

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*

许为钢¹ 胡琳¹ 吴兆苏² 盖钧镒²

(¹河南省农业科学院小麦研究所, 河南郑州, 450002; ²南京农业大学农学系, 江苏南京, 210095)

摘要 对陕西关中小麦品种同化物积累分配特性及源库构成的遗传改良进行了分析。结果表明, 在关中小麦品种更换中生物学产量的提高主要是开花前生物学产量的显著提高, 品种演变中开花前积累的干物质在开花后的输出率显著增加, 这对籽粒产量的提高有十分重要的作用。源库构成的分析表明, 关中小麦品种在源库性状上存在着较大的遗传差异, 且主要表现为源性状上的差异, 在品种更换中品种逐渐由库限制向源限制转化, 该地区目前育成的大穗品种花前源小是其在物质积累特性上的主要不足之处。

关键词 小麦; 遗传改良; 同化物积累与分配; 源库构成; 关中地区

Genetic Improvement of Accumulation and Distribution of Assimilates and Source Sink Constitution of Wheat Cultivars in Mid-Shaanxi Area

Xu Weigang¹ Hu Lin¹ Wu Zhaosu² Gai Junyi²

(¹Wheat Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, 450002; ² Agronomy Department Nanjing Agricultural University, Nanjing, 210095)

Abstract The genetic improvement of assimilate accumulation and distribution and source-sink constitution was analyzed in wheat varieties grown in Mid-Shaanxi area. The results showed that the increase of biomass was mainly due to the biomass before anthesis in variety substitution. The output rate of dry matter accumulated before anthesis was markedly increased as the variety renewed, which has important effect on increase of grain yield. The analysis of source-sink constitution suggested that there were larger genetic differences in source and sink characteristics, specifically source characteristics, among wheat varieties. The varieties were changed gradually from sink limiting to source limiting in the past years. In this area, the disadvantage of new bigger spike lines was mainly with smaller source before anthesis.

Key words Wheat; Genetic improvement; Assimilate accumulation and distribution; Source-sink constitution; Mid-Shaanxi area.

小麦品种的同化物积累分配特性与源库构成决定着品种的籽粒产量, 在许多地区对此已有大量研究^[1~9], 这为品种产量水平的进一步提高提供了指导依据。本文分析了陕西关中地区小麦品种同化物积累特性与源库构成的遗传改良状况。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试小麦品种为陕西关中地区 60 年来历次品种更换中的主要栽培品种、80 年代后期至

* 南京农业大学博士生经费资助。
收稿日期: 1999-01-09

90 年代关中地区曾种植过的矮秆品种、90 年代关中地区育成的大穗品系及相邻麦区矮秆品种, 共计 23 个, 名称见表 1。

表 1 不同时期的生物学产量与花前干物质输出率

Table 1 The biomass in various period and the output rate of dry matter before anthesis

品种(品系) Variety (Line)	年代 Years	生物学产量(kg/hm ²) Biomass			花前干物质 输出率(%) Output rate of DMBA	干物质占粒重百分率 % of DM in grain		籽粒产量 yield (kg/hm ²)
		开花前	开花后	成熟期		开花前	开花后	
		B. A.	A. A.	Maturity		B. A.	A. A.	
蚂蚱麦 Mazhamai	(1) 地方品种	10763	2232	12995	12.0	36.7	63.3	3527
碧蚂 1 号 Bima 1	(1) 50 s	10962	2619	13581	13.4	36.0	64.0	4089
丰产 3 号 Fengchan 3	(1) 60 s	11252	2975	14226	17.6	40.0	60.0	4955
矮丰 3 号 Aifeng 3	(1) 70 s	10922	3002	13923	19.2	41.2	58.8	5102
小偃 6 号 Xiaoyan 6	(1) 80 s	12023	2918	14490	19.7	44.8	55.2	5282
陕 229 Shaan 229	(1) 90 s	12141	2924	15065	27.8	53.6	46.4	6291
西农 881 Xinong 881	(1) 90 s	13562	3102	16664	27.4	54.5	45.5	6812
西农 1376 Xinong 1376	(1) 90 s	13640	2151	15791	37.6	70.5	29.5	7329
陕 160 Shaan 160	(1) 90 s	13397	3068	16464	29.8	56.6	43.4	7062
NC332 (L)	(2) 90 s	11990	2831	14820	26.6	53.0	47.0	6017
93F4301 (L)	(2) 90 s	11712	3057	14769	30.9	54.2	45.8	6675
陕 167 Shaan 167 (L)	(2) 90 s	15222	3027	18249	30.7	60.7	39.3	7695
84(加)79 84(add)79 (L)	(2) 90 s	11871	3045	14166	28.1	52.3	47.7	6384
分 33 Fen 33 (L)	(2) 90 s	10340	2741	13080	24.9	58.4	51.6	5313
陕 7859 Shaan 7859	(3) 80 s	11319	3051	14370	25.8	48.4	51.1	5912
小偃 107 Xiaoyan 107	(3) 80 s	12711	3272	15983	21.8	48.9	54.1	6042
豫麦 29 Yumai 29	(3) 90 s	12844	2418	15258	33.2	45.9	36.2	6602
西农 88 Xinong 88	(3) 90 s	12110	2520	14630	30.2	63.8	40.8	6177
小偃 502 Xiaoyan 502	(3) 90 s	14106	2784	17040	27.4	59.2	40.9	6398
西农 904 Xinong 904 (L)	(3) 90 s	12977	2862	15839	31.2	59.1	41.4	6915
豫麦 13 Yumai 13	(4) 90 s	13100	3264	16364	28.9	53.7	46.3	7056
鲁麦 15 Lumai 15	(4) 90 s	14057	2859	16916	28.6	58.4	41.6	6882
绵阳 19 Mianyang 19	(4) 90 s	10802	3672	14474	22.8	40.2	59.2	6137

注: (1) 品种更换中的代表品种; (2) 大穗品系; (3) 曾种植过的矮秆品种; (4) 相邻麦区品种。

Note: (1) Representative varieties; (2) Bigger spike lines; (3) Dwarf varieties; (4) Varieties grown in neighbour area.

1.2 田间试验

1994~1996 年两个年度的田间试验在西北农业大学实验农场进行, 1994 年和 1995 年均于 10 月 3 日播种, 随机区组设计, 小区面积 6.67 m², 行长 3.33 m, 行距 0.25 m, 8 行区, 播量 210 粒/m², 出苗后定苗为 150 苗/m², 6 个重复, 其中 3 个重复作为样品取样区, 3 个重复作为产量测定区。试验期间适时用药剂防病防虫, 并在抽穗后对蚂蚱麦、碧蚂 1 号、丰产 3 号和矮丰 3 号等高秆及易倒伏材料搭架防倒, 以避免倒伏对材料同化物积累分配特性的影响。

1.3 测定方法

在取样区中于开花期和成熟期每小区取样 0.5 m² 的麦株测定生物学产量, 并从中抽取 20 株测定叶、鞘、茎和籽粒的干物重, 开花前干物质输出率(%)=[(开花期干物重-成熟期非籽粒部分干物重)/开花期干物重]×100。对矮丰 3 号等 8 个矮秆品种自 3 月 1 日至成熟定期间隔(7~10 天)取样测定植株干物重, 样品数量为每品种每小区每次取样 10 株, 以各次测定的植株干物质积累量(Y)与生育天数(T)进行方程 $Y=a+bT+cT^2+dT^3$ 的拟合, 求解有关时

期的同化物积累速率、最大同化物积累速率、最大同化物积累量。

在取样区中于开花期每小区分别选定两个长1 m的3行区域作为处理区,一个处理区去掉所有叶片,另一个处理区去掉麦穗的1/2数量的小穗。成熟时分别收取处理区中间一行中部的10个单株,测定千粒重,进而计算去叶千粒重下降率,去小穗千粒重上升率。源库指数 $= [(|去叶千粒重下降率| + |去小穗千粒重上升率|) / 2] / 100$,其取值范围为0~1,意义为从源和库两个方面来综合评价源库平衡关系。

在测产区中,收获时除去小区两端行端各0.33 m及小区边行,然后收获脱粒计产。

因子分析为主成分最大离差法,聚类分析为欧氏距离差异平方和法。

2 结果与分析

2.1 同化物积累与分配特性的遗传改良

2.1.1 开花前与开花后物质积累特性的遗传改良 各供试品种开花前和开花后同化物积累特性见表1。开花前(B. A.)生物学产量在关中小麦遗传改良过程中呈明显的增加趋势,90年代的代表品种均大于以往历次品种更换的代表品种,其平均达到13185 kg/hm²,比地方品种蚂蚱麦提高了17.6%。大穗品系陕167最高,达到15222 kg/hm²。开花后(A. A.)生物学产量在70年代以前的品种更换中呈增加趋势,随后无明显规律性变化。成熟期生物学产量随品种更换明显增加,90年代的4个品种平均达到15996 kg/hm²,比地方品种蚂蚱麦提高了23.1%。关中地区小麦品种改良过程中生物学产量的显著提高对籽粒产量提高有重要作用,90年代代表品种的籽粒产量比地方品种蚂蚱麦提高了94.5%,达到了6874 kg/hm²。

花前干物质(DMBA)输出率随品种演变明显增加,地方品种蚂蚱麦仅为12.0%,而90年代的代表品种可达30%左右,其中西农1376高达37.6%。

假设开花后积累的同化物全部转运至籽粒,不足部分由开花前积累的同化物补足,开花前和开花后所积累干物质占籽粒干重的百分率列于表1。从中可以看到开花前干物质在籽粒中的百分率由地方品种蚂蚱麦的36.7%增加到目前推广品种的55%左右,而开花后积累的干物质在籽粒中的百分率明显下降。绵阳19为我国西南麦区的推广品种,其生物学产量的积累情况不同于关中地区,表现出开花前积累少,开花后积累多的特点。而豫麦13和鲁麦15因所处地区与关中地区生态条件相近,所以花前干物质输出率和占籽粒重量的百分率均与关中小麦品种相似。

2.1.2 开花前与开花后物质积累相对重要性的分析 对籽粒产量的通径分析表明(表2),直接效应为花前干物质输出率>花前干物质积累量(DMBA)>花后干物质积累量(DMAA)。花前干物质积累量虽然直接效应不大,但与花前干物质输出率显著相关,经其对籽粒产量具有一定的间接效应,所以对籽粒产量总效应较大(0.7976),而花后干物质积累量对籽粒产量的作用主要是直接效应。从上述分析结果可知,关中地区小麦品种开花前和开花后干物质积累量对籽粒产量均有正向作用,但以开花前干物质积累量的作用较大,同时开花前干物质在开花后的运转能力对籽粒产量也具有十分重要的作用。

2.1.3 开花期和成熟期同化物在叶、鞘、茎中的分配 图1为关中小麦品种更替中叶、鞘、茎在开花期和成熟期的干物重。图2为品种更替中叶、鞘、茎的干物重在开花期和成熟期时占总生物量的百分率。开花期叶片干物重有所增加,说明叶量在品种演变中得到增加;叶鞘干物重和干物质分配百分率在品种演变中差异不明显。但在成熟期叶鞘干物重和干物质

表 2 开花前后干物质积累量、花前干物质输出率对籽粒产量的通径分析

Table 2 Path analysis of DMBA, DMAA and output rate of DMBA to grain yield

途径 Path	直接作用 b_1 Linear effect	通过其它因素对产量的间接作用 Indirect effect by other factor	总效应 Total effect	
开花前积累量 DMBA	0.3615**	开花后积累量 DMAA 花前干物质输出率 Output rate DMBA	-0.0056 0.4417	0.7976
开花后积累量 DMAA	0.2962**	开花前积累量 DMBA 花前干物质输出率 Output rate DMBA	-0.0069 -0.0454	0.2439
花前干物质输出率 Output rate DMBA	0.7007**	开花前积累量 DMBA 开花后积累量 DMAA	0.2279 -0.0192	0.9094

** : 表示达到1%显著水平; * * : Significant at the 0.01 level of probability

分配百分率在品种更替中表现出明显的下降趋势, 这说明随着品种更替小麦品种从鞘中转运出同化物的数量增加。茎的变化较大, 在开花期地方品种—60年代的高秆品种茎干物重较大, 早期矮秆品种(70年代的矮丰3号)由于茎节缩短, 茎干物重减小。然而80~90年代的矮秆栽培品种虽然开花期茎干物质分配百分率低于地方品种—60年代的高秆品种, 但茎干物重却与其相当, 平均为5567 kg/hm², 占总干物重的42.3%。在成熟期茎干物重和茎干物质分配百分率随着品种的改良呈明显的下降趋势, 地方品种蚂蚱麦分别为4610 kg/hm²和35.5%, 而90年代的代表品种分别下降到3533 kg/hm²和22.1%, 茎的干物重与茎干物

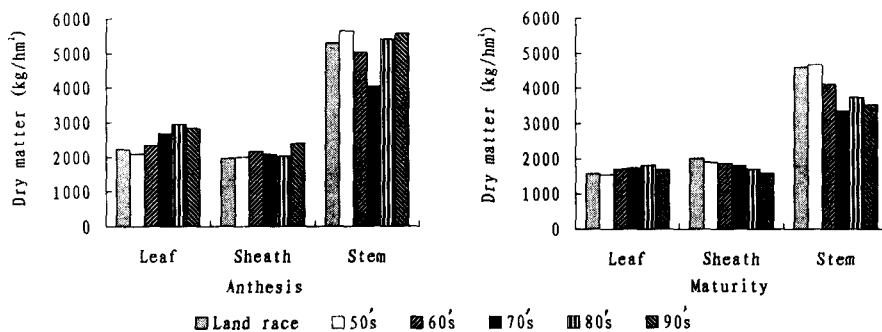


图 1 品种更换中叶、鞘、茎在开花期和成熟期的干物重

Fig. 1 Dry matter weight of leaf, sheath, stem in variety substitution

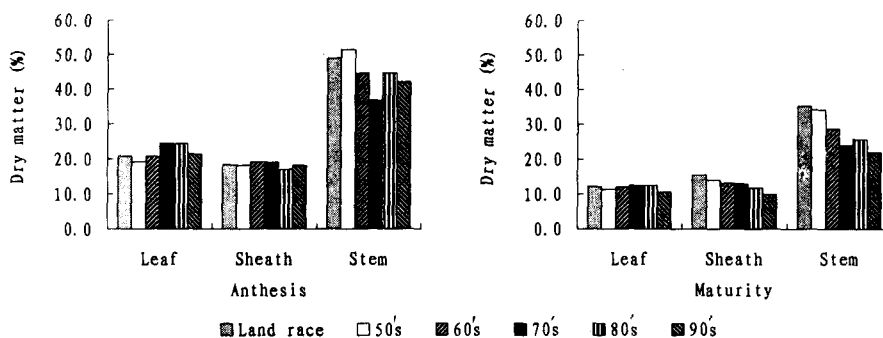


图 2 品种更替中干物质在叶、鞘、茎中的分配百分率

Fig. 2 Dry matter percentage of leaf, sheath, stem in variety substitution

质分配百分率的变化表明在同化物的贮藏中茎作为同化物的中转库在品种演变中的作用增强。

2.1.4 矮秆品种同化物积累速率的遗传差异 首先计算了最大同化物积累量(W)与达到最大同化物积累量所需的时间(T)、最大同化物积累速率(R)之间的相关系数, 结果为 $\gamma_{WT} = -0.6083$ 、 $\gamma_{WR} = 0.9639^{**}$, 由此可见同化物积累量的多少主要由同化物积累速率所决定, 而与积累持续期的长短关系不密切。由表3可发现近期矮秆品种开花前的同化物积累速率显著高于早期的矮秆品种, 而在开花后的灌浆期间新老矮秆品种差异不大, 即近期矮秆品种前期生长优势明显。如西农1367和陕160在开花前30天和15天同化物积累速率可达到1.65 g/天·10株和2.01 g/天·10株以上, 而矮丰3号仅为1.26 g/天·10株和1.48 g/天·10株, 前者比后者分别高出28.9%和36.7%。

表3 开花期前后同化物的积累速率

Table 3 The accumulating rate of assimilates before and after anthesis (g/day · 10 plants)

距开花期的天数 Days from anthesis	矮丰3号 Aifeng 3	小偃6号 Xiaoyan 6	小偃107 Xiaoyan 107	陕229 Shaan 229	豫麦29号 Yumai 29	西农1376 Xinong 1376	陕160 Shaan 160	陕167 Shaan 167
-30	1.2626	1.4131	1.4634	1.4450	1.4698	1.6587	1.6875	1.2736
-15	1.4773	1.6772	1.7558	1.6976	1.7601	2.0200	2.0192	2.1787
0	1.3284	1.4981	1.6001	1.5131	1.5459	1.7298	1.7476	1.9841
10	1.0270	1.1325	1.2473	1.1473	1.1228	1.1743	1.2314	1.4932
20	0.5640	0.5699	0.6953	0.5872	0.4755	0.3293	0.4471	0.7136

2.2 源库构成的遗传改良

2.2.1 关中小麦品种源库构成的遗传变异 对23个品种的9个源库特性进行主因子分析(表4), 其前6维因子累计变异率达到了99.5%, 分析如下:

表4 源库特性的因子分析

Table 4 The factor analysis of source and sink

因子 Factor	千粒重增减率 Increase rate of 1000 grain wt.		源库指数 Index of source and sink	花前干物质 DMBA		花后干物质积累量 DMAA accumulation
	去叶 Removed leaves	去小穗 Removed spikelets		输出率 Output rate	积累量 Accumulation	
	1	-0.1693		0.1667	0.2198	
2	-0.9486	0.0464	0.6448	0.3434	0.1718	-0.0738
3	-0.0433	0.9292	0.6344	0.4208	0.1469	0.0524
4	-0.2147	0.2421	0.2972	0.7562	0.1797	0.0659
5	-0.0933	0.0764	-0.0097	0.0430	-0.0641	0.9868
6	-0.1220	0.2051	0.2123	0.1584	0.1698	0.0725

因子 Factor	总干物质积累量 Total DM	穗粒重 Wt. spike grain	收获指数 Harvest index	特征值 Eigenvalue	变异(%) Variance	累计变异(%) Accumulation of var.
1	0.9097	0.3489	0.2959	5.2066	57.9	57.9
2	0.1384	0.3866	0.1891	1.2895	14.3	72.2
3	0.1549	0.3203	0.2707	0.9924	11.0	83.2
4	0.1889	0.6716	0.1983	0.6959	7.7	90.9
5	0.2464	0.1873	0.1002	0.4724	5.2	96.2
6	0.1815	0.3211	0.8685	0.2984	3.3	99.5

第1因子主要反映的是花前干物质积累量、花后干物质积累量和总干物质积累量, 对变

异的贡献率达到 57.9%，这表明关中小麦品种在以干物质积累量来反映的绝对源大小上存在着很大的遗传变异，第一因子可称为绝对源因子；

第 2 因子主要反映的是去叶效应和源库指数。去叶千粒重的下降率表现了品种对源的相对要求，千粒重下降多、表明品种对源要求多。而源库指数大，则为相对源小库大，反之则相对源大库小，故第 2 因子为相对源因子，其对变异的贡献率为 14.3%；

第 3 因子主要反映的是去小穗效应和源库指数。去小穗千粒重上升率的大小表现了品种库的潜力，因而第 3 因子可称为相对库因子，其对变异的贡献率为 11.1%；

第 4 因子主要为花前干物质输出率和穗粒重，反映了品种物质运转能力，可称为运转因子；

第 5、6 因子分别反映的是花后干物质积累量和收获指数。

在上述结果中，第一、第二、第三主因子的累计变异载荷量达到 83.2%，表明关中地区小麦品种在源库构成上存在的遗传差异主要表现为绝对源、相对源及相对库的大小上，特别是在源性状上品种间存在着较大的遗传差异。

2.2.2 源库构成的品种分类及类型特征
按各品种在前 6 维因子上的载荷量、设聚类临界值为 8.0，可将供试品种分为 8 类(图 3)，各类品种的平均值列于表 5。

由图 3 和表 5 可发现供试的 23 个品种以 80 年代为界分为两大群，第一群(第 1 类)包括了 80 年代及其以前育成的 5 个品种，其特点是绝对源小(干物质积累量少)，绝对库小(去小穗效应小)，而相对源较大库较小(去叶效应小，源库指数小)，花前输出率、穗粒重和收获指数均小，库是产量限制的主要因素。而另一群(第 2~8 类)则是绝对源较大，但相对源较小，库状况各类有所差异。总的来看，关中小麦虽然在品种遗传改良过程中源得到加强，但在 80 年代源库构成仍发生了较大的变化，由库限制转化为源成为主要限制因素。

第 2、3、5 类为近十年来的推广品种，其除表现为绝对源较大，相对源较小之外，绝对库和相对库均为 5 类 > 3 类 > 2 类，即第 5 类为相对源小库大类，而第 2 类为相对源小库小类，第 3 类倾第 5 类。这些表现说明目前推广品种均受到源的限制，而受库的限制程度在品种间存在着一定的差异。

第 4 类即陕 167 为绝对源很大，相对源较大，而且库容潜力大，花前干物质输出率高，

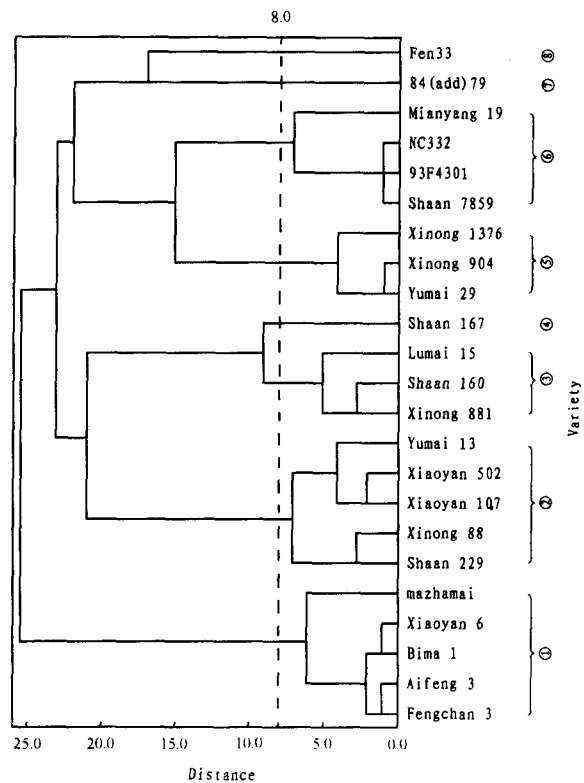


图 3 关中小麦品种源库聚类图

Fig. 3 Wheat variety clustering of source and sink in Mid-Shaanxi area

源、流、库比较协调,这也是其籽粒产量较高的源库构成基础。

表 5 陕西关中小麦品种的源库特性

Table 5 The source and sink characteristics of wheat cultivars in Mid-Shaanxi area

类型 Type	千粒重增减率 Increase rate of 1000 grain wt.		源库指数 Index of source and sink	花前干物质 DMBA		花后干物质 积累量 DMAA accumulation (g/20 plant)	总干物质 积累量 Total of DM (g/20 plant)	穗粒重 Grain weight per spike (g)	收获 指数 Harvest index
	去叶 Removed leaves (%)	去小穗 Removed spikelets (%)		输出率 Output rate (%)	积累量 Accumulation (g/20 plant)				
	1	-9.0		9.5	0.092				
2	-22.6	7.5	0.151	24.3	181.2	42.1	223.3	1.099	0.410
3	-32.8	15.0	0.239	24.7	196.7	42.5	239.2	1.123	0.418
4	-15.4	26.1	0.208	27.4	217.3	43.2	260.4	1.500	0.422
5	-27.1	28.6	0.278	31.6	188.6	35.5	224.1	1.132	0.445
6	-20.3	21.3	0.208	27.7	170.7	43.6	214.3	1.102	0.425
7	-21.2	24.8	0.230	22.3	170.0	43.6	213.6	1.910	0.427
8	-41.8	14.1	0.280	23.0	159.6	42.3	201.9	1.005	0.406

第 6~8 类品种的共性为绝对源较小,相对源也较小,特别是第 8 类分 33 的绝对源和相对源均小,而相对库容潜力的表现因品种而异。总的来看这三类大穗或偏大穗品种源是主要限制因子,开花前干物质积累量较小是最主要的不足之处,这应引起有关超高产育种的高度注意,大穗品种所具有的大叶不等于群体光合源充足,要特别注意源库构成的协调改良。

2.2.3 源库特性的相对重要性分析 设表 5 所列 9 个源库特性分别为 $X_1 \sim X_9$, 以 23 个供试品种在这 9 个源库特性上的表现对籽粒产量进行逐步最优回归,得回归方程:

$$Y = -3721.2180 + 3676.2245X_3 + 9.3847X_5 + 31.6305X_7 + 524.5876X_8$$

$$(R = 0.9557 \quad F > F_{0.01})$$

式中: Y = 籽粒产量 (kg/hm^2); X_3 = 源库综合指数; X_5 = 花前干物质积累量 ($\text{g}/20$ 株); X_7 = 总干物质积累量 ($\text{g}/20$ 株); X_8 = 穗粒重 ($\text{g}/\text{穗}$)。

回归结果表明进一步提高关中小麦的籽粒产量应在增大相对库(源库指数增大)的同时,增加绝对源,尤其是增加花前绝对源是关键。穗粒重在一定程度上反映了库的大小,但又是一个综合因子的复合物,其与穗部发育、物质供给源势,物质转运能力、库潜大小等多方面有关,穗粒重进入方程表明,在增源的同时,还要进行其它方面的改良。

3 讨论

一般认为小麦籽粒产量大部分来源于开花后所制造的同化产物,因此在小麦品种产量改良中人们比较注重开花后小麦同化物积累特性的改进。然而,即使在适宜的环境条件下,开花后所积累的同化物也并非一旦形成就直接转移至籽粒之中^[10]。本研究表明,在关中地区的品种更换中,开花前生物量的提高对总生物学产量的遗传改良发挥了重要作用,而且开花前贮藏于茎中的同化物转运至籽粒中的数量也不断增大。其中花前干物质的输出率由地方品种蚂蚱麦的 12% 上升到目前推广品种的 30% 左右,小麦新品种西农 1376 甚至达到 37.6% 之多。在关中地区,春季是小麦最适宜的生长时期,开花后生长环境日趋劣化,所以通过遗传改良,使品种的生长节奏充分利用开花前春季自然资源也就成为了“扬长避短”提高生物学产

量及籽粒产量的有效方式之一。已有的相关研究还表明, 小麦品种在开花前贮藏物质的转运能力上存在着显著的遗传差异^[11], 因此花前贮藏物质转运能力上的遗传改良也应引起小麦育种工作者的重视。

关中小麦品种的源库结构存在较大的遗传差异, 且主要表现在源性状上。目前推广品种的绝对源大, 相对源小, 加强源性状的改良是进一步提高籽粒产量的关键所在。就库性状来讲, 当前推广品种在库容大小上存在着一定的差异, 应注意在增源的基础上扩大库容。近年关中地区育成的大穗品系虽然单叶面积较大, 但群体源小, 特别是花前群体源小是其主要不足之处, 这与株型结构有关^[12], 应在有关育种计划中应加强研究, 以实现品种源库性状的协调改进。

参 考 文 献

- 1 Fisher R A. *Crop Sci*, 1975, 15: 607~613
- 2 Austin R B, J Bingham, R D Blackwell et al. *J Agric Sci*, 1980, 94: 675~689
- 3 吴兆苏, 魏夔中. *中国农业科学*, 1984, 17(3): 14~22
- 4 钱曼懋, 孙洪伟, 宋春华等. *作物品种资源*, 1989, (1): 3~5
- 5 Aggarwal P K, R A Fischer, S P Liboon. *J Agric Sci*, 1990, 114: 93~99
- 6 刘志增, 卢少源, 李宗智. *河北农业大学学报*, 1991, 14(3): 1~4
- 7 田笑明. *作物学报*, 1991, 17(4): 297~307
- 8 Slafer G A, R Savin. *Field Crop Res*, 1994, 37: 39~49
- 9 郭文善, 封超年, 严六零等. *作物学报*, 1995, 21(3): 335~340
- 10 Austin R B, J A Edrich, M A Ford et al. *Annals of Botany*, 1977, 41: 1309~1321
- 11 许为钢, 胡琳, 吕金印等. *核农学报*, 1998, 12(1): 7~11
- 12 许为钢, 胡琳, 严文献等. *西北农业大学学报*, 1996, 24(6): 20~24