

# 夏大豆各生育阶段 供水量对产量的影响\*

李永孝 王寿元 董人纶

(山东省农业科学院作物研究所)

## 提 要

利用山东省夏大豆联合区域试验资料和各地气象资料,经过统计分析指出,在温、光、水三因子中,供水量对夏大豆产量影响最大;苗期阶段的供水量是对夏大豆产量影响最大的生育阶段;得出了丰收黄、文丰五号等夏大豆品种各个生育阶段的适宜供水量,形成1斤大豆籽粒每个生育阶段所需要的水量。搞好苗期阶段的供水,是山东省夏大豆大幅度增产的关键。

山东省夏大豆年际间和地区间产量波动很大。就是水肥条件和管理技术比较好的全省夏大豆联合区域试验,这种波动也很大。这是由于年际间和地区间气候条件的差异所致。在气候要素中变幅最大的是降雨量。因此,弄清夏大豆供水对产量影响最大的生育阶段和各生育阶段适宜供水量非常必要。

## 资 料 与 方 法

(1) **资料来源与处理:** 夏大豆产量(斤/亩)及生育期资料取自山东省夏大豆联合区域试验(1975、1978—1982)。气象资料取自各试验点所在县(市)气象站。把夏大豆全生育期分为四个阶段:出苗到始花为苗期阶段;始花到始花后20天为花期阶段;此后到成熟分为两个阶段,前2/3的天数为鼓粒阶段,后1/3的天数为成熟阶段。供水量含降雨量和灌溉量,一次灌溉以50mm降水计。由于联合区域试验各地块肥力、施肥量、密度和管理技术等基本相同。因此,视同品种各地试验资料是可比的。年际间和地点间的产量差异被认为是气象条件差异造成的。由于管理技术或病害等严重影响产量的资料予以剔除。

(2) **统计方法:** 比较温、光、水对产量的影响是根据

$$y = c + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

\* 本文蒙高级农艺师赵经荣审阅指导,谨表谢意。

本文于1985年7月25日收到。

建立回归关系的。①式中  $y$  为籽粒产量 (斤/亩),  $c$  为常数,  $x_{ij}$  为第  $i$  个气象要素在第  $j$  生育阶段的平均值或累积值。  $b_{1j}$  为  $x_{ij}$  的常系数。供水量过多或过少都会造成减产。根据式

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 \quad (2)$$

计算各生育阶段的适宜供水量。②式中  $y$  为产量 (斤/亩),  $x$  为供水量 (mm),  $b_0$ 、 $b_1$ 、 $b_2$  分别为零次项、一次项和二次项的常系数。

## 结 果 分 析

### 1. 温、光、水三因子中, 水是引起夏大豆产量变异的主要因子

据②式, 分别求出夏大豆各品种、各生育阶段的适宜供水量。把实际供水量与适宜供水量之差的绝对值  $| \Delta R |$  称为供水量余缺。统计中, 为减少繁琐, 将苗期和花期阶段的供水量合并为一个因子  $| \Delta R_{12} |$ , 鼓粒和成熟阶段的供水量余缺合并为一个因子  $| \Delta R_{34} |$ 。各生育阶段的供水量余缺和累积日照时数仅选取与产量的相关系数在 0.05 水平以上的因子。经统算夏大豆丰收黄和文丰 5 号产量与气象要素的回归方程分别为:

丰收黄:

$$\hat{y} = 966.5 - 0.5003 | \Delta R_{12} | - 0.3851 | \Delta R_{34} | - 18.0127 T_1 - 8.0929 T_3 + 0.203 S_3 \quad (3)$$

文丰 5 号:

$$\hat{y} = 517.5 - 0.5892 | \Delta R_{12} | - 0.208 | \Delta R_{34} | - 12.514 T_1 + 0.6385 S_3 \quad (4)$$

式中:  $| \Delta R_{12} |$ 、 $| \Delta R_{34} |$  分别为出苗到末花、末花到成熟的供水量余缺 (mm),  $T_1$ 、 $T_3$  分别为苗期和鼓粒阶段的平均气温 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $S_3$  为鼓粒阶段的累积日照时数。在山东省气候条件下, 苗期到末花阶段早年缺雨或涝年雨水过多可达 200mm 左右, 甚至更大; 苗期和鼓粒阶段的年际间气温变幅  $2^{\circ}\text{C}$  和  $3^{\circ}\text{C}$  左右; 鼓粒阶段日照时数变幅 50 小时左右。因此, 由③、④式看出, 由于旱涝引起的产量变幅可达 100 斤/亩左右, 甚至更大。其它因子引起的产量变化远小于供水量余缺所引起的产量变化。

由表 1、表 2 看出, 菏泽农科所的丰收黄试验, 1981 年比 1980 年大减产, 其中供水不足减产 89.7 斤/亩, 是高温减产的 2.7 倍, 是日照时数少减产的 6.0 倍。由表 2 和表 4 看出, 在滕县虬城店大队, 文丰 5 号于 1978 年出苗到末花阶段供水量过多, 造成比 1979 年减产 113 斤/亩, 涝害是高温减产的 5.0 倍, 是日照时数少减产的 2.6 倍。1981 年出苗到末花干旱, 比 1979 年减产 97 斤/亩, 是高温减产的 6.0 倍, 是日照时数少减产的 1.9 倍。足见供水对于大豆产量影响之大。

### 2. 苗期阶段的供水是确定夏大豆丰欠的基础

表 4 是各生育阶段供水量余缺与产量的相关系数 ( $r_i$ ) 和逐段累加的供水量余缺与产量的相关系数 ( $r_{1-i}$ ), 以及产量与四个阶段供水量的偏回归系数 ( $b_i$ ),  $i=1, 2, 3, 4$  分别表示苗期、花期、鼓粒和成熟四个生育阶段,  $1-i$  表示从苗期阶段

表 1 丰收黄、文丰 5 号的试验产量及有关气象资料  
Table 1. Yields in experiments of Fengshouhuang and Wenfeng No.5 and meteorological data related

地 点	品 种	年 份	试验产量 (斤/亩)	$r_{12}$	$r_{34}$	$T_1$	$T_3$	S(小时)
Place	Varieties	Years	Yields in experiment (jia/mu)	(mm)	(mm)	(℃)	(℃)	(hr)
菏泽地区农科所 Heze institute of Agricultural Sciences Sh- andong Province	丰收黄 Fengshouhuang	1979	313.5	272.4	157.2	26.0	22.4	225.1
		1980	372.6	340.1	160.7	25.7	23.3	243.0
		1981	230.6	160.9	159.7	26.7	25.1	170.2
		适宜供水量 (mm) Suitable amount of water applied		334.9	179.8			
滕县融城店 Huichengdian, Tengxian, Shandong Province	文丰 5 号 Wenfeng No.5	1978	180.0	524.3	181.9	27.2	25.5	176.8
		1979	339.7	326.3	200.1	25.6	24.4	237.1
		1981	170.0	165.1	159.6	26.9	24.7	158.7
		适宜供水量 (mm) Suitable amount of water applied		328.9	159.7			

注： $r_{12}$ 、 $r_{34}$  分别表示出苗到末花、末花到成熟阶段的累积供水量 (mm)。  
Notice:  $r_{12}$  and  $r_{34}$ : accumulated amount of Water appied from emergence to the end of flowering and from the end of flowering to ripening , respectively.

表 2 用表 1 中资料算得的③式诸项的数值、理论产量  
( $\hat{y}$ ) 及年际间的比较 (品种: 丰收黄)  
Table 2. Values calculated with the data in table 1 and equation ③ and their comparison between years (Variety: Fengshouhuang)

地 点	年份	$-0.5003\Delta R_{12}$	$-0.3851\Delta R_{34}$	$-18.0127 T_1$	$-8.0929 T_3$	$0.203 S_3$	$\hat{y}$ (斤/亩) (jin/mu)
Place	Years						
菏泽地区农科所 Heze Institute of Agricultural Sciences Shandong Province	1979	-36.3	-8.7	-468.3	-181.3	45.7	317.6
	1980	-2.4	-7.3	-462.9	-188.6	49.3	354.6
	1981	-92.1	-7.7	-480.9	-203.1	34.6	217.3
	1979 与 1980 年比较 Comparison between 1979 and 1980	-33.9	-1.4	-5.4	+7.3	-3.6	-37.0
	1981 与 1980 年比较 Comparison between 1981 and 1980	-89.7	+0.4	-18.0	-14.5	-14.7	-137.3

到第  $i$  个生育阶段。 $b_i$  为常回归系数。由表 4 看出，两品种的  $r_1$  和  $b_1$  都在 0.01 水平上显著，而  $r_2$ 、 $r_3$ 、 $r_4$  和  $b_2$ 、 $b_3$ 、 $b_4$  都不显著，说明苗期阶段的供水状况是造成夏大豆丰欠的主要因子。这个结果由表 5 可以得到证明，潍县良种场 1981 和 1982 两年试验，“丰收黄”花期和鼓粒阶段的供水量都较接近适宜供水量。。但 1982 比 1981 年增产 131.8 斤/亩 (增产 57%)，主要原因是 1982 年苗期供水适宜，1981 年苗期缺水。该品种在济宁农科所

表 3 用表 1 中资料算得的③式诸项数值、理论产量  
( $\hat{y}$ )及年际间的比较(品种: 文丰 5 号)

Table 3. Values calculated with the data in table 1 and equation (4) and their comparison between years (Variety: Wenfeng No.5)

地 点 Place	年份 Years	$-0.5982 \Delta R_{12}$	$-0.208 \Delta R_{34}$	$-12.514 T_1$	$0.638 S_3$	$\hat{y}$ (斤/亩) (jin/mu)
滕县虬城店 Huichengdian, Tengxian, Shandong Province	1978	-115.1	-4.6	-340.4	112.9	170.3
	1979	-1.5	-18.8	-320.4	151.4	328.2
	1981	-96.5	-20.8	-336.6	101.3	164.9
1978年与1979年比较 Comparisons between 1978 and 1979		-113.6	+14.2	-20.0	-38.5	-157.9
1981年与1979年比较 Comparisons between 1981 and 1979		-95.0	-2.0	-16.2	-50.1	-163.3

表 4 夏大豆丰收黄和文丰 5 号籽粒产量与各生育阶段  
供水量余缺间的相关系数及偏回归系数

Table 4. Correlation Coefficients and Partial regression coefficients between grain yield and absolute values of surplus as well as deficient water applied during each development stage of summer soybean Fengshouhuang and Wenfeng No.5

样本数 Numbers of samples 品种 Varieties	项目 Items	各生育阶段的相关系数 Correlation coefficient for each stage				1 到第 i 阶段 的相关系数 Correlation coefficient from stage 1 to i			四个生育阶段的偏回归系数 Partial regression coefficient for four stages				
		$r_1$	$r_2$	$r_3$	$r_4$	$r_{1-2}$	$r_{1-3}$	$r_{1-4}$	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$
丰 收 黄 Fengshou huang	46	++ -0.4394	++ -0.0988	++ -0.2378	++ 0.0254	++ -0.5876	++ -0.6604	++ -0.6771	350.7	++ -0.5465	++ -0.1135	++ -0.416	++ -0.1838
		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-
文 丰 5 号 Wenfeng No.5	42	++ -0.4089	++ -0.0674	++ -0.1792	++ 0.0255	++ -0.6525	++ -0.6214	++ -0.6011	331.2	++ -0.6711	++ -0.1697	++ -0.5248	++ -0.3749
		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-

注: 1) 下标 1,2,3,4 分别表示苗期、花期、鼓粒和成熟四个阶段

2)  $i=2,3,4$  生育阶段

Notice: 1) Subscripts 1,2,3,4 the seedling, flowering, Pod-filling and ripening stage respectively.

2)  $i$ : stage 2,3 or 4.

表 5 夏大豆各生育阶段供水量 (含灌溉量和降雨量) 与籽粒产量的关系  
Table 5. Relationship between grain yield and amount of water applied (including irrigation and precipitation) in each development stage for summer soybeans

品 种 Varieties	年 份 Years	供水量 Amount of water- applied (mm)	生育阶段 Develop- ment stages	苗期阶段 Seedling stage	花期阶段 Flowering stage	鼓粒阶段 Pod-filling stage	成熟阶段 Ripening stage	试验产量(斤/亩) Experiment yield (jīn/mu)
丰 收 黄 Fengshouhuang	地 点 Place	潍 县 Weixian, Shandong Province	1981	158.1	95.9	120.9	0.0	231.5
			1982	241.4	94.4	103.0	6.6	363.3
	滕 县 鹿 城 店 Huichengdian, Tengxian, Shandong Province	1978	367.9	156.6	142.7	22.4	188.3	
		1979	295.2	88.5	89.6	110.1	330.0	
	济 南 山 东 农 科 院 Shandong Academy of Agricultural Science, Jinan	1981	71.0	94.1	159.6	2.1	210.0	
		1979	137.1	91.8	121.1	75.4	264.9	
	济 宁 地 区 农 科 所 Jineng Institute of Agricultural science, Shan- dong Province	1980	206.2	106.4	167.0	3.7	342.3	
		1981	110.5	111.4	114.3	1.0	195.3	
	适宜供水量 (mm) Suitable amount of water applied (mm)	1978	381.7	105.4	216.6	17.5	250.9	
		1979	248.1	109.1	192.4	76.2	334.7	
		1981	146.3	55.3	134.8	10.9	213.9	
		1982	122.8	69.3	135.1	6.7	229.4	
				227.1	117.8	155.5	24.3	

续表 5

文 字 5 号	Weifang No. 5	滕县 施城县 Huichengdian, Tengxian, Shandong Province.	1978	310.8	207.5	153.4	28.5	180.0
			1979	251.5	74.8	147.0	103.1	339.7
			1981	71.0	94.1	159.6	0.0	170.0
		济南山东农学院 Shandong Academy of Agricultural Science, Jinan.	1979	111.4	92.1	120.7	72.2	195.6
			1981	195.0	107.2	153.4	1.6	267.2
			1982	110.5	111.4	114.3	0.0	178.6
		潍坊地区农科院 Weifang Institute of Agricultural Science, Shandong Province	1978	183.3	118.8	187.0	20.9	330.6
			1980	165.7	126.7	144.8	0.0	286.7
			1981	106.8	62.7	108.3	1.7	245.6
		适宜供水量 (mm) Suitable amount of water applied (mm)		214.2	114.7	140.2	19.5	
鲁 字 1 号	Luong No. 1	济南山东农科院 Shandong Academy of Agricultural Science, Jinan	1980	244.4	53.2	196.1	1.4	289.2
			1981	110.5	114.6	111.1	0.0	202.0
			1980	264.6	68.9	113.5	67.1	345.0
		潍坊地区农科院 Weifang Institute of Agricultural Science, Shandong Province.	1981	169.1	64.8	132.0	0.0	293.2
			1980	103.3	39.9	42.5	10.4	196.3
			1981	210.9	102.1	51.3	3.3	281.3
		山东省沾化 Zhanhua Shandong Province.						
		适宜供水量 (mm) Suitable amount of water applied (mm)		269.0	127.5	113.8	20.1	

的试验，1978 比 1979 年产量低 83.8 斤/亩，原因是 1978 年苗期供水量超过适宜供水量 154.6mm，形成涝害。1981 年和 1982 年产量都比 1978 年低 100 斤/亩以上，主要原因是苗期缺水。类似情况，由文丰收 5 号、“鲁豆 1 号”在各地的试验产量也明显可见（表 5）。因此，搞好苗期供水，长好一个节多蕾多，高大粗壮的株型，打好丰产架子，是夏大豆增产的基础。

3. 夏大豆各生育阶段的适宜供水量

据 ② 式，分别统算了逐段累加的供水量与夏大豆产量的关系。每个品种便求出四条抛物线和四个生育阶段逐一累加的适宜供水量：丰收黄为 227.1、344.9、500.4、524.7mm；文丰 5 号为 214.2、328.9、469.1、488.6mm（见图 1）。将同一品种的这四个适宜供水量逐一相减，便求得苗期、花期、鼓粒和成熟四个生育阶段的适宜供水量，以  $h_i$  ( $i=1,2,3,4$ ) 表示之，列入表 6 中。在适宜供水量下，算得丰收黄产量为 316 斤/亩，文丰 5 号 292 斤/亩。用这两个产量和各生育阶段的适宜供水量，便算得形成 1 斤籽粒各生育阶段所需水量（吨/斤），以  $w_i$  ( $i=1,2,3,4$ ) 表示之（见表 6）。由表 6

表 6 夏大豆各生育阶段的适宜供水量 ( $h_i$ ) 及形成 1 斤籽粒各生育阶段的需水量 ( $w_i$ )

Table 6. Appropriate amount of water applied ( $h_i$ ) and amount necessary to produce 1 jin of grain in each development stage of the summer soybean

生育阶段 Development stages	苗期阶段 Seedling stage		花期阶段 Flowering stage		鼓粒阶段 Pod-filling stage		成熟阶段 Ripening stage		全生育期 Whole growing Period	
	$h_1$ (mm)	$W_1$ (吨/斤) (ton/jin)	$h_2$ (mm)	$W_2$ (吨/斤) (ton/jin)	$h_3$ (mm)	$W_3$ (吨/斤) (ton/jin)	$h_4$ (mm)	$W_4$ (吨/斤) (ton/jin)	$h$ (mm)	$W$ (吨/斤) (ton/jin)
品种 Varieties	项目 Items									
丰收黄 Fengshouhuang	227.1	0.48	117.8	0.25	155.5	0.33	24.3	0.05	524.7	1.11
文丰 5 号 Wenfeng No.5	214.2	0.49	114.7	0.26	140.2	0.32	19.5	0.04	488.6	1.11
跃进 5 号 Yiejn No.5	297.0	0.58	129.7	0.25	110.3	0.22	25.9	0.05	562.9	1.10
鲁豆 1 号 Ludong No.1	269.0	0.52	127.5	0.25	113.8	0.22	20.1	0.04	530.4	1.03

看出，形成 1 斤籽粒各生育阶段所需要的水量为：丰收黄苗期 0.48 吨、花期 0.25 吨、鼓粒阶段 0.33 吨、成熟阶段 0.05 吨、全生育期 1.11 吨；文丰 5 号苗期 0.49 吨、花期 0.26 吨、鼓粒阶段 0.32 吨、成熟阶段 0.04 吨、全生育期 1.11 吨。同法计算了跃进 5 号、鲁豆 1 号各生育阶段的适宜供水量和形成 1 斤籽粒所需要的水量（见表 6）。计算结果与董钻等测定的“形成 1 斤大豆籽粒耗水 1 吨左右”的结果很一致。统计结果表明，在山东省气候和土壤条件下，夏大豆丰收黄和文丰 5 号苗期阶段需水量最大，鼓粒阶段次之，花期阶

段又次之，成熟阶段最少。按天数平均，苗期阶段最大，花期和鼓粒期相近，成熟阶段最少。对跃进 5 号和鲁豆 1 号的统算，也得到了相同的结论。

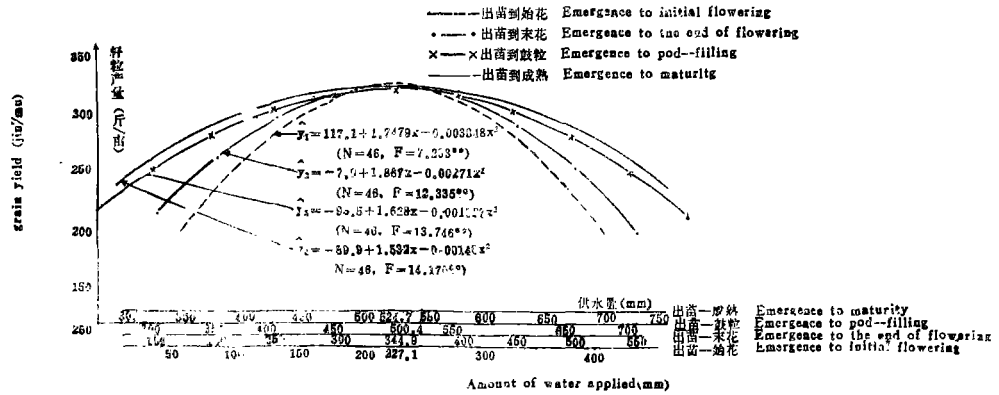


图 1 夏大豆丰收黄籽粒产量与供水量的关系  
Fig. 1 Relationship between grain yield and amount of water applied for summer soybean Fengshauhuang

## 讨 论

夏大豆苗期蒸腾耗水不多，而需水多的原因是什么呢？我们认为主要是由于山东省的气候生态条件造成的。根据济南1949—1985年的气象资料统计，平均每年夏大豆苗期阶段的蒸发量为359.4mm，花期阶段为137.0mm，鼓粒阶段为166.7mm，可见苗期阶段比其他两阶段大气干燥得多，地面蒸发量要大得多。再加上苗期阶段根系小，不能吸收深层和较大面积土壤中的水分；叶层遮盖面积小，地表裸露面积大，上层土壤蒸发失水很快，上层土壤要保持一定的湿度，就必须有大量水分补充，才能维持根细胞的渗透压大于土壤渗透压，以保证根系的渗透吸水，使苗期植株正常生长。花期和鼓粒阶段虽群体枝叶繁茂，蒸腾耗水较多，但由于山东省的气候条件此时空气湿度很大，地面蒸发量比苗期小得多，豆田封行，更进一步减少地面蒸发量；同时由于这两个阶段的大豆根系大，可以吸收深层和较大面积内的水份。这就使苗期需水量较其他两个阶段多了。另据 F. Munevar 和 A. G. Wollum 研究，根瘤菌发育和生存要求增大土壤湿度以降低根部高温。山东省夏大豆苗期阶段昼间地面温度常在34℃左右，绝对最高地面温度大部地区都在65℃以上，只有供水充分，才能有效地降低根部高温，增加根瘤菌数目、鲜重和固N酶活性，满足植株营养生长需要。关于山东省夏大豆苗期阶段需水量比花期和鼓粒阶段多的原因，还有待进一步研究。

## 主 要 参 考 文 献

[1] 查钻等, 1982, 大豆亩产450斤的生理参数及栽培措施初探《大豆科学》第1卷, 第2期 131—139。  
[2] G. A. Constable, A. B. Hearn, 1980, 半湿润环境里的作物灌溉, I. 灌溉对大豆生长和产量的影响  
《国外农学—大豆》丁希泉译, 1983.1 16—21  
[3] 马育华编著, 1982, 试验统计, 农业出版社, 308—311。



- [4] 叶修祺、荆淑民, 1982, 夏大豆产量与气象条件关系的研究《农业气象》第3卷第2期 14—17.
- [5] 竹岛博二, 昭和 55 年, 地下水位和大豆产量与光合作用的关系《国外农学—大豆》田佩占译 1983.3 9—17.
- [6] Bovi. O. A 等, 1981, 干旱对田间生长的大豆干物质积累的影响《国外农学—大豆文摘》程广生译 1983.2.33.
- [7] C.E.Caviness, J.D.Thomas, 1980, 灌溉大豆与非灌溉大豆去叶引起的减产:《国外农学—大豆》徐崇敬译 1982.1.32—36.
- [8] Dr. Roy Flannery, 1983, Soybeans Topped 100bu/A in Maximum yield Reseach, 中美大豆第二次学术讨论会材料.
- [9] F.Munevar and G. Wollum, 1982, Response of Soybean Plants to High Root Temperature as Affected by Plant Cultivar and Rhizobium Strain《AGRONOMY JOURNAL》Vol.74 No.1. 138—142.
- [10] D. C. Reicosky, T. C. Kaspar and H. M. Taylor, 1982, Diurnal Relationship Between Evapotranspirations and Leaf Water Potential of Field-Grown Soybeans.《AGRONOMY JOURNAL》Vol.74 No.4 667—673.

## INFLUENCE OF AMOUNT OF WATER SUPPLY ON YIELD IN EACH GROWING STAGE OF SUMMER SOYBEAN

Li Yongxiao Wang Shouyuan, Dong Renlun  
(Shandong Academy of Agricultural Sciences)

### Abstract

By use of data of united regional experiment two summer soybean varieties in Shandong province from 1978 to 1982, we analysed with statistical method for the influence of amount of water supply on grain yield of the two varieties in different growing stages, and calculated the appropriate amount of water supply and amount of water necessary to produce 1 jin of grain in each growing stage of the two varieties. The results of statistical analysis indicated that, of the three factors, temperature, sun-light and water, the last one is the most influenced on summer soybean yield, and the amount of water applied on seedling stage has larger influence on the yield than on those applied in other three stages.

The appropriate amount of water applied in seedling, flowering, podfilling and ripening stage is as follows: 227.1, 117.8, 155.5, 24.3 mm for Fengshouhuang for the 316 jin/mu yield level, and 214.2, 114.7, 140.2, 19.2mm for Wenfeng No.5 for the 292 jin/mu yield level. the amount of water necessary to produce 1 jin is as follows: 0.48, 0.25, 0.33, 0.05 and 1.11 tons for Fengshouhuag, and 0.49, 0.26, 0.32, 0.04 and 1.11 tons for Wenfeng No.5 on seedling, flowering, pod-filling, ripening stage and the whole growing period, respectively.