

# 广西水稻、玉米、甘蔗生长期内需水模拟研究

## Simulated Research on Water Requirement of Rice, Maize and Sugarcane in Guangxi within Their Growth Period

易燕明  
Yi Yanming

李耀先 李秀存  
Li Yaoxian Li Xiucun

(广西气象研究所 南宁市植物路 50 号 530021)  
(Meteorological Institute of Guangxi, 50 Zhiwu Road, Nanning, Guangxi, 530021)

(广西气象局 南宁市植物路 50 号 530021)  
(Meteorological Service of Guangxi, 50 Zhiwu Road, Nanning, Guangxi, 530021)

**摘要** 在选择出适宜广西蒸散模式的基础上,利用广西物候资料及实验资料,确定了水稻、玉米、甘蔗生长期内逐旬作物系数,并计算了几种作物的平均需水量、极端最大需水量、极端最小需水量,为农业部门确定最佳灌溉期和合理的灌溉量提供依据。

**关键词** 蒸散 作物系数 作物需水量

**Abstract** An evapotranspiration model suitable to Guangxi condition is chosen firstly. And by using phenological and experimental data, we determine crops coefficients of rice, maize and sugarcane every ten days of a month within their growth period, and calculate average water requirement, extreme maximum water requirement and extreme minimum water requirement of the three crops. It can be taken as a basis of agriculture department defining optimum irrigation time and rational irrigation requirement.

**Key words** evapotranspiration, crops coefficient, crops water requirement

广西属季风区,气候多变,灾害频发。其中,干旱的危害尤其突出,要大范围防御干旱,除了适当改革种植制度,合理调整作物布局,更主要的是有计划地扩大蓄水工程,开发利用地下水资源,改善灌溉条件,并实行合理灌溉,以提高农业水资源利用率,要实现合理灌溉,首先要了解农作物各生育时期对水分的需求,并结合同期的气象预报资料,诊断出农作物的水分盈亏状况。因此,我们计算了逐旬需水量,通过逐旬需水量规律研究可以确定最佳灌溉期和合理灌溉量。

### 1 蒸散模式的选择

作物一生所需水分主要包括:(1)植物同化过程耗水和作物体内包含的水分。(2)蒸腾耗水,蒸腾大小受植物的种类和品种类型、植株的年龄、气象条

件等综合影响。(3)农田植株表面的蒸发。(4)土壤蒸发。而(1)(3)两部分耗水占总需水量的比例很小,通常可忽略不计,所以,常以蒸腾耗水与土壤蒸发之和(蒸散)来衡量作物的需水量大小。因而蒸散在农田水分平衡中是一个非常重要的分量,它的大小主要受气象条件制约,目前,蒸散的估算,关键在于求得当地的蒸发力,蒸发力指的是长着矮的绿色植物,生长均匀,植被充分覆盖地面,在充分供水的条件下,单位时间内的总耗水量。由于受人力、物力的限制,蒸发力的测定还很难在普通台站上进行。人们提出了应用于各种目的和不同情况下的蒸发力计算方法,这些方法主要是利用气象台站的常规气象资料,总结出一些半理论、半经验公式来估算作物蒸发力。目前国内外较广泛应用的有这样一些模式:

(1) 物质传输模式(道尔顿模式)

$$E = f(u)(e_s - e_a) \quad (1)$$

$E$ —蒸发量,  $e_s$ —蒸发表面的饱和水汽压,  $e_a$ —蒸

发表面上的空气水汽压,  $f(u)$ — 风速函数

在有蒸发量、水气压差和风速资料的水文气象台站, 先根据 (1) 式得出适用于本地区的经验公式, 定出  $f(u)$  的具体函数式。然而, 尽管各气象台站都测定土壤表面的温度, 但由于方法和仪器都存在着问题, 其测定精度不高, 而用红外和遥感技术来测定地表温度尚未广泛使用, 因此, 利用 (1) 式来估算裸地蒸发和作物地段蒸散量还需进一步研究。

(2) 以气温为基础的桑斯维特模式

$$E_0 = 1.6 \times L/12 \times N/30 \times 10t/I \times a \quad (2)$$

$L$ — 以小时为单位的白天长度,  $N$ — 月的天数,

$t$ — 月平均气温 ( $^{\circ}\text{C}$ )

$$a = 6.75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7.71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1.79 \times 10^{-2} \times I + 0.49$$

$I$ — 热指数, 从 12 个月的指数值  $i$  之和求得

$$i = (t/5) \times e^{1.541}$$

桑斯维特模式非常简单, 只需要月平均气温和白天长度即可, 因而也得到了一些应用, 但在干温季节明显的季风地区, 蒸发受其它气象要素影响还较大, 因而不适用, 这一模式用于小于月的时段或温度小于 0 时计算蒸发量, 也会得出一些错误结果来, 因而该模式除用于计算生长季节的蒸散量年值外, 已不再广泛使用。

(3) 苏联布德科模式

布德科认为在充分湿润条件下的面蒸发量, 可以用确定水面蒸发量同样的方法来计算, 即湿润表面的蒸发量和饱和差成比例, 饱和差是根据蒸发面的温度来确定的, 该公式可表示为:

$$E_0 = \rho D(q_s - q)$$

$E_0$ — 可能蒸发量  $\rho$ — 空气密度

$D$ — 外扩散的积分系数  $q$ — 空气比湿

$q_s$ — 蒸发表面温度下的空气饱和比湿

在还较湿润情况下, 蒸发表面的温度由热量方程得出。布德科利用上模式计算过年、月的可能蒸发量, 做出了地球陆面年和各月的可能蒸发图, 我国也利用上述方法在中国物理气候图集中计算了可能蒸发量。

(4) 彭曼模式的综合法及其改进

彭曼在道尔顿经验公式和热量平衡方程基础上建立了彭曼公式, 由于其物理基础严格、意义明确, 而得到世界各国研究者的广泛应用。

$$E_0 = (\Delta R + rEa)/(\Delta + r) \quad (4)$$

$E_0$ — 表面温度为  $T_s$  时用物质传输法计算得出的蒸发量,  $R$ — 辐射平衡。

利用彭曼公式来计算可能蒸发和可能蒸散时, 只需要空气温度、湿度、日照时数和风速四个气候要素, 而这些要素都是常规观测中能得到的, 因彭曼模式有较完整的物理基础, 其计算结果较接近实测值, 因而近 30 年来, 在世界很多国家中得到广泛应用。

通过比较各种模式的优越性, 我们采用了物理意义比较明确的彭曼模式来求算蒸散量, 课题采用的是联合国粮农组织 1979 年推荐的修订后的彭曼公式, 该公式考虑了海拔高度对蒸散的影响。

$$E_0 = \left( \frac{P_0 \cdot \Delta R_n + Ea}{\frac{P_0 \cdot \Delta}{Pr} + 1} \right) \quad (5)$$

$P_0$ — 海平面平均气压 (mb)

$P$ — 计算站的气压 (mb)

$\Delta$ — 饱和和水气压随温度的变化率

$$\Delta = ea/(273 + ta) \cdot (6463/(273 + t) - 3.927)$$

$r$ — 干湿表常数,  $r = 0.486 \text{ mm}/^{\circ}\text{C}$

$E_a$ — 空气动力项, 采用根据我国大型蒸发池观测资料得到的公式:

$$E_a = 0.16(1 + 0.51U/2)(ea - ed)$$

$ea$ — 饱和水汽压 (mb)

$ed$ — 实测站的实际水汽压 (mb)

$u$ — 风向标高处风速 (m/s)

$u_2$ — 离地面 2 米高处风速  $u_2 = 0.72u$

$R_n$ — 太阳辐射量 (mm/日)

$$R_n = Ra(1 - r') - I \quad (8)$$

$$Ra = (Ra)_0(a + bn/N)$$

$I$  的计算式采用彭曼所用计算式 [2]:

$$I = S\sigma T_s^4(0.39 - 0.058 \sqrt{e_s})(0.1 + 0.9n/N) \quad (9)$$

$(Ra)_0$ — 大气顶部太阳辐射 (mm/日,  $1\text{mm} = 59 \text{ 卡}/\text{cm}^2$ )

$a, b$ — 用日照时间计算太阳辐射量的系数

$n$ — 实际日照时数 (小时)

$N$ — 可能最大日照时数 (小时)

$\sigma T_{ke} + 4$ — 平均气温  $T_a$  时理论黑体辐射

$\sigma$ — 波尔兹曼系数  $\sigma = 2.01e - 9 \text{ mm}/\text{日}$

$S$ — 灰体系数, 取值 0.9

$a, b$  系数的确定:

计算太阳辐射公式中的经验系数  $a, b$  取值时, 将全区分桂南和桂北两个大区 (北回归线以南为桂南区, 北回归线以北为桂北区), 如表 1。

表1 广西各季太阳辐射等级 a,b 值表

Table 1 Regression coefficient a,b of solar radiation each season in Guangxi

系数 Coefficient	桂南区 (南宁)				桂北区 (桂林)			
	South of Guangxi (Nanning)				North of Guangxi (Guilin)			
	春 Spring	夏 Summer	秋 Autum	冬 Winter	春 Spring	夏 Summer	秋 Autum	冬 Winter
a	0.140	0.167	0.189	0.160	0.115	0.137	0.177	0.140
b	0.591	0.532	0.537	0.612	0.665	0.601	0.567	0.597

2 作物系数的确定

彭曼模式用来计算可能蒸散的结果,是在广阔地段上 8~15cm 高生长旺盛、并完全覆盖地面的短草在有充分水分供给时的蒸散量。但对于半干旱、半湿润地区或干旱地区,由于水分不足,地表面常常呈现干旱状况,因而实际蒸散量比可能蒸散量小得多,而当地段上不是短草,而是各种农作物(如甘蔗、玉米)时,它们对实际蒸散量也都有显著影响,试验也证明,处于主要发育期的水稻,其实际蒸散量可以比可能蒸散量大得多。

作物需水量与作物本来的生长发育状况及外界的气象条件有着密切的关系,要利用可能蒸散量来估算作物需水量,目前最常用的方法是首先求出该旬的可能蒸散量,然后乘以作物系数,便可得到该旬作物需水

量。作物系数是指不同发育期中需水量与可能蒸散量之比(kc)。

2.1 水稻作物系数的确定

广西水利工程管理局 80 年代初开展了《广西水稻需水量等值线图》课题研究,该课题进行了大量的水稻需水量试验研究,研究过程中,他们将试验站点分成了南北两片(即北回归线以南为桂南片,北回归线以北为桂北片)作为确定(kc)值的代表站。桂南片的(kc)值由南宁市天雹站(81~85年)、苍梧县塘湾河站(81~85年)、横县北滩站(81~85年)、玉林县江口站(82~84年)、灵山县米村站(82~84年)五个站实测资料综合确定,桂北片(kc)值由贺县狮洞站(81~85年)、河池地区中心站(83~85年)、柳州地区中心站(82~84年)、荔浦县修仁站(83~85年)四个

表2 百色水稻、玉米、甘蔗逐旬作物系数表

Table 2 The crop coefficients of paddy rice, maize and sugarcane every ten days in Baise

作物 Crops	1月 Jan.			2月 Feb.			3月 Mar.			4月 Apr.			5月 May			6月 June		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
早稻 Early rice	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	1.20	1.25	1.30	1.32	1.34	1.34	1.34	1.35	1.35	1.35	1.32
晚稻 Late rice	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
早玉米 Early maize	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.00	0.90	0.70	0.60
晚玉米 Late maize	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
甘蔗 Sugarcane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.50	0.60	0.70	0.80	0.80	0.90	1.00	1.10

作物 Crops	7月 July			8月 Aug.			9月 Sep.			10月 Oct.			11月 Nov.			12月 Dec.		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
早稻 Early rice	1.31	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
晚稻 Late rice	1.18	1.20	1.22	1.24	1.26	1.27	1.28	1.28	1.28	1.24	1.26	1.24	1.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
早玉米 Early maize	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
晚玉米 Late maize	0.00	0.00	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.00	0.90	0.70	0.60	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
甘蔗 Sugarcane	1.10	1.10	1.20	1.20	1.10	1.00	0.90	0.90	0.80	0.80	0.80	0.70	0.70	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60

a=上旬 The first ten days of a month. b=中旬 The second ten days of a month. c=下旬 The last ten days of a month.

站的实测资料综合确定。我们利用他们实测的水稻需水量资料,并由彭曼公式选择的估算式来算出各年各月的可能蒸散量,并得到各月实测水稻需水量与可能蒸散比值,而后对桂北、桂南片求平均值并结合同期作物发育观测资料,确定了早晚稻的作物系数  $k_c$ 。

## 2.2 玉米、甘蔗作物系数的确定

玉米、甘蔗的作物系数 ( $k_c$ ) 由于广西无实测资料,其值系参照联合国粮农组织 (FAO) 所确定的玉米、甘蔗不同发育期的作物系数值,并结合当地玉米、甘蔗物候资料综合确定。

表3 百色水稻、玉米、甘蔗逐月平均需水量和极端需水量 (mm)

Table 3 The average water requirement and extreme water requirement of paddy rice, maize and sugarcane every month in Baise (mm)

作物 Crops	1月 Jan.			2月 Feb.			3月 Mar.			4月 Apr.			5月 May			6月 June			
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	
早稻 Early rice	A	46.4	45.8	44.7	45.4	46.9	46.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.7	26.5	28.5	32.1	38.2	44.7
	B	63.9	65.7	67.4	69.9	66.5	76.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.5	45.1	42.8	41.9	58.8	61.7
	C	27.9	29.0	22.4	30.5	27.3	28.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	11.1	11.0	18.0	23.6	21.3
晚稻 Late rice	A	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	B	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
早玉米 Early maize	A	34.6	37.6	33.1	30.3	24.3	21.1	0.0	0.0	0.0	5.8	7.4	6.5	10.7	13.3	13.7	17.3	23.3	30.0
	B	47.7	53.9	49.9	46.6	34.5	34.9	0.0	0.0	0.0	10.7	14.5	14.1	16.1	22.6	20.6	22.6	35.6	41.4
	C	20.9	23.8	16.6	20.3	14.2	12.9	0.0	0.0	0.0	3.0	3.3	3.0	5.6	5.6	5.3	9.7	14.3	14.3
晚玉米 Late maize	A	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	B	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
甘蔗 Sugarcane	A	24.2	27.4	26.5	30.3	34.8	35.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	9.9	14.5	20.0
	B	33.4	39.2	39.9	46.6	49.2	58.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.7	12.9	22.3	27.6
	C	14.6	17.3	13.3	20.3	20.2	21.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	5.5	8.9	9.5

作物 Crops	7月 July			8月 Aug.			9月 Sep.			10月 Oct.			11月 Nov.			12月 Dec.		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
早稻 Early rice	A	52.0	54.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	B	69.5	73.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	31.2	34.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
晚稻 Late rice	A	46.9	50.3	48.1	49.9	47.9	47.2	47.3	44.6	39.8	30.8	28.6	23.2	24.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	B	62.6	67.8	60.0	60.4	65.8	65.0	60.5	56.0	54.1	44.1	40.0	33.9	30.7	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	28.1	31.6	33.7	38.1	34.9	24.6	30.4	26.0	24.5	14.8	15.6	15.7	12.6	9.8	0.0	0.0	0.0
早玉米 Early maize	A	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	B	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
晚玉米 Late maize	A	0.0	0.0	19.7	24.2	26.6	29.7	33.2	34.9	34.2	24.8	20.4	13.1	11.8	8.6	0.0	0.0	0.0
	B	0.0	0.0	24.6	29.2	36.6	41.0	42.5	43.8	46.5	35.5	28.6	19.1	20.1	13.2	0.0	0.0	0.0
	C	0.0	0.0	13.8	18.5	19.4	15.5	21.4	20.8	21.1	12.0	11.2	8.9	6.2	5.0	0.0	0.0	0.0
甘蔗 Sugarcane	A	43.7	46.1	47.3	48.3	41.8	37.1	33.2	31.4	24.9	19.9	18.1	13.1	13.8	8.6	7.6	7.6	6.9
	B	58.3	62.1	59.0	58.5	57.5	51.2	42.5	39.4	33.8	28.4	25.4	19.1	22.6	13.2	11.2	11.7	10.2
	C	26.2	28.9	33.1	36.9	30.5	19.4	21.4	18.7	15.3	9.6	9.9	8.9	7.2	5.0	3.9	3.5	4.5

A=平均需水量 Average water requirement. B=极端最大需水量 Extreme maximum water requirement. C=极端最小需水量 Extreme minimum water requirement. a=上旬 The first ten days of a month. b=中旬 The second ten days of a month. c=下旬 The last ten days of a month.

表2列出了百色区域几种作物的逐旬需水系数,其余地区省略。

## 3 作物需水量估算结果

表3列出了几个地区逐旬平均需水量及其极端需水量值。从表3可看出,几种作物需水规律基本上呈少—多—少规律,为了估算预报时段各作物的需水量值,我们还为用户提供了作物需水估算模式,见图1,用户只须根据屏幕提示进行相应选择,便可求算任一时段该作物的蒸散量。

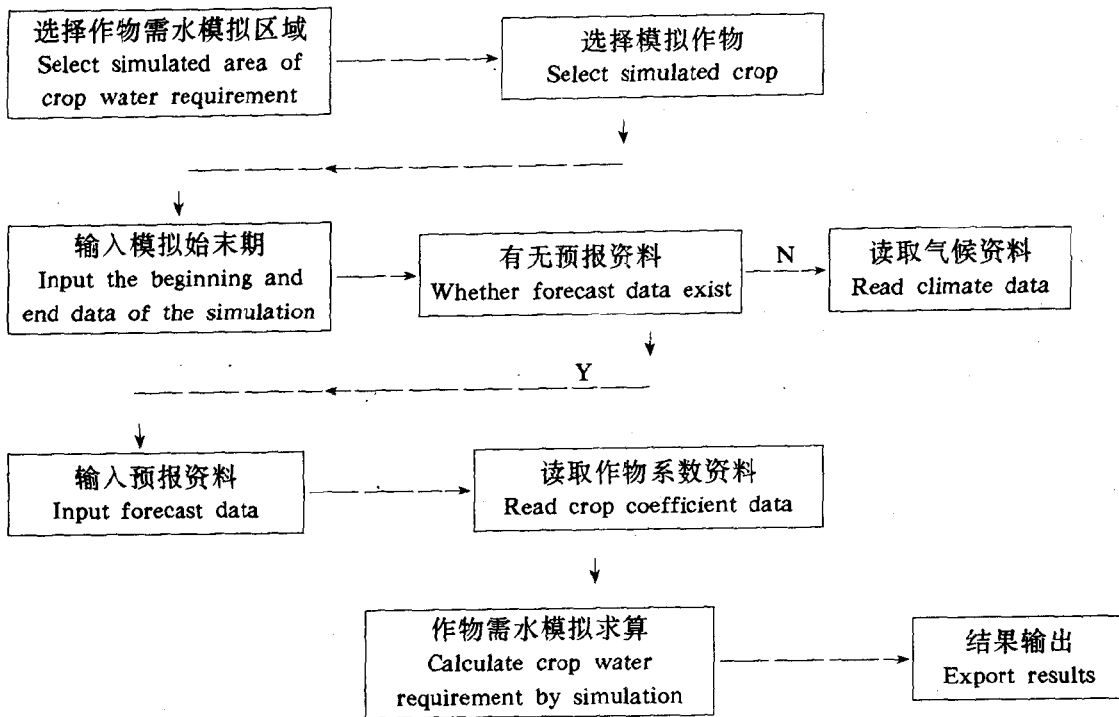


图 1 作物需水模拟程序框图

Chart 1 The simulation program framed Chart of crop water requirement

### 参考文献

- 1 Penman H L. Natural evaporation from open water bare soil and grass. Prof of Royal Society of London, 1948, A, 193.
- 2 联合国粮农组织. 农业气象监测与作物收成预报. 罗马, 1979.
- 3 安顺清等. 用 Penman 公式计算潜在蒸发量及潜在蒸发量月值划为旬值的方法. 气象科技, 1983, 1

(上接第 69 页 Continue from page 69)

### 参考文献

- 1 Anon. The winged bean; A high-protein crop for the tropics. Washington D. C.; National Academy of Sciences, 1975.
- 2 Gheyasuddin S, Ahmed S, Roy P K. Chemical Composition and nutritive quality of winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus*). Bangladesh Horticulture, 1982, 10 (1); 5 ~10.
- 3 左辞秋. 四棱豆是热带有前途的高蛋白植物. 云南农业科学, 1982, (21); 62~67.
- 4 龙明华, 秦荣耀, 刘政国. 矮生四棱豆——桂矮的主性状研究初报. 中国蔬菜, 1993, (4); 25~27.
- 5 龙明华. 早熟四棱豆“桂丰一号”主要性状. 长江蔬菜, 1993, (4); 40~41.
- 6 刘俊松. 四棱豆的花蕾脱落生理特性. 植物学通报, 1988, 5 (4); 223~226.