

# 摘薹次数对菜油两用甘蓝型油菜生长发育及光合特性的影响

林 钢\*, 李宏江, 杨忠龙, 钟 微, 刘春林#

作物表观遗传调控与发育湖南省重点实验室, 湖南 长沙

收稿日期: 2023年12月21日; 录用日期: 2024年1月18日; 发布日期: 2024年1月26日

## 摘 要

为探究摘薹次数对菜油两用甘蓝型油菜生长发育及光合特性的影响, 本研究采用单因素随机区组设计, 以菜油湘-1为试验材料, 设不摘薹、摘薹1次和摘薹2次三个处理, 在大田试验条件下测定植株的生长发育指标、光合指标及产量。结果表明: 摘薹1次, 油菜薹期和花期时的单株叶面积、叶面积指数显著增大, 冠层透光率降低, 但消光系数也显著降低, 光在冠层中的分布更均匀, 群体光合能力显著增强, 且部分重要农艺性状及籽粒产量与不摘薹相比无显著差异; 摘薹2次与不摘薹相比, 油菜在薹期和花期时的光合面积以及光合面积指数虽有增大, 但在角果期显著降低, 冠层透光率在角果期最高, 消光系数也最大, 叶片和角果的净光合速率大幅降低, 群体光合能力显著减弱, 部分重要农艺性状指标以及籽粒产量也显著减少。综上, 一次摘薹对油菜群体冠层结构具有显著的优化作用, 使冠层的光分布更为均匀, 在保证产量的同时, 还能够额外获得菜薹收益, 当菜油湘-1作为菜油两用型油菜时, 一次摘薹是最佳选择。

## 关键词

菜油两用甘蓝型油菜, 冠层结构, 光合能力, 产量, 生长发育

## Effects of Times of Bolt Picking on Growth and Development and Photosynthetic Characteristics of Oil and Vegetable Dual-Purpose Brassica Napus

Gang Lin\*, Hongjiang Li, Zhonglong Yang, Wei Zhong, Chunlin Liu#

Key Laboratory of Crop Epigenetic Regulation and Development in Hunan Province, Changsha Hunan

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 林钢, 李宏江, 杨忠龙, 钟微, 刘春林. 摘薹次数对菜油两用甘蓝型油菜生长发育及光合特性的影响[J]. 农业科学, 2024, 14(1): 83-94. DOI: 10.12677/hjas.2024.141011

## Abstract

In order to investigate the effects of times of bolt picking on growth and development and photosynthetic characteristics of oil and vegetable dual-purpose rapeseed, this study adopts a single factor block design, using Cai You Xiang-1 as the experimental material, with three treatments: nobolt picking, once of bolt picking and twice of bolt picking, measure the growth and development indicators, photosynthetic indicators and yield of plants under field experimental conditions. The results showed that after once of bolt picking, the leaf area of per plant and leaf area index significantly increased during the bolting and flowering stage of rapeseed. The canopy transmittance decreased, but the light extinction coefficient also significantly decreased. The distribution of light in the canopy was more uniform, and the photosynthetic capacity of the population was significantly enhanced. Some important agronomic traits and seed field were not significantly different from those without bolt picking; compared with no bolt picking, the photosynthetic area and photosynthetic area index of rapeseed increased during the bolting and flowering stages, but significantly decreased during the pod stage. The canopy transmittance was the highest during the pod stage, and the extinction coefficient was also the highest. The net photosynthetic rate of leaves and pods were significantly reduced, and the photosynthetic capacity of population was significantly weakened. Some important agronomic traits and seed yield were also significantly reduced. In summary, once of bolt picking has a significant optimization effect on the canopy structure of rapeseed populations, making the light distribution in the canopy more uniform. While ensuring yield, it can also obtain additional benefits from bolting. When Cai You Xiang-1 is used as a oil and vegetable dual-purpose rapeseed, once of bolt picking is the best choice.

## Keywords

Oil and Vegetable Dual-Purpose Brassica Napus, Canopy Structure, Photosynthetic Capacity, Yield, Growth and Development

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近几年,甘蓝型油菜的多功能开发利用已在饲用[1] [2]、观赏[3] [4] [5]、蜜用[6]、药用[7]以及菜用[6] [8] [9] [10]等多个方面都取得显著成果。其中,菜油两用型油菜深得广大人民群众的喜悦,其菜薹美味可口,营养也十分丰富[11] [12] [13]。

对于菜油两用型油菜而言,品种选择和摘薹方式是与其配套的栽培技术中最为关键的两个方面。孙晓敏等人的研究表明,汉油6号的维生素C和可溶性含糖量较高,品质优良,采薹一次所获得的经济效益最高,可明显提高农民的收益[11]。另外,赵卫喆等人也指出,摘薹处理能够增加经济效益,不过油菜的产量及产量的构成因素也会受到一定影响[14]。石子建等人的研究也表明,摘薹处理对油菜千粒重和角果数的影响并不显著,且“菜用+油用”生产模式的经济效益比单收菜籽8542元/hm<sup>2</sup> [15]。由此可见,菜油两用型油菜不仅能够收获菜籽,同时还能增加一项采薹的收入,可有效提高农民的生产积极性和经济收益。

光合作用是植物生长发育的基础，而叶片的发育和形态结构又与光合功能息息相关[16] [17]，因此植株的田间形态能直接影响到光在植株冠层中的分布以及叶片的受光状态[18] [19]。对于菜油两用型油菜而言，摘薹势必会引起油菜冠层结构的改变，从而对油菜后期的生长发育和光合特性产生影响。

为进一步推广菜油两用型油菜在生产上的应用并丰富其理论基础，本文在前人的研究基础上，以新选育出的高产菜薹的菜油两用型油菜“菜油湘-1”品系为试验材料，探究不同摘薹次数对菜油湘-1 生长发育及光合利用特性等方面的影响，为其后期推广应用提供基础数据参考。

## 2. 材料与方

### 2.1. 试验材料

“菜油湘-1”的菜薹产量可达 5314.35 kg/hm<sup>2</sup>，是经过多年选育出的高产菜薹的菜油两用甘蓝型油菜品系，由作物表观遗传调控与发育湖南重点实验室提供。

### 2.2. 试验设计

试验于 2022~2023 年在湖南省长沙市芙蓉区湖南龟鳖产业园(28.19°N, 113.08°E)内进行。试验地前茬为水稻，土壤 pH 为 6.58，含全氮 1.67 g/kg、全磷 2.23 g/kg、全钾 17.9 g/kg、水解性氮 148 mg/kg、有效磷 95.4 mg/kg、速效钾 81 mg/kg 以及有机质 28.6 g/kg。

试验采用单因素随机区组设计，设 3 个处理，分别为不摘薹(CK)、摘薹 1 次(于 2023 年 2 月 20 日摘取柔嫩的主薹茎段，T1)和摘薹 2 次(分别于 2023 年 2 月 20 日和 2023 年 3 月 2 日摘取柔嫩的主薹茎段和所有侧薹，T2)，每个处理设三次重复，每个小区面积为 20 m<sup>2</sup> (2 m × 10 m)，合计 9 个小区。

2022 年 10 月 1 日采用穴播的方式种植，每穴播 3~4 颗油菜籽，于 3~4 叶期(10 月 23 日)间苗定苗，株行距为 0.3 m × 0.3 m。氮磷钾施肥量分别为 180 kg/hm<sup>2</sup>、67.5 kg/hm<sup>2</sup> 和 82.5 kg/hm<sup>2</sup>。其它田间管理措施按当地高产要求进行，期间注意病虫害防治，保证油菜正常生长。

### 2.3. 测定指标与方法

1) 生育期记录不同处理试验材料的播种期、出苗期、抽薹期、初花期、角果期和收获期等重要生育时期。

2) 叶面积和叶面积指数在薹期(3 月 4 日)和花期(3 月 20 日)各小区随机选取 5 株油菜，通过回归方程法测定每片叶的叶面积，各功能叶的叶面积回归方程如表 1 所示。

**Table 1.** Regression equation for leaf area of function leaves in *Brassica napus*

**表 1.** 油菜功能叶的叶面积回归方程

功能叶 Function leaves	回归方程 Regression equation	R <sup>2</sup>
长柄叶 Long petiole leaf	$Y = 16.562L + 8.449W - 0.079LW - 273.014$	0.782 <sup>**</sup>
短柄叶 Short petiole leaf	$Y = 0.394LW^{1.083}$	0.97 <sup>**</sup>
无柄叶 Sessile leaf	$Y = 1.966L + 3.14W + 0.335LW - 22.426$	0.981 <sup>**</sup>

注：L：叶长；W：最大叶宽；LW：长宽积；\*\*表示 0.01 水平下相关性显著。

叶面积指数计算公式如下：

$$LAI = \frac{N \times LA}{L} \times 10^{-4} \quad (1)$$

式中,  $LAI$  为叶面积指数(leaf area index,  $m^2/m^2$ );  $LA$  为单株叶面积(leaf area of per plant,  $cm^2$ );  $N$  为株数(number of plants);  $L$  为土地面积(land area,  $m^2$ )。

3) 角果皮面积和角果皮面积指数在籽粒灌浆期(4月20日), 各小区中随机选取5株油菜, 每株油菜随机抽取上、中、下层各10个绿色角果, 根据克拉克角果面积计算公式计算角果皮面积[20]:

$$S = \pi d \times \left( h_1 + \frac{1}{3} h_2 \right) \quad (2)$$

$$h_1 = 0.8H \quad (3)$$

$$h_2 = 0.2H \quad (4)$$

式中,  $S$  为角果皮面积(pod area,  $cm^2$ );  $H$  为角果长度(pod length,  $cm$ );  $d$  为角果宽度(pod width,  $cm$ )。

$$PAI = \frac{N \times PA}{L} \times 10^{-4} \quad (5)$$

式中,  $PAI$  为角果皮面积指数(pod area index,  $m^2/m^2$ );  $PA$  为单株角果皮面积(pod area of per plant,  $cm^2$ );  $N$  为株数(number of plants);  $L$  为土地面积(land area,  $m^2$ )。

4) SPAD 值在薹期(3月5日)和花期(3月19日), 从各处理小区中分别随机选取5株油菜, 薹期从每株油菜中任意选取3片短柄叶, 花期则是从每株油菜中任意选取3片无柄叶, 使用 SPAD-502 型叶绿素仪测定每片叶的 SPAD 值。对于选取的角果, 使用美工刀沿角果腹缝线轻轻划开, 将果皮展平后, 使用 SPAD-502 型叶绿素仪测定角果皮的 SPAD 值。

5) 透光率与消光系数在薹期(3月6日)、花期(3月19日)和籽粒灌浆期(4月21日), 每个小区随机选取五处样点, 使用 LP-80 冠层分析仪测量每个样点穴(cave)间和行(line)间的顶部、底部的瞬时光合有效辐射(photosynthetically active radiation, PAR)。

透光率和消光系数计算公式如下[18] [21] [22]:

$$T = I_1 / I \quad (6)$$

$$K_L = \frac{2.303}{F} (lg^I - lg^{I_1}) \quad (7)$$

式中,  $T$  为透光率(transmittance, %);  $I_1$  为植株底部的 PAR ( $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ );  $I$  为植株顶部 30 cm 处的 PAR ( $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ );  $K_L$  为消光系数(light extinction coefficient);  $F$  为叶面积指数(或角果皮面积指数)

6) 光合参数测定于薹期(3月6日)、花期(3月19日)和籽粒灌浆期(4月21日), 各小区中随机选取5株油菜, 在各时期分别随机选取每株油菜中的1片短柄叶、1片无柄叶和任意5个绿色角果进行测定。测定仪器为 LI-6400xt (LI-COR, USA)便捷式光合作用测定仪测定, 测叶片与角果分别使用 6400-02B LED 红蓝光源叶室和订制后的 6400-07 狭长叶室(叶室上下两面透明, 含 1 cm 厚的垫圈以及特制的凹槽)。选择在晴朗无风天气的 9:00~11:00 的时间段内测量, 叶室光强设置为  $1200 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ , 温度控制为  $25^\circ C$ ,  $CO_2$  浓度为  $400 \mu mol \cdot mol^{-1}$ , 空气流量为  $500 \mu mol \cdot s^{-1}$ 。仪器自动给出净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间  $CO_2$  浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr)等光合参数的测定值。

7) 群体光合速率于薹期、花期、籽粒灌浆期, 在各小区随机选取3处样点, 采用红外线  $CO_2$  分析仪测定群体光合速率。同化箱为有机玻璃密封的框架(透光率为 90%以上), 体积为  $110 cm \times 100 cm \times 210 cm$ , 箱内底部安装一个小电风扇用于搅匀气体, 当同化箱内  $CO_2$  浓度稳定下降时开始计时, 测定时间为 1 min。

群体光合速率计算公式如下[23]:

$$CAP = \frac{\Delta C \times V \times 10^{-6}}{S} \times \frac{60}{\Delta m} \times \frac{44}{22.4} \times 6.313 \times \frac{273}{273 + T} \quad (8)$$

式中,  $CAP$  为群体光合速率(canopy apparent photosynthetic rate,  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ );  $\Delta C$  为间隔时间内前后两次测定的  $\text{CO}_2$  浓度差值( $\mu\text{L/L}$ );  $V$  为同化箱的体积;  $S$  为测定群体所占土地面积;  $\Delta m$  为测定时间 1 min;  $T$  为同化箱内温度。

8) 农艺性状及产量各小区随机选取 5 株油菜, 测定根颈粗、株高、一次有效分枝数、有效分枝高度、结角高度、结角层厚度、单株有效角果数、每角粒数及千粒重等重要农艺性状。各小区单独收获, 测定实际产量。

## 2.4. 数据处理

试验数据使用 Microsoft Excel 2019 进行处理, 采用 IBM SPSS Statistics 26 进行方差分析(ANOVA), 用 LSD 和 Duncan 方法进行多重比较, 并使用皮尔逊双尾检验进行相关性分析。采用 Origin 2021 软件进行绘图。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 摘薹对油菜生育进程的影响

如表 1 所示, T1 处理下的油菜花期、角果期和收获期相较于 CK 分别推迟了 5 d、8 d 和 3 d, T2 处理下则是分别推迟了 16 d、14 d 和 8 d。全生育期随摘薹次数的增加而显著延长, T1 和 T2 分别比 CK 延长了 2.34 d 和 7.34 d。

**Table 2.** Changes in growth period of oilseed rape under different times of bolt picking  
**表 2.** 不同摘薹次数下的油菜生育期变化

处理 Treatment	播种期 Sowing time (Y/M/D)	出苗期 Emergence stage (Y/M/D)	抽薹期 Boltinstage (Y/M/D)	初花期 Flowering stage (Y/M/D)	角果期 Pod stage (Y/M/D)	收获期 Harvesting stage (Y/M/D)	全生育期 Growth period (d)
CK	2023/10/1	2022/10/6	2023/2/13	2023/2/27	2023/3/28	2023/4/27	209.33 c
T1	2022/10/1	2022/10/6	2023/2/13	2023/3/4	2023/4/5	2023/4/30	211.67 b
T2	2022/10/1	2022/10/6	2023/2/13	2023/3/15	2023/4/11	2023/5/5	216.67 a

注: Y/M/D 为年/月/日; 不同字母表示差异达 0.05 显著水平。

### 3.2. 摘薹对油菜光合结构的影响

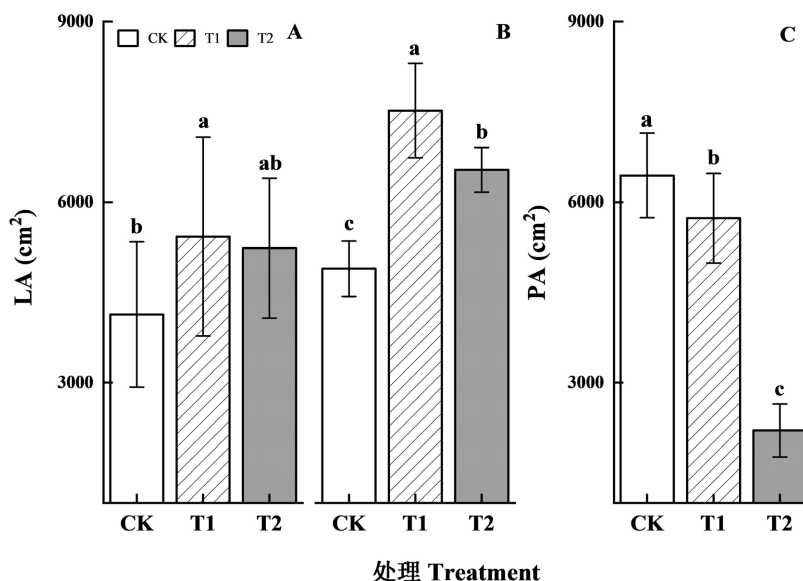
如图 1 所示, T1 处理下的单株叶面积最大, 在薹期和花期分别为  $5428.78 \text{ cm}^2$  和  $7522.71 \text{ cm}^2$ , 而 CK 的单株叶面积最小。摘薹使油菜在薹期和花期的单株叶面积显著增大, 且摘薹 1 次后的单株叶面积增加量显著大于摘薹 2 次后的单株叶面积增加量。然而, 在角果期时, 油菜的角果皮面积则随摘薹次数的增加而呈现显著减少的趋势, 其中, T2 处理下的角果皮面积仅有  $2205.3 \text{ cm}^2$ , 比 CK 减少了 65.8%。

由图 2 可知, 在薹期和花期, 摘薹同样也能使油菜的叶面积指数增大。其中, T1、T2 在薹期和花期时的 LAI 值分别为 6.03、8.36 和 5.82、7.26, 相较于 CK 分别增大了 31.3%、53.8% 和 26.7%、33.6%。然而, 在角果期, PAI 则随摘薹次数的增加而显著降低, 但与角果皮面积结果不同的是, T1 和 CK 之间的 PAI 并没有显著性差异。结合图 1 可知, T1 和 T2 的光合面积以及光合面积指数在薹期、花期和角果期这三个时期呈现先增后减的趋势, 而 CK 则是随生育期的推进呈现不断上升的趋势。

由图 3 可知, 在薹期, 叶片 SPAD 值随摘薹次数的增加而增大, 波动也随之增大, CK、T1 和 T2 三

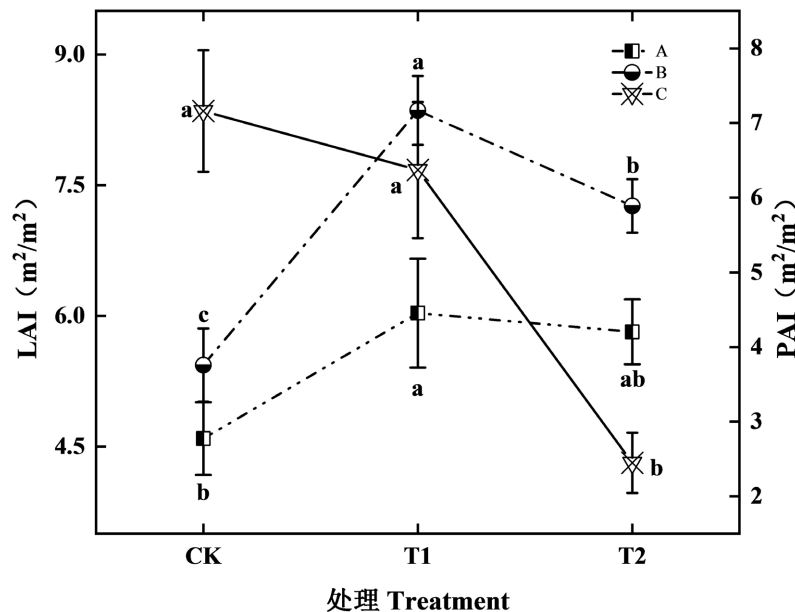
个处理下的叶片 SPAD 值均在 50 以上。花期时, T1 与 CK 的叶片 SPAD 值相近, 均高于 T2, 三个处理间 SPAD 值的波动无明显差异。而在角果期时, 角果皮的 SPAD 值随摘薹次数的增加而降低, T2 处理下的 SPAD 值显著低于 CK 与 T1, 大部分在 8~12 之间。

从整体来看, 摘薹处理对油菜的光合结构会产生一定程度的影响, 与一次摘薹相比较, 二次摘薹对油菜光合结构的影响更为显著, 主要体现在角果期, 油菜的光合面积以及角果皮 SPAD 值都有显著的减少。



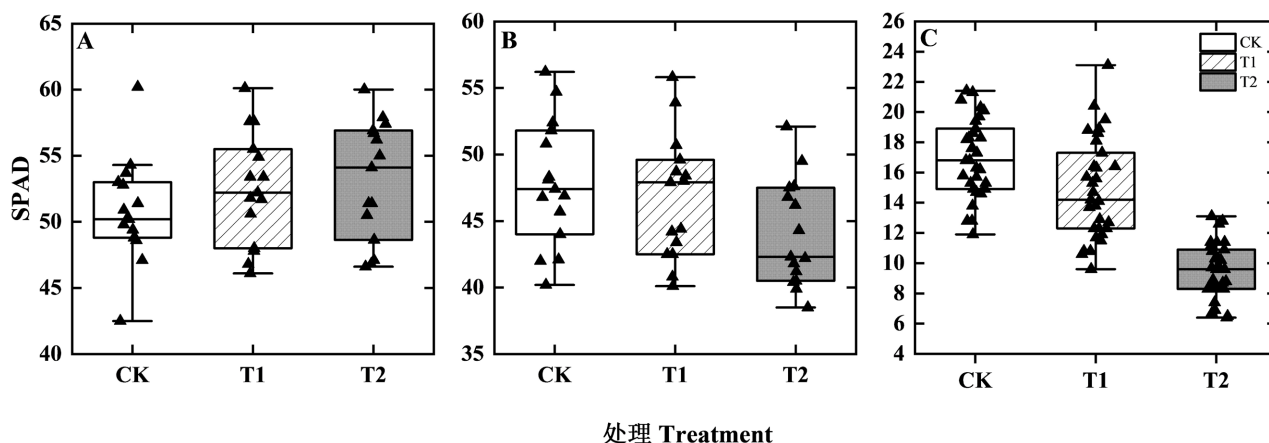
注: A: 薹期; B: 花期; C: 角果期; 不同字母表示差异达 0.05 显著水平。

Figure 1. Leaf area and pod area of per oilseed rape under different times of bolt picking  
图 1. 不同摘薹次数下的油菜单株叶面积和角果皮面积



注: A: 薹期; B: 花期; C: 角果期; 不同字母表示差异达 0.05 显著水平。

Figure 2. Leaf area index and pod area index of oilseed rape under different times of bolt picking  
图 2. 不同摘薹次数下的油菜叶面积指数和角果皮面积指数

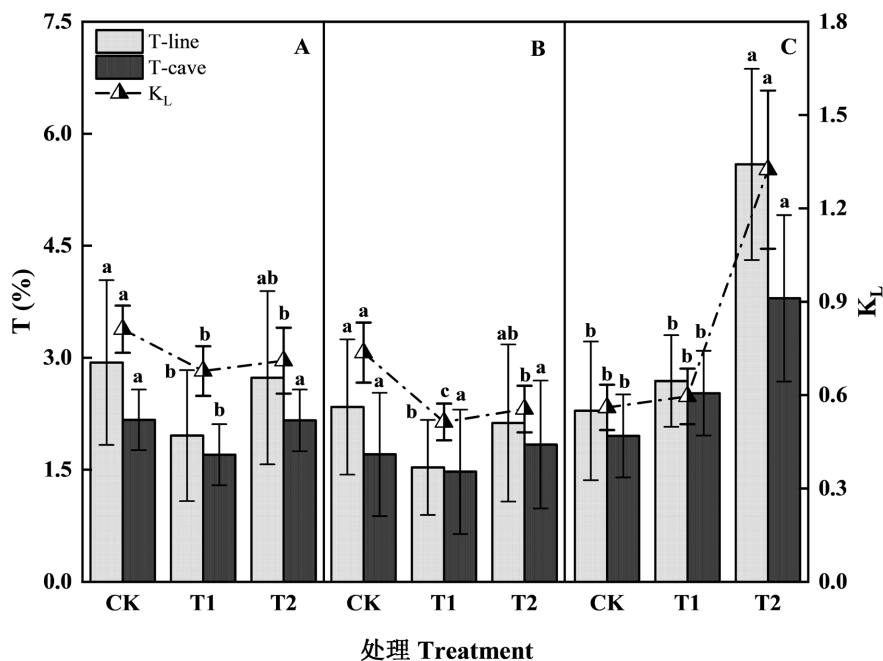


注：A：薹期；B：花期；C：角果期。

**Figure 3.** SPAD of leaves and pods of oilseed rape under different times of bolt picking  
**图 3.** 不同摘薹次数下的油菜叶片和角果皮的 SPAD 值

### 3.3. 摘薹对油菜光合特性的影响

由图 4 可知，在薹期和花期，油菜群体的行、穴间透光率以及冠层消光系数均随摘薹次数的增加而呈先减后增的趋势，虽然 T1 处理下的行、穴间透光率在这两个时期最弱，分别仅有 1.96%、1.70% 和 1.53%、1.47%，但光在冠层中的分布却是三个处理中最为均匀的。在角果期，油菜群体的行、穴间透光率和结角层的消光系数随摘薹次数的增加而显著增大。其中，CK 和 T1 无显著差异，T2 处理下的油菜群体透光率最强，但消光系数却高达 1.32，光在结角层分布的均匀程度受到极大的影响。



注：A：薹期；B：花期；C：角果期；不同字母表示差异达 0.05 显著水平。

**Figure 4.** The canopy transmittance and light extinction coefficient under different times of bolt picking  
**图 4.** 不同摘薹次数下的群体冠层透光率和消光系数

**Table 3.** The photosynthetic parameters of oilseed rape under different times of bolt picking  
**表 3.** 不同摘薹次数下的油菜光合参数

时期 Stage	处理 Treatment	Pn ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Cond ( $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Ci ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	Tr ( $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	CAP ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )
薹期 Bolting stage	CK	16.69 aA	0.71 aB	208.27 bB	7.89 aB	34.5 bAB
	T1	15.54 bAB	0.58 bB	217.04 aA	8.05 aB	41.46 aA
	T2	12.12 cB	0.53 bB	206.65 bB	7.8 aB	37.47 abA
	<b>Mean</b>	<b>14.78</b>	<b>0.61</b>	<b>210.65</b>	<b>7.91</b>	<b>37.81</b>
花期 Flowering stage	CK	17.2 aA	0.86 bA	210.25 bB	8.32 bAB	37.61 bA
	T1	16.67 aA	0.77 bA	207.93 bB	8.7 bA	42.28 aA
	T2	16.64 aA	1.08 aA	221.73 aA	10.18 aA	38.34 abA
	<b>Mean</b>	<b>16.83</b>	<b>0.9</b>	<b>213.3</b>	<b>9.07</b>	<b>39.41</b>
角果期 Pod stage	CK	14.83 aB	0.52 aC	216.66 aA	8.84 aA	31.64 aB
	T1	14.97 aB	0.54 aB	215.99 aA	9.17 aA	28.77 aB
	T2	11.47 bB	0.51 aB	208.76 bB	8.7 aB	21.4 bB
	<b>Mean</b>	<b>13.76</b>	<b>0.52</b>	<b>213.8</b>	<b>8.9</b>	<b>27.27</b>

注：不同小写字母表示同一时期不同处理间的差异达 0.05 显著水平；不同大写字母表示同一处理不同时期间的差异达 0.05 显著水平。

**Table 4.** Correlation analysis between photosynthetic indicators and canopy structure indicators under the treatments of bolt picking  
**表 4.** 摘薹处理下光合指标与冠层结构指标间的相关性分析

指标 Index	摘薹次数 BPT	净光合速 率 Pn	气孔导度 Cond	细胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Ci	蒸腾速率 Tr	群体光合 速率 CAP	SPAD	透光率 T	消光系数 K <sub>L</sub>	光合面积 Pa	光合面积 指数 PaI
摘薹次数 BPT	1										
净光合速率 Pn	-0.431**	1									
气孔导度 Cond	0.020	0.578**	1								
细胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Ci	0.028	0.155	0.288**	1							
蒸腾速率 Tr	0.181*	0.180**	0.475**	0.410**	1						
群体光合速率 CAP	-0.132	0.433**	0.389**	0.041	-0.071	1					
SPAD	-0.092	0.323**	0.353**	-0.077	-0.210*	0.804**	1				
透光率 T	0.260**	-0.382**	-0.251**	-0.162	-0.019	-0.613**	-0.440**	1			
消光系数 K <sub>L</sub>	0.253**	-0.404**	-0.248**	-0.189**	-0.134	-0.559**	-0.358**	0.556**	1		
光合面积 Pa	-0.151	0.348**	0.242**	0.183*	0.162	0.527**	0.226**	-0.617**	-0.799**	1	
光合面积指数 PaI	-0.170*	0.391**	0.288**	0.203*	0.218*	0.591**	0.251**	-0.656**	-0.905**	0.892**	1

注：\*表示 0.05 水平下差异显著；\*\*表示 0.01 水平下差异显著。

在光合能力方面(表 3)，在薹期，虽然油菜的单叶净光合速率随摘薹次数的增加而显著降低，但群体光合速率却呈现先增后减的趋势，其中，T1 处理下的群体光合速率最高，为  $41.46 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，与 CK 存在显著性差异。花期时，三个处理下的油菜光合能力均在这一时期达到最强，净光合速率之间



无明显差异。与薹期相同的是，T1 处理下的群体光合速率在花期依旧最高，T2 其次，最后则是 CK。角果期时，CK 与 T1 两个处理间，角果皮的净光合速率无显著差异，而 T2 处理下的角果皮净光合速率最低，仅有  $11.47 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。角果期的油菜群体光合速率随摘薹次数的增加而降低，其中 CK 与 T1 之间无显著差异，T2 处理下的群体光合速率最低，比 CK 和 T1 分别降低了 32.4% 和 25.6%。

根据表 4 可知，摘薹次数与光合器官的净光合速率之间呈显著负相关，并且与光合面积指数也具有显著的负相关关系，但和群体光合速率之间无显著相关性。另外，摘薹次数与油菜群体的透光率和消光系数具有显著的正相关性。在摘薹处理下，光合器官的净光合速率与气孔导度、蒸腾速率、群体光合速率、SPAD 值、光合面积以及光合面积指数等 6 个指标之间具有显著的正相关性，同时与透光率和消光系数呈显著负相关。摘薹处理下的群体光合速率与 SPAD 值、光合面积及光合面积指数等三个指标均具有显著的正相关性，与透光率和消光系数则均呈显著的负相关性。此外，SPAD 值、透光率、消光系数、光合面积和光合面积指数等 5 个指标两两之间均存在显著的相关性，其中消光系数与与光合面积指数之间的相关系数高达 0.905，在 0.01 水平下显著负相关。

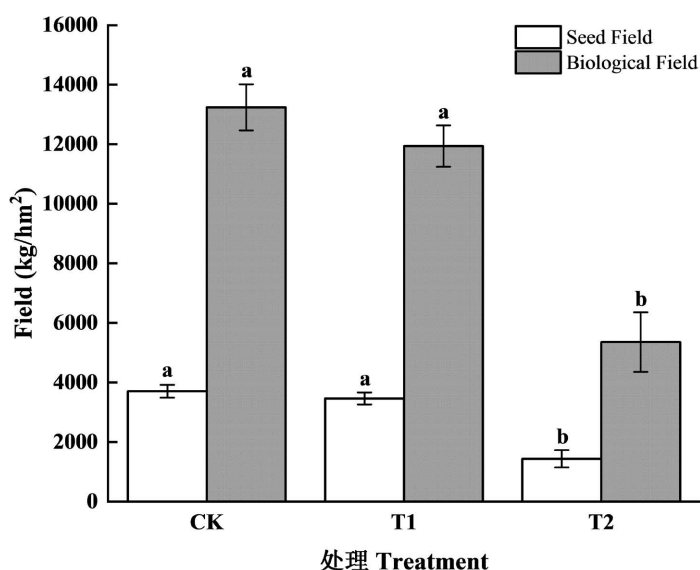
### 3.4. 摘薹对油菜农艺性状及产量的影响

**Table 5.** Agronomic characters of oilseed rape under different times of bolt picking

**表 5.** 不同摘薹次数下的油菜农艺性状

处理 Treatment	根颈粗 RCD (cm)	一次有效分 枝数 FEB	株高 H (cm)	有效分枝高度 EBH (cm)	结角高度 PH (cm)	结角层厚度 TPC (cm)	单株有效角 果数 EP	每角粒数 SP	千粒重 TSW (g)
CK	3.53 a	12.6 a	181.63 a	31.91 a	104.43 a	76.71 a	459.4 a	21 a	4.07 a
T1	3.47 a	9.6 b	180.28 a	10.53 b	108.55 a	74.37 a	448.07 a	20.13 a	4.06 a
T2	3.12 b	6.4 c	157.44 b	9.21 b	111.33 a	45.21 b	223.67 b	16.9 b	4.01 a

注：不同字母表示差异达 0.05 显著水平。



注：不同字母表示差异达 0.05 显著水平。

**Figure 5.** Seed field and biological field of oilseed rape under different times of bolt picking

**图 5.** 不同摘薹次数下的油菜籽粒产量和生物产量

由表 5 可知, 油菜的根颈粗、一次有效分枝数、株高、有效分枝高度、结角层厚度、单株有效角果数、每角粒数以及千粒重等重要农艺性状指标均随摘薹次数的增加而减少。其中, 在一次有效分枝数、单株有效角果数及每角粒数等 3 个产量构成因素方面, T1 和 T2 相比于 CK 分别减少了 23.8%、2.4%、4.1% 和 49.2%、51.3%、19.5%。因此, 相对于 T1 而言, T2 在产量构成因素方面受影响更为显著。在产量方面(图 5), 油菜的籽粒产量和生物产量均随摘薹次数的增加而减少。其中, CK 的产量最高, 分别为 3707.28 kg/hm<sup>2</sup>、13240.29 kg/hm<sup>2</sup>, T1 与 CK 之间无显著差异。而 T2 处理下的籽粒产量和生物产量与 CK 相比则分别减产了 61.2% 和 59.5%。

根据表 6 可知, 除了群体光合速率、结角高度和千粒重这三个指标外, 摘薹次数与其它 10 个指标均存在显著相关性, 且均为负相关。在摘薹处理下, 油菜光合器官的净光合速率与株高、根颈粗、有效分枝高度、结角层厚度、一次有效分枝数、单株有效角果数每角粒数及产量等指标存在显著的正相关性。在所有指标中, 千粒重仅与群体光合速率存在显著的相关性。除结角高度和千粒重这两个指标外, 其它的农艺性状指标及产量构成因素与籽粒产量和生物产量均存在显著的正相关性。

**Table 6.** Correlation analysis between photosynthetic indicators, agronomic traits and yield under the treatment of bolt picking  
**表 6.** 摘薹处理下光合指标、农艺性状指标及产量间的相关性分析

指标 Index	摘薹次数 BPT	净光合速 率 Pn	群体光合 速率 CAP	株高 H	根颈粗 RCD	有效分枝 高度 EBH	结角高度 PH	结角层厚 度 TPC	一次有效 分枝数 FEB	单株有效 角果数 EP	每角粒数 SP	千粒重 TSW	籽粒产 量 GF	生物产 量 BF
摘薹次数 BPT	1													
净光合速率 Pn	-0.431**	1												
群体光合速率 CAP	-0.132	0.433**	1											
株高 H	-0.800**	0.745**	0.599**	1										
根颈粗 RCD	-0.539**	0.586**	0.448**	0.487**	1									
有效分枝高度 EBH	-0.773**	0.482**	-0.083	0.468**	0.309*	1								
结角高度 PH	0.200	-0.246	0.021	0.007	-0.327*	-0.160	1							
结角层厚度 TPC	-0.869**	0.849**	0.548**	0.841**	0.548**	0.516**	-0.195	1						
一次有效分枝数 FEB	-0.805**	0.634**	0.186	0.609**	0.475**	0.590**	-0.211	0.711**	1					
单株有效角果数 EP	-0.856**	0.835**	0.608**	0.851**	0.520**	0.495**	-0.081	0.947**	0.697**	1				
每角粒数 SP	-0.668**	0.676**	0.617**	0.631**	0.513**	0.389**	-0.055	0.663**	0.441**	0.731**	1			
千粒重 TSW	-0.137	0.146	0.308*	0.175	0.069	0.154	0.038	0.131	-0.119	0.180	0.213	1		
籽粒产量 GF	-0.894**	0.863**	0.668**	0.883**	0.612**	0.520**	-0.124	0.939**	0.701**	0.960**	0.753**	0.223	1	
生物产量 BF	-0.915**	0.861**	0.599**	0.873**	0.613**	0.564**	-0.141	0.942**	0.723**	0.959**	0.735**	0.196	0.994**	1

注: 不同小写字母表示同一时期不同处理间的差异达 0.05 显著水平; 不同大写字母表示同一处理不同时期间的差异达 0.05 显著水平。

#### 4. 讨论

研究结果表明, 摘薹对油菜的生育进程有显著影响, 油菜的生育期随摘薹次数的增加而延长, 该结果与孙晓敏等的研究结果相同[11]。叶片和角果分别是油菜一生中不同阶段的两种光合器官, 叶片和角果皮的颜色可用于判断油菜的生长健康状况[24], 而 SPAD 值的大小则是描述其绿色程度高低的重要方法[25] [26] [27]。从研究结果来看, 一次摘薹对油菜叶片和角果的正常生长无显著影响, 而二次摘薹后, 油菜角果皮的绿色程度则大大降低, 可能因为是二次摘薹对角果皮中的叶绿素合成产生了一定的影响。

在油菜生长发育过程中, 光合面积和光合面积指数的变化不仅能够作为评判油菜长势的重要依据, 同时也是决定油菜受光条件优劣的重要因素[24] [28] [29]。研究表明, 摘薹对油菜的光合面积以及光合面积指数具有显著的影响。在薹期和花期时, 一次摘薹后的油菜生长最为旺盛, 但在角果期时, 油菜的长势却随摘薹次数的增加而减弱, 原因可能是与干物质在油菜生殖生长后期的分配有关。

光合面积指数是衡量植株冠层光截获特性的重要指标, 透光率则是用于评价作物受光条件是否优良的重要依据[20] [22]。有研究表明, 油菜冠层的透光率随光合面积指数的增大而降低[20] [30], 而适宜的群体冠层透光率和光合面积指数, 则有利于改善群体的通风透光条件, 使光在群体冠层中的分布更为均匀[29] [31] [32]。本研究中, 在薹期和花期, 虽然一次摘薹后的油菜群体冠层透光率最低, 但光分布最为均匀, 光合面积、光合面积指数及群体光合速率最高。并且在角果期时, 一次摘薹的油菜与不摘薹的油菜相比, 无论是冠层结构还是光合能力均未受到显著影响。该研究结果表明, 一次摘薹对油菜群体冠层结构具有显著的优化作用, 而二次摘薹对油菜的影响则与之相反。

农艺性状的优良与油菜生产息息相关, 同时也是判断油菜生长发育状况的重要依据[33], 而有效分枝数、单株有效角果数、每角粒数和千粒重则是油菜产量的重要构成因素, 与产量呈显著的正相关性[34] [35]。有研究表明, 摘薹对油菜的农艺性状会产生显著的影响, 油菜的部分农艺性状指标及产量均随摘薹次数的增加而减少[10] [11], 这与本研究结果相符。相对于二次摘薹而言, 一次摘薹对油菜农艺性状和产量的影响并不显著。

## 5. 结论

摘薹处理对油菜的生长发育、冠层结构和光合特性具有显著影响。与不摘薹和二次摘薹相比较, 一次摘薹能够显著增强油菜的长势, 增大光合面积指数, 改善油菜的群体冠层结构, 使光在冠层中的分布更均匀, 从而保证了油菜叶片和角果的光合能力, 同时也为油菜籽粒产量的稳定收获提供了保障。

## 基金项目

国家自然科学基金委联合重点项目(U20A2028)。

## 参考文献

- [1] 柴雨昕, 贾春英, 张凡凡, 等. 饲用油菜研究现状及发展前景[J]. 畜牧兽医科技信息, 2022(10): 236-238.
- [2] 王红林, 左艳春, 严旭, 等. 6个双低油菜品系饲用性能比较及农艺性状、营养成分动态变化[J]. 中国农学通报, 2022, 38(25): 134-142.
- [3] 江西农业大学培育出27种彩色油菜花[J]. 中国蔬菜, 2019(4): 65.
- [4] 李群, 谷建华, 张洪亮. 3个彩色花观赏油菜新品种不同海拔种植试验初步研究[J]. 中国农业文摘-农业工程, 2023, 35(2): 42-45.
- [5] 李英, 薛艳, 谌国鹏, 等. 多功能(观赏、油用两用型)油菜新品种汉白玉的选育与应用[J]. 中国种业, 2022(7): 112-114.
- [6] 何晓莹, 吴郁青, 俎峰, 等. 油菜多功能开发利用助力乡村振兴的探索与实践[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(S2): 442-446.
- [7] 刘葵. 油菜磷脂制备药用卵磷脂的工艺研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江工业大学, 2011.
- [8] 郑本川, 李浩杰, 张锦芳, 等. 采摘次数对油蔬两用甘蓝型油菜菜薹和菜籽品质及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2022, 38(22): 1-7.
- [9] 李延莉, 江建霞, 蒋美艳, 等. 菜用油菜——沪白1号[J]. 长江蔬菜, 2023(4): 22-23.
- [10] Huang, H.L., Shi, Y.M., Zhou, Y., et al. (2013) Research on Planting Technology of Oil and Vegetable Dual-Purpose Rapeseed. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 38, 84-86+96.
- [11] 孙晓敏, 陈乔, 谌国鹏, 等. 采薹次数对菜油两用型油菜品种汉油6号产量和经济效益的影响[J]. 长江蔬菜,

- 2021(6): 30-32.
- [12] 刘念, 汤天泽, 范其新, 等. 不同播种、摘薹方式对菜油两用型油菜“国豪油 5 号”产量和经济效益的影响[J]. 天津农业科学, 2019, 25(7): 79-82.
- [13] Zhang, C.-F., He, S.-P. and Li, Z.-Z. (2015) High Efficient Production Application and Quality Analysis of Oilseed-Vegetable-Dual-Purpose Rape. *Shanghai Agricultural Journal*, **31**, 122-124.
- [14] 赵卫喆, 杜春芳, 孙璇, 等. 摘薹对“油蔬两用”油菜经济性状与产量的影响[J]. 作物杂志, 2023(5): 224-230.
- [15] 石子建, 李韵, 汪寿根, 等. 摘薹对不同品种油菜产量和经济效益的影响[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(11): 2707-2710+2715.
- [16] Johnson, D.M., *et al.* (2005) Leaf Architecture and Direction of Incident Light Influence Mesophyll Fluorescence Profiles. *American Journal of Botany*, **92**, 1425-1431. <https://doi.org/10.3732/ajb.92.9.1425>
- [17] Smith, W.K., *et al.* (1997) Leaf Form and Photosynthesis. *BioScience*, **47**, 785-793. <https://doi.org/10.2307/1313100>
- [18] Vose, J.M., Clinton, B.D., Sullivan, N.H., *et al.* (1995) Vertical Leaf Area Distribution, Light Transmittance, and Application of the Beer-Lambert Law in Four Mature Hardwood Stands in the Southern Appalachians. *Canadian Journal of Forest Research*, **25**, 1036-1043. <https://doi.org/10.1139/x95-113>
- [19] Liu, T., Pan, Y., Lu, Z., *et al.* (2020) Canopy Light and Nitrogen Distribution Are Closely Related to Nitrogen Allocation within Leaves in *Brassica napus* L. *Field Crops Research*, **258**, Article ID: 107958. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107958>
- [20] 李虹桥, 赖莹, 母娜, 等. 密度对不同株高油菜冠层结构与群体光合能力的影响[J]. 浙江农业学报, 2022, 34(3): 419-427.
- [21] Flénet, F., Kiniry, J.R., Board, J.E., *et al.* (1996) Row Spacing Effects on Light Extinction Coefficients of Corn, Sorghum, Soybean, and Sunflower. *Agronomy Journal*, **88**, 185-190. <https://doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800020011x>
- [22] Brown, M.J. and Parker, G.G. (1994) Canopy Light Transmittance in a Chronosequence of Mixed-Species Deciduous Forests. *Canadian Journal of Forest Research*, **24**, 1694-1703. <https://doi.org/10.1139/x94-219>
- [23] 吴香奇, 刘博, 张威, 等. 小麦豌豆间作对群体光合特性和生产力的影响[J]. 作物学报, 2023, 49(4): 1079-1089.
- [24] 刘后利. 实用油菜栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987.
- [25] 张智勇, 马旭颖, 龙耀威, 等. 作物叶片叶绿素动态监测系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2019, 50(S1): 115-121+166.
- [26] Shibaeva, T.G., Mamaev, A.V. and Sherudilo, E.G. (2020) Evaluation of a SPAD-502 Plus Chlorophyll Meter to Estimate Chlorophyll Content in Leaves with Interveinal Chlorosis. *Russian Journal of Plant Physiology*, **67**, 690-696. <https://doi.org/10.1134/S1021443720040160>
- [27] Ates, F., *et al.* (2021) The Relationship between Iron and Nitrogen Concentrations Based on Kjeldahl Method and SPAD-502 Readings in Grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. “Sultana Seedless”). *Erwerbs-Obstbau*, **63**, 53-59. <https://doi.org/10.1007/s10341-021-00580-8>
- [28] 张耀文, 赵小光, 关周博, 等. 油菜角果光合特性研究现状及改良思路[J]. 中国油料作物学报, 2017, 39(5): 704-713.
- [29] 王锐. 油菜群体冠层结构特性及光能利用率的研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- [30] Leach, J.E., Stevenson, H.J., Rainbow, A.J. and Mullen, L.A. (1999) Effects of High Plant Populations on the Growth and Yield of Winter Oilseed Rape (*Brassica napus*). *The Journal of Agricultural Science*, **132**, 173-180. <https://doi.org/10.1017/S0021859698006091>
- [31] Westgate, M.E., Forcella, F., Reicosky, D.C., *et al.* (1997) Rapid Canopy Closure for Maize Production in the Northern US Corn Belt: Radiation-Use Efficiency and Grain Yield. *Field Crops Research*, **49**, 249-258. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(96\)01055-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(96)01055-6)
- [32] Gu, J., Ying, C., Hao, Z., *et al.* (2017) Canopy Light and Nitrogen Distributions Are Related to Grain Yield and Nitrogen Use Efficiency in Rice. *Field Crops Research*, **206**, 74-85. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.02.021>
- [33] 周华飞, 杨通文, 蒙正会, 等. 不同油菜品种的产量及其与农艺性状的相关性[J]. 农技服务, 2023, 40(2): 13-15.
- [34] Nicole, B., Doreen, G. and Catrin, W. (2021) Contrasting Effects of Past and Present Mass-Flowering Crop Cultivation on Bee Pollinators Shaping Yield Components in Oilseed Rape. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **319**, Article ID: 107537. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107537>
- [35] 吴桂仙, 杨腊梅, 曾林, 等. 不同品种和密度对山地油菜产量及其构成因素的影响[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(10): 56-59.