

人参生长规律初步研究

丁 希 泉

(吉林省农科院机耕所)

了解人参的生长过程及其某些特点,以便采取科学的田间管理技术达到人参稳产、高产,具有重要的理论与实践意义。为此,我们对人参生长过程进行了深入研究,除采用图解法进行文字说明外,还采用了数学模拟新方法,建立适宜的数学模型,进而用数学分析方法深入分析人参生长过程的某些数量规律和特点。

一、人参生长动态

根据我们在各时期测定的人参重量资料,绘出人参生长动态图(图1~图3)。从图中看出,一年中人参生长过程可分为三大阶段。

(一)前期:减重期

从出苗到展叶期间(抚松参区在5月上中旬至6月中旬)为营养器官(茎、叶、季节性不定根)的生长期。繁殖器官(花序)生长量很小。这个阶段贮藏根的营养倒流供给地上部生长,因而根的重量下降,即所谓的减重期。

(二)中期:直线增长期

进入开花到结果(绿果已长成)期间(6月中旬至7月末)为人参的各器官(茎、叶、花果、季节性不定根、贮藏根)同时旺盛生长。此阶段各器官重量均呈直线增长,也是全年中需要水分、营养量最大的时期。在栽培管理上应根据土壤水分状况适时进行人工灌溉,以及根外追肥(可在开花前),以保证此阶段人参生长对水肥的需求。

(三)后期:增重转折期

人参采种至枯萎前的期间(8月中旬至9月下旬或霜冻前),为人参贮藏根的最后生长期。在枯萎过程中,茎、叶营养向根部输送。茎、叶达到枯萎时(9月下旬或霜冻前),贮藏根不再增重,而茎叶枯萎以后,吸收根的重量反又减轻了。

二、数学模型的选择

人参生长过程是连续变化过程,不能截然分开,它应该是随时间推移而变化的曲线。从图1~图3看出,这条曲线呈波浪形,有低谷、山峰和斜坡。低谷相当于前述的减重期,斜坡为旺盛生长期,山峰为最后生长期至枯萎后减重期。对于这样的波浪形曲线,可以求出一个数学模型,代表人参重量随时间变化的函数。此函数可以采用多项式逼近方法推

求。由于人参生长过程曲线是波浪形曲线，可以判断，最少要用三次方程式表示，即

$$Wt = a + bt + ct^2 + dt^3 \quad (1)$$

式中 Wt — t 时间的人参根重 (克/平方米)； t —时间，指出苗后的天数； a —起点 (截距)，表示出苗时的根重； b 、 c 、 d —系数，反映曲线变化的参数。

对于方程式 (1)，我们可以采用数理统计方法，根据实测资料计算出来，关键就是求出系数 a 、 b 、 c 、 d 值。由回归分析方法可得出求系数的联立方程式：

$$\begin{cases} na + (\sum t)b + (\sum t^2)c + (\sum t^3)d = \sum w \\ (\sum t)a + (\sum t^2)b + (\sum t^3)c + (\sum t^4)d = \sum tw \\ (\sum t^2)a + (\sum t^3)b + (\sum t^4)c + (\sum t^5)d = \sum t^2w \\ (\sum t^3)a + (\sum t^4)b + (\sum t^5)c + (\sum t^6)d = \sum t^3w \end{cases} \quad (2)$$

解此方程组，即可求出系数 a 、 b 、 c 、 d 。于是可求出方程式 (1)。当然，求系数的方法很多，也可用分组法或正交多项式方法来求。

三、计算结果与检验

对各年生实测资料，经统计计算，得出人参生长曲线方程式，并进行显著性检验。

(一) 四年生人参生长方程式

根据四年生人参生长期测定的实际资料，计算得出人参生长方程式：

$$\hat{w} = 453.38 + 13.724t + 0.3251t^2 - 0.001393t^3 \quad (3)$$

根据方程式 (3)，计算得出时间 t 相对应的人参根重 \hat{w} 值，并绘出理论曲线图 (图1)。可以看出，计算结果与实际值是基本一致的。为了进一步检验该方程是否与实际值相吻合，我们进行了方程式显著性检验 (采用 F 检验法)。检验结果如表 1，计算 F 值为 42.2，达到极显著。说明方程式与实际资料相吻合。

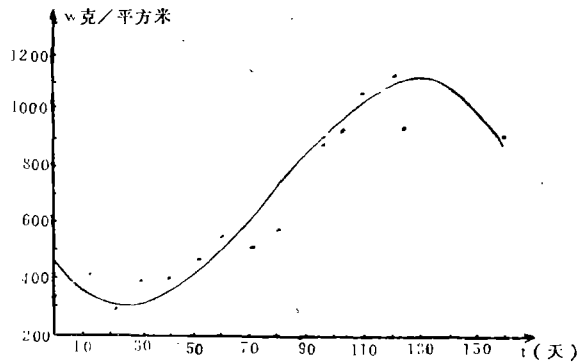


图 1 四年生人参生长曲线 (岗地)

(二) 五年生人参生长方程式

根据五年生实测资料计算得出人参生长方程式为：

$$\hat{w} = 1087 - 8.974t + 0.226t^2 - 0.001006t^3 \quad (4)$$

将不同 t 值代入方程 (4) 内，便得出各时间 t 相对应的人参重量值，绘成图如图 2。很明显，计算值与实际值相吻

表 1 回归方程式显著性检验 (岗地，四年生)

变异原因	偏差平方和	自由度	均 方	F 值
回 归	949075.64	3	316358.6	42.2
残 差	74933.30	10	7493.5	
总 体	1024010.94	13		

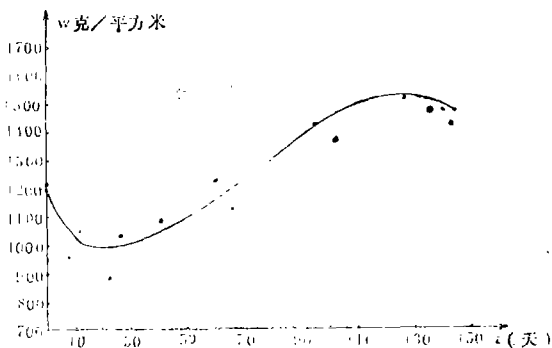


图2 五年生人参生长曲线(岗地)

(三) 六年生人参生长方程式

根据六年生人参根重实测资料, 计算得出六年生人参生长方程式为:

$$\hat{w} = 1295.14 - 21.6087t + 0.6033t^2 - 0.003105t^3 \quad (5)$$

将不同t值代入方程式(5)中, 得出各时间t相对应的人参根重值, 绘出图如图3。显而易见, 计算值与实际值是相吻合的。方程式显著性检验结果(表3)表明, 计算F值为10.9, 达到极显著, 说明该方程式能反映其生长过程。

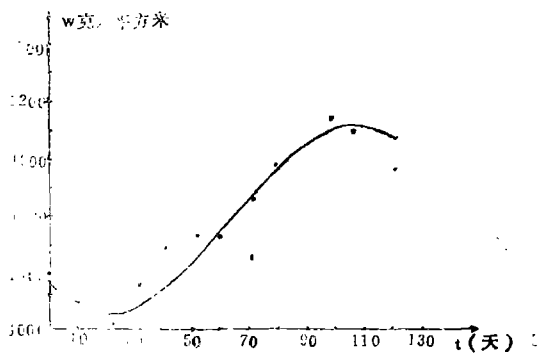


图3 六年生人参生长曲线(岗地)

计算出生长方程式:

$$\text{四年: } w_4 = 505.11 - 0.0737t + 0.2442t^2 - 0.001058t^3 \quad (6)$$

$$\text{五年: } w_5 = 533.68 - 14.927t + 0.3966t^2 - 0.001855t^3 \quad (7)$$

$$\text{六年: } w_6 = 1556.12 - 18.9724t + 0.5558t^2 - 0.003012t^3 \quad (8)$$

并将不同t值分列代入方程式(6)、(7)、(8)中, 求出相应的计算值, 并绘出各年的生长曲线(图略)。各曲线值与实际资料相吻合。对方程式显著性测定结果表明(表4~表6), 各年生的生长方程式均达到极显著水准, 说明方程式与实际资料很吻合。

合, 方程式显著性检验结果(表2)表明, 计算F值为15.8, 达到极显著, 说明方程式能反映实际生长过程。

表2 回归方程式显著性检验
(岗地, 五年生)

变异原因	偏差平方和	自由度	均方	F值
回归	360522.48	3	120174.2	15.8
误差	53151.50	7	7593.1	
总体	413673.98	10		

表3 回归方程式显著性检验
(岗地, 六年生)

变异原因	偏差平方和	自由度	均方	F值
回归	1041891.20	3	347297.1	10.9
误差	223294.40	7	31899.2	
总体	1265185.60	10		

(四) 甸沟地栽培人参生长方程式

根据在抚松县一参场甸沟地上栽培的4~6年生人参实测资料, 分别

表4 回归方程式显著性检验
(甸地, 四年生)

变异原因	偏差平方和	自由度	均方	F值
回归	1144434.6	3	381478.2	207.5
误差	18385.3	10	1838.5	
总体	1162819.9	13		

表 5 回归方程式显著性检验
(甸地, 五年生)

变异原因	偏差平方和	自由度	均 方	F 值
回 归	1022777.4	3	340925.8	21.0
误 差	162441.4	10	16244.1	
总 体	1185218.8	13		

表 6 回归方程式显著性检验
(甸地, 六年生)

变异原因	偏差平方和	自由度	均 方	F值
回 归	1076111.2	3	358703.7	25.3
误 差	85149.9	6	14191.7	
总 体	1161261.1	9		

四、人参重量极值点的出现日期

人参生长过程中有二个极值点：一是极小值点，即曲线的山谷处；另一个是极大值点，即曲线的山峰处。欲求此二个极值点出现日期，也就是求它的横坐标值。这个横坐标值必定要满足方程式(1)对t的一阶微分等于零的条件，即

$$\frac{d\hat{w}}{dt} = b + 2ct + 3dt^2 = 0 \quad (9)$$

解此一元二次方程组，便得出二个根，即二个极值点的横坐标为：

$$t_{\min} = \frac{-2c + \sqrt{4c^2 - 12bd}}{6d} \quad (10)$$

$$t_{\max} = \frac{-2c - \sqrt{4c^2 - 12bd}}{6d} \quad (11)$$

将方程(3)~(8)中的相应系数，分别代入公式(10)、(11)中，即得出各年生极值点出现日期(列于表7)中，再将所得t值分别代入方程式(3)~(8)中，便得出各年生人参重量极大值与极小值(表7)。

表 7 人参生长过程极值日期及极值

地 势	年 生	根重最轻		根重最大	
		日 期	日 期	值克/m ²	值克/m ²
岗	四	25	130	291.6	1092.1
	五	24	126	987.9	1531.9
	六	22	108	1078.7	2086.9
甸	四	22	132	412.4	1129.0
	五	22	120	377.5	1248.0
	六	21	103	1374.9	2207.2

注：表中的日期为出苗后的天数。

从生长曲线图(图1~图3)及表7可以看出，各年生极小值均在出苗后20~25天内出现(约6月中旬)，这时人参正处于展叶期。对于人参重量极大值，四、五年生为出苗后126~130天(约9月下旬)，这个时期与霜期相一致。六年生由于较早的剪掉茎、叶(9月6日左右)，致使正在迅速增长的人参，突然失去营养供应，这样不仅使原来的生长停止，而且已贮藏的一部分营养又转化，以供人参生命活动的需要。这样，根重提早转入下降阶段。因此，在生产上，应合理的确定剪叶时期。剪早了，对根重影响很大；剪晚了遇到早霜来不及。为此，最好能在收获前2~3天剪叶，然后及时收获。至于在霜后收获的，最好能在霜前3~5天(约9月15~20日)剪叶，以后不久便来早霜，自然进入枯萎后的根重减轻期。这样，对根重的影响最小。在生产管理上，只要合理安排，还是容易做到的。

从生长曲线图(图1~图3)及表7可以看出，各年生极小值均在出苗后20~25天内出现(约6月中旬)，这时人参正处于展叶期。对于人参重量极大值，四、五年生为出苗后126~130天(约9月下旬)，这个时期与霜期相一致。六年生由于较早的剪掉茎、叶(9月6日左右)，致使正在迅速增长的人参，突然失去营养供应，这样不仅使原来的生长停止，而且已贮藏的一部分营养又转化，以供人参生命活动的需要。这样，根重提早转入下降阶段。因此，在生产上，应合理的确定剪叶时期。剪早了，对根重影响很大；剪晚了遇到早霜来不及。为此，最好能在收获前2~3天剪叶，然后及时收获。至于在霜后收获的，最好能在霜前3~5天(约9月15~20日)剪叶，以后不久便来早霜，自然进入枯萎后的根重减轻期。这样，对根重的影响最小。在生产管理上，只要合理安排，还是容易做到的。

五、人参生长速度方程式

人参整个生长过程中，各时期的生长快慢，即生长速度是不一样的。从植物体生长角度来说，人参生长速度也应是一个连续变化的曲线。这一条曲线可采用数学分析方法，由方程式(1)推导出来。从高等数学可知，函数的一阶微分其物理学意义就是表示速度的概念。因此，我们求人参生长方程式(1)对t的一阶微分，即得出人参生长速度方程式：

$$V = b + 2ct + 3d^2 \quad (12)$$

计算过的四、五、六年生人参生长速度方程式分别为：

岗地：

$$V_4 = -13.724 + 0.6502t - 0.004194t^2 \quad (13)$$

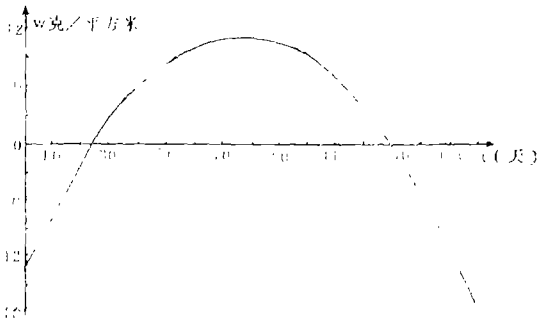


图4 四年生人参生长速度曲线(岗地)

$$V_5 = -8.974 + 0.452t - 0.003018t^2 \quad (14)$$

$$V_6 = -21.609 + 1.207t - 0.009315t^2 \quad (15)$$

甸沟地：

$$V_4 = -9.074 + 0.4881t - 0.003174t^2 \quad (16)$$

$$V_5 = -14.927 + 0.7932t - 0.00565t^2 \quad (17)$$

$$V_6 = -18.972 + 1.1116t - 0.009036t^2 \quad (18)$$

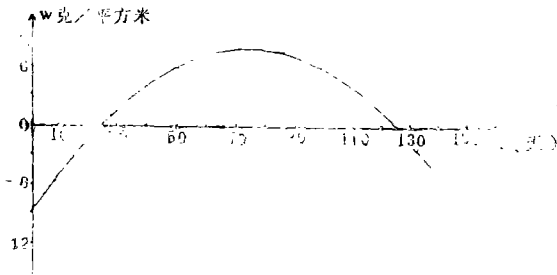


图5 五年生人参生长速度曲线(岗地)

将不同t值分别代入方程式(13)~(18)中，便得出四、五、六年人参各时期的生长速度，再分别绘出图(图4~图6)，就得出各年生人参生长速度曲线。从这些图看出，这是一条连续变化的单峰曲线。曲线的高峰即是人参生长速度的最大值。在这点之前，随着时间的推移，生长速度也随着增大；而在这个点之后，则随着天数的增加，生长速度却不断的减小。

六、人参最大生长速度出现的日期

人参生长速度是一个连续变化的单峰曲线，曲线的高峰即是人参生长速度最大值。那么，这个最大值在什么时间出现呢？也就是它的横坐标等

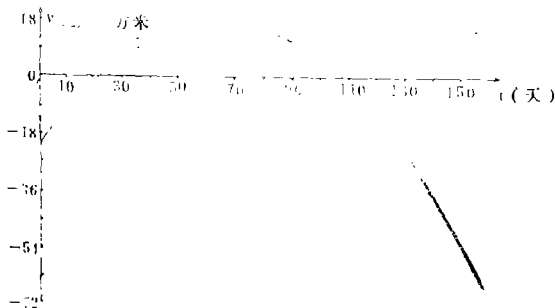


图6 六年生人参生长速度曲线(岗地)

于多少？从高等数学可知，这是一个求极值问题。这个点必须以满足人参生长速度方程式的一阶微分等于零为先决条件。即

$$-\frac{dy}{dt} = 2c + 6dt = 0 \quad (19)$$

求得： $t = \frac{-2c}{6d}$ (20)

按此公式分别计算出岗地四、五、六年最大生长速度出现日期为出苗后78天、75天、65天。将此值分别代入方程式(13)~(18)式中，得出最大生长速度为11.48、7.95、17.46克/m²·日。再将此值分别代入方程式(3)、(4)、(5)中，便得出达到最大

表8

地点	年生	四十天增重(克/m ²)	平均生长速度(克/m ² ·日)	总增重(m ²)	占总增重%
岗地	四	430	10.75	800	53.8
岗地	五	297	7.43	545	54.5
岗地	六	553	13.83	10.68	54.9
甸地	四	365	9.13	7.17	50.9
甸地	五	480	12.00	8.70	55.2
甸地	六	436	10.90	8.32	52.4

生长速度时的根重，分别为697.4、1260.8、1586.8克/m²。并且计算出甸沟地四、五、六年最大生长速度出现日期为出苗后77天、71天、62天(约在7月下旬)。其达到最大生长速度时相应的根重分别为771.3、809.2、1798.5克/m²。

这个最大生长速度值出现日期，从人参生长阶段来看，正值7月下旬，也是绿果期。

同时还可以看出，从出苗后60天(7月下旬)到100天(9月上旬)内，人参生长速度仍很大。这40天仅为生育总天数的30%左右。但是这一段时间内，生长速度均保持或接近最大生长速度的水平(表8)。因此，根重增长也非常快，这个时期根重约占总重量的一半以上。可见，这40天乃是人参根重增长的关键时刻，在水肥等方面一定要给予保证，使人参能达到最大生长速度，并维持较长的一段时间，才能获得高产。

参 考 文 献

- (1) 丁希泉：回归分析在农业科学中的应用，1979年，吉林省农业局。
- (2) 邢云章、马凤如：人参各生育时期生长动态研究。东北师大学报自然科学版，1981年第1期57~61页。
- (3) 丁希泉：玉米、高粱、大豆粒重增长过程的数学模拟，吉林农业科学，1981年第四期38~44。