减少,但早熟品系的千粒重无规律性变化。B1 和 B2 播期油菜的初花至盛花期集中在 5 月 20 日至 5 月 29



注: B1~B4 为不同的播期; B1: 2021 年 3 月 8 日; B2: 2021 年 3 月 15 日; B3: 2021 年 3 月 22 日; B4: 2021 年 3 月 29 日

Note: B1~B4: sowing dates; B1: March 8, 2021; B2: March 15, 2021; B3: March 22, 2021; B4: March 29, 2021

图3 不同播期下参试油菜的茎粗生长动态

Fig. 3 Growth dynamics in stem diameter of the tested rapeseed under different sowing date treatments

日,而B3和B4播期油菜则集中于5月26日至6月6日,此时正值油菜开花授粉受精决定单株有效角果形成的关键期。结合本试验年份的气象因子,5月30日至6月8日有连续8 d的持续降水,晚播油菜花期遇阴雨天气并伴随2~3℃的降温,不利于油菜正常散粉受精导致有效角果数的减少。

参试品系成熟期农艺性状表现较一致(表2)。成熟期参试品系的单株干重、一次有效分枝数、二次有效分枝数和茎粗在早播B1和B2条件下大于晚播B3和B4,并在晚播B4条件下达最小值;而参试品系的株高和有效分枝高度在晚播B3和B4条件下,却有不同程度的升高。而播期对主花序长度及主花序有效角果数的影响规律不明显。

2.5 不同播期条件下光温利用效率比较

不同播期下参试3个品系的光能利用效率和温度利用效率的变化趋势较一致(图4)。其中早熟品系NY16在B2播期下的光能和温度利用效率较高,

其次是B3播期;而中熟品系NY28和晚熟品系NY52在B1播期下的光能和温度利用效率较高,其次是B2播期。早熟品系NY16的最大光能利用效率和温度效率分别为 $0.081\text{ g}\cdot\text{MJ}^{-1}$ 和 $1.017\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$,中熟品系NY28的最大光能利用效率和温度效率分别为 $0.1\text{ g}\cdot\text{MJ}^{-1}$ 和 $1.282\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ 晚熟品系NY52的最大光能利用效率和温度效率分别为 $0.134\text{ g}\cdot\text{MJ}^{-1}$ 和 $1.712\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。中熟品系NY28和晚熟品系NY52的最大光能利用效率分别比早熟品系NY16高19.07%、39.57%;而最大温度利用效率分别比早熟品系NY16高20.66%、40.58%。

3 讨论

受无霜期短等高原限制性气候因素的影响,西藏当地油菜生产仍然以白菜型和芥菜型油菜为主,这些品种类型对西藏高原气候适应性强,抗逆性好;但同时也表现品质不良和生产潜力不高等缺

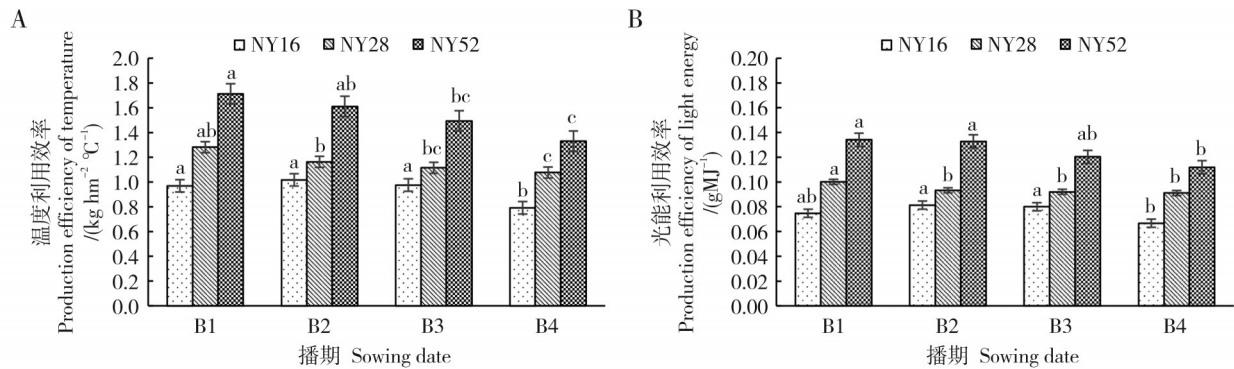
表2 不同播期下参试油菜的籽粒产量、产量构成因素及农艺性状表现

Table 2 Seed yield, yield components and other agronomic traits of tested rapeseed under different sowing dates

品种 Line	播期 Sowing	DM/g	SN	SS	TSW/g	GW/g	SY ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	PH/cm	SD/mm	BH/cm	MIL/cm	MIS	PB	SB
NY16	B1	67.00 a	186.27 a	29.02 a	4.21 a	20.14 ab	1582.27 ab	130.87 ab	11.54 a	32.07 b	54.47 a	44.80 a	6.20 ab	2.87 a
	B2	68.78 a	215.73 a	27.11 a	4.65 a	24.27 a	1693.44 a	128.92 b	10.35 ab	27.75 b	50.10 a	42.92 a	6.82 a	3.03 a
	B3	36.67 ab	117.47 b	26.69 a	4.24 a	11.50 b	1643.41 a	138.80 ab	8.79 ab	51.27 a	52.13 a	35.93 a	4.53 bc	2.13 a
	B4	27.33 b	90.40 b	24.84 a	4.36 a	8.58 b	1352.53 b	140.60 a	7.07 b	53.07 a	44.00 b	29.13 a	3.93 c	1.47 a
NY28	B1	68.83 a	210.39 a	28.54 a	3.97 a	19.42 a	2250.20 a	171.20 c	12.35 ab	61.89 b	50.64 a	50.48 a	7.89 a	2.30 a
	B2	71.00 a	210.36 a	26.52 a	3.86 a	20.90 a	2118.74 b	175.61 b	14.33 a	91.98 ab	54.49 a	61.59 a	6.83 ab	1.04 a
	B3	61.00 a	181.00 ab	27.42 a	3.92 a	17.29 ab	1986.18 c	180.87 a	11.89 ab	99.33 ab	49.13 ab	55.53 a	6.27 b	0.27 a
	B4	42.00 b	140.00 b	27.60 a	3.71 a	12.17 b	1907.44 c	182.13 a	9.91 b	105.00 a	42.47 b	53.40 a	6.07 b	0.00 a
NY52	B1	70.00 ab	207.40 a	28.98 ab	4.46 a	20.91 a	3141.38 a	169.93 a	12.64 a	85.27 a	62.53 a	67.87 a	5.47 a	0.33 a
	B2	75.00 a	208.07 a	29.73 a	4.54 a	23.52 a	2943.14 ab	176.33 a	13.06 a	86.07 a	60.60 ab	63.27 a	5.73 a	1.47 a
	B3	58.67 ab	181.60 a	28.11 ab	4.38 a	18.60 ab	2767.12 b	176.17 a	11.93 a	92.47 a	61.03 a	66.83 a	5.03 ab	0.20 a
	B4	38.33 b	110.27 b	26.49 b	3.87 b	9.38 a	2377.11 c	178.60 a	9.46 b	94.73 a	51.00 b	54.33 a	4.00 b	0.00 a
品系 Lines		2.07NS	4.42*	1.49NS	9.41**	0.59NS	197.50**	125.14**	11.10**	40.67**	19.72**	30.56**	13.00**	3.87*
F 值	播期 Sowing date	11.18**	22.56**	2.43NS	2.21NS	13.63**	14.54**	3.28*	11.24**	4.99**	11.47**	2.94*	9.84**	1.41NS
F value	品系×播期 Line × sowing date	0.45NS	1.26NS	0.84NS	1.16NS	0.84NS	2.31NS	0.32NS	0.66NS	1.13NS	0.7NS	1.15NS	1.2NS	0.3NS

注: B1~B4为不同的播期; B1: 2021年3月8日; B2: 2021年3月15日; B3: 2021年3月22日; B4: 2021年3月29日; DM: 单株干物质重(g); SN: 单株有效角果数; SS: 每角果粒数; TSW: 千粒重(g); GW: 单株粒重; SY: 籽粒产量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$); PH: 株高(cm); SD: 茎粗(mm); BH: 有效分枝高度(cm); MIL: 主花序长度(cm); MIS: 主花序有效角果数; PB: 一次有效分枝数; SB: 二次有效分枝数; 根据最小显著性差异(LSD)测试, 数字后面字母表示同一品系不同播期之间存在的显著性差异($P<0.05$)。方差分析中NS表示不显著, *和**分别表示在0.05和0.01概率水平上的显著差异

Note: B1~B4: sowing dates; B1: March 8, 2021; B2: March 15, 2021; B3: March 22, 2021; B4: March 29, 2021; DM: dry matter weight per plant (g); SN: siliques number per plant; SS: seeds per silique; TSW: 1000-seed weight (g); GW: grain weight per plant (g); SY: seed yield ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$); PH: plant height (cm); SD: stem diameter (mm); BH: branch height (cm); MIL: main inflorescence length (cm); MIS: siliques on the main inflorescence; PB: primary branch number; SB: secondary branch number; Values followed by different lowercase letters indicate significantly differences in different sowing date treatments in the same line according to the Least Significant Difference (LSD) Test ($P<0.05$); NS: not significant; * and ** mean significant differences at 0.05 and 0.01 levels respectively



注: B1: 2021年3月8日; B2: 2021年3月15日; B3: 2021年3月22日; B4: 2021年3月29日; 柱上不同小写字母表示同一参试品系在不同播期处理下的显著性差异

Note: B1–B4: sowing dates; B1: March 8, 2021; B2: March 15, 2021; B3: March 22, 2021; B4: March 29, 2021; Different letters on columns denote significant difference among the sowing dates for the same line at 0.05 (by LSD)

图4 不同播期下参试油菜的温度利用效率(A)和光能利用效率(B)

Fig. 4 Temperature energy utilization efficiency (A) and light utilization efficiency (B) of the tested rapeseed lines under different sowing dates

点^[15]。本课题组利用当地芥菜型油菜与甘蓝型油菜种间有性杂交的方法,定向选育了甘蓝型油菜品系,尝试将西藏当地芥菜型油菜的抗性基因导入甘蓝型油菜,缩短甘蓝型油菜的生育期,提高甘蓝型油菜在高海拔区的适应性,以逐步实现用甘蓝型油菜取代西藏高海拔区传统白菜型小油菜的生产目标,对改良西藏油菜品质,提高西藏油菜的生产潜力,促进西藏高海拔农区油菜生产发展具有重要意义。

与甘蓝型冬油菜相比,西藏甘蓝型春油菜的苗期营养生长期历时较短,同时现蕾抽薹较快^[16]。本试验条件下,随着播期的推迟,参试品系的苗期、蕾薹期和花期均有缩短,进而表现生育期的缩短。该结果与前人播期试验结果一致^[17,18],主要是由于播期推迟,日均温升高,达到油菜生长期所需积温的天数减少。结合春性甘蓝型油菜本身生长发育快的特点,播期推迟条件下参试油菜终花期前生育进程缩短更明显,可能不利于生长期内营养物质的积累。本试验条件下尽管晚播缩短了终花前的生育天数,油菜终花后角果成熟期却有不同程度的延长。这一现象与6–7月持续降雨,湿度较大,太阳辐射量减少造成受精后角果发育缓慢有关;加之高原地区油菜夏天无高温逼熟,油菜光合日进程平稳,角果持绿,脱水较慢,角果成熟期延长。

油菜抽薹后主茎逐渐伸长加粗,始薹至初花是油菜茎秆伸长及充实的重要时期,此时气温与油菜抽薹速度及薹高呈显著正相关,此时油菜薹期营养生长旺盛,随着气温的升高和蒸腾作用的加强,油菜薹期对水分需求量较大^[19]。本试验考察了参试油

菜株高和茎粗的发育过程,发现晚播可加快参试油菜茎秆的伸长,B3和B4下的株高大于早播B1和B2。这是由于参试品系在早播B1和B2条件下抽薹时间集中在5月8日–5月14日,日平均温度稳定在10~15℃,晚播B3和B4条件下抽薹时间集中在5月17日–5月23日,日平均温度稳定在15~20℃,抽薹期处于气温上升阶段同时当年雨季始于5月30日,因此晚播条件下油菜茎秆伸长期正处于雨热同季期,加速了参试油菜茎秆的伸长;同时由于茎秆纵向生长迅速导致茎粗增长缓慢,晚播下油菜茎秆较细。晚播下主茎高而细的形态特征可能导致茎秆抗折力的降低,茎秆倒伏指数增大。

姜海杨^[20]等研究表明,晚播可造成冬油菜的干物质积累、根冠层比降低的根本原因是播期推迟后越冬前生长得到的有效积温减少,越冬营养生长阶段缩短所致。本试验发现晚播同样可造成甘蓝型春油菜单株干物质积累减少。但春播油菜生长期处于温度上升阶段,不存在冬油菜越冬前积温不足的生长障碍;干物质减少的根本原因可能与晚播造成春油菜生长发育加快的特性有关。春油菜营养生长阶段主要是根系的增大,庞大的根系是培育春油菜壮苗的关键,也为油菜生长发育打下基础^[21]。本试验条件下春季早播B1和B2条件下单株干物质质量大于晚播B3和B4,可能是因为早播可以显著地延长苗期,促进根系发育,使植株有机会积累较多的营养,为后期的生长发育提供必须的营养物质。而晚播油菜苗期缩短,根系较小,不能积累到充分的营养物质。同时春油菜苗期也是油菜叶片、分枝和花芽产生的分化期,苗期营养积累不足也导致本

试验晚播油菜成熟期植株分枝数的减少和有效分枝高度的增加不利于油菜产量的形成。

单株有效角果数、每角果粒数和千粒重是决定油菜产量的关键因素^[22]。本试验晚播条件下,参试油菜成熟期单株有效角果数的显著下降是晚播造成油菜产量下降的主要原因。一方面由于晚播油菜在生育后期的干物质积累量、分配与转移量不足造成油菜角果数量较少^[23]。另一方面由于油菜花期是开花授粉受精决定单株有效角果形成的关键期,充足的光照与油菜角果数形成显著正相关,降水量与油菜角果数呈负相关^[24]。而本试验晚播 B3 和 B4 播期油菜初花至盛花期遇持续降水的阴雨天气并伴随降温现象,不利于油菜正常散粉受精导致有效角果数的减少。因此生育后期的持续降雨是造成甘蓝型油菜产量下降的主要因素。

青藏高原受季风气候影响,干季和雨季明显,其中雅鲁藏布江河谷农区 5-9 月降水量占全年的 90% 以上。雨季不仅降水集中,而且是全年中气温高、湿度大、风速小的时段,也是农作物生长发育的最佳时期^[25]。从西藏林芝地区作物的整个生长季来看,普遍作物生长季为每年的 3-10 月,其中喜凉作物以春油菜和春青稞为代表的作物生长季为 3-8 月;喜温作物以春玉米为代表的生长季为 5-10 月。秋播作物以冬小麦和冬油菜为代表的生长季为当年 10 月至次年 7 月^[10,26]。因此,西藏种植制度以一年一熟为主。在一年一熟的种植制度下,为达到光温资源的充分利用应注重秋闲田作物的种植,但受劳动力限制及当地秋季放牧习惯的影响,秋播作物较少,因此本研究着重分析了雨热同季时期甘蓝型春油菜的光温利用效率。不同熟期油菜品种对光温生态条件的反应不同,生育期及成熟期差异明显^[27]。本试验条件下,早熟油菜品系在 B2 播期下光、温利用效率较大,其次是 B3 播期;而中晚熟油菜品系在 B1 播期下光、温利用效率较大,其次是 B2 播期;同一播期条件下,中晚熟品系的光温利用效率大于早熟品系。品种间的这种差异可能是由于早熟品系所需积温少,光合强度低,光合时间短,从而导致光温利用能力较弱。而中晚熟品系的生育期较长,能够充分利用油菜生长季节的光温资源,具有较高的光温利用效率从而表现高产。但高原气候下,雨季降水较多集中在油菜花角期,生育后期的较多降水是造成晚播条件下中晚熟油菜品系产量下降的主要原因。

本文着重研究了不同熟期甘蓝型春油菜在西

藏林芝高原气候下的生育期性状、产量性状及光温利用效率,探讨西藏甘蓝型春油菜的播期和品种配置,但仍存在很多不足。林芝地区属于藏东南雅鲁藏布江河谷带农区,尽管与西藏主要农区相比具有种植制度上的一致性,但依然存在光照、降水量和温度的地区间差异,因此探讨西藏高原气候下甘蓝型春油菜全年光温资源的充分利用还需要在西藏区内开展多年多点的试验分析。本试验在西藏林芝高原气候下,在一定无霜期范围内,支持中晚熟品系的培育,通过适时调整播期以实现光温资源的充分利用,本试验结果可为西藏其它农区的甘蓝型春油菜的种植提供理论参考和实践指导。

4 结论

高原气候下甘蓝型春油菜生长期温度由低渐高,受温度升高影响,晚播造成油菜生育期缩短,成熟期干物质积累降低;同时受花角期雨水较多的限制,晚播造成油菜有效分枝数、单株有效角果数和单株粒重的降低进而籽粒产量下降。早熟品系 B2 播期下积温和光照条件有利于光温利用效率的提高,当地气候条件下 3 月 15 日~3 月 22 日播种适宜。中晚熟品系在 B1 播期下光温利用效率较高,当地气候条件下 3 月 8 日~3 月 15 日播种适宜。同一播期下中晚熟品系的产量及光温利用效率大于早熟品系,西藏一年一熟种植制度下,为充分利用油菜生长季的光温资源,一定无霜期范围内,甘蓝型春油菜中晚熟品系的选育和利用,可有效提高青藏高原生态条件下甘蓝型春油菜产量。

参考文献:

- [1] 张宾, 赵明, 董志强, 等. 作物产量“三合结构”定量表达及高产分析[J]. 作物学报, 2007, 33(10): 1674-1681. DOI: 10.3321/j.issn: 0496-3490.2007.10.017.
- [2] 董国云, 官春云, 谭太龙. 不同熟期油菜品种适宜播期研究[J]. 作物研究, 2013, 27(3): 236-240. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5280.2013.03.07.
- [3] 郑本川, 张锦芳, 李浩杰, 等. 甘蓝型油菜生育期天数与产量构成性状的相关分析[J]. 中国油料作物学报, 2013, 35(3): 240-245. DOI: 10.7505/j.issn.1007-9084.2013.03.002.
- [4] Luo T, Zhang J, Khan M N, et al. Temperature variation caused by sowing dates significantly affects floral initiation and floral bud differentiation processes in rapeseed (*Brassica napus* L.)[J]. Plant Sci, 2018, 271: 40-51. DOI: 10.1016/j.plantsci.2018.03.004.
- [5] 康洋歌, 张利艳, 张春雷, 等. 不同播期对早熟油菜

- 叶片激素水平的影响及其与花芽分化的关系[J]. 中国油料作物学报, 2015, 37(3): 291-300. DOI: 10.7505/j.issn.1007-9084.2015.03.006.
- [6] 杨国浪. 分期播种对西藏甘蓝型油菜心叶出叶速度的影响研究[J]. 西藏农业科技, 2019, 41(1): 17-20.
- [7] 袁圆, 汪波, 周广生, 等. 播期和种植密度对油菜产量和茎秆抗倒性的影响[J]. 中国农业科学, 2021, 54(8): 1613-1626. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2021.08.004.
- [8] 廖桂平, 官春云. 甘蓝型冬油菜(*Brassica napus*)干物质积累、分配与转移的特性研究[J]. 作物学报, 2002, 28(1): 52-58. DOI: 10.3321/j.issn: 0496-3490.2002.01.010.
- [9] 杜军, 石磊, 袁雷. 近50年西藏主要农区霜冻指标的变化特征[J]. 中国农业气象, 2013, 34(3): 264-271.
- [10] 次仁央金, 吴尧, 陈阜, 等. 气候变暖对西藏林芝地区作物生产的影响[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(8): 33-42.
- [11] 张树杰, 王汉中. 我国油菜生产应对气候变化的对策和措施分析[J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(1): 114-122.
- [12] 殷艳, 廖星, 余波, 等. 我国油菜生产区域布局演变和成因分析[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(1): 147-151.
- [13] 伍晓明, 陈碧云, 陆光远. 油菜种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [14] 付雪丽, 张惠, 贾继增, 等. 冬小麦-夏玉米“双晚”种植模式的产量形成及资源效率研究[J]. 作物学报, 2009, 35(9): 1708-1714. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2009.01708.
- [15] 尼玛卓玛, 袁玉婷, 唐琳, 等. 高海拔地区早熟甘蓝型双低油菜品种丰产栽培技术研究试验[J]. 西藏农业科技, 2009, 31(3): 17-19. DOI: 10.3969/j.issn.1005-2925.2009.03.005.
- [16] 张晓梅, 姚艳梅, 徐亮, 等. 青藏高原早熟甘蓝型春油菜遗传资源研究[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(3): 374-380. DOI: 10.13430/j.cnki.jpgr.2011.03.012.
- [17] 张焱, 葛均筑, 周广生, 等. 播期对饲用油菜鲜草产量和品质的调控研究[J]. 中国油料作物学报, 2021, 43(5): 851-858. DOI: 10.19802/j.issn.1007-9084.2020277.
- [18] 罗先富, 赵杨, 高杜娟, 等. 播期对免耕直播油菜农艺性状和产量的影响[J]. 湖南农业科学, 2018(6): 22-24. DOI: 10.16498/j.cnki.hnnykx.2018.006.006.
- [19] 冉光辉, 贺黔阳, 德吉. 基于气象要素对林芝市春油菜生育期影响的探讨[J]. 农业与技术, 2017, 37(14): 215-216, 254. DOI: 10.11974/nyyjs.20170733186.
- [20] 姜海杨, 孙万仓, 曾秀存, 等. 播期对北方白菜型冬油菜生长发育及产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(6): 620-626.
- [21] 刘后利主编, 王兆木等编写. 实用油菜栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987.
- [22] 孙万仓, 武军艳, 方彦, 等. 北方旱寒区北移冬油菜生长发育特性[J]. 作物学报, 2010, 36(12): 2124-2134. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2010.02124.
- [23] 廖桂平, 官春云. 不同播期对不同基因型油菜产量特性的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12(6): 853-858.
- [24] 王祖福, 程国强, 闵才生. 油菜开花结实与降水、温度的关系[J]. 农业气象, 1983, 4(3): 39-40.
- [25] 黄晓清, 杨勇. 西藏高原雨季开始期的气候变化趋势[J]. 西藏科技, 2008(3): 64-65, 72.
- [26] 次仁旺姆, 益西卓玛, 德吉. 基于GIS的林芝市农作物种植气候适宜性区划[J]. 农业与技术, 2019, 39(18): 116-118. DOI: 10.19754/j.nyyjs.20190930048.
- [27] 官春云, 王国槐, 李梅, 等. 油菜光温生态特性的研究与应用[J]. 作物研究, 1995, 9(S1): 12-14. DOI: 10.16848/j.cnki.issn.1001-5280.1995.s1.008.

(责任编辑:郭学兰)