

试
验
研
究

坡耕地垄作区田最佳挡距 数学模型及其检验*

沈昌蒲 刘福 张世玲 杨爱民 龚振平 尹家峰

(东北农业大学·哈尔滨市·150030)

(黑龙江省水土保持研究所)

摘要 根据黑龙江省垄体的几何图形,推导出各种坡度垄作区田单个浅穴容积 V 的计算公式。建立了最佳挡距数学模型 $L = 168\theta^{-0.50}$ 。在利用人工模拟降雨检验此模型时,选择了 $2^\circ, 4^\circ$ 和 6° 的玉米和大豆坡耕地,比较最佳挡距、最大挡距和不设土挡的开放垄的拦蓄降雨量。最佳挡距拦蓄降雨量分别是54.8mm, 50.4mm和42.06mm,比最大挡距分别多拦蓄18.4mm, 19.9mm和19.7mm降雨。比不设土挡的分别多拦蓄49.4mm, 44.6mm和39.9mm。在自然降雨条件下,6°大豆坡耕地最佳挡距的产量比最大挡距和不设挡的对照区分别增产22.3%和36.8%,证明此最佳挡距模型是可行的和可靠的。

关键词: 垄作区田 垄向坡度 挡距 数学模型

Mathematic Model and its Examination of the Optimum Block Space on Ridge Plotted Sloping Field

Shen Changpu Liu Fu Zhang Shiling Yang Aimin Gong Zhenping

(Northeastern Agricultural University, 150030, Harbin, PRC)

Yin Jiafeng

(Heilongjiang Institute of Soil and Water Conservation)

Abstract According to the geometrics of ridge-furrow, a formula for calculating the volume of individual shallow basin in various slopes was derived, and an optimum block space model was developed. This model suited various sloping fields. Through the examination on $2^\circ, 4^\circ$ and 6° sloping fields with 3.6mm/min rainstorm by rainfall simulator in the ridge plots of optimum block space, they intercepted the rainfall of 54.8, 50.4, and 42.0mm respectively, and were 18.4, 19.9, 19.7 and 49.4, 44.6, 39.9mm higher than that on the maximum block space and the open ridge respectively. Under the natural rainfall, the yield of soybean on 6° sloping field according to this model was 2 200 kg/ha, and was 22.3% and 36.8% higher than the check plots of the maximum block space and the open ridge. Therefore, the model is verified to be feasible and reliable.

Keywords: ridge plotted field; gradient along the ridge; block space; mathematical model

1 前 言

黑龙江省坡耕地有 400 万 hm^2 , 约占全省总耕地面积的 50%。这些坡耕地自开垦以来, 多采取顺坡垄种植, 水土流失严重。即使改为横坡垄, 也有被冲刷, 出现断垄和撕裂土地的现象。更何况自然地形多为两面坡或多面坡, 一块地中顺坡垄和横地垄同时存在, 在高雨强时顺坡和横坡都产生径流和冲刷。

垄作区田就是在坡耕地的垄沟中筑出小横土挡, 形成垄沟中一节节的浅穴, 使其就地拦蓄暴雨, 缓和高雨强和土壤入渗慢的矛盾, 因此, 垄作区田是一项有效的水土保持措施。同时它还改善坡耕地上坡易旱, 下坡易涝的状况, 尤其是它的作业简便易行, 不占耕地面积, 动土量少成本低, 而且在筑挡当年即可增产 20% 以上, 甚至成倍增产。所以它的生态、经济和社会效益都是较大的, 在国内外已有采用的。但是要进一步提高垄作区田的效果时, 挡距是关键因素, 挡距越大, 作业成本越低, 以少为宜。如保持水土, 坡度大挡距宜小, 坡度小挡距宜大, 从增加浅穴对雨强的承受力, 挡距宜小不宜大, 因为大坡度耕地上, 每个浅穴的上挡和下挡不在一个水平上, 显然每个浅穴的贮水量受到下挡高度的限制。因此穴容积和贮水容积是两个概念, 需要从单位面积上浅穴贮水量来考虑。黑龙江省坡耕地有多种多样的坡度, 深入探讨坡度与挡距的关系 ($L - \theta$), 找出其相对的省工、水土保持效果和增产显著的最佳挡距是必要的。

本研究的目的即在建立一个垄作区田 $L - \theta$ 关系的最佳挡距数学模型, 以便在多坡型和坡度的坡耕地上运用。

2 研究依据和步骤

本研究是在 1991 ~ 1994 年进行的。目的是在不同坡度的坡耕地上探讨挡距和坡度的关系, 从而建立起垄作区田相应的最佳挡距模型, 以便在各种坡耕地上运用。

在建立最佳挡距数学模型时遵循了下列三项原则:

1. 计算垄作区田最佳挡距各数据时, 先以黑龙江省传统垄作垄体结构的参数为依据。
2. 由于坡耕地局部地形变化, 在顺坡垄中有局部的横坡垄, 而在横坡垄中也有局部的顺坡垄。因此本研究不考虑坡耕地为顺坡垄或横坡垄以垄向坡度为依据。
3. 建立垄作区田最佳挡距数学模型时, 以单位土地面积上能有最大的浅穴贮水量为依据。

本试验研究步骤有四:

- (1) 推导垄作区田浅穴容积 (V) 计算式;
- (2) 计算机模拟计算各种坡度 (θ) 和各种挡距 (L) 条件下单位面积的最大贮水穴容积 (V_{\max});
- (3) 利用 SAS 软件建立 $L - \theta$ 之间数学模式;
- (4) 利用人工模拟降雨和自然降雨检验最佳挡距模型的可行性和可靠性。

3 结果讨论

3.1 垄作区田浅穴贮水容积计算

根据黑龙江省垄体的几何图形和 80 年代后期的垄作区田试验研究已确定垄沟中的土挡高度为 14cm (低于垄高 2cm), 土挡顶部宽度 14cm。将垄沟曲线趋势取直, 其横断面呈倒梯形 (图 1)。而在坡耕地上一个完整的浅穴形状如图 2 所示。为了计算方便把图 2 的构成分解为两

个部分,即中间的楔形和两侧的三角锥体合成的一个三角锥体。利用立体几何计算楔形面积及三角锥体面积公式,推导出的浅穴贮水容积的计算式如下:

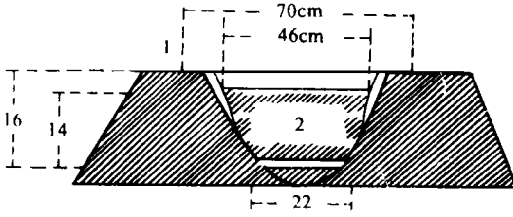


图1 垄沟横断面

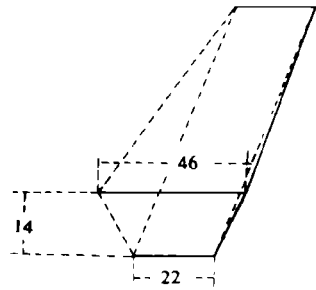


图2 浅穴立体图

$$V = 11H^2 \tan^2 \theta - 11 \tan \theta (H / \tan \theta - L + W)^2 + 0.285 H^2 \tan \theta - 0.285 \tan^2 \theta (H / \tan \theta - L + W)^3 - (11H^2 + 0.472H^3) \quad (1)$$

式中: V ——浅穴贮水容积(cm^3); θ ——垄向坡度($^\circ$); L ——两土挡之间的距离(cm); H ——土挡高度(cm); W ——土挡顶部厚度(cm)

当 $L > H / \tan \theta$ 时,每个浅穴的上端已不能贮水。 $L = H / \tan \theta$ 时,每个浅穴的土壤表面均有贮水层,尽管每个浅穴的下端水层深,上端水层极浅,把这时的土挡距离称为最大挡距,当 $L > H / \tan \theta$ 时,浅穴的上端不能贮水,因此浅穴的贮水容积不会再增多。 $L < H / \tan \theta$ 时,浅穴缩短,每个浅穴的贮水容积相对增大,贮水增多。

3.2 最佳土挡距离的计算

本试验的目标不追求单穴贮水量,而是使单位面积上有最大的贮水容积,即最大限度的拦蓄降雨。把这时土挡距离称为最佳挡距。因此,最佳挡距(图3)应与单位面积垄长(即单位面积)的最大贮水穴容积相对应。当土挡高 $H = 14\text{cm}$,土挡厚 14cm 时;

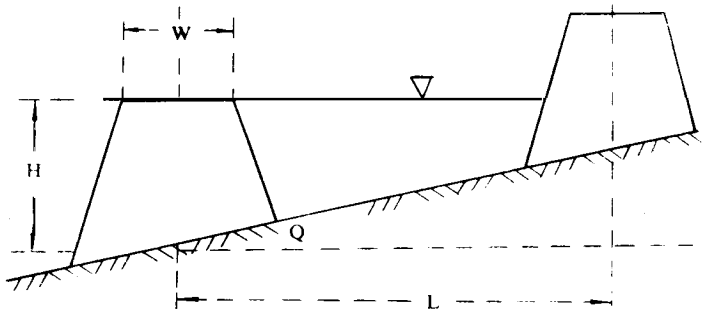


图3 最佳挡距模式图

$$V_{max} = \frac{V \times L_0}{L} = [2938 / \tan \theta - 11 \tan \theta + (14 / \tan \theta - L + 14)^2 - 0.285 \tan^2 \theta (14 / \tan \theta - L + 14)^3 - 3451] \times 10000 / L \quad (2)$$

式中: L_0 —— 100m 垄长, V_{max} —— 100m 垄长的最大贮水容积。

利用计算机模拟,计算出各个垄向坡度以及各种挡距 L 值时 V 值的变化(图4)。从图4中可看出,在每一坡度 θ 值的不同挡距时均有一个 V 值的峰值,此容积峰值的相应挡距 L 即为最佳挡距。

利用计算机进行大量的模拟计算,得出 $0.5 \sim 25^\circ$ 之间不同坡度的最佳挡距 L 值,用 SAS 软件统计的回归方程为:

$$L = 168\theta^{-0.5} \quad (3)$$

根据此回归方程选择一定坡度的坡耕地,可计算出它们的水土保持效果(表1和表2)。比较此二表中的集水面积,在同一坡度上,最大挡距的比最佳挡距的约大1~10倍。而可拦蓄降雨量,在同一坡度上,最佳挡距比最大挡距的多。垄向坡度越小,它们拦蓄降雨量的差值越大。例如同在4°坡时,最佳挡距比最大挡距可多拦蓄10.6mm

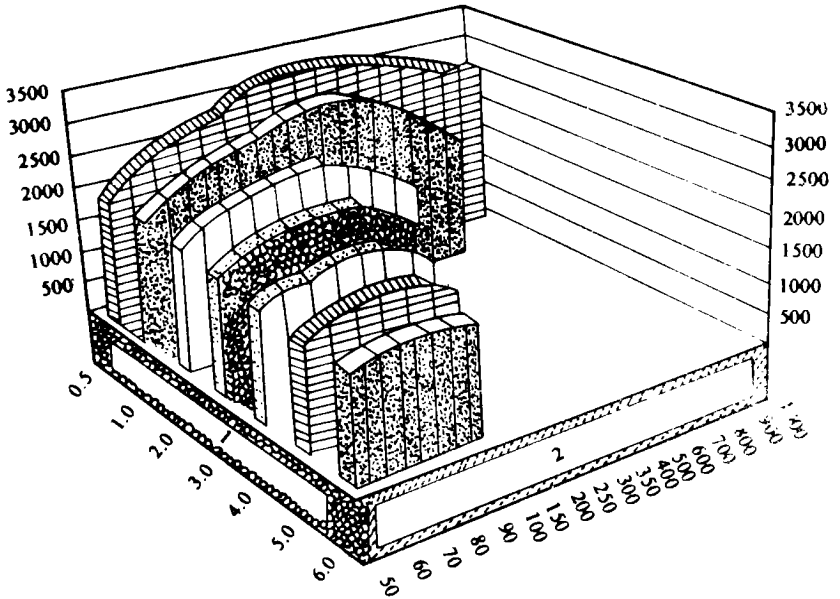


图4 各种坡度下的最佳土挡距离的穴容积(cm^3)

1. 坡度 $^\circ$; 2. 挡距 cm; 3. 穴容积。

(38.1~27.5),而同在0.5°坡时,最佳挡距比最大挡距可多拦蓄26.2mm降雨。

降雨引起水土流失的主要原因是瞬时雨率(瞬时间的暴雨量)。垄作区田的浅穴能承受多大瞬时雨率而不产生径流,则是运用垄作区田保持水土的坡限。如按宾县20年一遇的10min钟29mm大暴雨为例,如土挡所形成的浅穴在10min内可承受29mm降雨则不会产生径流。如果某一垄向坡度的计算承受时间小于10min钟则要产生径流。所以把将能承受10min钟降雨的坡度就是运用垄作区田的临界坡度。即

$$M = V/V_d \quad (4)$$

$$V_d = k \times S \quad (5)$$

或中: M —— 承受最大降雨的时间(min); V —— 单个浅穴的容水体积(cm^3); V_d —— 单位时间最大集水量

表1 各垄向坡度的最佳挡距的承雨能力

垄向坡度 ($^\circ$)	最佳挡距 (cm)	单穴容积 (cm^3)	100垄长穴 容积(cm^3)	集水面积 (cm^2)	可拦蓄降雨 量(mm)	承受最大 雨量时间 (min)
0.5	225	88000	3918874	15750	55.9	19.28
1.0	161	58071	3606891	11270	51.5	17.76
2.0	115	36898	3196505	8050	45.8	15.79
3.0	95	27594	2904078	6650	41.5	14.31
4.0	83	22110	2671421	5810	38.1	13.14
5.0	74	18412	2676178	5180	35.5	12.24
6.0	68	15717	2306793	4760	33.0	11.38
7.0	63	13647	2157106	4410	30.9	10.66
8.0	59	12000	2022244	4130	29.1	10.03
9.0	56	10651	1899404	3920	27.2	9.30

(cm^3/min); S —— 集水面积(cm^2); K —— 20年一遇10min钟降雨量。

经计算机程序计算,将其列于表1和表2中最后一项。从表2中看出最大挡距的临界坡度为 $< 1^\circ$ 坡,而最佳挡距的临界坡度从表1中看出,为 $< 8^\circ$ 说明采用最佳距时承受瞬时雨率的能力远大于最大挡距的。但在 $> 6^\circ$ 垄向坡度时修筑最佳挡距在70cm以下的,不

但土挡占垄沟面积大, 而且费工、费时不经济。同时为了安全起见, 以承受此雨强时间为 $11\text{min}34\text{s}$ 的6 垄向坡度为运用垄作区田临界坡度为宜。但在坡耕地的倾头地或局部塌腰地>6 坡地段, 因其面积小, 仍可采用<70cm 的土挡。

综合上述, 用最佳挡距模型模拟出的浅穴, 比最大挡距的浅穴, 可拦蓄的降雨量我, 承受暴雨的时间长, 而且它的临界坡度大。这都说明最佳挡距模型在理论上成立。

3.3 应用人工模拟降雨检验

垄作区田最佳挡距模型

应用人工模拟降雨来检验

表2 各垄向坡度的最大挡距的承雨能力

垄向坡度 (°)	最佳挡距 (cm)	单穴容积 (cm ³)	100垄长穴容积 (cm ³)	集水面积 (cm ²)	可拦蓄降雨量 (mm)	承受最大雨量时间 (min)
0.5	1604	333421	2078292	112680	29.7	10.24
1.0	802	164944	2056194	56140	29.4	10.14
2.0	401	80665	2010856	28070	28.7	9.90
3.0	267	52538	1964028	18690	28.1	9.69
4.0	200	38448	1916769	14000	27.5	9.48
5.0	160	29976	1866093	11200	26.7	9.21
6.0	133	24310	1815079	9310	26.1	9.00
8.0	100	17198	1709130	7000	24.5	8.45

最佳挡距模型可缩短研究时间, 而且数据较精确。此检验设在黑龙江省水土保持研究所试验场。白浆土年平均降雨量550mm, 7~8月降雨量259mm。用PS3—15型移动式人工模拟降雨机, 模拟宾县5年一遇($P=20\%$)20min 23.1mm 降雨并换算为人工降雨雨强3.6mm/min, 以最佳挡距将开始产流时停机。检验坡度选择了松嫩平原中度侵蚀等距整数, 2°、4°和6°。种植了大豆和玉米。按最佳挡距模型计算的挡距筑挡, 以最大挡距和不设土挡的开放垄为对照。

现将大豆坡耕地两次人工模拟降雨检验平均结果列于表3。

表3 大豆坡耕地最佳挡距模拟降雨检验结果

坡度(°)	模拟降雨量 (mm)	挡距处理 (cm)	模拟降雨历时 (min)	拦蓄降雨量 (mm)	径流量 (t/h)	现场积量 (t/h)
2	60.25	最大360	13.8	49.8	171.0	6.2
		最佳115	16.7	60.25	0	0
		不设挡	1.5	5.4	501.6	10.2
4	67.7	最大180	9.1	32.8	239.1	5.0
		最佳80	18.8	67.7	0	0
		不设挡	1.6	5.8	422.1	15.9
6	54.8	最大120	10.3	36.7	240.4	11.3
		最佳70	15.4	54.8	0	0
		不设挡	0.6	2.10	356.6	38.5

从表3看出, 最佳挡距区承受暴雨时间远超过10min 钟, 比不设土挡的对照区延长了9~15倍, 坡度越大, 延长倍数越大。最大挡距区承受暴雨时间为最佳挡距区的50%~80%。由于在最佳挡距区刚开始产流时立即停机, 所以最佳挡距区拦蓄暴雨量即模拟降雨量, 而不设土挡的对照区, 2°

4°和6°只分别拦蓄5.4mm, 5.8mm 和2.1mm 降雨。最大挡距区拦蓄降雨量在3个坡度耕地上, 分别是最佳挡距区的82.3%, 48.4%和67.0%。从最佳和最大挡距的计算的理论值(表1和表2)与人工模拟降雨实测值差值(表4)可看出, 实测值都大于理论值。这是因为实测值中包括大豆冠层的拦截和大豆土壤入渗的降雨在内。上表差值的不规律, 可能是由于各区大豆冠层状况和土壤入渗不同所致。

玉米坡耕地的最佳挡距模型检验与大豆坡耕地的趋势一致。

表4 拦蓄降雨的理论值和实测值的差值 mm

坡度 (°)	最佳挡距区			最大挡距区		
	理论值	实测值	差值	理论值	实测值	差值
2	45.8	60.3	14.5	28.7	49.8	21.1
4	38.1	67.7	29.6	27.5	32.8	5.3
6	33.0	54.8	21.8	26.1	36.7	10.6

此外, 1993年在自然降雨条件下还进行了最佳挡距模型的生产检验。地点选在拜泉县联合村6°的大漫岗上。该坡耕地为黑土, 种植了大豆。最佳挡距70cm, 以最大挡距120cm 和不设土挡为对照。共3个处理, 3次重复。筑土挡后有5次大雨(未采用气象站降雨资料, 因距 (下转第20页)

保持法》、《环境保护法》和《水资源管理条例》等法规要求,执行“谁破坏,谁污染,谁治理”的原则,把物质文明建设与精神文明建设统一起来。制定符合城市水土流失的预防、治理、监测等有关法规,通过人民代表大会立法固定下来。

(3) 城市水土流失是个新课题,应设立相应城市科研机构专门进行研究,根据《水土保持法》第29条规定,城市尽快成立以水保部门为主的监测站,组织协调市、县(区)水保监督、水利、环保、城建、交通、煤炭等部门和企事业单位参加的城市区域监测网络,负责全市监测工作的规划和预报。采用科学的方法和手段,查清自然侵蚀和人为造成新的水土流失,掌握其变化状况及规律,及时进行水土流失监测预报,提出预防、治理的规划措施,为城市经济建设与发展服务。

(4) 城市周边山区、丘陵加大植树造林力度,采取封山育林措施,增加植被覆盖。对边山峪口采取蓄、提、引、分等工程措施。充分利用水土(肥)资源发展引洪灌溉,解决夏季山洪对市区的威胁。开矿采煤应把防治水土流失纳入规划同步进行。弃土、弃石、尾碴妥善处理。

(5) 加强领导,强化管理,依法防治。对已建厂矿企事业的“三废”,按照环保与水保法规要求和标准进行处理,建立健全严格的验收制度,水利、环保部门进行监督。对“三废”严重污染环境的企事业单位可令其停产整顿,尽快改善城市环境。

(上接第5页)

气象站20Km 未冲毁土挡,地头也无冲刷痕迹。最佳挡距区较最大挡距区增产22.3%,净增值780元/hm²(表5)。

垄作区田是简便易行、易掌握、工省效宏的一项水土保持措施。提高它拦蓄暴雨量和承受暴雨能力的研究更有生产意义。本研究建立了 $L - \theta$ 函数的最佳挡距模型 $L = 168\theta^{0.5}$ 。根据人工模拟降雨及自然降雨的检验,证明各种坡度上的最佳挡距减少了径流和冲刷量,同时还增产和增加净生产值。说明垄作区田最佳挡距模型是可行的和可靠地。

此外,在地形条件允许下,改顺坡垄为横坡垄,可大大降低垄向坡度,从而可采取表1中较长的挡距,以节约用工。本研究的数学模型是按黑龙江省垄体结构建立的,其它地区也可根据自己的垄体结构的各项参数代入公式[2],可获得当地的最佳挡距模型。

参 考 文 献

- 1 尹家峰,邓育红,田质荣.黑龙江省坡耕地垄作区田效益研究.中国水土保持.1994,(5)
- 2 张庭壁,戴洪祥,王唯.克拜地区坡耕地的水土流失与治理措施.东北农学院学报.1979,(2)1~8
- 3 Armstrong C L, Mitchell J K. Plant canopy characteristics and processes which affect transformation of rain fall properties. TRANSACTIONS of the ASAE 1988, 31(5): 1400~1409
- 4 Gerard, C J, Saxon P D, Conover D M. Effect of furrow diking and slope position on crop yields agronomy J. 1984, 76: 945~959
- 5 Krishna J H, Arken G F, Williams J R, Moly J R. Simulating furrow dike impacts on runoff and sorghum yields. Trans ASAE 1987, 30: 143~147
- 6 Baumbadt R L, Wendt C W, Keeling J W. Chisel tillage, furrow diking and surface crust effect on infiltration. Soil. Sci. Soc. Am. J. 1992, 56: 1286~1291