

DOI:CNKI:61-1390/S. 20110810. 1016. 006

网络出版时间:2011-08-10 10:16

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20110810.1016.006.html>

不同品种(系)小豆花后干物质积累与转运特性

宋 慧,冯佰利,高小丽,高金锋,王鹏科,柴 岩,张盼盼,蒋树怀

(西北农林科技大学 农学院,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】探讨不同品种小豆地上部各器官的干物质积累、分配与转运规律。【方法】2008—2009 年,以高产小豆品种(系)“2000-75”、“冀红 9218”和低产小豆品种(系)“红宝 1 号”、“湾选 1 号”为材料,研究小豆开花至成熟期植株茎秆、叶片、幼壳、籽粒等的干物质积累特性。【结果】小豆开花后,植株地上部干物质和籽粒干物质积累均呈近“S”型变化趋势,花后 7~14 d 是生物产量和籽粒产量形成的关键时期,高产品种“2000-75”和“冀红 9218”地上部干物质和籽粒干物质积累速率明显较低产品种“湾选 1 号”和“红宝 1 号”快;主茎上部开花节位叶片是籽粒充实的主要源器官,其转运率高达 17.23%~22.31%,对籽粒产量的贡献率最大。不同品种小豆间干物质积累和转运能力差异显著,高产品种“2000-75”和“冀红 9218”各器官干物质积累和转运能力强,尤其是主茎上部开花节位叶片干物质积累较多,为后期产量形成奠定了基础。【结论】在小豆生产实践中,提高籽粒产量的关键是选用库容大的多荚、大粒型品种;加强花后田间管理,以延缓主茎开花节位叶片衰老;采用去除无效分枝等措施,增强源库间的物质运输与分配。

【关键词】 小豆;干物质积累;干物质转运

【中图分类号】 S521.01

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2011)10-0094-07

Accumulation and transportation characteristics of dry matter after anthesis in different adzuki bean *Vigna angularis* cultivars (lines)

SONG Hui, FENG Bai-li, GAO Xiao-li, GAO Jin-feng, WANG Peng-ke,
CHAI Yan, ZHANG Pan-pan, JIANG Shu-huai

(College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The study was intended to investigate the accumulation, distribution and transportation characteristics of dry matter in the above-ground organs of different adzuki bean cultivars. 【Method】 In 2008—2009, during flowering to maturing, high-yielding cultivars “2000-75” and “Jihong 9218” and low-yielding cultivars “Hongbao 1” and “Wanxuan 1” were adopted to determine the dry matter accumulation characteristics of the above-ground organs consisting of stalks, leaves, pod shells and seeds. 【Result】 After anthesis, the change in dry matter accumulation of both plant and seeds was presented as the “S” curves. The key stage for yield formation of plant biomass and seeds was at 7—14 days after anthesis, and the accumulation rate of both plant and seeds of “2000-75” and “Jihong 9218” (high-yield) was faster than “Hongbao 1” and “Wanxuan 1” (low yield); the main source organ of grain-filling was the leaves at

* [收稿日期] 2011-03-23

[基金项目] 农业部公益性行业(农业)科研专项(200903007);陕西省攻关项目(2009K03-03);西北农林科技大学唐仲英育种专项

[作者简介] 宋 慧(1985—),女,河南安阳人,在读博士,主要从事小宗粮豆作物高产栽培生理及产业开发研究。

E-mail: xieyingpu2006@126.com

[通信作者] 冯佰利(1966—),男,陕西耀县人,教授,博士生导师,主要从事作物高产生态生理及小杂粮栽培和育种研究。

E-mail: 7012766@163.com

flowering nodes on the main stem with the biggest contribution to grain yield, with a transportation rate as high as 17.23%—22.31%. Significant differences were observed between different cultivars, and the accumulation and transportation capacities of the high-yielding cultivars (“2000-75” and “Jihong 9218”) were greater than those of the low-yielding cultivars, especially for the accumulation of dry matter in the leaves at the flowering node on the main stems, which was the basis of the formation of grain yield. 【Conclusion】 The major practice to achieve higher yield in the adzuki bean production should select the cultivars with multi-pods and bigger grain, to enhance the field management after anthesis to maintain longer function duration of leaves at flowering nodes on the main stem, and to remove the invalid branches to improve the transportation and distribution of dry matter.

Key words: adzuki bean; accumulation of dry matter; transportation of dry matter

小豆 [*Vigna angularis*] 又名红小豆、赤豆、赤小豆等, 属豇豆属 1 年生草本植物^[1]。其籽粒营养丰富, 医食同源, 是现代绿色保健食品开发的重要资源, 也是当前农业种植业结构调整和经济欠发达地区农民脱贫致富的首选作物。

多年来, 人们从不同角度对不同作物的干物质积累与分配进行了广泛研究, 指出干物质生产是作物产量形成的基础, 干物质积累与合理分配是提高作物产量的关键^[2-5]。郭飞等^[6]研究认为, 不同小麦品种叶片、鞘、茎、穗部的干物质积累与运转存在显著差异, 花后干物质积累量与运转决定小麦产量的高低。徐祥玉等^[7]、马赞花等^[8]指出, 同一施氮量处理下, 不同玉米品种各个器官的干物质和养分转移有很大差异。敖和军等^[9]研究认为, 超级杂交稻获得高产的途径有增加库容量及提高结实率和粒质量等。胡根海等^[10]研究表明, 大豆干物质积累在整个生育期内均呈单峰曲线, 其峰值出现在结荚期至鼓粒盛期。傅金民等^[11]研究发现, 大豆荚粒中的干物质主要来自于本节位叶的同化产物供应。邹原东^[12]研究指出, 黑豆叶面积指数与产量的相关性在始花期达显著水平, 在结荚期达到极显著水平; 干物质与产量的显著相关性出现在结荚期; 始花期至结荚期黑豆保持较高的叶面积指数可以增加相应的干物质质量、荚数和粒数。高小丽等^[13]指出, 开花后绿豆植株地上部总干物质积累和籽粒干物质积累均呈“S”型增长趋势。但是, 我国小豆相关研究起步较晚, 栽培技术落后, 单位面积产量水平普遍较低, 严重制约了小豆产业的发展, 对小豆花后干物质生产与产量形成的关系更是鲜见系统报道。

为此, 本试验以不同产量类型小豆品种为材料, 研究了小豆开花结荚期茎秆、叶片、豆荚、籽粒等地上部各器官的干物质积累、分配与转运的动态规律, 旨在揭示小豆籽粒产量形成的生理机制, 为小豆高

产栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用夏播区生育期接近的直立型小豆品种(系)“2000-75”、“冀红 9218”、“红宝 1 号”和“湾选 1 号”为试验材料, 其中“2000-75”和“冀红 9218”为高产品种(1 580 和 1 560 kg/hm²), “红宝 1 号”和“湾选 1 号”为低产品种(1 360 和 1 340 kg/hm²)。

1.2 试验设计

试验于 2008—2009 年在陕西杨凌西北农林科技大学农作一站进行。该站位于黄土高原南部半湿润易旱区(108°E, 34°N), 海拔 520 m, 年平均降水量 660 mm, 且主要集中在 7—9 月份, 为暖温带半湿润气候。小区面积 10 m² (2 m×5 m), 12 行区, 行距 0.40 m, 株距 0.25 m。6 月中旬开沟带尺点播, 播前按磷酸二铵 225 kg/hm²、磷酸二氢钾 30 kg/hm² 的标准施足基肥。试验按随机区组排列, 设 3 次重复, 田间管理按照国家小豆区试要求进行。

1.3 试验方法

于小豆开花初期选择同一天开花且有代表性的植株挂牌标记, 自开花到成熟期每隔 7 d 分别取整株样品 3 株, 按主茎上部开花节位叶、主茎下部(始花节以下)叶片、分枝叶片、荚壳、籽粒和茎秆等分别进行处理, 称取鲜质量, 在干燥箱内 105 ℃ 杀青 15 min, 80 ℃ 烘干至恒质量, 称取干质量。

籽粒灌浆期间各器官干物质移动率(move ratio, 简称 MR)和转运率(transportation ratio, 简称 TR)按下式计算:

$$MR = (\text{开花后器官最大干质量} - \text{成熟期器官干质量}) / \text{开花后器官最大干质量} \times 100\%$$

$$TR = (\text{开花后器官最大干质量} - \text{成熟期器官干质量}) / \text{籽粒最大干质量} \times 100\%$$

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 和 DPS 统计软件进行相关数据的处理与分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种小豆地上部干物质的积累动态

由图 1 可知,开花后不同品种小豆间地上部干物质积累量均呈现先升后降的“S”型变化趋势,即随着生育进程的推进,小豆地上部干物质质量逐渐增大,

叶片基本定型时达到最大值,随着植株衰老则地上部干物质积累量又出现明显的下降趋势。与低产品种相比,高产品种“2000-75”和“冀红 9218”地上部干物质积累速率明显较快。以 2009 年为例,花后 21~35 d,高产品种“2000-75”和“冀红 9218”地上部干物质的平均积累速率分别为 3.17 和 2.96 g/d,是同时期低产品种“湾选 1 号”(1.48 g/d)和“红宝 1 号”(1.87 g/d)的 1.7~2.0 倍;到完熟期,后者已几近干枯,而前者依然保持一定的绿色和活力。

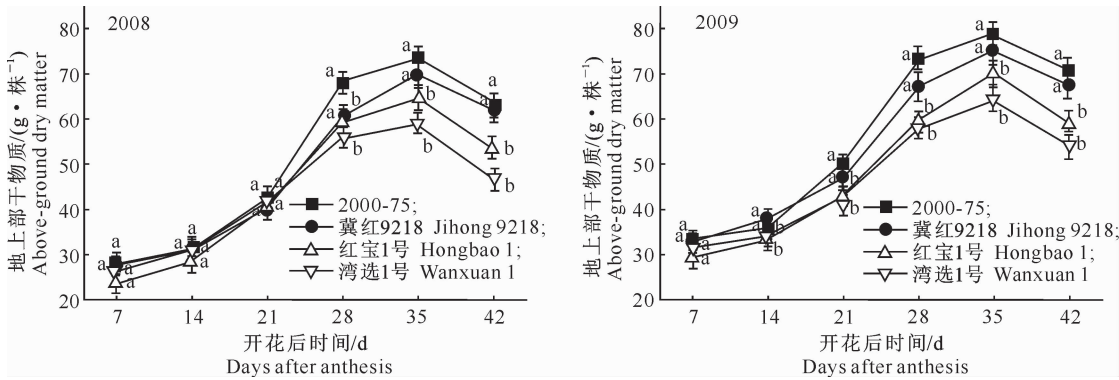


图 1 不同品种小豆植株地上部干物质的积累动态
同一天内标注不同字母者表示在 5%水平上差异显著。下图同

Fig. 1 Above-ground dry matter accumulation of different adzuki bean cultivars

Bars superscripted by different letters for the same day are significantly different at 5% probability level. The same below

2.2 不同品种小豆籽粒干物质的积累动态

由图 2 可知,开花后,不同小豆品种籽粒干物质积累呈近“S”型的增长趋势,即开花初期籽粒质量增加较慢,开花 14 d 后快速增加,开花 28 d 后籽粒质量增加较平稳。同一测定时期(除开花后 7 d 外)不同品种间存在显著差异,高产小豆品种“2000-75”和“冀红 9218”籽粒干物质的积累速率明显较低产品种“湾

选 1 号”和“红宝 1 号”快。以 2009 年为例,花后 16~31 d,高产品种“2000-75”和“冀红 9218”单株籽粒干物质的平均积累速率分别为 1.35 和 1.27 g/d,而低产品种分别是 0.73 和 0.57 g/d;到完熟期,高产品种“2000-75”和“冀红 9218”获得了较高的籽粒产量,分别为 24.97 和 23.58 g/株,而“湾选 1 号”和“红宝 1 号”籽粒产量分别为 18.87 和 16.94 g/株。

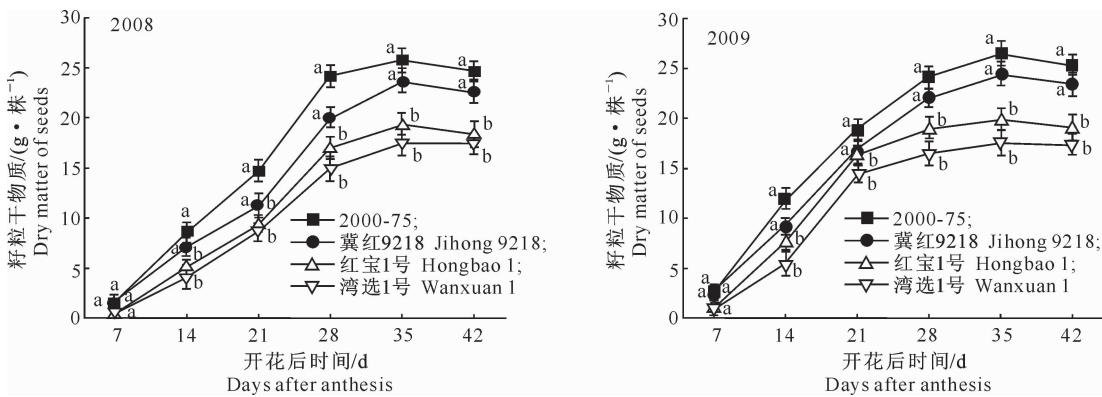


图 2 不同品种小豆籽粒干物质的积累动态

Fig. 2 Dry matter accumulation of seeds of different adzuki bean cultivars

2.3 不同品种小豆植株干物质在各器官中的分配

不同品种小豆植株干物质在各器官中的分配比

例见表 1。

表 1 不同品种小豆植株干物质在各器官中的分配								
Table 1 Distribution of dry matter among organs in different adzuki bean cultivars								%
年份 Year	器官 Organ	品种 Cultivar	开花后时间/d Days after anthesis					
			7	14	21	28	35	42
2008	主茎上部 开花节位叶 Leaves on the main stems at flowering nods	2000-75	28.84 a	24.25 b	22.54 b	20.36 a	16.83 a	14.63 a
		冀红 9218 Jihong 9218	29.86 a	25.99 a	23.79 a	19.22 a	15.97 a	14.17 a
		红宝 1 号 Hongbao 1	27.72 ab	24.14 b	21.87 b	17.56 b	12.35 c	11.91 b
		湾选 1 号 Wanxuan 1	26.63 b	23.94 c	21.32 b	17.73 b	13.61 b	12.49 b
	主茎下部叶 Lower leaves on the main stems	2000-75	7.74 a	5.87 a	4.18 a	3.39 b	3.03 a	2.39 a
		冀红 9218 Jihong 9218	6.37 b	6.07 b	4.26 a	3.95 b	1.74 c	1.30 b
		红宝 1 号 Hongbao 1	6.09 b	4.89 b	3.49 b	3.12 b	2.00 b	0.88 b
		湾选 1 号 Wanxuan 1	5.75 b	4.17 c	2.98 c	2.62 b	2.74 b	1.35 b
	分枝叶 Leaves on the branches	2000-75	17.01 d	16.44 c	14.76 c	12.21 b	11.44 b	9.11 b
		冀红 9218 Jihong 9218	15.87 c	14.93 c	13.99 b	12.97 b	11.09 b	10.39 ab
		红宝 1 号 Hongbao 1	16.58 b	17.34 b	16.46 b	14.26 a	12.76 a	11.45 a
		湾选 1 号 Wanxuan 1	19.10 a	18.86 a	16.53 a	13.38 b	13.99 a	10.47 a
	茎秆 Stalks	2000-75	31.31 b	29.55 c	21.85 c	21.46 c	20.27 c	31.31 c
		冀红 9218 Jihong 9218	33.31 b	31.99 b	27.50 b	23.97 c	24.46 b	33.31 b
		红宝 1 号 Hongbao 1	38.35 a	35.96 a	33.69 a	28.70 b	32.15 a	38.35 a
		湾选 1 号 Wanxuan 1	39.33 a	35.70 a	33.01 a	33.35 a	31.92 a	39.33 a
	荚壳 Pod shells	2000-75	9.46 a	14.54 a	15.98 a	16.06 a	17.77 a	18.20 a
		冀红 9218 Jihong 9218	9.51 a	12.71 b	13.19 a	14.85 a	15.10 a	16.62 a
		红宝 1 号 Hongbao 1	6.43 b	9.88 c	11.42 b	12.91 b	13.63 b	13.90 b
		湾选 1 号 Wanxuan 1	4.45 c	10.22 c	11.72 b	12.73 b	13.03 b	14.41 b
2009	主茎上部 开花节位叶 Leaves on the main stems at flowering nods	2000-75	25.21 b	20.69 b	15.72 ab	15.39 a	13.74 a	10.65 a
		冀红 9218 Jihong 9218	26.23 a	25.43 a	16.97 a	14.97 ab	13.61 a	10.31 a
		红宝 1 号 Hongbao 1	24.09 bc	20.58 b	16.05 a	14.31 b	11.32 b	9.50 b
		湾选 1 号 Wanxuan 1	23.00 c	19.00 c	15.29 b	14.48 ab	12.58 b	9.71 b
	主茎下部叶 Lower leaves on the main stems	2000-75	12.64 b	9.74 b	7.99 ab	5.34 b	4.32 c	3.96 b
		冀红 9218 Jihong 9218	11.50 c	10.33 a	8.05 a	6.70 b	4.67 c	3.82 b
		红宝 1 号 Hongbao 1	14.29 a	7.51 c	7.71 b	6.01 b	5.74 b	5.50 a
		湾选 1 号 Wanxuan 1	12.27 b	10.29 a	8.31 a	7.23 a	6.81 a	5.98 a
	分枝叶 Leaves on the branches	2000-75	24.03 b	23.29 c	19.79 c	18.74 b	16.86 c	15.47 b
		冀红 9218 Jihong 9218	25.53 b	22.39 c	18.05 d	17.73 c	15.11 c	14.28 c
		红宝 1 号 Hongbao 1	26.92 a	24.70 a	23.71 a	20.72 a	19.03 a	18.18 a
		湾选 1 号 Wanxuan 1	26.93 a	24.81 b	22.28 b	20.01 a	18.06 b	17.43 a
	茎秆 Stalks	2000-75	30.35 b	32.35 b	28.32 c	27.33 b	29.22 c	27.77 c
		冀红 9218 Jihong 9218	28.69 c	29.74 b	32.74 b	29.59 b	32.49 b	30.01 b
		红宝 1 号 Hongbao 1	28.92 c	38.50 a	35.12 a	33.60 a	34.79 a	31.08 a
		湾选 1 号 Wanxuan 1	33.99 a	39.50 a	35.42 a	33.08 a	33.43 a	31.32 a
	荚壳 Pod shells	2000-75	5.14 a	6.58 a	8.52 a	9.57 a	10.93 a	11.82 a
		冀红 9218 Jihong 9218	5.98 a	6.75 a	7.73 b	9.36 a	10.23 a	11.24 a
		红宝 1 号 Hongbao 1	3.96 b	3.92 b	4.96 c	7.42 b	8.76 b	9.52 b
		湾选 1 号 Wanxuan 1	2.08 c	2.26 c	5.26 c	7.24 b	8.16 b	9.03 b
	籽粒 Seeds	2000-75	2.63 a	7.35 a	19.66 a	23.63 a	24.93 a	30.33 a
		冀红 9218 Jihong 9218	2.07 a	5.36 b	16.46 b	21.65 b	23.89 a	30.34 a
		红宝 1 号 Hongbao 1	1.82 b	4.79 c	12.45 c	17.94 b	20.36 b	26.22 b
		湾选 1 号 Wanxuan 1	1.73 b	4.14 c	13.44 c	17.96 c	20.96 b	26.53 b

注:同一器官、同列数据后标注不同小写字母者表示在 $P=5\%$ 水平上差异显著。下表同。

Note: Values followed by different letters within each column for the same organ are significantly different at $P=5\%$ probability level. The same below.

由表 1 可知,随着花后生育进程的推进,小豆植株干物质在各器官中的分配比例,随生长中心的转

移而变化。以 2009 年为例,开花初期植株干物质主要分配给叶片和茎秆,如花后 7 d,各品种小豆植株叶片和茎秆干质量占全株地上部干质量的 93.65% 以上,其中叶片干质量占全株地上部干质量的 63.16%,尤其以主茎上部开花节位叶和分枝叶干物质所占比例较大。进入花荚盛期后,植株的生长中心逐渐转向生殖器官,在茎、叶中的干物质分配比例逐渐下降,而荚壳和籽粒中的干物质分配比例不断

增大。不同品种小豆间干物质的分配状况存在一定差异,2 个高产品种在花后各阶段分配到主茎上部开花节位叶、荚壳和籽粒中的干物质量显著高于 2 个低产品种,而分配到分枝叶上的干物质量相对较少。

2.4 不同品种小豆植株各器官干物质的转运
不同品种小豆植株干物质在各器官中的转运情况见表 2。

表 2 不同品种小豆植株各器官干物质的转运
Table 2 Transportation of dry matter among organs in different adzuki bean cultivars ($\bar{x}\pm SD$)

年份 Year	器官 Organ	品种 Cultivar	器官干质量/(g·株 ⁻¹) Dry matter of organs		移动率/% Amount of transportation	转运率/% Transportation ratio
			开花后最大时 Max dry weight after anthesis	成熟期 Mature dry weight		
2008	主茎上部 开花节位叶 Leaves on the main stems at flowering nods	2000-75	14.06±0.15 a	8.46±0.18 a	37.84±0.26 a	22.31±0.25 a
		冀红 9218 Jihong 9218	13.99±0.18 a	8.80±0.11 a	37.10±0.31 a	21.76±0.28 a
		红宝 1 号 Hongbao 1	12.07±0.17 b	7.79±0.21 b	35.46±0.23 b	17.95±0.26 b
		湾选 1 号 Wanxuan 1	11.78±0.14 b	7.61±0.15 b	35.40±0.34 b	17.48±0.31 b
	主茎下部叶 Lower leaves on the main stems	2000-75	7.44±0.19 a	3.81±0.22 a	48.79±0.25 a	10.22±0.23 a
		冀红 9218 Jihong 9218	7.39±0.15 a	3.82±0.18 a	47.91±0.19 a	10.84±0.23 b
		红宝 1 号 Hongbao 1	7.19±0.17 ab	3.77±0.16 a	47.57±0.32 b	8.43±0.31 b
		湾选 1 号 Wanxuan 1	6.99±0.16 b	3.71±0.14 a	46.78±0.24 b	8.71±0.25 b
	分枝叶 Leaves on the branches	2000-75	15.11±0.19 b	10.84±0.16 c	28.52±0.27 a	18.07±0.21 a
		冀红 9218 Jihong 9218	15.96±0.20 b	11.85±0.11 b	25.75±0.17 b	17.23±0.26 a
		红宝 1 号 Hongbao 1	16.74±0.16 ab	13.01±0.15 a	22.28±0.31 c	15.64±0.29 b
		湾选 1 号 Wanxuan 1	17.05±0.18 a	13.36±0.15 a	21.46±0.24 c	15.30±0.24 b
	茎秆 Stalks	2000-75	29.75±0.19 a	24.07±0.16 a	19.09±0.27 a	23.82±0.21 a
		冀红 9218 Jihong 9218	26.85±0.20 c	21.53±0.11 d	19.81±0.17 a	22.31±0.26 b
		红宝 1 号 Hongbao 1	27.09±0.16 b	23.02±0.15 b	15.02±0.31 b	17.06±0.29 c
		湾选 1 号 Wanxuan 1	26.54±0.18 c	22.43±0.15 c	15.49±0.24 b	17.23±0.24 c
	荚壳 Pod shells	2000-75	15.66±0.19 a	11.72±0.16 a	25.16±0.27 a	16.52±0.21 a
		冀红 9218 Jihong 9218	15.71±0.20 a	11.86±0.11 a	25.51±0.17 a	16.14±0.26 a
		红宝 1 号 Hongbao 1	12.81±0.16 b	9.51±0.15 b	23.76±0.31 b	13.84±0.29 b
		湾选 1 号 Wanxuan 1	12.79±0.18 b	9.74±0.15 b	23.85±0.24 b	12.79±0.24 b
2009	主茎上部 开花节位叶 Leaves on the main stems at flowering nods	2000-75	13.05±0.19 a	8.34±0.29 a	37.61±0.28 a	22.31±0.35 a
		冀红 9218 Jihong 9218	13.07±0.24 a	7.96±0.16 a	39.10±0.34 a	21.43±0.38 a
		红宝 1 号 Hongbao 1	11.54±0.21 b	7.29±0.26 b	36.92±0.33 b	18.86±0.36 b
		湾选 1 号 Wanxuan 1	11.22±0.18 b	7.11±0.17 b	36.63±0.38 b	17.23±0.34 b
	主茎下部叶 Lower leaves on the main stems	2000-75	7.21±0.24 a	3.76±0.26 a	47.92±0.45 a	9.51±0.21 a
		冀红 9218 Jihong 9218	7.24±0.19 a	3.70±0.18 a	48.90±0.19 a	9.84±0.20 a
		红宝 1 号 Hongbao 1	6.96±0.19 ab	3.62±0.19 a	47.99±0.42 ab	7.00±0.21 b
		湾选 1 号 Wanxuan 1	6.78±0.27 b	3.58±0.24 a	47.20±0.44 b	7.42±0.24 b
	分枝叶 Leaves on the branches	2000-75	14.46±0.19 b	10.28±0.26 c	28.91±0.29 a	17.53±0.27 a
		冀红 9218 Jihong 9218	14.74±0.23 b	10.92±0.24 b	25.92±0.27 b	16.02±0.22 a
		红宝 1 号 Hongbao 1	15.71±0.26 ab	12.37±0.25 a	21.26±0.32 c	14.01±0.29 b
		湾选 1 号 Wanxuan 1	15.65±0.22 a	12.39±0.25 a	20.83±0.34 c	13.67±0.25 b
	茎秆 Stalks	2000-75	27.97±0.29 a	22.61±0.26 a	19.19±0.26 a	22.47±0.27 a
		冀红 9218 Jihong 9218	24.85±0.28 c	20.04±0.19 d	19.36±0.27 a	20.17±0.26 b
		红宝 1 号 Hongbao 1	25.98±0.26 b	21.73±0.25 b	16.36±0.31 b	17.82±0.28 c
		湾选 1 号 Wanxuan 1	24.54±0.28 c	20.62±0.25 c	16.04±0.24 b	16.52±0.24 c
	荚壳 Pod shells	2000-75	14.81±0.19 a	10.99±0.26 a	25.79±0.29 a	16.02±0.23 a
		冀红 9218 Jihong 9218	14.72±0.24 a	11.01±0.21 a	25.20±0.27 a	15.56±0.25 a
		红宝 1 号 Hongbao 1	12.08±0.19 b	8.87±0.11 b	26.57±0.33 b	13.46±0.21 b
		湾选 1 号 Wanxuan 1	12.06±0.28 b	9.11±0.14 b	24.46±0.26 b	12.37±0.24 b

由表 2 可知,随着花后生育进程的推进,小豆植株干物质的积累量由营养器官向生殖器官转移。以 2009 年为例,植株主茎下部叶干物质输出最多,移动率为 47.20%~48.90%,但其转运率最低,对籽粒的贡献率不足 10%。相反,主茎上部开花节位叶干物质的移动率较低,但其转运率高达 17.23%~22.31%,对籽粒的贡献最大。不同品种小豆间各器官干物质的转运存在显著差异,高产品种“2000-75”和“冀红 9218”主茎上部开花节位叶干物质对籽粒的贡献率分别为 22.31%和 21.43%,低产品种“湾选 1 号”和“红宝 1 号”主茎上部开花节位叶对籽粒的贡献率分别为 18.86%和 17.23%。高产品种“2000-75”和“冀红 9218”荚壳对籽粒的贡献率分别为 16.02%和 15.56%,低产品种“湾选 1 号”和“红宝 1 号”分别为 13.46%和 12.37%。

3 讨 论

自从 Mason 和 Maskell 提出作物生产的源库理论以来,作物源库关系就成为作物高产生理研究中的热点问题之一^[14-16]。王四清等^[17]认为,大豆“源、流、库”的关系与其生理特性密切相关,而且严重影响作物产量的高低。周均湖等^[18]认为,小麦开花后的同化产物在籽粒产量中所占的比例,能定量说明开花后“源”的供应能力和同化产物的运输状况。本研究结果表明,随着花后生育进程的推进,小豆籽粒产量的形成由植株干物质积累与分配直接决定,同一时期分配到“库”中的干物质越多,产量就越高。小豆开花初期,叶片、茎秆、荚壳等含有叶绿素可进行光合作用的器官和组织,均是向籽粒提供同化物的“源”。其中叶片是小豆利用光合作用充实籽粒的主要源器官,且以主茎上部开花节位叶片的贡献最大。这与前人在大豆^[19-21]、蚕豆^[22]和长豇豆^[23]等豆类作物上的研究结果基本一致,即叶片光合产物的转运分配,多是同节位叶和荚壳构成源-库单位的局部供应,就近分配同化物。

作物产量高低除受遗传特性和环境影响外,也受源库变化的影响。作物“源、流、库”的关系与其生理特性密切相关,而且严重影响大豆产量的高低^[24]。改变源库比则打破了源库间的平衡,植株在生长发育的动态变化中会通过自身内部代谢调节重新在某一代谢水平上建立起新的平衡。已有研究表明,生殖生长期源强改变对大豆产量的影响远远大于营养生长期源强的变化^[25]。小豆开花结荚期是籽粒产量形成的关键时期,但由于茎、叶与荚壳之

间,主茎叶片与分枝叶片之间存在着激烈的竞争,因此协调好源库关系,促进物质向库器官分配,是提高小豆产量的关键。宋慧等^[26]研究认为,与低产品种“湾选 1 号”和“红宝 1 号”相比,高产品种“2000-75”和“冀红 9218”具有植株代谢较旺盛,叶片衰老缓慢、功能期持续时间长、光效高等生理特性。本研究结果表明,高产品种“2000-75”和“冀红 9218”各器官在花后的干物质积累和转运能力强,开花节位叶片干物质积累多,说明其“源”大;后期干物质向籽粒转运率高,表明植株干物质的分配、转运和库容在小豆籽粒产量积累过程中占主导因素。因此,在小豆生产实践中,应选育库容大的多荚、大粒型品种,协调好源库间的关系,扩源增库,使“源、库、流”畅通,从而增加光合面积,提高光合能力,改善品质,提高产量,最终实现增产增收和高品质的双层目标。

4 结 论

开花结荚期是小豆植株生物产量和籽粒“库”形成的关键时期,主茎上部开花节位叶片是籽粒充实的主要源器官,对籽粒产量的贡献最大。不同品种小豆植株干物质积累和转运存在显著差异,高产小豆品种各器官在花后的干物质积累和转运能力强,尤其是主茎开花节位叶片干物质合成和积累较多,具有较充足的“源”,后期干物质转运量和转运率高。因此,在生产实践中,应抓好花荚期的田间管理,采用外援物质延缓植株衰老,维持源器官特别是主茎上部开花节位叶片较高的光合生产能力,同时采取去除无效分枝等措施,增强源库间的物质运输与分配,这对提高单株结荚数和产量具有重要作用。

[参考文献]

- [1] 林汝法,柴 岩,廖 琴,等.中国小杂粮 [M].北京:中国农业科学技术出版社,2002:192-209.
Lin R F, Chai Y, Liao Q, et al. Minor grain crops in China [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2002:192-209. (in Chinese)
- [2] 汤 亮,朱 艳,孙小芳,等.油菜光合作用与干物质积累的动态模拟模型 [J].作物学报,2007,33(2):189-195.
Tang L, Zhu Y, Sun X F, et al. Dynamic simulation model for photosynthesis and dry matter accumulation in rapeseed [J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(2):189-195. (in Chinese)
- [3] 刘万代,尹 钧,朱高纪.剪叶对不同穗型小麦品种干物质积累及籽粒产量的影响 [J].中国农业科学,2007,40(7):1353-1360.
Liu W D, Yin J, Zhu G J. Effects of leaf removal on dry matter accumulation and grain yield in different spike-type wheat varieties [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(7):1353-1360. (in Chinese)

- [4] 张立桢,曹卫星,张思平. 棉花干物质分配和产量形成的动态模拟 [J]. 中国农业科学, 2004, 37(11): 1621-1627.
Zhang L Z, Cao W X, Zhang S P. Dynamic simulation on dry matter partitioning and yield formation in cotton [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(11): 1621-1627. (in Chinese)
- [5] 刘建丰,袁隆平,邓启云,等. 超高产杂交稻的光合特性研究 [J]. 中国农业科学, 2005, 38(2): 258-264.
Liu J F, Yuan L P, Deng Q Y, et al. A study on characteristics of photosynthesis in super high yielding hybrid rice [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(2): 258-264. (in Chinese)
- [6] 郭 飞,戴俊生,石书兵,等. 不同春小麦品种干物质积累动态变化和产量分析研究 [J]. 新疆农业科学, 2009, 46(5): 1066-1071.
Guo F, Dai J S, Shi S B, et al. Analysis on dynamic change of different spring wheat varieties [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2009, 46(5): 1066-1071. (in Chinese)
- [7] 徐祥玉,张敏敏,翟丙年,等. 不同夏玉米品种生育后期干物质及氮素积累分配的研究 [J]. 西北植物学报, 2006, 26(4): 772-777.
Xu X Y, Zhang M M, Zhai B N, et al. Dry matter and nitrogen accumulation and partition of different summer corn varieties at the later growth stage [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2006, 26(4): 772-777. (in Chinese)
- [8] 马赞花,薛吉全,张仁和,等. 不同高产玉米品种干物质积累转运与产量形成的研究 [J]. 广东农业科学, 2010(3): 36-40.
Ma Y H, Xue J Q, Zhang R H, et al. Relationship between dry matter accumulation and distribution to yield of different maize cultivars [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2010(3): 36-40. (in Chinese)
- [9] 敖和军,王淑红,邹应斌,等. 超级杂交稻干物质生产特点与产量稳定性研究 [J]. 中国农业科学, 2008, 41(7): 1927-1936.
Ao H J, Wang S H, Zou Y B, et al. Study on yield stability and dry matter characteristics of super hybrid rice [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(7): 1927-1936. (in Chinese)
- [10] 胡根海,章建新,唐长青. 北疆春大豆生长动态及干物质积累与分配 [J]. 新疆农业科学, 2002, 39(5): 264-267.
Hu G H, Zhang J X, Tang C Q. Growth changing and dry matter accumulation and distribution in spring soybean bei-jiang [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2002, 39(5): 264-267. (in Chinese)
- [11] 傅金民,张庚灵,苏 芳,等. 大豆籽粒形成期¹⁴C-同化物的分配和源库调节效应的研究 [J]. 作物学报, 1999, 25(2): 169-173.
Fu J M, Zhang G L, Su F, et al. Partitioning of ¹⁴C-assimilates and effects of source-sink manipulation at seed-filling in soybean [J]. Acta Agronomica Sinica, 1999, 25(2): 169-173. (in Chinese)
- [12] 邹原东. 黑豆叶面积指数及干物质积累与产量的关系 [J]. 杂粮作物, 2009, 29(2): 93-94.
Zou Y D. Studies on the relationship between yield and leaf area index and their dry matter accumulation in black soybean [J]. Rain Fed Crops, 2009, 29(2): 93-94. (in Chinese)
- [13] 高小丽,孙健敏,高金锋,等. 不同绿豆品种花后干物质积累与转运特性 [J]. 作物学报, 2009, 35(9): 1715-1721.
Gao X L, Sun J M, Gao J F, et al. Accumulation and transportation characteristics of dry matter after anthesis in different mung bean cultivars [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(9): 1715-1721. (in Chinese)
- [14] Board J E, Wier A T, Boethel D J. Source strength influence on soybean yield formation during early and late reproductive development [J]. Crop Science, 1995, 35: 1104-1110.
- [15] Egli D B, Brvening W P. Source-sink relationships, seed sucrose levels and seed growth rates in soybean [J]. Annals of Botany, 2001, 88: 235-242.
- [16] Lucas E O, Milbourn G M, Whitford P N. The translocation of ¹⁴C-photosynthate from leaves [J]. Ann Appl Biol, 1976, 83: 285-290.
- [17] 王四清,高聚林,刘克礼,等. 大豆源库关系的研究 [J]. 华北农学报, 2005, 20(专辑): 1-4.
Wang S Q, Gao J L, Liu K L, et al. Study on the relation of source and sink of soybean [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2005, 20(Special issue): 1-4. (in Chinese)
- [18] 周均湖,李素真,王秋云,等. 不同类型超级小麦地上部及籽粒干物质积累动态 [J]. 山东农业科学, 2006(4): 13-15.
Zhou J H, Li S Z, Wang Q Y, et al. The dry matter accumulation of plant and grain in different super wheat cultivars [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2006(4): 13-15. (in Chinese)
- [19] Egli D B. Variation in leaf starch and sink limitations during seed filling in soybean [J]. Crop Science, 1998, 39: 1361-1368.
- [20] Egli D B, Yu Z W. Crop growth rate and seeds per unit area in soybean [J]. Crop Science, 1991, 31: 439-442.
- [21] Jiang H F, Egli D B. Shade induced changes in flower and pod number and flower and fruit abscission in soybean [J]. Agronomy Journal, 1993, 85: 221-225.
- [22] 夏明忠. 蚕豆茎秆和荚果对籽粒产量的贡献 [J]. 植物生理学通讯, 1993(1): 12-17.
Xia M Z. Contribution of stems and pods of faba bean to grain yield [J]. Plant Physiol Commun, 1993(1): 12-17. (in Chinese)
- [23] 刘厚诚,关佩聪,陈日远. 长豇豆叶片¹⁴C 光合产物运转与分配的研究 [J]. 核农学报, 1996, 10(1): 30-34.
Liu H C, Guan P C, Chen R Y. Translocation and distribution of ¹⁴C-photosynthate in asparagus bean (*Vigna unguiculata* W. ssp. sesquipedals (L.) Verd) [J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 1996, 10(1): 30-34. (in Chinese)
- [24] 王永锋,郝聪慧. 大豆不同生育期去荚对其生长发育及产量的影响 [J]. 安徽农业科学, 2003, 3(3): 440-442.
Wang Y F, Hao C H. De-leaf effect on growth and yield of soybean [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2003, 3(3): 440-442. (in Chinese)
- [25] Bennett A B, Sweger B L, Spanswick R M. Sink to source translocation in soybean [J]. Plant Physiology, 1984, 74: 434-436.
- [26] 宋 慧,冯佰利,高小丽,等. 不同小豆品种(系)叶片衰老与活性氧代谢研究 [J]. 作物学报, 2010, 36(2): 347-353.
Song H, Feng B L, Gao X L, et al. Leaf senescence and reactive oxygen metabolism in different adzuki bean cultivars (lines) [J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(2): 347-353. (in Chinese)