

冬油菜叶片的物质及养分积累与转移特性研究

刘晓伟, 鲁剑巍, 李小坤*, 卜容燕, 刘波

(华中农业大学资源与环境学院, 湖北武汉 430070)

摘要: 为优化当季和下季作物的养分管理, 采用田间试验研究了冬油菜品种华双5号与中油杂12号叶片的干物质及氮、磷、钾的积累及转移规律, 并比较了品种间的异同。结果表明, 两个油菜品种的绿叶干物质质量在苗后期基本达最大值, 花后期迅速降低; 苗期的落叶干物质质量较小, 蕾薹期后直线增加; 叶片总干物质先增后减, 花期达最大值。中油杂12号的落叶及叶片总干物质均高于华双5号, 差异随生育期的推进逐渐明显。绿叶氮含量出苗后逐渐降低, 后因越冬肥的施用又略有升高, 蕾薹期后便迅速下降; 落叶氮含量持续降低, 苗后期降至最低点, 其后一直保持稳定。绿叶磷含量在苗期缓慢增加, 蕾薹期达到最大值, 而后迅速下降; 苗期落叶的磷含量逐渐降低, 蕾薹期降至最低值, 角果期后又略有升高。出苗50 d后绿叶钾含量快速下降, 70 d达到最低值, 其后保持稳定; 落叶钾含量在蕾薹期达到最低值, 其后波动较大。两品种叶片养分含量的变化趋势相似, 但无论绿叶还是落叶, 华双5号的养分含量总体略低于中油杂12号。绿叶的养分与叶片总养分积累的变化规律一致, 即氮、磷、钾积累量均先增加后降低, 分别在蕾薹期、苗后期和花期达到最高值。落叶的养分积累量在抽薹后迅速增加, 收获期达最大值。华双5号叶片的干物质、N、P₂O₅、K₂O转移率分别为25.5%、82.9%、75.4%、45.8%; 中油杂12号则分别为8.4%、76.0%、60.2%、38.8%, 品种间差异显著。

关键词: 油菜; 落叶; 养分积累量; 养分管理

中图分类号: S565.4

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2011)04-0956-08

Study on characteristics of dry matter and nutrient accumulation and transportation in leaves of winter oilseed rape

LIU Xiao-wei, LU Jian-wei, LI Xiao-kun*, BU Rong-yan, LIU Bo

(Resources and Environment College, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Leaf is the main photosynthetic organ for plants, but for rapeseed, it gradually drops out after the bud period. To increase nutrient use efficiency, it is important to evaluate the nutrient accumulation and distribution in green leaves and defoliation. Two cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L., HS No. 5 and ZYZ No. 12) were selected to study the accumulation and transportation of dry matter and nutrients in leaves of rapeseed. The results show that the accumulation amounts of dry matter in green leaves of the two cultivars reach their maximum values at the late seedling period and are decreased quickly after the blooming period, while the dry matter accumulation of defoliation are increased quickly after the bud period. The dry matter accumulation amounts of total leaves are increased at first and then decreased, and reach their maxima at the blooming period. The dry matter accumulation of total leaves and defoliation of ZYZ No. 12 are more than those of HS No. 5, and the differences are significant along with the growth of rapeseed. The N content of green leaves is decreased at the seedling period and then increased because of the application of wintering fertilizer, and decreased again after the bud period. The N content of defoliation is decreased gradually at the seedling period and keeps steady after the bud period. The P content of green leaves is increased slowly at the seedling period and decreased quickly after the bud period. The P content of

收稿日期: 2010-11-14

接受日期: 2011-04-09

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2008BADA4B08, 2010BAD01B05); 教育部新世纪人才项目(NCET-07-0345); 油菜产业技术体系建设项目(nycyt-x-005)资助。

作者简介: 刘晓伟(1986—), 男, 内蒙古赤峰人, 硕士研究生, 主要从事作物营养与现代施肥技术。

Tel: 027-61379276, E-mail: liu-xiaowei@webmail.hzau.edu.cn. * 通讯作者 Tel: 027-61379276, E-mail: lixiaokun@mail.hzau.edu.cn

defoliation is decreased at the seedling period and reaches the minimum at the bud period, but at the mature period it is increased a little. The K content of green leaves decreased quickly at 50 d after seeding, reaches the minimum at 70 d, and then keeps steady. The K content of defoliation reaches the minimum at the bud period and then fluctuates greatly. The changes of nutrient concentrations are similar for the two varieties, and the contents of nutrients of HS No. 5 are slightly lower than those of ZYZ No. 12 both in green leaves and defoliation. The accumulation amounts of N, P_2O_5 and K_2O reach their maxima at the bud period, seedling period and blooming period respectively in both green leaves and total leaves and then were decreased after those period. Nutrient accumulations of defoliation are increased after the bud period and reach their maxima at harvest. The transportation ratios of dry matter, N, P_2O_5 and K_2O in rapeseed leaves are 25.5%, 82.9%, 75.4% and 45.8% in HS No. 5 and 8.4%, 76.0%, 60.2% and 38.8% in ZYZ No. 12 respectively.

Key words: oilseed rape; defoliation; nutrient accumulation; nutrient management

甘蓝型冬油菜生长适应性强,子粒含油量高,榨油后的饼粕又可用做饲料,在我国国民经济生产中占有重要的地位^[1]。近年来,种植面积以及单产逐年增加,2009年种植总面积已超过680万公顷^[2-4]。甘蓝型冬油菜叶片的生长时间占整个生育期的三分之二,开花之前,叶片是光合作用的主要场所;开花后,光合器官由叶片转向角果皮,叶片则黄化脱落,绿叶中的大部分养分将会转移到角果中以满足子粒形成的需求^[5-6]。了解绿叶的生长特性,有利于深入研究植株体干物质积累以及养分吸收的规律。油菜落叶的干物质积累量最高可达3000 kg/hm²^[7]。我国长江中下游地区以油菜—水稻轮作的种植方式为主^[8-9],庞大的油菜落叶包含多少养分,以及落叶中的养分对水稻的养分吸收有多大贡献等等,都需要对油菜叶片的脱落规律进行深入研究。油菜的绿色叶片在衰老过程中氮、磷、钾的含量以及积累量均迅速降低,酶活性、MDA含量等相关的生理指标也发生变化^[10-11],但是不同生育阶段的落叶的养分含量、养分积累量如何变化未见报道。高产直播的栽培模式相对翻耕移栽而言具有省时、省工等优点,是我国油菜栽培发展的主导方向^[12-13]。基于以上考虑,本研究在高产直播的栽培模式下,研究了甘蓝型冬油菜绿叶、落叶的干物质质量、养分积累量的变化规律,为进一步研究油菜养分高效吸收利用的机理、完善油菜的养分吸收利用规律、优化水稻季的肥料用量等提供一定的理论指导。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

试验于武汉市华中农业大学资源与环境学院试验基地(东经114°28'35.4",北纬30°28'40.7")进行。该地属亚热带季风气候,雨热同期,冬冷夏热,

无霜期长。全年平均气温15~17℃,年平均降雨量1140~1265 mm,多集中在6~8月,年平均蒸发量1400~1570 mm。试验田土壤类型为黄棕壤,基本理化性状为:pH 8.2,有机质含量20.0 g/kg,全氮1.1 g/kg,速效磷20.6 mg/kg,速效钾195.5 mg/kg。供试油菜品种为华双5号、中油杂12号,种子由国家油料作物改良研究中心提供。

2009年9月25日播种,2010年5月13日收获。直播,密度 10×10^4 株/hm²。N、 P_2O_5 、 K_2O 施用量分别为180、90、120 kg/hm²,肥料品种为尿素(含N 46%)、过磷酸钙(含 P_2O_5 12%)、氯化钾(含 K_2O 60%)。另外补充硼砂15 kg/hm²(含B 11%)。氮肥50%基施、20%越冬肥、15%薹肥、15%花肥;磷、钾、硼肥全部基施。

1.2 采样与测定

土壤取样:在油菜播种前一周,以“S”形多点采集试验田耕层土壤,混匀、风干后磨碎测定基础土壤的理化性状。

绿叶取样:间隔取样(越冬期油菜生长缓慢,取样间隔为30 d,其他生育期取样间隔为15 d),整个生育期共取样12次。每次随机选取12株,将茎秆上的叶片全部摘下,混匀,105℃杀青30 min,于60℃恒温烘干、称重,磨细过0.5 mm筛测定养分含量,3次重复。2010年3月15日,各小区地面铺上无纺布,定期(与落叶动态测定小区一致)取出小区内的落叶。

落叶取样:随机选取长势均匀的油菜小区(面积1.2 m²,共12株)作为落叶动态研究,3次重复。自出现落叶后,定期收集落叶(苗期每隔7 d收集一次,抽薹期后每隔3 d收集一次),整个生育期共取样16次。2010年3月15日(抽薹期)将3个小区用白色尼龙网(孔径20目)围住,以免小区外的落

叶混入,小区地面铺无纺布,防止落叶腐烂。落叶样品混匀后在 105℃ 下杀青 30 min,于 60℃ 恒温烘干、称重,磨细过 0.5 mm 筛测定养分含量。

土壤养分指标采用常规方法测定^[14]。叶片样品的氮、磷、钾含量采用 H₂SO₄-H₂O₂ 法消煮,用流动注射分析仪(瑞典 FIAstar5000)测定全氮、全磷,火焰光度计测定全钾。

参考李华等^[15]对冬小麦氮素转移等相关公式的定义,涉及的计算公式如下:

$$\text{养分转移量 (kg/hm}^2\text{)} = \text{叶片最大养分积累量 (kg/hm}^2\text{)} - \text{落叶养分积累量 (kg/hm}^2\text{)}$$

$$\text{养分转移率 (\%)} = \text{养分转移量 (kg/hm}^2\text{)} / \text{叶片最大养分积累量 (kg/hm}^2\text{)} \times 100$$

试验数据采用 Excel 2003 和 SAS 9.0 统计软件进行统计分析,LSD 法检验差异显著性。

2 结果与分析

2.1 叶片干物质积累规律

叶片干物质变化规律(图 1)看出,绿叶的干物质质量先升高后降低,苗期迅速增加,播后 100 d(苗后期)达最大值,两品种间差异较小,平均为 2163 kg/hm²。190 d(花后期)后绿叶迅速黄化脱落,华双 5 号下降略早于中油杂 12 号。苗期的落叶量较低,170 d(花期)后快速增加,呈直线上升。随着植株生长,不同品种间落叶积累量的差异逐渐明显,华双 5 号在 220 d 时叶片已全部脱落,落叶干物质质量为 2162 kg/hm²,而中油杂 12 号至 230 d 时叶片才全部脱落,落叶干物质质量高达 3127 kg/hm²,比华双 5 号高 44.7%。叶片的总干物质质量自油菜出苗后迅速增加,在花期达最大值,华双 5 号与中油杂 12 号分别达 2904、3411 kg/hm²,两品种差异显著,而后两品种叶片干物质质量分别减少了 742、285 kg/hm²,降幅 25.5% 和 8.4%。

图 2 表明,不同生育时期的落叶干物质质量不同,不同品种间也表现显著的差异。华双 5 号在花期落叶量最高,为 897 kg/hm²,角果期落叶量相对减少。而中油杂 12 号随着生育时期的进行落叶量持续增加,以角果期落叶量最大,为 1155 kg/hm²。相同生长期内的落叶量在不同品种间也表现显著的差异,中油杂 12 号在各个时期均显著高于华双 5 号,角果成熟期的落叶量是华双 5 号的 1.9 倍。

2.2 叶片养分含量变化规律

两品种绿叶氮含量的变化趋势相同,0~105 d 缓慢下降,平均由 5.9% 降至 3.8%,105 d 后随着越

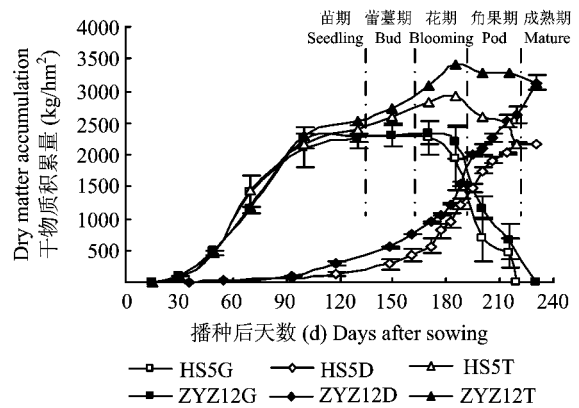


图 1 叶片干物质积累特性

Fig. 1 Characteristic of dry matter accumulation of leaves

[注(Note): HSSG—华双 5 号绿叶 Green leaves of HS No. 5; HSSD—华双 5 号落叶 Defoliation of HS No. 5; HSST—华双 5 号总量 Total HS No. 5; ZYZ12G—中油杂 12 号绿叶 Green leaves of ZYZ No. 12; ZYZ12D—中油杂 12 号落叶 Defoliation of ZYZ No. 12; ZYZ12T—中油杂 12 号总量 Total ZYZ No. 12]

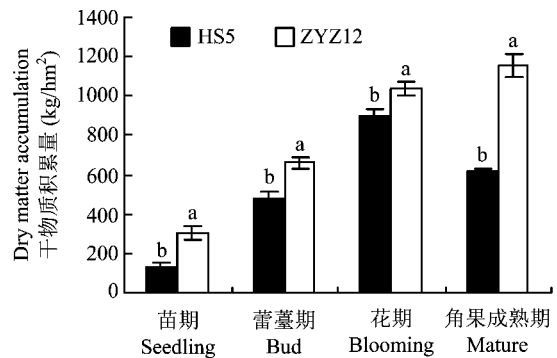


图 2 不同生育时期落叶干物质积累量

Fig. 2 Dry matter accumulation of defoliation in different growing periods

[注(Note): HS5—华双 5 号 HS No. 5; ZYZ12—中油杂 12 号 ZYZ No. 12; 不同字母表示相同生长期不同品种差异达到 5% 显著水平。Different letters mean significant difference at 5% level between cultivars at same growing period.]

冬肥的施入氮含量又略有回升,薹期达最大值,而后迅速降低;华双 5 号氮含量达到最大值以及下降的时期均早于中油杂 12 号,但数值上的差异不大。两品种苗期落叶的氮含量较高,第一次取样时达 4.2%,随后逐渐降低,抽薹后降至 1.0% 左右,其后一直保持稳定,品种间无差异(图 3)。

图 4 看出,华双 5 号绿叶的磷含量苗期缓慢上升,薹期达最大值;中油杂 12 号在苗期先升后降变幅较大。两品种绿叶的磷含量均在抽薹后迅速下降,但华双 5 号下降速度比中油杂 12 号快。苗期落叶的磷含量较高,随着时间推迟逐渐降低,薹期至花

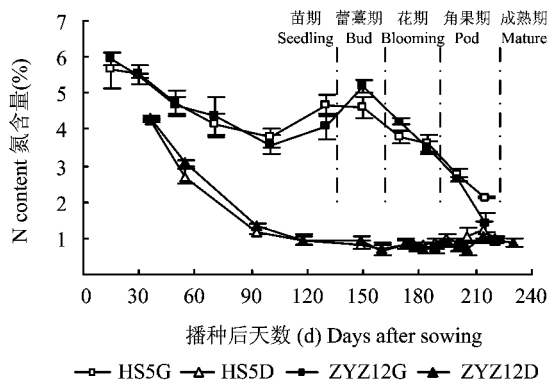


图3 叶片氮含量

Fig. 3 N content of leaves

[注(Notes): HS5G—华双5号绿叶 Green leaves of HS No.5; HS5D—华双5号落叶 Defoliation of HS No.5; ZY12G—中油杂12号绿叶 Green leaves of ZYZ No.12; ZY12D—中油杂12号落叶 Defoliation of ZYZ No.12]

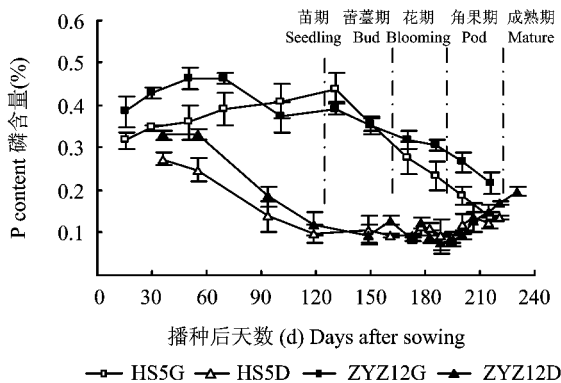


图4 叶片磷含量

Fig. 4 P content of leaves

[注(Notes): HS5G—华双5号绿叶 Green leaves of HS No.5; HS5D—华双5号落叶 Defoliation of HS No.5; ZY12G—中油杂12号绿叶 Green leaves of ZYZ No.12; ZY12D—中油杂12号落叶 Defoliation of ZYZ No.12]

期之间落叶的磷含量最低,两品种间无明显差异;角果期后落叶磷含量又逐渐升高,中油杂12号最终增至0.22%,是同期华双5号的1.8倍。

两品种绿叶钾含量的变化一致(图5)。在50 d前缓慢升高,之后迅速下降,两品种均降至2.5%左右,薹期后绿叶钾含量又有小幅增加。两品种落叶钾含量变化趋势也相同,均显著低于同期绿叶钾含量。不同时期落叶钾含量变幅较大,花期落叶的钾含量偏高,薹期和成熟期较低,且中油杂12号落叶钾含量明显高于同期的华双5号。

2.3 叶片养分积累变化规律

图6可知,两品种绿叶的N积累量先增加后降低,在薹期达最大值,均为107 kg/hm²,但华双5号略早于中油杂12号;抽薹后绿叶N积累量均迅速下降。落叶的N积累量在抽薹后缓慢增加,收获时

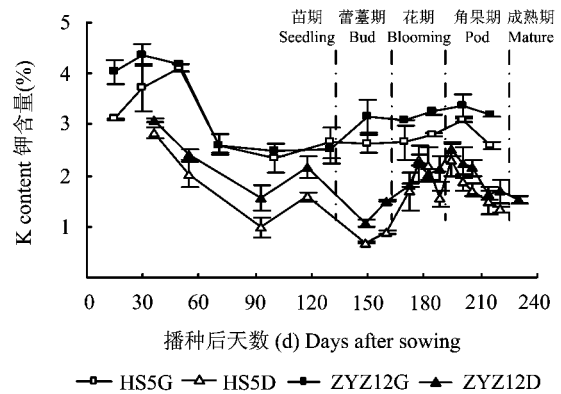


图5 叶片钾含量

Fig. 5 K content of leaves

[注(Notes): HS5G—华双5号绿叶 Green leaves of HS No.5; HS5D—华双5号落叶 Defoliation of HS No.5; ZY12G—中油杂12号绿叶 Green leaves of ZYZ No.12; ZY12D—中油杂12号落叶 Defoliation of ZYZ No.12]

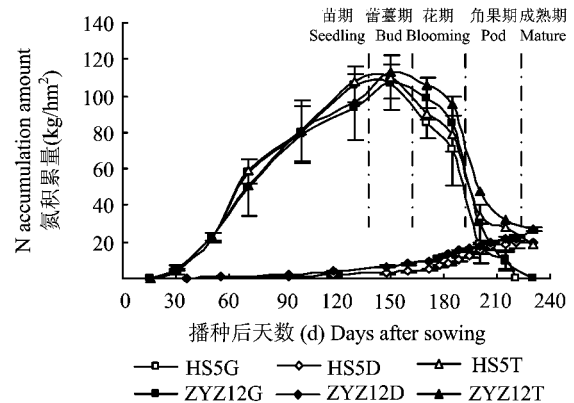


图6 叶片N积累量动态变化

Fig. 6 Dynamic of N accumulation of leaves

[注(Notes): HS5G—华双5号绿叶 Green leaves of HS No.5; HS5D—华双5号落叶 Defoliation of HS No.5; HS5T—华双5号总量 Total HS No.5; ZY12G—中油杂12号绿叶 Green leaves of ZYZ No.12; ZY12D—中油杂12号落叶 Defoliation of ZYZ No.12; ZY12T—中油杂12号总量 Total ZYZ No.12]

落叶N积累达最大值,华双5号为18.8 kg/hm²,中油杂12号为26.8 kg/hm²,品种间差异显著。

绿叶中P₂O₅积累量亦先升后降,均在130 d时达最大值,华双5号为22.9 kg/hm²,略高于中油杂12号;而后两品种绿叶的P₂O₅积累量均迅速降低,但华双5号的下降速率明显快于中油杂12号,中油杂12号略有推迟的迹象。落叶P₂O₅积累量薹期后快速增加,收获时中油杂12号P₂O₅总积累量为8.6 kg/hm²,相对华双5号高50.9%(图7)。

图8看出,叶片K₂O总积累量先升高后降低,但与N、P₂O₅的积累不同的是叶片K₂O总量在花期达到最大值,华双5号与中油杂12号分别为84.0、

120.3 kg/hm²。绿叶 K₂O 积累亦为先升后降,两品种均在花期达最大值,华双 5 号和中油杂 12 号分别为 72.5、93.8 kg/hm²。同 P₂O₅ 积累量的变化相似,开花后华双 5 号绿叶 K₂O 的下降速度略快于中油杂 12 号。华双 5 号、中油杂 12 号落叶中 K₂O 积累分别达 45.5、73.6 kg/hm²,品种间的差异显著。

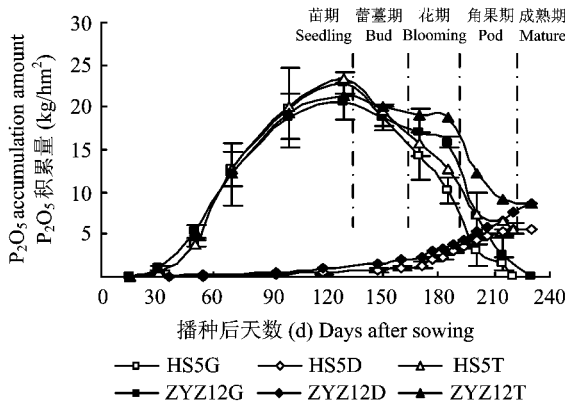


图 7 叶片 P₂O₅ 积累量动态变化

Fig. 7 Dynamic of P₂O₅ accumulation of leaves

[注 (Note): HS5G—华双 5 号绿叶 Green leaves of HS No. 5; HS5D—华双 5 号落叶 Defoliation of HS No. 5; HS5T—华双 5 号总量 Total HS No. 5; ZYZ12G—中油杂 12 号绿叶 Green leaves of ZYZ No. 12; ZYZ12D—中油杂 12 号落叶 Defoliation of ZYZ No. 12; ZYZ12T—中油杂 12 号总量 Total ZYZ No. 12]

2.4 干物质及养分的转移

不同品种间叶片养分最大积累量以及落叶中的

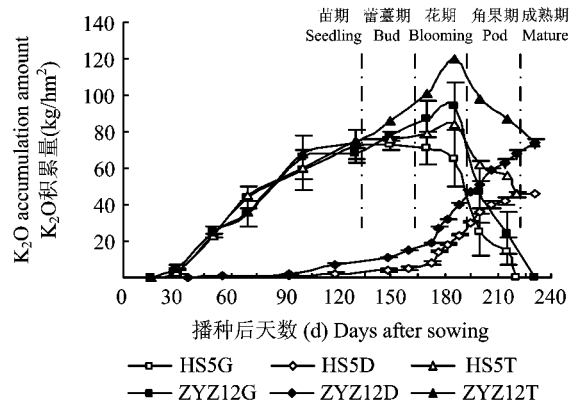


图 8 叶片 K₂O 积累量动态变化

Fig. 8 Dynamic of K₂O accumulation of leaves

[注 (Note): HS5G—华双 5 号绿叶 Green leaves of HS No. 5; HS5D—华双 5 号落叶 Defoliation of HS No. 5; HS5T—华双 5 号总量 Total HS No. 5; ZYZ12G—中油杂 12 号绿叶 Green leaves of ZYZ No. 12; ZYZ12D—中油杂 12 号落叶 Defoliation of ZYZ No. 12; ZYZ12T—中油杂 12 号总量 Total ZYZ No. 12]

养分积累量表现显著差异。表 1 看出,华双 5 号与中油杂 12 号叶片中的 N、P₂O₅ 最大积累量相当,但是华双 5 号落叶的养分积累量却比中油杂 12 号分别低 30.6%、33.7%; N、P₂O₅ 转移量、转移率均高于中油杂 12 号。干物质、K₂O 的转移情况则不同,中油杂 12 号叶片最大积累量、落叶中的积累比华双 5 号高,干物质、K₂O 的转移量、转移率均不及华双 5 号。

表 1 叶片中干物质及养分的转移特征

Table 1 Characteristics of nutrient and dry matter transportation of leaves

指标 Index	品种 Variety	最大积累量 Max. accumulation (kg/hm ²)	落叶积累量 Accum. of defoliation (kg/hm ²)	转移量 Transp. amount (kg/hm ²)	转移率 Transp. ratio (%)
干物质 Dry matter	HS5	2904 ± 100 b	2162 ± 47 b	742 ± 85.5 a	25.5 ± 2.0 a
	ZYZ12	3411 ± 184 a	3126 ± 120 a	285 ± 45.6 b	8.4 ± 0.9 b
N	HS5	110.1 ± 14.5 a	18.8 ± 1.3 b	91.3 ± 3.7 a	82.9 ± 0.4 a
	ZYZ12	112.7 ± 7.9 a	27.1 ± 3.7 a	85.6 ± 4.6 a	76.0 ± 0.5 b
P ₂ O ₅	HS5	23.2 ± 2.6 a	5.7 ± 0.4 b	17.6 ± 2.9 a	75.4 ± 3.8 a
	ZYZ12	21.6 ± 3.9 a	8.6 ± 0.3 a	13.0 ± 1.5 a	60.2 ± 2.1 b
K ₂ O	HS5	84.0 ± 16.5 b	45.5 ± 2.1 b	38.5 ± 4.1 a	45.8 ± 1.7 a
	ZYZ12	120.3 ± 13.3 a	73.6 ± 3.8 a	46.7 ± 11.6 a	38.8 ± 2.8 b

注 (Note): HS5—华双 5 号 HS No. 5; ZYZ12—中油杂 12 号 ZYZ No. 12; 转移量 (kg/hm²) = 最大积累量 (kg/hm²) - 落叶积累量 (kg/hm²); 转移率 (%) = 转移量 (kg/hm²) / 最大积累量 (kg/hm²) × 100 Maximum accumulation minus accumulation in defoliation equals to transportation amount; Transportation amount divided by maximum accumulation times 100 equals to transportation ratio. 数值后不同字母表示同一指标品种间差异达到 5% 显著水平 Values followed by different letters in the same index mean significant at 5% level.

3 讨论

3.1 叶片脱落及养分含量变化

开花前,叶片是冬油菜主要的光合器官,开花之后,光合器官则由叶片逐渐转向角果皮,而叶片则大量黄化脱落^[16]。目前对油菜叶片脱落原因的研究表明,养分供应不足、水分胁迫、上部角果遮光等与叶片脱落有一定的相关性^[17-18],但是叶片中氮含量的降低是叶片脱落的决定因素^[19]。冷锁虎等^[6]研究证明,开花后角果形成需要大量的氮素,然而此时根系对土壤氮素的吸收能力降低,为了满足角果的需求,叶片中的氮素向角果中转移,最终导致叶片黄化脱落。本试验也表明,抽薹前落叶氮含量迅速下降,薹期后的氮含量一直稳定在 1.0% 左右,并不随着生育期的改变而变化,而磷、钾含量在角果成熟期有上升趋势,可见,N 含量的降低与叶片的脱落有较密切的联系。

油菜苗期由于冬季气温较低,所以落叶量相对较少,且养分含量相对较高^[6]。角果成熟期落叶的磷、钾含量略有升高,可能一方面由于上部叶片的养分含量较高^[20],另一方面,生长后期磷、钾养分转移速度不及氮快,叶片掉落前来不及转移。本研究中,花期后落叶的钾含量上下波动较大,可能因为 3~5 月份频繁的降雨导致落叶中 K^+ 因淋洗而流失^[21]。

3.2 叶片干物质及养分的转移

研究证明,开花之前,小麦、玉米的茎秆、叶片中会贮存一定量的非结构性碳水化合物,这些碳水化合物在灌浆期间会分解并转移到子粒中,而且不同的基因型、供氮水平等均会影响花前贮藏物质的转移能力^[22-23]。本试验结果显示,油菜的叶片亦存在干物质转移的现象,其中华双 5 号叶片干物质转移量高达 742 kg/hm²,中油杂 12 号仅为 285 kg/hm²,品种间的差异显著。叶片作为主要的养分贮存器官^[18,20],两品种在开花后向外输出的 N、P₂O₅、K₂O 平均为 88.5、15.3 和 29.3 kg/hm²,这为成熟期角果的干物质形成以及养分的积累提供了保障。而叶片中转移的养分除绝大部分被植株再利用外,还包括少量的氨挥发、淋洗等损失^[24,21],因大田条件的限制,尚无法回答养分去向的绝对值,这些问题尚待进一步研究。本试验中,中油杂 12 号干物质积累量为华双 5 号的 1.2 倍,植株 N、P₂O₅、K₂O 的总积累量相对华双 5 号分别增加 46.2、42.1 和 85.4 kg/hm²;根、茎、叶和角果中的各养分积累均高于华双 5 号,基因型的差异可能是主要原因。

华双 5 号绿叶的养分含量以及积累量达到最大值的时期比中油杂 12 号早,养分下降速率均比中油杂 12 号快,残留在落叶中的养分低,养分的转移率相对更高。中油杂 12 号绿叶在茎秆上的生长时期较长,虽然绿叶中的养分积累量多,但是最终残留在落叶中的养分相对也高,养分并未得到高效利用。田间观察可知,华双 5 号在 220 d 时叶片即全部掉光,而中油杂 12 号直到 230 d 时仍然有落叶。由此我们猜测,华双 5 号叶片相对的过早黄化脱落可能是养分高效利用的一种表现,有待深入研究。本研究还表明,叶片氮、磷净积累时间占总生育期的二分之一,干物质、钾的净积累时间占生育期的四分之三,转移率则表现为氮 > 磷 > 钾 > 干物质,这种转移率上的差异是否与转移时期的长短有关需进一步证实。对于水稻的研究认为,叶片过早黄化会丧失光合能力,不利于水稻高产^[25]。本研究中华双 5 号的子粒产量要低于中油杂 12 号,可能与其叶片脱落较早有一定的关系。所以在油菜有限的生育期内,叶片光合作用时间与叶片中的养分转移的机制值得继续探索,为增加子粒产量、提高叶片的养分利用效率提供理论依据。

3.3 落叶研究的意义

本试验条件下,中油杂 12 号落叶的干物质质量达 3126 kg/hm²,占植株总积累量的 15%。N、P₂O₅、K₂O 积累量依次为 27.1、8.6、73.6 kg/hm²,分别占全株总积累量的 10.9%、6.4%、22.1%。当前对于油菜养分吸收、利用效率的计算时并未考虑到落叶的养分^[26-29]。以中油杂 12 号为例,如果考虑到落叶损失的养分,其 N、P₂O₅、K₂O 的吸收效率会相对增加 10.9%、6.4%、22.1%,利用效率则会降低 9.1%、6.0% 和 18.1%。所以,针对冬油菜这种特殊的作物,涉及到生物量以及养分积累量的公式,计算时是否应该考虑落叶的损失值得进一步商榷。

油菜落叶中 N、P₂O₅、K₂O 的积累量约占水稻推荐肥料用量的 15%、7% 和 37%^[30],尽管落叶中的养分积累量很大,但是油菜的落叶是一个由少积多的动态过程,70% 的落叶集中在抽薹至收获的 60 d 内,因此,大田条件下落叶养分的去向值得我们进一步研究。

参考文献:

- [1] 王汉中. 我国油菜产需形势分析及产业发展对策[J]. 中国油料作物学报, 2007, 29(1): 101-105.
Wang H Z. Strategy for rapeseed industry development based on

- the analysis of rapeseed production and demand in China [J]. *Chin. J. Oil Crop Sci.*, 2007, 29(1): 101-105.
- [2] 王汉中. 我国油菜产业发展的历史回顾与展望[J]. *中国油料作物学报*, 2010, 32(5): 300-302.
Wang H Z. Review and future development of rapeseed industry in China [J]. *Chin. J. Oil Crop Sci.*, 2010, 32(5): 300-302.
- [3] 沈金雄, 傅廷栋, 涂金星, 马朝芝. 中国油菜生产及遗传改良潜力与油菜生物柴油发展前景[J]. *华中农业大学学报*, 2007, 26(6): 894-899.
Shen J X, Fu T D, Tu J X, Ma C Z. Potential in production and genetic improvement of rapeseed and prospect for rape oil-based biodiesel in China [J]. *J. Huazhong Agric. Univ.*, 2007, 26(6): 894-899.
- [4] 殷艳, 廖星, 余波, 王汉中. 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.
Yin Y, Liao X, Yu B, Wang H Z. Regional distribution evolution and development tendency of Chinese rapeseed production [J]. *Chin. J. Oil Crop Sci.*, 2010, 32(1): 147-151.
- [5] 冷锁虎, 朱耕如, 邓秀兰. 油菜子粒干物质来源的研究[J]. *作物学报*, 1992, 18(4): 250-257.
Leng S H, Zhu G R, Deng X L. Studies on the sources of the dry matter in the seed of rapeseed [J]. *Acta Agron. Sin.*, 1992, 18(4): 250-257.
- [6] Leng S H, Zuo Q S, Sui D. Study on nitrogen mobilization of senescence leaves under different nitrogen rate in winter rapeseed (*B. napus* L.) [C]. Wuhan: The 12 th International Rapeseed Congress, 2007, 226-230.
- [7] 眭丹. 油菜落叶对土壤养分含量及微生物生长的影响[D]. 扬州: 扬州大学硕士论文, 2008.
Sui D. Effects of fallen leaves in rapeseed on soil nutrient content and microorganism growth [D]. Yangzhou: MS Thesis, Yangzhou University, 2008.
- [8] 姚雄, 任万军, 胡剑锋. 稻油两熟区机插水稻的适宜秧龄与品种鉴定研究[J]. *杂交水稻*, 2009, 24(5): 43-47.
Yao X, Ren W J, Hu J F. Studies on suitable seedling age and variety for mechanized transplanting rice in rapeseed-rice planting area [J]. *Hybrid Rice*, 2009, 24(5): 43-47.
- [9] 杨春沅, 任业军, 朱金凤. “稻-油”两熟栽培的效益及技术要点[J]. *作物研究*, 2002, (3): 144-145.
Yang C Y, Ren Y J, Zhu J F. Beneficial and technical points in rapeseed-rice planting system [J]. *Crop Res.*, 2002, (3): 144-145.
- [10] 单玉华, 冷锁虎, 朱耕如, 等. 杂交油菜秦油二号氮素的积累与分配规律[J]. *中国油料*, 1996, (1): 14-17.
Shan Y H, Leng S H, Zhu G R *et al.* Study on the accumulation and distribution of nitrogen in hybrid rape “Qin You No. 2” [J]. *Chin. J. Oil Crop.*, 1996, (1): 14-17.
- [11] 张治礼, 郑学勤. 油菜叶片自然衰老过程中部分生理指标的变化规律[J]. *中国油料作物学报*, 2004, 26(2): 47-50.
Zhang Z L, Zheng X Q. Changes of several physiological indexes in process of rape leaf senescence [J]. *Chin. J. Oil Crop Sci.*, 2004, 26(2): 47-50.
- [12] 汤永禄, 李朝苏, 蒋梁材, 等. 成都平原油菜不同种植方式及免耕直播配套技术研究[J]. *西南农业学报*, 2008, 21(4): 946-952.
Tang Y L, Li C S, Jiang L C *et al.* Research on different rape cultivation patterns and matching cultivated techniques of direct seeding under no-tillage condition in Chengdu plain [J]. *Southwest China J. Agric. Sci.*, 2008, 21(4): 946-952.
- [13] 张春雷, 李俊, 余利平, 等. 油菜不同栽培方式的投入产出比较研究[J]. *中国油料作物学报*, 2010, 32(1): 57-64.
Zhang C L, Li J, Yu L P *et al.* Input/output analysis on rapeseed production practices under different cultivation mode [J]. *Chin. J. Oil Crop Sci.*, 2010, 32(1): 57-64.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析(3版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 263-271.
Bao S D. Soil and agrochemistry analysis (3rd Ed.) [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000. 263-271.
- [15] 李华, 王朝辉, 李生秀. 地表覆盖和施氮对冬小麦干物质和氮素积累与转移的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(6): 1027-1034.
Li H, Wang C H, Li S X. Effect of surface mulching and N rate on dry matter and nitrogen accumulation and translocation of winter wheat [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2008, 14(6): 1027-1034.
- [16] 冷锁虎, 单玉华, 李德权. 油菜叶片衰老与 NPK 含量变化[J]. *中国油料作物学报*, 2001, 23(1): 38-40.
Leng S H, Shan Y H, Li D Q. Changes of N P K contents in decrepit leaves of rapeseed [J]. *Chin. J. Oil Crop Sci.*, 2001, 23(1): 38-40.
- [17] Schjoerring J K, Bock J G H, Gammelvind L *et al.* Nitrogen incorporation and remobilization in different shoot components of field grown winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) as affected by rate of nitrogen application and irrigation [J]. *Plant Soil*, 1995, 177: 255-264.
- [18] Rossato L, Laine P, Ourry A. Nitrogen storage and remobilization in *Brassica napus* L. during the growth cycle: nitrogen fluxes within the plant and changes in soluble protein patterns [J]. *J. Exp. Bot.*, 2001, 52(361): 1655-1663.
- [19] Leach J E, Stevenson H J, Rainbow A J, Mullen L A. Effects of high plant populations on the growth and yield of winter oilseed rape (*Brassica napus*) [J]. *Agric. Sci.*, 1999, 132: 173-180.
- [20] Malagoli P, Laine P, Rossato L, Ourry A. Dynamics of nitrogen uptake and mobilization in field-grown winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) from stem extension to harvest. I. Global N flows between vegetative and reproductive tissues in relation to leaf fall and their residual N [J]. *Ann. Bot.*, 2005, 95: 853-861.
- [21] 李逢雨, 孙锡发, 冯文强, 等. 麦秆、油菜秆还田腐解速率及养分释放规律研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(2): 374-380.
Li F Y, Sun X F, Feng W Q *et al.* Nutrient release patterns and decomposing rates of wheat and rapeseed straw [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2009, 15(2): 374-380.

- [22] 李世清,邵明安,李紫燕,等. 小麦子粒灌浆特征及影响因素的研究进展[J]. 西北植物学报,2003,23(11): 2031-2039.
Li S Q, Shao M A, Li Z Y *et al.* Review of characteristics of wheat grain fill and factors to influence it [J]. Acta Bot. Bor.-Occid. Sin., 2003, 23(11): 2031-2039.
- [23] 许为钢,胡琳,吴兆苏,盖钧锰. 关中小麦品种同化物积累分配特性与源库构成遗传改良的研究[J]. 作物学报,1999,25(5): 548-555.
Xu W G, Hu L, Wu Z S, Gai J M. Genetic improvement of accumulation and distribution of assimilates and source sink constitution of wheat cultivars in mid-shanxi area [J]. Acta Agron. Sin., 1999, 25(5): 548-555.
- [24] 陈明霞,黄见良,崔克辉,等. 不同氮效率基因型水稻植株氨挥发速率及其与氮效率的关系[J]. 作物学报,2010,36(5): 879-884.
Chen M X, Huang J L, Cui K H *et al.* Genotypic variation in ammonia volatilization rate of rice shoots and its relationship with nitrogen use efficiency [J]. Acta Agron. Sin., 2010, 36(5): 879-884.
- [25] 孙永健,孙园园,刘凯,等. 水氮互作对结实期水稻衰老和物质运转及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(6): 1339-1349.
Sun Y J, Sun Y Y, Liu K *et al.* Effects of water-nitrogen interaction on rice senescence and material transport and yield during grain filling [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2009, 15(6): 1339-1349.
- [26] Diepenbrock W. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review [J]. Field Crops Res., 2000, 67: 35-49.
- [27] 宋海星,彭建伟,刘强,等. 不同氮素生理效率油菜生育后期氮素再分配特性研究[J]. 中国农业科学,2008,41(6): 1858-1864.
Song H X, Peng J W, Liu Q *et al.* Nitrogen redistribution characteristics of oilseed rape varieties with different nitrogen physiological efficiency during later growing period [J]. Sci. Agric. Sin., 2008, 41(6): 1858-1864.
- [28] 左青松,唐瑶,石剑飞,等. 甘蓝型油菜不同氮素子粒生产效率品种的氮素分配特性研究[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(6): 1395-1400.
Zuo Q S, Tang Y, Shi J F *et al.* Characteristics of nitrogen distribution in rapeseed (*Brassica napus* L.) with different nitrogen utilization efficiency for grain production [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2009, 15(6): 1395-1400.
- [29] 孙克刚,王亚莉,鹿智江,等. 油菜氮磷钾元素的需肥规律和施肥研究[J]. 土壤肥料,2002,(4): 35-37.
Sun K G, Wang Y L, Lu Z J *et al.* Study on nutritional character of rape and potassium fertilizer application effect [J]. Soils Fert., 2002, (4): 35-37.
- [30] 王伟妮,王亚艺,姚忠清,等. 中稻“3414”施肥效果及推荐用量研究[J]. 湖北农业科学,2008,47(12): 1416-1419.
Wang W N, Wang Y Y, Yao Z Q *et al.* Effect of 3414 fertilization experiment and fertilizer recommendation on mid-season rice [J]. Hubei Agric. Sci., 2008, 47(12): 1416-1419.