

影响乳牛泌乳曲线因素的分析

王金良

(畜牧系)

摘 要

用不完全 γ 函数拟合了西安市奶牛群189个泌乳期的泌乳曲线,并应用最小二乘法分析了产犊月份、年份、胎次、干奶期、产奶量及畜群对泌乳曲线参数与性状的影响。研究表明,产犊月份、胎次及干奶期对泌乳曲线形状均有显著影响;产奶量仅影响泌乳曲线的相对位置;产犊年份与畜群对泌乳曲线无任何明显影响。研究发现,以干奶期为60~90d、在冬季或春季产第四胎的乳牛泌乳量最高。

关键词: 乳牛; 泌乳曲线; 不完全 γ 函数

乳牛305d产奶量最精确的测定方法是测定每天产奶量,然后累加起来。由于奶牛场规模的日益扩大,许多国家都力争在保持育种资料可靠的前提下简化产奶量的测定方法。现广为应用的方法是每月只测一天的产奶量,并据之估计305d的累计产奶量。近年来我国一些大型奶牛场也开始应用这种简便的测定方法。

针对该产奶量测定方法,国外已发展了许多估计305d产奶量的技术措施。中心日期法(Centering date method)是以测定日产奶量作为该测定日前15d和后15d日产奶量的估计值;测验期间法(Test interval method)则以相邻两测定日的日产奶量来估计在此期间的日产奶量。近来又发展了一系列数学模型来拟合泌乳曲线并估计产奶量^[1],不完全 γ 函数就是其中的一种。最初由Wood(1968)提出^[2],可以先对其进行对数转换,然后用线性回归法拟合泌乳曲线,并据以估计305d产奶量。据Congleton等(1980)研究^[3],用每月一天的产奶记录拟合的不完全 γ 函数泌乳曲线估计305d产奶量时,估计值平均偏差仅-15.1kg,估计值标准误差仅183.4kg,分别只占305d实际产奶量的0.2%和3%。我们用不完全 γ 函数对西安市黑白花奶牛群189个泌乳期305d产乳量的估计效果为,平均估计偏差-10.1kg,标准误差仅73.1kg,分别占305d平均实际产奶量的0.2%和1.4%(待发表)。可见,用不完全 γ 函数描述奶牛产奶规律是较为可靠的。

乳牛泌乳曲线受其年龄、胎次、产犊月份、干奶期长短等许多因素的影响,明确这些因素的作用,才能更有效地应用泌乳曲线描述产乳规律,估计305d产乳量。本研究目的就是应用最小二乘法估计若干因素对乳牛泌乳曲线的影响。

本文于1988年11月10日收到。

1 材料与方法

1.1 不完全 γ 函数的拟合

用以估计产乳量的不完全 γ 函数原形为

$$\hat{Y}_n = An^b e^{-cn} \quad (1)$$

其中： \hat{Y}_n ——在泌乳的第 n 个月（自分娩之日算起）的产乳量估计值；

e ——自然对数的底；

n ——泌乳月份，即泌乳日数（自分娩之日算起）除以30；

A ——常数乘子，使得泌乳量 \bar{Y}_n 在整个泌乳期有相同比例的增加；

b ——常数，决定了泌乳峰值出现前泌乳曲线上升的速度；

c ——常数，决定了泌乳峰值出现后泌乳曲线下降的速度。

拟合方法是先将式（1）两边取自然对数以线性化，然后用最小二乘法估计参数 A 、 b 和 c 。

对式（1）求一阶导数，得到

$$\frac{dY_n}{dn} = Ace^{-cn} n^{b-1} (b/c - n) \quad (2)$$

二阶导数为：

$$\frac{d^2Y_n}{dn^2} = Ac^2 e^{-cn} n^{b-2} \left[(b/c - n)^2 - \frac{b}{c^2} \right] \quad (3)$$

由式（2）、（3）可看出，当参数 A 、 b 、 c 为正时，泌乳曲线在第 $n=b/c$ 个泌乳月时达泌乳高峰，其值为： $A(b/c)^b e^{-b}$ （将 $n=b/c$ 代入式（1））。

泌乳持久度的计算采用Wood（1967）提出的计算公式： $S = C^{-(b+1)}$ 。

1.2 影响泌乳曲线因素的分析

不完全 γ 函数泌乳曲线的形状由 A 、 b 、 c 三个参数决定，其影响因素按下列回归模型进行最小二乘分析：

$$\begin{pmatrix} A \\ b \\ c \end{pmatrix} = \mu + \alpha_1 u_1 + \dots + \alpha_8 u_8 + \alpha_9 v_1 + \dots + \alpha_{20} v_{12} + \alpha_{21} w_1 + \dots + \alpha_{24} w_4 + \alpha_{25} x_1 + \dots + \alpha_{28} x_4 + \alpha_{29} y_1 + \dots + \alpha_{36} y_8 + \alpha_{37} z_1 + \dots + \alpha_{39} z_3 \quad (4)$$

其中： μ ——参数（ A 、 b 或 c ）平均值； α_i ——回归系数；

u 、 v 、 w 、 x 、 y 、 z ——下列各因素的虚设变量；

$u_1 \sim u_8$ ——产犊年份1980~1987年； $v_1 \sim v_{12}$ ——分娩月份1~12月；

$w_1 \sim w_4$ ——胎次，1~4胎； $x_1 \sim x_4$ ——干奶期<30d, 30~60d, 60~90d, >90d；

$y_1 \sim y_6$ ——305d产奶量 < 4500kg, 4500~5000, 5000~5500, 5500~6000, 6000~6500, 6500~7000, 7000~7500, > 7500kg;

$z_1 \sim z_3$ ——畜群A, B和C。

为了求得 $x'x$ 满秩阵, 令 $u_1, v_{12}, w_1, x_4, y_1, z_3 = 0$

所以, 回归方程(4)中的参数均值 μ 就是在基准条件(1980年12月份产第四胎, 干奶期大于90d, 该泌乳期产乳量低于4500kg的C群乳牛)下的参数估计值。

1.3 材料

材料取自西安市3个奶牛场1980~1987年共189个泌乳期的完整产奶记录。选择泌乳期时, 对分娩季节、胎次、产奶量、干奶期长短等因子均未加考虑。对每一个泌乳期都采用10个泌乳月每月一天的产奶量来拟合其不完全 γ 函数曲线, 估计参数 A, b, c , 然后用回归分析法分析影响参数 A, b, c (即泌乳曲线)的因素。

2 结果与讨论

回归模型(4)中各种效应的方差分析结果列入表1中。

表1 回归模型(4)中各种效应的方差分析

变异来源	df	A	b	C
		MS $\times 10^{-1}$	MS $\times 10^3$	MS $\times 10^4$
产犊年份	7	12.20	98.52	99.10
产犊月份	11	9.59	206.65**	227.30**
胎次	3	125.50**	61.90	117.70*
干奶期	3	99.77**	70.14	99.60
产奶量	7	52.59*	126.12*	123.40**
畜群	2	2.02	14.03	15.10
误差	154	24.75	58.06	41.82

注: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ 。

由表1可见, 胎次、干奶期长短和产奶量对参数 A 均有极显著或显著影响; 产犊月份和产奶量对参数 b 有极显著或显著影响, 产犊月份和干奶期长短, 以及产奶量对参数 C 影响显著或极显著, 而产犊年份和畜群对此三个参数均无显著影响。

回归模型(4)中各利效应的最小二乘均值见表2。

由表2可得到在基准条件中任一因素不同水平下的泌乳曲线, 由其三个参数值可计算得其三个性状(泌乳峰值出现月份、泌乳峰值及泌乳持久度)和305d产乳量估计值(见表3)。

由表2, 3可看出, 产犊年份对泌乳曲线三个参数和三个性状均无明显影响, 不同年份泌乳曲线形状基本相同(图1)。

产犊月份对泌乳曲线的影响极为明显(图2)。冬春季节(12, 1~6月)产犊的乳牛, 其泌乳曲线 A 值明显大于夏秋季。春末夏初(4~6月)产犊的乳牛, 其泌乳曲线

表2 回归模型(4)中各种效应的最小二乘均值

截距 (μ)	不完全T函数参数			截距 (μ)	不完全T函数参数			
	A	$b \times 10^2$	$c \times 10^2$		A	$b \times 10^2$	$C \times 10^2$	
	21.479	40.424	21.552		21.479	40.424	21.552	
1980	0	0	0	1	-4.429	-9.160	-5.575	
1981	2.299	2.791	3.272	胎	-2.520	-6.626	-2.905	
产	1982	-1.040	6.142	次	3	-1.424	-6.618	-1.661
接	1983	-2.510	15.565	4	0	0	0	
年	1984	-1.681	24.182	干	<30	3.597	-26.221	-0.334
份	1985	-1.378	2.789	奶	30-60	1.836	-12.248	-1.734
1986	-0.558	4.292	1.137	期	60-90	5.510	-7.366	1.766
1987	-0.465	16.398	4.898	>90	0	0	0*	
1	3.134	1.187	1.898	<4500	0	0	0	
2	2.116	-28.448	-7.480	4500-5000	3.183	1.544	-2.234	
产	3	1.885	-19.570	产	5000-5500	4.976	11.122	-0.143
4	3.961	-14.595	-1.558	奶	5500-6000	3.025	7.135	-4.204
接	5	8.468	-20.134	量	6000-6500	7.666	-9.242	-7.120
6	3.204	-29.579	-4.833	6500-7000	8.158	1.441	-5.402	
月	7	-3.832	-35.386	7000-7500	9.438	-4.266	-7.369	
8	-0.701	-35.707	-9.757	>7500	12.777	-1.224	-6.497	
份	9	-2.703	-22.924	畜	A	0.641	4.684	1.060
10	-1.259	-20.228	-7.201	B	-0.390	10.069	1.843	
11	-1.189	-21.346	-7.076	群	C	0	0	0
12	0	0	0					

表3 泌乳曲线三个性状及305天奶量估计值

影响因素	泌乳峰值出现月份 (d)	泌乳峰值 (kg)	持久度	305天	
				产奶量 (kg)	
1980	2.41 (72)	24.86	10.34	5549.0	
1981	2.20 (66)	25.64	8.67	5401.6	
产	1982	2.54 (76)	24.45	10.37	5436.5
接	1983	2.68 (80)	23.72	10.12	5193.3
年	1984	2.79 (84)	25.28	9.90	5460.6
份	1985	2.53 (76)	24.13	10.75	5435.0
1986	2.48 (74)	24.59	10.19	5446.6	
1987	2.58 (77)	25.10	9.42	5378.8	
产	1	2.45 (73)	27.11	8.50	5624.1
奶	2	2.09 (63)	25.37	10.27	5701.2
月	3	2.21 (66)	25.23	9.54	5506.4
份	4	2.16 (65)	26.46	8.51	5543.5

续表3

影响因素		泌乳峰值 出现月份 (d)	泌乳峰值 (kg)	持久度	305天 产奶量 (kg)	
产 奶 月 份	5	1.80 (54)	28.31	7.11	5548.7	
	6	1.79 (54)	24.85	8.40	5209.4	
	7	2.45 (73)	21.41	7.52	5304.4	
	8	1.95 (58)	22.71	10.79	5197.5	
	9	2.52 (76)	22.52	12.18	5293.4	
	10	2.50 (75)	23.75	11.53	5487.9	
	11	2.47 (74)	23.72	11.40	5463.8	
	12	2.58 (77)	25.10	9.42	5378.8	
	胎 次	1	2.84 (85)	22.10	12.16	5019.7
		2	2.62 (79)	22.95	10.41	5090.5
		3	2.51 (75)	23.36	9.61	5065.6
	干 奶 期 (d)	4	2.58 (77)	25.10	9.42	5378.8
<30		1.61 (48)	23.76	6.79	4556.0	
30—60		2.27 (68)	25.15	8.89	5339.3	
60—90		2.15 (65)	27.39	7.69	5514.4	
产 奶 量 (kg)	>90	2.58 (77)	25.10	9.42	5378.8	
	<4500	2.15 (64)	18.38	8.05	3769.2	
	4500—5000	2.41 (72)	22.56	9.45	4874.4	
	5000—5500	2.58 (77)	25.10	9.42	5378.8	
	5500—6000	2.87 (86)	25.19	11.76	5691.7	
畜 群	6000—6500	2.46 (74)	27.36	11.31	6288.4	
	6500—7000	2.77 (83)	29.48	11.78	6779.0	
	7000—7500	2.75 (83)	30.66	12.52	7200.8	
	>7500	2.79 (84)	31.26	12.28	7981.6	
畜 群	A	2.65 (80)	26.17	9.36	5577.8	
	B	2.77 (83)	25.99	9.55	5546.3	
	C	2.58 (77)	25.10	9.42	5378.8	

A值达最大，而b，C值均在冬季1月与12月产犊乳牛达最大值（表2）。与冬春季产犊乳牛（A，b，C值分别为29.25、0.54351和0.24416）相比，夏秋季产犊乳牛的A值（24.91）有极显著（ $P < 0.01$ ）降低，b，C值（分别为0.40582和0.17912）也都较低，虽然差异不显著（ $P > 0.05$ ）。由表3可见，秋冬季产犊的乳牛泌乳峰值出现较晚，平均为分娩后

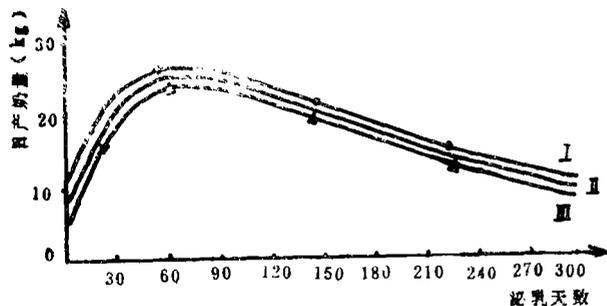


图1 产犊年份对泌乳曲线的影响
I：1980年； II：1987年； III：1983年

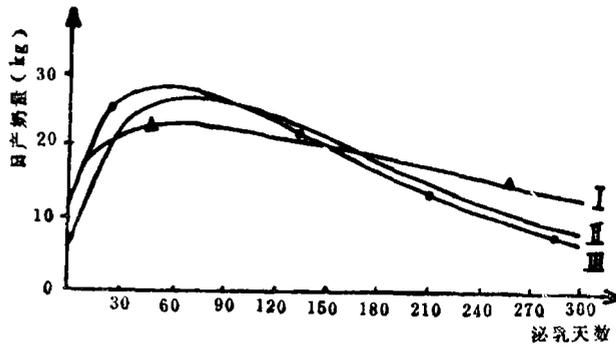


图2 产犊月份对泌乳曲线的影响

I, 7月; II, 12月; III, 4月

第73d出现,而春夏两季产犊者平均在分娩后63d时达泌乳高峰。泌乳峰值以冬春两季产犊的母牛为较高,平均值为26.26kg/d,而夏季和秋季产犊母牛平均泌乳峰值仅为23.16kg/d,差异极显著($P<0.01$);泌乳持久度以秋季分娩的母牛为较高,平均值为11.70,而其他季节各月分娩的母牛持久度平均值仅为7.90,前者极显著($P<0.01$)高于后者。夏季各月份产犊的母牛产奶量较低,平均5237.1kg,极显著低于其他季节分娩的母牛(平均产奶量5505.3kg)。秋季产犊母牛产奶量为5415.0kg,极显著低于冬春季(5550.5kg),而极显著高于夏季。冬季产奶量(5568kg)极显著高于春季(5532.9kg)。总之,以冬季产犊母牛305d产奶量最高,春季次之,夏季最低。Congleton等发现^[4],泌乳曲线A值在春末夏初(5,6,7月)产犊的母牛达最大,而b,C值则在冬季(12,1,2月)产犊母牛达最大。Keown等报道^[5],在5~8月分娩的母牛305d产奶量最高;Congleton等则发现305d产奶量最高的是秋季分娩的母牛。本研究结果表明,冬春季产犊的母牛305d产奶量极显著高于夏秋季,与国内大多数研究结果一致,不同国家地区气候的不同可能是研究结果不一致的原因之一。

不同胎次的泌乳曲线也有较大差异(图3)。随着胎次的增加,泌乳曲线的三个参数值均明显增大(表2),泌乳峰值的出现逐渐提早,泌乳峰值逐渐增大,泌乳持久度逐渐下降,305d产奶量逐渐升高。第一胎与其他各胎差异最明显,其泌乳峰值出现最晚,泌乳峰值最低,305d产奶量也最低,但其泌乳曲线最为平稳(持久度高)。据Congleton等的研究,随着母牛的体成熟增大(胎次增大),泌乳峰值升高而泌乳持久度下降。

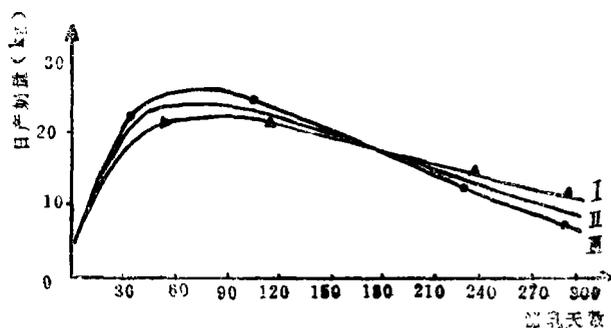


图3 胎次对泌乳曲线的影响

I, 1胎; II, 2胎; III, 4胎

干奶期的长短对泌乳曲线有明显影响(图4)。干奶期不足30d时,泌乳峰值的出现明显提前(分娩后48d),泌乳峰值和泌乳持久度也均有明显下降,因而305d产奶量估计值也最低,仅为4556kg,比其他干奶期低783.3kg~958.4kg,降低14.7%~17.4%(表3)。干奶期为60~90d时,虽然泌乳持久度稍低,但泌乳峰值最高,其值为27.39kg,明显高于其他干奶期,结果305d产奶量估计值也最大(5514.4kg),比干奶

期为30~60d和大于90d的乳牛分别高出175.1kg (3.3%) 和 135.6 kg (2.5%)。干奶期大于90d时，虽然泌乳持久度最大，但泌乳峰值并不高，因而305d产奶量估计值低于干奶期为60~90d的乳牛。此外，泌乳峰值出现的时间有随干奶期的延长而推迟的趋势。总的来说以60~90d干奶期为最好。

由图5可见，泌乳期产奶量对泌乳曲线的影响非常明显。随着产奶量的增高，泌乳曲线的参数A逐渐增大。当产奶

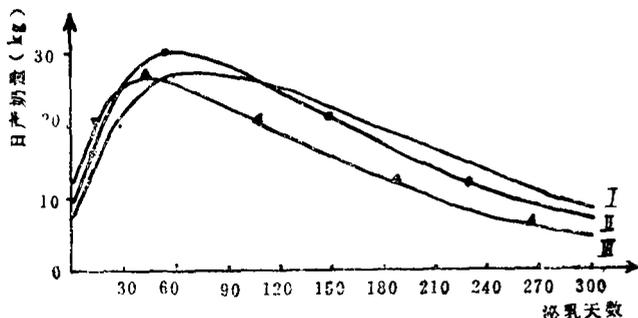


图4 干奶期对泌乳曲线的影响

I: 干奶期<30天; II: 干奶期60~90天; III: 干奶期>90天

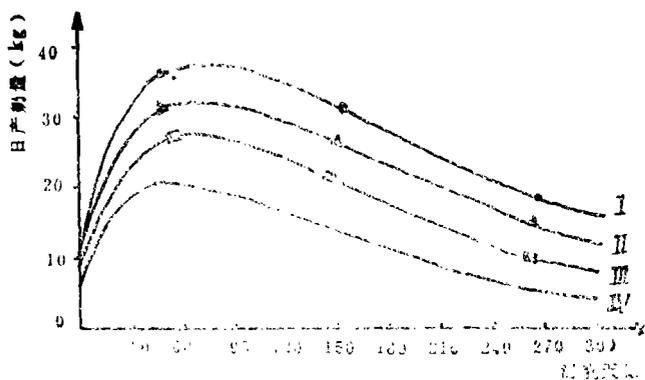


图5 泌乳期产奶量对泌乳曲线的影响

I: 泌乳期产奶量>7500kg; II: 6500~7000kg;
III: 5000~5500kg; IV: <4500kg

得在整个泌乳期不同时间的产奶量有相同比例的增大。图5中产奶量较高时其泌乳曲线也较高，这主要是由于A值的增大所致。但若保持b, C不变而仅仅增大A值，则会导致泌乳曲线的上升和下降速度加快，即泌乳持久度降低。C主要决定了泌乳峰值后泌乳曲线下降的速率。图5中各条泌乳曲线在泌乳峰值后下降速率基本相同，并不随305d产奶量

量由不足4500kg上升到大于7500kg时，A值增大了12.777;b,C值的变化不象A值那样规则，但仍可看出C呈下降趋势(表2)。泌乳峰值和泌乳持久度均随产奶量的提高而逐渐增大，泌乳峰值出现时间似有随产奶量增大而推迟的趋势(表3)。总的来说，产奶量越高，则泌乳峰值越大，泌乳曲线越平稳。Wood提出^[6]，参数A是泌乳期总产奶量指数，作为一个常数乘子使

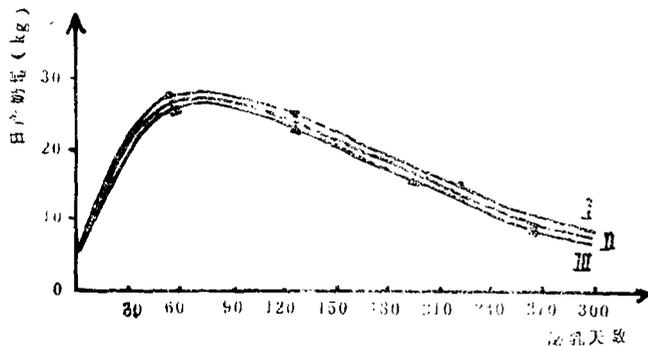


图6 畜群对泌乳曲线的影响

I: A畜群; II: B畜群; III: C畜群

的提高、 A 值的增加而增大,这主要是由于 C 值随305d产奶量的增高而减小的缘故(表2)。此外,按Wood(1967)提出的泌乳持久度计算公式计算,泌乳持久度随产奶量提高而增大,这与图5不符。Congleton等也发现同样现象,这表明Wood的泌乳持久度计算公式还应按产奶量作适当调整,这有待进一步研究。

畜群对泌乳曲线的参数、性状及其形状均无明显影响(表1,2,图6)。

3 结 论

3.1 乳牛产犊月份对其泌乳曲线有显著影响。冬春季产犊母牛,泌乳峰值较高,春夏季产犊乳牛较早达到泌乳峰值,而秋季产犊母牛泌乳持久度较高。总的来说,以冬季产犊母牛产奶量为最高,其次是春秋,再次是秋季,夏季最差。

3.2 不同胎次泌乳曲线不同。随着胎次的增加,其泌乳曲线三个参数值均逐渐增大,泌乳持久度逐渐下降,305d产奶量逐渐升高。第一胎与其他胎次的差异最为明显。

3.3 干奶期为60~90d时,其泌乳峰值最大,305d产奶量最高;干奶期不足30d的母牛,其泌乳峰值的出现明显提前,泌乳峰值和泌乳持久度均明显下降,305d产奶量估计值也最低;干奶期高于90d的母牛,其泌乳持久度最大,但泌乳峰值较低,因而305d产奶量估计值低于干奶期60~90d的母牛。

3.4 随产奶量的增大,泌乳曲线的 A 值逐渐增加,而 C 值逐渐减小,结果泌乳曲线形状相似,只是产奶量较高的乳牛其泌乳曲线也较高,泌乳峰值出现时间稍有延迟。

3.5 畜群及产犊年份对泌乳曲线无明显影响。

参 考 文 献

- 1 Schaeffer L R et al. *J Dairy Sci* 1977; 60: 1636
- 2 Wood P D F. *Nature* 1967; 216: 164
- 3 Congleton W R et al. *J Dairy Sci* 1980; 63: 101
- 4 Congleton W R et al. *J Dairy Sci* 1980; 63: 109
- 5 Keown J F et al. *J Dairy Sci* 1973; 56: 1070
- 6 Wood P D F. *Anim Prod* 1974; 19: 393

AN ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE LACTATION CURVE IN DAIRY CATTLE

Wang Jinliang

(Department of Animal Science, Northwestern Agricultural University)

Abstract

The incomplete gamma function is used to generate lactation curves for 189 lactations of Holstein cows from Xian Dairy Herds. The effects of freshening months, freshening years, conception numbers, dry periods, milk production and herd on the lactation curve parameters and traits are analyzed by the least square. Results show that freshening months, conception numbers and dry periods affect the shape of lactation curves significantly, and that milk production only affects the relative position of lactation curves; and that freshening years and herds have no significant effect on the lactation curves. It is found that the highest milk production is the 4th conception of cows in winter or spring seasons with a dry period of 60—90 days.

Key words: Dairy cattle; lactation curve; incomplete gamma function