

# 柴达木盆地春小麦籽粒灌浆的研究\*

郁海 程大志 马晓明

(中国科学院西北高原生物研究所)

小麦的产量由亩穗数、穗粒数和粒重3因素构成,其中亩穗数对产量的影响最大。但在穗数达到一定范围之后,发挥个体的增产潜力,特别是提高粒重,是进一步提高单产的关键。因此,研究春小麦的籽粒灌浆规律及增加粒重的途径具有重要的意义。

对小麦籽粒灌浆的研究,在国内外小麦研究中日益引起重视。黄庆榴等(1962)指出灌浆持续期的长短和灌浆速率是影响籽粒重量的决定因素,翟允禔等(1980)将小麦籽粒的发育过程分为种子形成、灌浆和成熟3个时期;张晓龙(1982)提出用“充实指数”的概念反映不同品种在籽粒灌浆期间同化物向籽粒转运和贮积的特性;Wattal(1965)研究了温度对小麦籽粒发育的影响。笔者力求在前人研究的基础上,探索在海拔2900米左右的柴达木盆地丰产春小麦籽粒灌浆的一般规律,分析高原春小麦的灌浆特点和影响粒重的主要栽培因子,为高产栽培提供参考。

## 一、材料与方 法

1982年试验在柴达木盆地南线的香日德农场进行,试验田单产分别为850公斤和650公斤。参试品种为高原338和阿勃。开花时挂牌标记同一时间开花的穗作样本。开花后第3天开始取样,以后每5天取样1次,直至成熟。每次取10穗带回室内,夹出籽粒,从中数出100粒,量其长、宽、厚,并用排水法测定体积;其它籽粒经计数后,称鲜重,然后在80℃电热箱内烘至衡重。按灌浆的不同阶段,分4次用测过籽粒灌浆的植株样本,测定绿叶面积及干重;穗下节间面积和干重。

1985年试验在柴达木盆地北线的赛什克农场进行,试验田单产为400—500公斤。参试品种有阿勃、高原506、墨他、青衣524、绿叶熟。取样时间同前。每次取6穗,从3穗中夹出籽粒,计数后测定鲜重和干重;另3穗测定穗的鲜重和干重;并测定所有样本的旗叶、倒二叶及穗下节间的干重。

## 二、结果和讨论

### (一) 籽粒形成和灌浆成熟过程

1. 籽粒发育过程中鲜重及含水量的变化: 籽粒鲜重的增长过程可由正交三次多项式描述,即  $y = a + bx + cx^2 + dx^3$  (图1), 式中  $y$  代表鲜重,  $x$  代表开花后天数。例如大

\* 本文承蒙陈集贤研究员指正;张爱英、部和臣、陈华同志参加部分工作,在此一并致谢。

本文1988年5月26日收到。

粒品种高原 338 的籽粒鲜重增长方程为  $\hat{y} = 1.0533 + 1.5866x + 0.0519x^2 - 0.0008265x^3$  ( $N = 19, F = 2640.0$ ); 中粒品种阿勃的为  $\hat{y} = -3.0881 + 1.5925x + 0.02498x^2 - 0.0005098x^3$  ( $N = 17, F = 609.17$ )。品种间虽在增长量上有所差异,但其变化趋势却是一致的。受精后子房逐渐膨大时,籽粒鲜重开始迅速增加,在开花后第 20 天即达最高鲜重的 43.5%,其中主要是含水量的增加,而干物质积累较少。方程中一次项的系数为正值就反映了籽粒鲜重初期增长快的性质。花后 20—45 天籽粒鲜重近乎直线的增长,主要是干物质在籽粒中的积累,而含水量增长逐趋缓慢,到花后第 42 天含水量达最高。开花后 45 天籽粒鲜重增长逐渐平缓,到 52 天左右达最高,同期籽粒的含水量平稳下降。到腊熟时,籽粒鲜重和含水量都迅速下降。

在籽粒生长的整个过程中,其含水量呈抛物线变化,即  $y = a + bx + cx^2$  ( $y$  表示含水量,  $x$  表示开花后天数)而籽粒含水率随籽粒生长时间的增长,呈直线下降,相关系数  $r = -0.9825(N = 19)$ 。但到成熟期含水率仍在 30% 左右的较高水平。

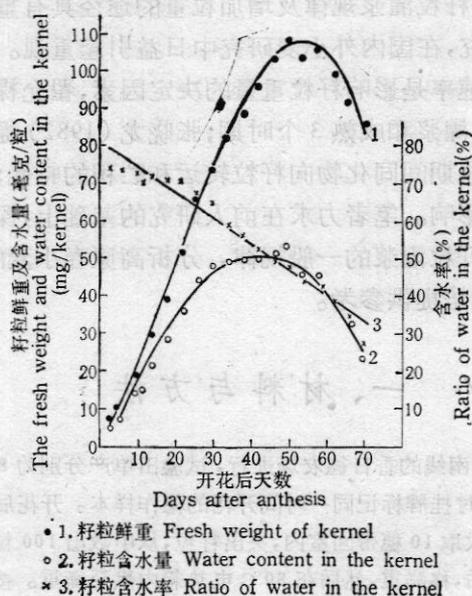


图 1 灌浆期籽粒鲜重及水分变化曲线

Fig. 1 The change curve of the fresh weight and water in the kernel during the filling duration

1. $\hat{y} = 1.0533 + 1.5866x + 0.0519x^2 - 0.000827x^3$	F = 2640**
2. $\hat{y} = -8.8046 + 2.8237x^2 - 0.03325x^2$	F = 312.3**
3. $\hat{y} = 81.6123 - 0.6904x$	r = -0.9823**

\*\*：在 0.01 概率水平上显著，下同。

\*\*：Significance at 1% level of probability.

2. 籽粒体积的增长动态：试验结果表明,无论大粒品种还是中小粒品种,其籽粒体积增长的动态是一致的,符合二次曲线(图 2),回归系数都达到了极显著水平。籽粒体积增长在开花后 50 天左右达到最高峰,而以开花后 10—30 天增长最快,而后稍有减慢,花后 40—50 天增长较小,50 天后体积转为下降。不同品种开花后 10 天的籽粒体积占最大体积的 26.9—28.3% 和成熟期体积的 27.9—34.2%。开花后 30 天占最大体积的 80.0—81.3%

和成熟期体积的 82.8—98.2%。籽粒最大体积占成熟期体积的 103.5—120.7%。由此表示了籽粒的充实度, 中小粒品种的比率较低, 大粒品种的较高, 表明大粒种子的饱满度相对较差。籽粒体积的大小反应了其库容量, 它与千粒重有关, 成熟期体积与千粒重的相关系数  $r = 0.9742 (N = 12)$ 。说明小麦籽粒的库容能力明显影响粒重。

籽粒的长、宽、厚变化过程也符合二次抛物线, 其回归系数都达到了极显著水平。其中籽粒长度变化最大, 变化速率与体积的变化近似, 在花后 43—47 天籽粒达到最长, 而后下降。籽粒宽和厚的变化比较平缓, 在花后 53—55 天达到最大宽度和厚度。

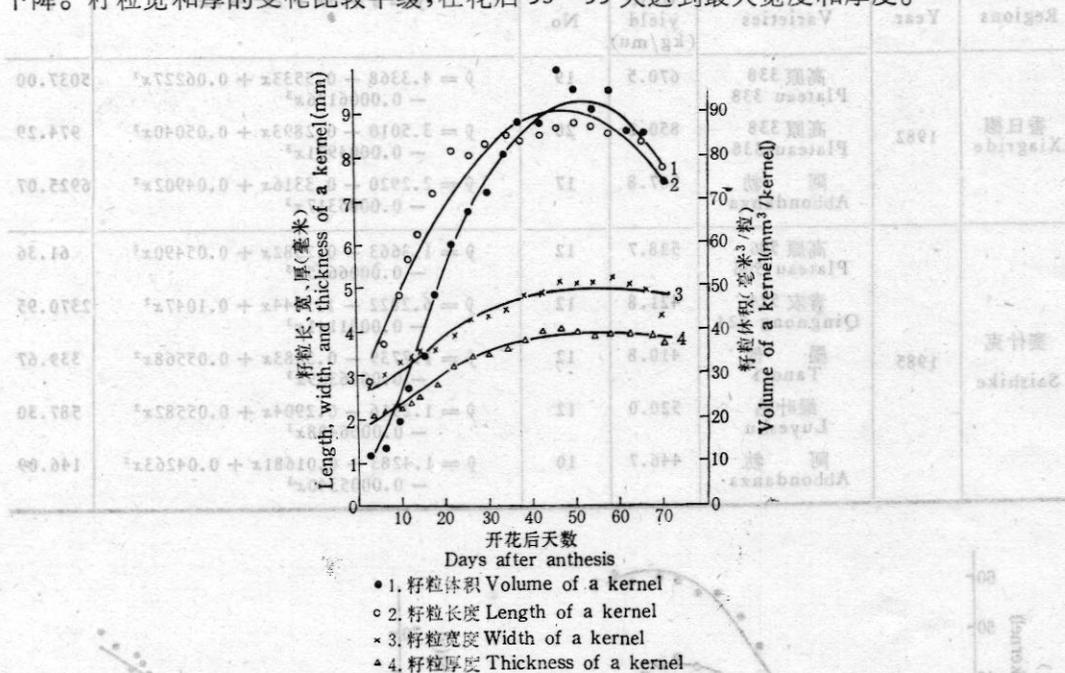


图2 灌浆期籽粒体积及长、宽、厚变化曲线

Fig. 2 The change curve of volume, length, width, and thickness in the kernel during the filling duration

1.  $\hat{y} = -10.769 + 4.093x - 0.04068x^2 \quad F = 321.4^{**}$
2.  $\hat{y} = 2.5965 + 0.2735x - 0.002913x^2 \quad F = 161.01^{**}$
3.  $\hat{y} = 2.3236 + 0.09913x - 0.000918x^2 \quad F = 174.5^{**}$
4.  $\hat{y} = 1.6160 + 0.08565x - 0.0007742x^2 \quad F = 357.5^{**}$

3. 籽粒干重的增长动态: 试验表明, 小麦籽粒增重动态呈“S”型曲线, 符合方程  $y = a + bx + cx^2 + dx^3$  (表 1、图 3), 式中  $y$  代表籽粒干重,  $x$  代表开花后天数。对此方程求导可得出达到最大粒重的日期, 再将此日期代入原方程可求出最大粒重。对各籽粒生长方程求导所得结果为, 达到最大粒重的日期是开花后 53—64 天。品种间差异较大, 同一品种不同单产水平间也存在差异。籽粒生长方程真实地反应了籽粒增长动态, 即开花至花后 20 天的籽粒生长前期粒重增加较慢, 占最高粒重的 21.3—24.8%; 花后 20—50 天增长迅速, 占最高粒重的 67—70%; 花后 50 天增重速度减慢, 渐达到最高粒重, 尔后稍有下降。

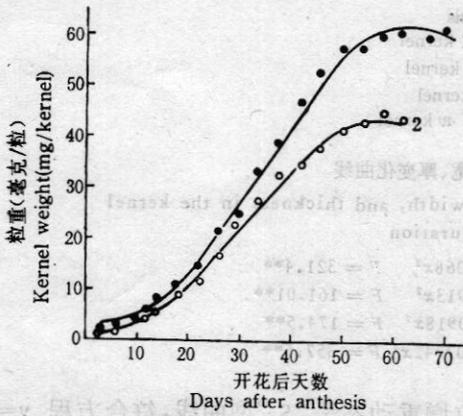
籽粒生长曲线还反应了灌浆强度, 持续时间与粒重的关系。灌浆强度大, 持续期长, 粒重即高。因当地气候条件的原因为, 各品种的灌浆期均较长, 且差异不大, 故以灌浆强度

与粒重的关系最为密切(图4), 相关系数  $r = 0.9523(N = 21)$ ; 灌浆持续期与粒重有一定程度的正相关  $r = 0.433(N = 21)$ , 但未达到显著水平, 这与张晓龙(1982)的研究结果一致。

表1 籽粒增重动态回归方程

Table 1 The increasing dynamic regression equation of kernel

地区 Regions	年份 Year	品种 Varieties	单产(公斤/亩) Unit yield (kg/mu)	取样次数 No	$y = a + bx + cx^2 + dx^3$	F
香日德 Xiagrige	1982	高原 338 Plateau 338	670.5	19	$\hat{y} = 4.3368 - 0.5533x + 0.06227x^2 - 0.0006176x^3$	5037.00
		高原 338 Plateau 338	850.2	20	$\hat{y} = 3.5010 - 0.2893x + 0.05040x^2 - 0.0004971x^3$	974.29
		阿勃 Abbondanza	567.8	17	$\hat{y} = 2.2920 - 0.3316x + 0.04902x^2 - 0.0005317x^3$	6925.07
赛什克 Saishike	1985	高原 506 Plateau 506	528.7	12	$\hat{y} = 1.3663 - 0.2382x + 0.05490x^2 - 0.0006625x^3$	61.36
		青农 524 Qingnong 524	421.8	12	$\hat{y} = 6.2822 - 1.3444x + 0.1047x^2 - 0.0001141x^3$	2370.95
		墨他 Tanori	410.8	12	$\hat{y} = 1.7739 - 0.3683x + 0.05568x^2 - 0.0006309x^3$	339.67
		绿叶熟 Luyeshu	520.0	12	$\hat{y} = 1.2516 - 0.2904x + 0.05582x^2 - 0.0006488x^3$	587.30
		阿勃 Abbondanza	446.7	10	$\hat{y} = 1.4283 + 0.01681x + 0.04263x^2 - 0.0005340x^3$	146.09



• 1. 高原 338 Plateau 338  
• 2. 阿勃 Abbondanza

图3 春小麦籽粒生长曲线  
Fig. 3 The growth curve of kernel in spring wheat

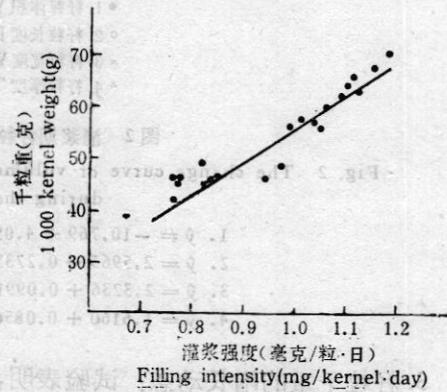


图4 不同品种灌浆强度与千粒重的关系  
Fig. 4 Relationship between 1000 kernel weight and grain filling intensity in different varieties

$$\hat{y} = -3.0879 + 60.0393x \quad r = 0.9523^{**}$$

4. 籽粒发育过程: 柴达木盆地春小麦从开花到腊熟约经 65 天左右的时间。根据籽粒发育中含水量、含水率、籽粒体积和干鲜重等的变化, 将籽粒发育过程分为 3 个时期。

(1) 籽粒形成期: 由受精座脐开始, 至开花后 20 天左右, 籽粒外形基本建成, 胚乳细胞中开始沉积淀粉。鲜籽粒体积达最大体积的 56.9—58%, 呈绿色, 此期籽粒中干物质

累积较少,虽时间占总灌浆日数的30%,但籽粒干重只占最高干重的20%,籽粒灌浆强度较低(0.55—0.65毫克/粒·日)。籽粒含水量增长很快,占最高含水量的65—70%,籽粒含水率在65%以上。

(2) 籽粒灌浆期:开花后第20—50天左右,是籽粒积累干物质最旺盛的时期,为籽粒生长曲线的直线部分。此期占灌浆全程的46%,积累的干物质占最高粒重的68.2—70.5%,粒干重平均每天增长1—1.4毫克,而含水量上升趋于缓慢,到花后40天开始下降,期末含水率降至45%左右。籽粒体积此期末达到最大,即为“顶满仓”。籽粒表面呈光亮的鲜绿色,背部微透黄色,内含物呈白色乳胶状,即为乳熟期。

(3) 腊熟期:柴达木盆地的小麦灌浆于7月中旬开始,至9月中旬终止。在此期间气温由高向低变化,一般9月初出现早霜,使该地区的春小麦达不到正常的生理成熟,一般只能到腊熟中期,即花后50—65天左右。此期占籽粒充实期的15—23%,干物质积累量占最大粒重的5.7—10.5%,灌浆强度降至粒平均每天增重0.31—0.54毫克。粒重在此期末达到最高,尔后稍有下降。籽粒的颜色由黄绿变为腊黄,胚乳由乳胶状变为腊质状。籽粒含水率为30%左右。

籽粒形成期和腊熟期,占籽粒灌浆全程的46—50%,干物质积累量只占总贮藏量的30.0—31.5%;而籽粒灌浆期占总充实期的44—50%,但干物质积累量却占总积累量的68.5—70%。可见,籽粒灌浆期是决定粒重的主要时期。

## (二) 柴达木盆地春小麦灌浆的特点

柴达木盆地是我国海拔最高的内陆盆地,境内春小麦种植区海拔2600—3000米;年均气温2.5—4.4℃,年 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温2129.2—2593℃,气温日较差13℃左右;年日照时数2869.1—3310.1小时,年辐射量660.3—722.2千焦耳/平方厘米;年降水量25.2—167.2毫米,而蒸发量达2242.8—2814.4毫米;平均相对湿度31—41%;平均风速3.3米/秒。总的气候特点是:日照时间长,太阳辐射强,冬寒夏凉,降水稀少,蒸发强烈,大气干燥、多风。使春小麦灌浆具有以下特点:①籽粒体积增长时间长,即建“库”时间长。花后50天左右籽粒体积才达最大,即乳熟初期体积最大。与低海拔区达到籽粒最大体积的生育时期基本相同,但其持续的时间比低海拔地区长20多天,形成了较大的产量库容。②灌浆时间长,平均灌浆强度较低。从表2可看出,在一定范围内,春小麦随海拔的增高,开花至腊熟期平均气温的降低,籽粒灌浆期加长,灌浆强度变小,千粒重增加。同一品种在不同海拔区种植,由于灌浆期延长,粒重明显增加。柴达木盆地开花至腊熟需60天以上,比低海拔地区长15—30天,平均灌浆强度每日每粒1毫克以下,低于低海拔区。但灌浆速率较平稳,每粒每日增重1毫克以上的灌浆高峰期持续30多天,相当于低海拔地区的灌浆全期。③籽粒成熟时失水较为缓慢,直到成熟期仍有较高的含水率。这意味着产量“库”不仅容积大,而且接纳光合产物的能力持续时间长。由于以上3个特点,致使柴达木盆地春小麦的千粒重较高,一般比低海拔区高7—27%。

在较低温度之下,灌浆持续时间较长,结果最后的籽粒重量也较高(Wattal, 1965)。柴达木盆地春小麦开花至成熟期间的气温,由高向低变化,且平均气温较低(图5),主要是夜间气温低所致。据田间小气候观测,从开花至成熟有30天以上中午2点株高2/3处的平均气温19.3℃,麦田上空1.5米处平均气温19.4℃,接近灌浆适宜温度(20—22℃)。

表2 不同地区的籽粒灌浆持续期及灌浆强度  
Table 2 The grain filling duration and grain filling intensity in different regions.

品种 Varieties	地区 Regions	海拔(米) EL(m)	开花至成熟平均气温(°C) Average tem. (floweringripe)	开花期(日/月) Flowering (day/m)	腊熟期(日/月) Waxripe (day/m)
高原 338 Plateau 338	香日德 Xiangride	2 905.4	14.7	13/7	17/9
	西宁 Xining	2 261.4	16.6	25/6	15/8
	山丹 Shandan	1 764.6	19.3	15/6	16/7
阿勃 Abbondanza	香日德 Xiangride	2 905.4	14.7	17/7	17/9
	西宁 Xining	2 261.4	16.6	30/6	15/8
	山丹 Shandan	1 764.6	19.3	20/6	19/7

品种 Varieties	地区 Regions	灌浆期(天) Filling duration (day)	灌浆强度(毫克/粒·日) Filling intensity (mg/kernel.)	千粒重(克) Weight(g)/1000 kernel
高原 338 Plateau 338	香日德 Xiangride	66	0.9636	63.6
	西宁 Xining	52	1.1289	58.7
	山丹 Shandan	32	1.0969	35.1
阿勃 Abbondanza	香日德 Xiangride	62	0.7097	44.0
	西宁 Xining	49	0.8367	41.0
	山丹 Shandan	31	0.8742	32.1

白昼的气温适合光合生产,而夜间的低温降低了呼吸消耗,延缓了光合器官的衰老,延长了灌浆期;另外,当时气温虽略低于灌浆最适温度,但盆地丰富的光资源弥补了其不足。从开花至成熟的太阳辐射强度为 160.4 千焦耳/平方厘米,比西宁地区高 25%;太阳光谱中光合有效成分多,蓝紫光比海平面多 18%,有利于光合作用,红光和红外线比平原地区高 15%,增加了植物体的温度,利于生长发育。从开花至成熟日照时数 501.9 小时,比平原地区高 1 倍之多,且适宜光合作用的时间长,一天中有 10—12 小时,而北京只有 6 小时(金焱鑫等, 1981)。协调的光温配合,使植株绿色面积持续时间长,光合势大、光合强度高,为春小麦的灌浆提供了良好的条件。据灌浆期测定(程大志, 1979):小麦全部绿色面积指数 9.9—12.4;且开花至乳熟期间的的光合势 9—12 万平方米/日。在灌浆期旗叶的光合强度 25.8 毫克 CO<sub>2</sub>·分米<sup>-2</sup>·小时<sup>-1</sup>,呼吸强度 2.3 毫克 CO<sub>2</sub>·分米<sup>-2</sup>·小时<sup>-1</sup>;腊熟期旗叶光合强度 7.0 毫克 CO<sub>2</sub>·分米<sup>-2</sup>·小时<sup>-1</sup>,呼吸强度 1.9 毫克 CO<sub>2</sub>·分米<sup>-2</sup>·小时<sup>-1</sup>。这表明在柴达木盆地春小麦灌浆期间绿色器官的光合效率高,功能期长,呼吸消耗少,为籽粒的充实奠定了丰富的物质基础。例如,单产 850 公斤的麦田,开花至腊熟干物质的积累量为 790.6 公斤。

综上所述,柴达木盆地独特的生态条件,和在此条件下春小麦的生理特点,是形成籽粒灌浆特点的内外因。

表 3 不同地区灌浆期温度变化曲线

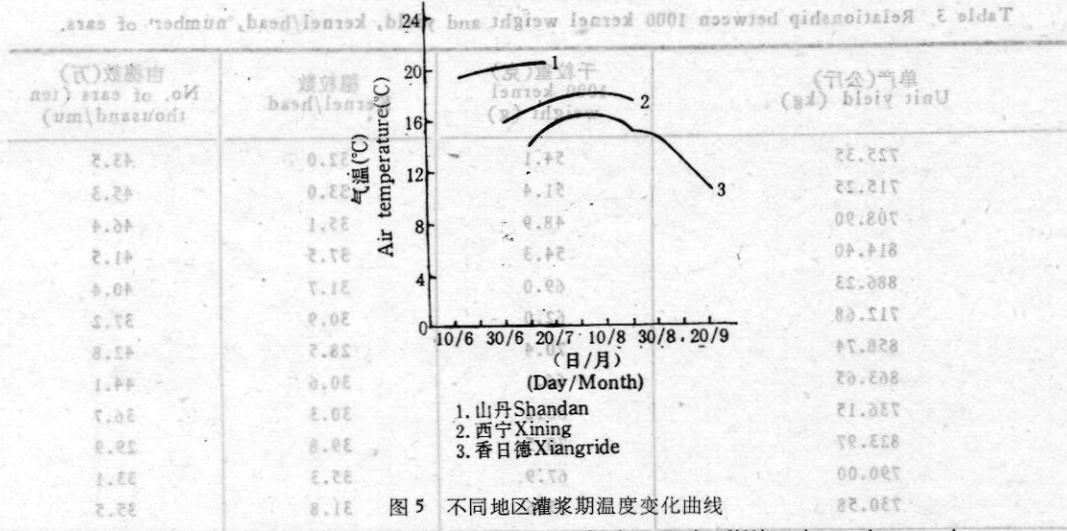


图 5 不同地区灌浆期温度变化曲线

Fig. 5 The change curve of air temperature during grain filling in various regions

### (三) 千粒重与产量及物质积累的关系

1. 千粒重与产量的关系: 赵双宁等(1986)对22个冬麦品种的产量构成因素分析指出,在基因型中,对产量贡献最大的是千粒重,次为穗粒数。笔者对丰产栽培条件下的10个春小麦品种的产量构成因素进行单相关分析,千粒重与产量呈显著正相关,  $r = 0.6765$  ( $N = 10$ )。另对高原338单产700公斤以上的高产田进行产量结构的相关分析(表3),千粒重与单产呈显著正相关,与穗粒数呈弱负相关,与亩穗数呈显著负相关;穗粒数与单产呈弱正相关;亩穗数与单产呈弱负相关。由此表明在高产情况下,群体已发展到一定程度,再增加穗数,便会使个体生产力下降,导致单产降低,而提高个体生产力才是进一步高产的有效途径,特别提高粒重是高产更高产的关键。这在籽粒灌浆后期气温偏低的柴达木盆地尤其重要。通过合理的灌溉施肥,防止小麦群体过大和贪青晚熟,促进小麦正常落黄,是增加粒重的有效途径。

2. 千粒重与物质积累的关系: 籽粒灌浆的物质来源是小麦绿色部分的光合产物。春小麦光合产物积累与分配资料的分析表明(表4),孕穗至开花的光合产物对粒重的影响较小,呈微弱的正相关;而开花至腊熟的光合产物与粒重为显著正相关。这说明籽粒积累的干物质主要来自开花后的光合产物,因此,可用籽粒重量占花后积累总干物重量的比率(即运转率)来反映光合产物向籽粒的运转情况。当运转率为百分之百时,表明开花后的光合产物全部运转到籽粒中贮藏;当运转率大于百分之百时,表明籽粒灌浆除积累了开花后的光合产物,还有营养器官贮存的物质向籽粒运转;此比率小于百分之百时,说明开花后的光合产物除积累在籽粒中外,还有部分剩余。运转率高低在品种间差异很大,如高原388的运转率较高,为96.1—122.4%;阿勃的运转率较低,为69.5—74.5%。同一品种不同栽培条件下,运转率的变化也较大,变异系数为14.9%。说明通过栽培措施提高运转率的潜力很大。运转率与粒重及穗粒重的相关分析表明,运转率与粒重高度正相关,与穗粒重呈极显著的正相关。在灌浆后期气温偏低且常受早霜为害的柴达木盆地,促进早熟,提高光合产物向籽粒的运转,对提高粒重和单产是非常重要的。

表3 千粒重与产量及产量构成因子的关系

Table 3 Relationship between 1000 kernel weight and yield, kernel/head, number of ears.

单产(公斤) Unit yield (kg)	千粒重(克) 1000 kernel weight (g)	穗粒数 Kernel/head	亩穗数(万) No. of ears (ten thousand/mu)	
725.35	54.1	32.0	43.5	
715.25	51.4	33.0	45.3	
708.90	48.9	35.1	46.4	
814.40	54.3	37.5	41.5	
886.23	69.0	31.7	40.4	
712.68	62.0	30.9	37.2	
858.74	70.4	28.5	42.8	
863.65	66.1	30.6	44.1	
736.15	66.2	30.3	36.7	
823.97	70.5	39.8	29.9	
790.00	67.9	35.3	33.1	
730.58	65.6	31.8	35.5	
平均 Average	782.32	62.2	33.0	39.7
与产量的相关系数 Correlation coefficient with yield	0.5830	0.0415	-0.0640	
千粒重与穗数, 穗粒数 Correlation of 1000 kernel with number of ears, kernel/head		-0.1986	-0.6505	

$r = 0.5760; P = 0.05。$

$r = 0.7079; P = 0.01。$

表4 粒重与干物质的积累及运转的关系

Table 4 Relationship between kernel weight and accumulation and transfer of dry matter.

项目 Item	相关系数 Correlation coefficient	
	千粒重(克) 1000 kernel weight (g)	穗粒重(克) Grain weight of spike (g)
孕穗至开花的干物质积累(克/株) Accumulation of dry matter from booting to flowering (g/indiv)	0.2605	0.4099
开花至腊熟的干物质积累(克/株) Accumulation of dry matter from flowering to wax-ripe (g/indiv)	0.8087	0.9933
运转率(%) Transfer ratio(%)	0.7589	0.9446

$r = 0.6664; P = 0.05; r = 0.8343; P = 0.01。$

小麦各器官的干物质制造和运输有着各自的特点。籽粒灌浆期间, 籽粒是物质积累的中心, 旗叶、倒二叶、穗下节间及穗是主要的光合器官(图6)。旗叶在开花后40天以内, 绿叶重保持恒定, 说明此段是旗叶的功能期, 即旗叶光合产物与输出的物质相平衡。开

花后 40 天,旗叶的干重开始缓慢下降,其物质的制造量低于物质的输出量,叶逐渐枯黄。穗下节间和颖芒既是光合器官又是暂时的贮藏器官,在开花后 30 天以内,自身贮藏同化产物,表现为重量的增加。此后,将干物质运向籽粒,重量大幅度的下降。麦穗在小麦群体的上层分布,具有进行光合作用最优越的条件,它所制造和贮存的干物质,向籽粒运输的距离最短,易于运送。所以,在籽粒灌浆期,颖芒作为有效的光合器官对粒重的贡献是较大的。

#### (四) 影响粒重的主要栽培因子

1. 品种对粒重的影响: 粒重的遗传性较为稳定,虽然随着自然环境和栽培条件的变化,有所变化,但它与品种紧密相关。目前,柴达木盆地大面积栽培品种的千粒重一般在 40—65 克之间。大粒高产型品种高原 338,千粒重在 60 克左右,最高单产 1013.05 公斤。该类型品种经济系数高(一般 0.5 左右),籽粒产量与花后总干物质积累量的比值大于百分之百,在良好的栽培条件下增产潜力大,但适应性较差。阿勃属典型的中粒丰产型品种,其千粒重 45 克左右,一般单产 300—400 公斤。这种类型的品种营养体繁茂,经济系数较低(一般 0.4 左右),籽粒产量与花后干物质总积累量的比值小于百分之百,有丰富的物质供籽粒灌浆,适应性强,在不良的环境和栽培条件下,也基本能表现出品种自身的生产力。

2. 密度与粒重的关系: 基本苗与粒重呈抛物线的关系(图 7)。品种间在量上有所差

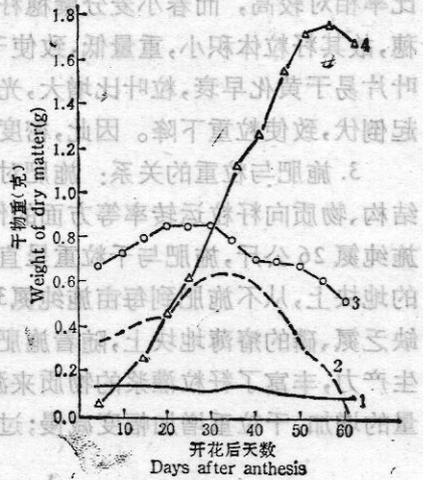


图 6 开花后干物质积累与分配  
1. 旗叶 Flag leaf  
2. 穗(不包括籽粒) Spike without grains  
3. 穗下节间 Node under spike  
4. 穗粒重 Yield/head

Fig. 6 Accumulation and distribution of dry matter after anthesis

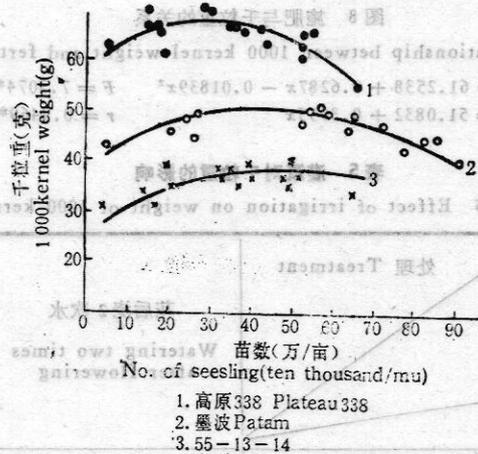


图 7 苗数与千粒重的关系

Fig. 7 Relationship between 1000 kernel weight and number of seedling

$$\begin{aligned}
 1. \hat{y} &= 57.8509 + 0.6171x - 0.0099x^2 & F &= 8.8806^{***} \\
 2. \hat{y} &= 39.5783 + 0.4482x - 0.004889x^2 & F &= 21.7503^{***} \\
 3. \hat{y} &= 25.5338 + 0.5594x - 0.005837x^2 & F &= 5.5807^*
 \end{aligned}$$

异,但变化趋势是一致的。高原 338 较高千粒重的密度范围为 25—37.5 万/亩基本苗,区间较小;墨波为 30—60 万/亩,区间较大。说明后者比前者耐密植。在低密度下,分蘖成穗比率相对较高,而春小麦分蘖穗籽粒发育的时间较短,营养状况和光温条件均劣于主茎穗,故其籽粒体积小,重量低,致使千粒重平均值下降。在高密度下,个体的受光条件变劣,叶片易于黄化早衰,粒叶比增大,光合产物不能满足籽粒积累的要求,且密度过高往往引起倒伏,致使粒重下降。因此,密度与粒重呈二次曲线的关系。

3. 施肥与粒重的关系: 施肥对粒重的影响是比较复杂的,它是通过对小麦群体、产量结构、物质向籽粒运转率等方面的作用来影响粒重的。在瘠薄的地块上,从不施肥到每亩施纯氮 26 公斤,施肥与千粒重呈直线正相关,相关系数  $r = 0.9469$  ( $N = 8$ ); 在较肥沃的地块上,从不施肥到每亩施纯氮 30 公斤,施肥与千粒重呈抛物线的关系(图 8)。在严重缺乏氮、磷的瘠薄地块上,随着施肥量的增加,营养条件不断改善,促进了群体发展和光合生产力,丰富了籽粒灌浆的物质来源,形成了较高的粒重;而在较肥沃的地块上,随着施肥量的增加,千粒重增加幅度减慢;过量施肥,引起群体过大,株间相互遮闭,个体受光条件

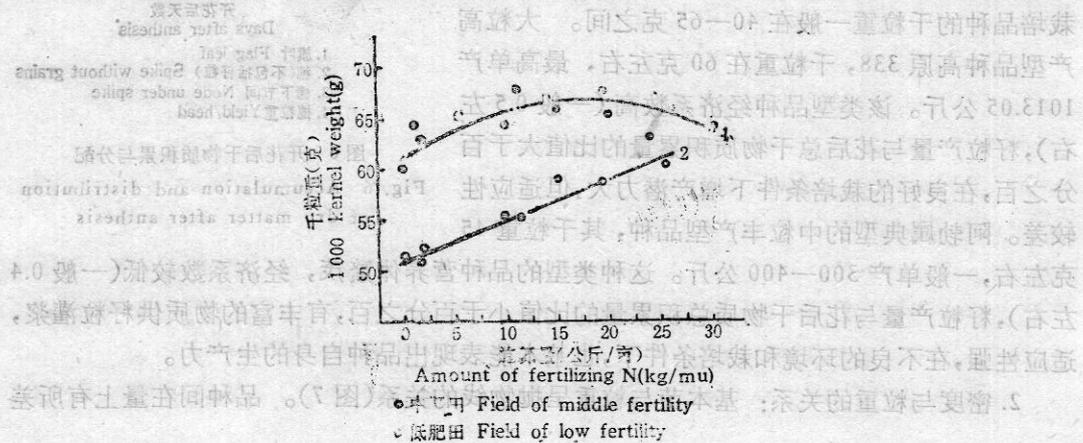


图 8 施肥与千粒重的关系

Fig. 8 Relationship between 1000 kernel weight and fertilization

$$1. \hat{y} = 61.2538 + 0.6287x - 0.01839x^2 \quad F = 7.3074^{**}$$

$$2. \hat{y} = 51.0832 + 0.3955x \quad r = 0.9469^{**}$$

表 5 灌溉对千粒重的影响

Table 5 Effect of irrigation on weight of 1000 kernel.

品种 Varieties	处理 Treatment	
	花后浇 2 次水 Watering two times after flowering	花后浇 1 次水 Watering one time after flowering
高原 602 Plateau 602	54.0	45.2
阿 勃 Abbondanza	45.9	34.0
瀚海 304 Hanhai 304	48.4	32.8

变差,后期贪青晚熟,物质向籽粒运转率变低,千粒重明显下降。

4. 灌溉对粒重的影响: 灌水试验表明,小麦生育期间灌水量 180—695 毫米之间,千粒重与灌水量呈抛物线关系。灌水量过多,土壤的通透性变差,地温降低,抑制了根系的呼吸代谢,减弱了对土壤养分的吸收能力,导致生长发育变劣,粒重下降。灌水量不足,则影响小麦的光合作用和对土壤养分的有效利用,导致粒重下降。特别是开花后缺水,对千粒重的负效应十分明显(表 5)。开花后浇水 2 次比 1 次的粒重提高 16.3—32.2%。在柴达木香日德地区单产 500 公斤左右的小麦生育期间耗水 724.5 毫米,而抽穗至成熟的耗水量为 307 毫米,占总耗水量的 42.4%,同期干物质积累量为每亩 536.7 公斤,占总干物量的 59.3%。可见,抽穗后的小麦生殖生长期,是干物质积累的主要时期,需水量也较大。如此期缺水,造成光合器官早衰,光合能力下降,粒重变低,产量下降。

### 三、小 结

1. 柴达木盆地春小麦灌浆过程中,籽粒鲜重和干重的变化符合方程  $y = a + bx + cx^2 + dx^3$ ; 籽粒体积和含水量的变化为抛物线,即  $y = a + bx + cx^2$ 。

2. 柴达木盆地具有太阳辐射强,日照时间长,光温配合协调,白天的强光和气温适于光合作用,夜间的低温利于积累和延缓衰老的生态条件。在此条件下春小麦灌浆具有以下特点:

(1) 灌浆期长,平均灌浆速率较低,但较平稳,每日每粒增重 1 毫克以上的时间有 30 多天,千粒重较高。

(2) 籽粒体积增长时间长,即建“库”时间长,“库”容量大。

(3) 成熟时籽粒失水缓慢,接纳光合产物能力的持续时间长。

3. 改善春小麦的栽培条件,是提高粒重的有效途径。影响小麦千粒重的主要栽培因子有,品种、密度、施肥和灌溉等。其中密度与千粒重呈二次曲线关系;施肥与千粒重在低肥田上呈直线正相关,在高肥田上为抛物线的关系;灌水对千粒重的影响主要在开花后,如此期缺水,粒重明显下降。

### 参 考 文 献

张小龙,1982,小麦品种籽粒灌浆的研究,作物学报,8(2): 87—92。

黄庆榴、叶宣贞、江化、朱业端、林自是,1962,小麦籽粒灌浆过程的研究,小麦丰产研究论文集,150—165,上海科学技术出版社。

翟允鼐、蒋纪芸、阎世理、潘世祿,1980,不同类型小麦栽培品种的籽粒发育形态与灌浆,小麦生长发育规律与增产途径,110—128,河南人民出版社。

金焱鑫、严进瑞、诺木洪农场农科所,1980,柴达木灌区春小麦高产与光、温、风、湿的关系,春小麦丰产规律研究论文集,45—64,青海人民出版社。

程大志、鲍新奎、陈政,1979,柴达木盆地春小麦高额丰产形态生理指标的初步探讨,中国农业科学,(2): 29—39。

赵双宁、李培、曾浙荣、台建祥、庄巧生,北京地区冬小麦品种冠层结构的研究,作物学报,12(4): 217—223。

Wattal, P. N. 1965, Effect of temperature on the development of the wheat grain. *Indian J. Plant Physiol.* 8, 145—157.

# STUDIES ON THE GRAIN FILLING OF SPRING WHEAT IN Q Aidam BASIN

Yu Hai, Cheng Dazhi and Ma Xiaoming

(Northwest Plateau Institute of Biology, Academia Sinica)

Studies were carried out in 1982 and 1985. The results indicated that the pattern of the growth of wheat kernel was a sigmoid curve following the equation  $y = a + bx + cx^2 + dx^3$ . It consists of three stages: seed formation, filling, and max-ripe. The changes of volume and water content in kernel were parabolical curve,  $y = a + bx + cx^2$ .

In Qaidam Basin, the grain filling of spring wheat has following characters: the grain filling duration is longer, the grain filling intensity lower, the kernel weight higher, and ratio of water in kernel is above 30% when harvested. The main reasons for these are lower temperature, stronger solar radiation, and longer sunshine time from flowering to ripe.

There is significant positive correlation between kernel weight and final grain volume, and accumulation of matter during flowering—waxripe, and the ratio of grain weight to accumulation of total matter after flowering. Among different culture factors, the grain weight was mainly influenced by variety, number of seedling, fertilization, and irrigation. There are relationships of the parabolical curve between grain weight and number of seedling, kernel weight and fertilization in the field of middle fertility. In addition, there is significant positive correlation between kernel weight and fertilization in the field of low fertility. If water is not enough after flowering, the grain weight will decrease.

## 精 文 季 卷

Small, A. 1982. The effect of temperature on the development of the wheat grain. *Indian J. Plant Physiol.* 8: 145-152.

Wang, Y. N. 1987. Effect of temperature on the development of the wheat grain. *Indian J. Plant Physiol.* 8: 145-152.

王宁, 曾雁萍. 1987. 北京地区冬小麦品种灌浆期的研究. 作物学报, 13(4): 217-223.

王宁, 曾雁萍. 1987. 北京地区冬小麦品种灌浆期的研究. 作物学报, 13(4): 217-223.

王宁, 曾雁萍. 1987. 北京地区冬小麦品种灌浆期的研究. 作物学报, 13(4): 217-223.