

陕北黄土丘陵区水平梯田最佳 田面宽度的优化设计

范兴科 蒋定生 赵合理

(中国科学院 水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
(水利部)

摘要 从影响农作物生长的农田水文气象环境因素出发,结合梯田的安全稳定性,土地利用
率以及其成本费用等因素,系统全面地分析了不同的梯田田面宽度下各因素的变化规律,最后
得出了在黄土高原丘陵区不同的地面坡度下,既保证梯田安全稳定,土地利用率高,成本费
用相对较低,又保证梯田农作物生长环境良好并达到高产稳产的最佳田面宽度。

关键词 田面宽度 生产环境 农田小气候

Design of Optimum Field Width of Level Terrace in Loess Hilly and Gully Region of Northern Shaanxi

Fan Xingke Jiang Dingsheng Zhao Heli

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences
and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract. The micro climate and hydrological condition of level terrace as well as the safety and
stability, use ratio of farmland, cost and other factors determined by different field width of the level
terrace are analysed in this paper. The optimum field width of the level terrace were determined
under the different slop, combining with the safety and stability, rational land utilization ratio, lower
cost and environment suitable for plant growth with higher and stable yield.

Key words field width of terrace growth environment microclimate of farmland

1 前 言

确定水平梯田的田面宽度是梯田断面设计的关键。梯田的田面宽度主要受制于地面坡度,梯
田田坎的稳定性,农作物生长环境条件、耕地的利用率以及对水土流失的治理速度和效益等因
素,其间相互制约,是一项系统工程。

长期以来,在水平梯田建设上,一直存在“窄”与“宽”的争议。近年来随着机械化修梯田在农
村中的推广使用,梯田已越修越宽,有的已超过30多米,费工费时。实践证明,梯田田面太窄,耕种
不便,土壤水分蒸发大,作物易受旱,产量低而不稳,但若梯田田面太宽,势必田坎很高,安全稳定
性差,埂埂占地多,土地利用降低,同时投资加大。梯田究竟修多宽较为合适,能够满足农作物

适宜生长要求,能够保证田坎安全稳定,能够加快治理速度?尚缺少系统性的研究,本文主要从农田水文条件角度出发,通过实地观测,采用系统分析方法,来确定水平梯田的适宜宽度问题。

2 决定和影响田面宽的主要因素

决定和影响梯田田面宽度的主要因素归纳起来可分为两部分,其一为生产环境对田面宽度的要求,其中包括满足耕种和灌溉对田宽的要求,满足农作物生长所需的良好环境条件:适宜的农田小气候状况和土壤水分状况,同时满足保证稳产高产所需的田面宽度。其二为加快水土流失治理速度提高水土保持效益的要求,其中包括保证梯田田坎安全稳定、充分提高土地的利用率以及降低成本和减少投资等因素。上述诸因素相互连系,相互制约。

3 生产环境对田面宽度的需求

3.1 满足耕种和灌溉方便的梯田田面宽度

兴修水平梯田的目的不仅仅是为了保持水土,同时是为了更好地改善农业生产环境条件,确保农业生产持续发展。若仅从耕种管理方便的角度出发,则梯田的田面越宽越平越好,但是要把黄土高原的坡耕地都修成大平原则既不现实,也不可能。然而其田面宽度也不能太窄,否则将给日后的耕种造成许多麻烦,历史的经验已经证明如此。梯田作为一项田间水土保持工程,其设计一般按抵御10年一遇日暴雨设计,只要加强管理,注意修补,通常可以使用20~30年之久,甚至更长些。随着国民经济的迅速发展和农村生产力水平的逐步提高,到目前为止,已有许多农用机械开始进入家庭,水平梯田使用机械耕种已成为现实,因此在当前情况下,结合生产实际,水平梯田的田面宽度设计应该不仅满足牛驴犁耕的需要,而且至少应满足小型农业机械合适的耕作宽度,以避免日后对窄条梯田加宽改造,造成人力、物力和财力的浪费。根据对目前所使用的农耕机械调查,四轮拖拉机耕种时的最小回转直径为4m,而当田面宽度小于6m时,机耕速度慢、效率低、漏耕地块多,不能充分有效地发挥机耕优势。因此从满足机械耕种方便的角度考虑,梯田的田面宽度应不小于6m。

对于干旱和半干旱的黄土高原,到目前为止,能够灌溉的水平梯田面积并不大。主要是由于缺乏水源。同时缺乏资金,黄土高原由于天然降水量少,而且可利用的地下水资源更少。因此水资源是制约黄土高原梯田灌溉的主要因素。由于水资源缺乏,所以梯田不可能采取大水漫灌的方式,只能采取节水灌溉,对于大面积农田,适宜采用喷灌微灌,目前国内生产的农用喷灌喷头其喷洒直径最小在7.8m以上。因此要满足梯田对灌溉的要求,则梯田的田面宽度必须在8m以上。

3.2 满足农作物生长环境良好的田面宽度

3.2.1 不同田面宽度下农田小气候状况 对于农作物来说,直接影响其生长状况的因素除土壤外,就是地面以上的农田小气候环境和地面以下的土壤水肥状况,对于水平梯田,基本上不存在水土流失,因此土壤肥力状况与田面宽度关系不大。黄土高原由于地形破碎,地貌情况复杂,

表1 不同田面宽度下农田气候状况

田面宽度 (m)	风速 (m/s)	气温 (℃)	相对湿度 (%)	0cm地温 (℃)	10cm地温 (℃)	水面日蒸发量 (mm)
5	0.40	19.6	70.6	21.4	21.9	3.0
10	0.49	19.3	73.3	21.8	22.7	3.20
20	0.56	19.3	74.6	20.9	22.2	3.15

生态条件多变,所在地形因素对农田小气候及土壤水分影响较大。根据定西水保站的观测结果表明,在不同的坡度和同一坡面不同的坡位,农田小气候及土壤水分都存在较大差异。我们通过对安塞县坊塌沟流域阳坡同一坡位不同田面宽度下农田小气候的观测,其结果(见表1),表明对于水平梯田在不同的田面宽度下,其农田小气候状况也有差异。

随着田面宽度的增加,田野逐渐开阔,空气对流速度相对增大,空气相对湿度增大,蒸发量也增大,但气温和地温的变幅相对较小。根据已有的实验表明,风速对农作物的影响表现为当风速低于对农作物生长发育产生破坏性影响的临界值时,将对作物的光合作用产生促进作用,否则将产生破坏性作用。当近地表风速达到 0.6m/s 时,即可引起 $<0.05\text{mm}$ 直径的土粒的移动、特别是当风速达到 2m/s 以上时,则对农作物的影响更大。在同样的外界环境条件下,空气相对湿度越

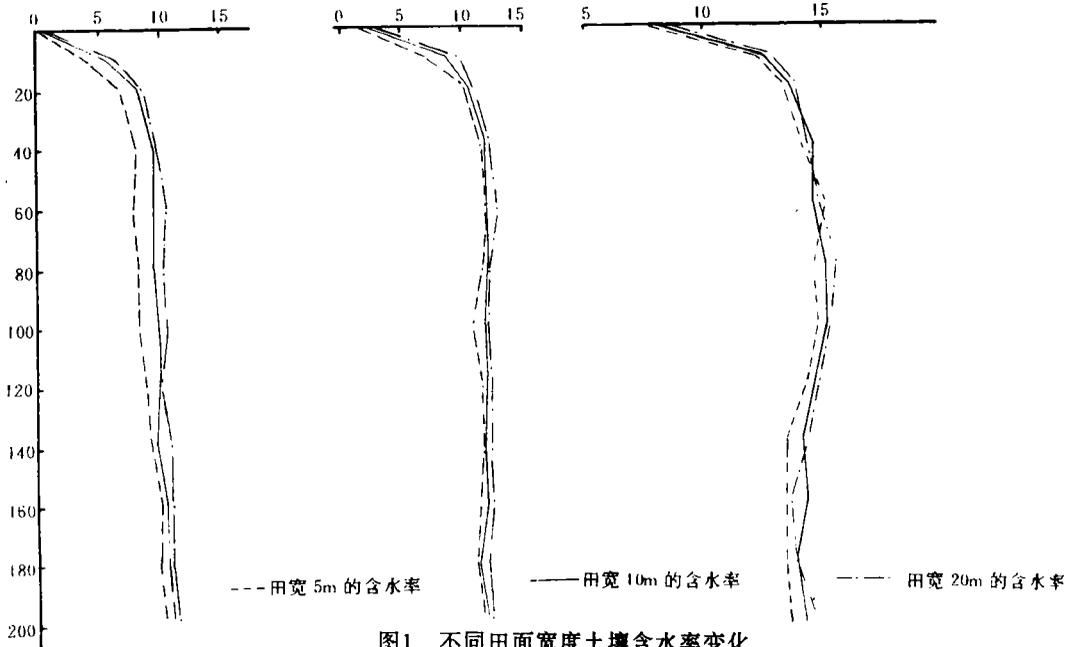


图1 不同田面宽度土壤含水率变化

大,农作物的叶面气孔开放越大,相对地光合作用进行得越充分,作物生长得越好,因此从表1可以得出,宽面梯田在农田小气候方面较窄面梯田为好,田宽以 $10\sim 20\text{m}$ 为最佳。

3.2.2不同田面宽度下土壤水分状况 (1)垂直方向土壤水分状况。土壤水是持续供给农作物生长发育所需水分的直接源泉,土壤持水量的高低也就直接影响了农作物的生长状况和产量。为此我们对不同田面宽度下的水平梯田以各自播前到收获后这期间分三次测定了其土壤含水量,不同田面宽度下 2m 深土壤平均含水率在不同的时期变化过程如图1,由图1可以看出,在播种前期,由于上年度冬季与本年度春季降雨雪量较少,土壤水分的变化主要以蒸发耗水为主。所以不论田面宽窄其土壤含水率都较低。但是明显地可以看出,宽面梯田的土壤含水率高于窄面梯田。在农作物生长中期,随着降雨季节的来临,土壤含水量得一定的补偿,含水率逐渐增大,但是由于前期本身存在的较大差别,此时仍表现为宽面梯田其含水率高于窄面梯田,但差距明显地缩小。到收获后,雨季随着结束,土壤含水量已得到很大补充,因而此时不同田面宽度下土壤含水率基本接近,但相比较之下,宽面梯田土壤含水率还是略高于窄面梯田,此后又进入了以蒸发为主的耗水阶段。

不同田宽下,不同时期 2m 深土层储水量见表2,宽面梯田的土壤储水量高于窄面梯田。造成

不同田面宽度下,土壤含水量差异的主要原因是蒸发损耗,由于在梯田埂高基本相近的情况下,土壤性质及降雨量也相同,而田面越窄,其蒸发面占梯田水平面的比例越大,因此其水分损耗也就越大。

表2 不同田面宽度2m 土层贮水量

观测时间	4 月			7 月			10 月		
田面宽度(m)	5	10	20	5	10	20	5	10	20
土壤储水量(mm)	215	274	342	240	288	350	250	297	355

(2)水平方向的土壤水分状况。根据对不同田面宽度,不同位置土壤含水率测定的结果,不论田面宽窄,其土壤含水率在水平方向变化规律基本相似,表现为在同一深度内侧含水率较高,而外侧则较低,外侧含水率平均比内侧低1.0%~1.5%,外侧低含水率还主要发生在距梯田田坎边缘1.5~2m处,越靠边,含水率越低,在雨季土壤水分虽然得以补偿,但其梯埂边缘1m以内土壤含水率始终略低于内侧,从而造成梯田边缘附近农作物长势较差,此现象即所谓的梯田“肋边”现象。根据对梯田谷子的生长情况调查!肋边的大小主要与梯田田坎高低有关,田坎低,肋边小;田坎高,肋边大,同时肋边效应大小还与作物生长期的降雨量有关,在丰水年,其肋边效应现象相对地要小一些,而在干旱年份,其肋边效应现象相应地要大一些。造成肋边效应的重要原因是由于梯田边缘附近的作物受双面立体蒸发的缘故,因此梯田埂高相同时,田面越宽,其肋边效应所占的比例就越小,反之则相反。根据蒋定生对晋西不同田面宽度下肋边现象的研究结果,减小肋边效应的适宜田面宽度为8m和14m,建议在坡度较陡或土壤质地较轻的地方,田面宽度宜控制在8m,而在坡度较为平缓或者土壤质地较为粘重的地方,梯田的田宽宜大于14m。

同时调查表明,在阳坡由于双面立体蒸发所造成的肋边效应较阳坡明显为小,通常都在1m左右,但是阴面由于田坎的遮阴却造成了梯田内测的作物长势差,产量低。而遮阴面积的大小同样与梯田的田坎高低有关,田坎越高,遮阴越为严重,除非田坎侧坡很缓。

因此从减少土壤水分损耗、提高干旱地区土壤水分的利用率,保证农作物正常生长的角度考虑,梯田的田埂宜低一些,而田面宜适当宽一些。

3.2.3 不同田面宽度下作物的生长情况及产量 由于梯田的田面宽度不同,其土壤含水率也不同,从而导致了不同的田面宽度下,作物的长势及产量的差异。通过对5m、10m、20m三种田面宽度下谷子在7月和9月株高的测定以及收获时谷穗大小、产量的测定。其结果见表3,从测定的资料数据可以看出,田面越宽,谷子的平均长势情况越好,其产量也越高,这主要是由于宽面

表3 不同田宽不同时期谷子的长势及产量

田面宽度 (m)	7月份平均株高 (cm)	9月份平均株高 (cm)	平均谷穗长度 (cm)	平均单产 (kg/hm ²)
5	15	85	16.5	1800.0
10	17	94	18.5	2287.5
20	18	100	20.0	2587.5

梯田其土壤水分状况及农田小气候环境相对较好,有利于谷子生长。尽管有肋边效应的影响,但对于宽面梯田而言,其占的比例较小,梯田实际有效增产宽度较大,所以肋边效应的影响较小,然而对于窄面梯田其肋边效应的影响却较大。

通过对过去所修梯田大田产量的调查,梯田田宽在5m以下时,其平均每公顷产只有1500kg

左右。而且调控能力较低,稍遇天旱,则造成减产。田宽在5~10m的梯田,其平均单产通常在1875~2 250kg/hm²。而田面宽度在10m以上的梯田,其平均每公顷产为2 250~3 000kg,有些达到3 375kg以上。

因此要保证梯田高产和稳产首先必须要有一个良好的生产环境,而相应的梯田田面的有效增产面积应该达到肋边与遮阴面积之和的两倍以上,也就是说梯田的田宽应该达到6m以上。

4 安全稳定以及经济对田面宽度的要求

4.1 保证梯田田坎稳定安全的田面宽度

水平梯田田坎的稳定安全是保证梯田长期有效地发挥其水土保持作用和高产稳产作用的前提,决定田坎安全稳定性的主要因素为土壤的力学性质,田坎处的土壤容重以及田坎的倾角,对于陕北黄土丘陵区,人工修筑梯田时,在天然含水量下,采用锹拍脚踩,根据实测结果其土壤干容重通常在1.30g/cm³左右,同时考虑到所使用的工具的限制。参考蒋定生对绥米一带暴雨水毁梯田的调查结果,田坎高度宜以3m为限,相应的田坎侧坡最大不超过70°。若采用推土机等机械修筑水平梯田时,其土壤干容重通常可以达到1.40g/cm³以上,因此相应的田坎高度可以控制到4m,而其田坎侧坡最大为70°。据此对于不同地面坡度,在满足田坎安全稳定的条件下相应田面宽度见表4,由表4可以看出:当地面坡度为5°时,人工修地最大田面宽度33m,机修地最大田面宽度为44m,当地面坡度为10°时,人工修地最大田面宽度为16m,机修地最大田宽为21m,当地面坡度为15°时,人工修地最大田宽为10m,机修地最大田宽为13.5m,当地面坡度为20°时,最大田宽为7.0m,机修地最大田宽为9.5m,当地面坡度为25°时,人工修地最大田面宽度为5m,机修地最大田宽为7.0m,当地面坡度为30°时,人工修地最大田宽为4m,机修地最大田宽为5.5m。在田坎高度相同的情况下,人工修地与机修地的允许最大田宽基本一致。

表4 不同坡度下人工梯田和机修田的最大田面宽度

坡度	人 修 梯 田			机 修 梯 田			
	$H = 1$	$H = 2$	$H = 3$	$H = 1$	$H = 2$	$H = 3$	$H = 4$
	$\beta = 80^\circ$	$\beta = 75^\circ$	$\beta = 70^\circ$	$\beta = 85^\circ$	$\beta = 80^\circ$	$\beta = 75^\circ$	$\beta = 70^\circ$
5°	11.3	22.3	33.2	11.3	22.5	33.5	44.3
10°	5.5	10.8	16.0	5.6	11.0	16.2	21.2
15°	3.6	6.9	10.1	3.6	7.1	10.4	13.5
20°	2.6	5.0	7.2	2.7	5.1	7.4	9.5
25°		3.8	5.3		3.9	5.6	7.1
30°			4.10			4.4	5.5

注:H为田坎高度(m), β 为田坎侧坡与地面夹角。

4.2 不同田面宽度下土地利用率先

坡耕地修成水平梯田后,原坡耕地的利用面积相对地减小,一方面表现在斜坡面改修成水平面后其面积减小,另一方面表为梯田的田埂占地。对于机修梯田不同坡度下,不同田宽时田坎占地百分比(田坎占地宽度与水平梯田有效田宽的百分比)见表5,从表中可以看出,在地面坡度为5°时,田宽为20m左右,其田坎占地最少,地面坡度为10°时,田宽为15m左右,田坎占地最少,地面坡度为15°时,田宽为10m时,田坎占地最少,地面坡度为20°时,田宽为6m时,田坎地最少。

表6为不同地面坡度时,机修梯田不同田宽与原斜坡面宽度的比值,即为单位坡耕地修成水平梯田后的面积,也就是坡耕地改修成水平梯田后土地利用率先。在同一地面坡度下,随着田面宽度的增加,土地的利用率相对地减少;在同一田面宽度下,随着地面坡度的增大,土地利用率先迅速

减少。例如当地面坡度为 30° 时,田宽按5m计。其相应的土地利用率为0.68,若按梯田较坡耕地增产1倍计算,其实际增产只有36%,较修梯田的成本相比其效益甚微。因此从提高土地の利用率和发挥梯田增产增收的角度考虑,陡坡不宜修筑农用水平梯田,而缓坡地所修水平梯田的田面也不宜太宽。

表5 不同坡度不同田宽下田坎占地百分数

坡度	5m		10m		15m		20m		30m		40m	
	H (m)	占地 %	H (m)	田坎 占地								
5°	0.44	5.0	0.88	3.8	1.33	3.6	1.78	2.0	2.70	3.4	3.61	4.0
10°	0.90	7.6	1.82	6.2	2.77	6.0	3.77	8.4	5.76	12		
15°	1.41	11.0	2.89	10.7	4.45	12.8	6.04	19.8				
20°	1.95	12.9	4.20	18.3	6.9	28.6						
25°	2.66	20.3	6.3	39.8								
30°	3.66	32.6										

6 不同坡度下不同田宽对土地の利用率

坡度	5m	10m	15m	20m	30m	40m
5°	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.97
10°	0.96	0.95	0.94	0.92	0.90	
15°	0.92	0.90	0.87	0.81		
20°	0.88	0.81	0.74			
25°	0.79	0.67				
30°	0.68					

4.3 不同田面宽度时梯田的成本

黄土高原土地面积广阔,据统计调查。有荒坡耕地1300万 hm^2 左右,到目前为止黄土高原新修水平梯田近330万 hm^2 ,还有660万 hm^2 以上的坡耕地可改修成水平梯田。然而其成本费用问题一直是制约梯田建设进度的主要因素。修梯田的成本费用主要因素。修梯田的成本费用主要决定于土方量和用功量大小。而土方量与用功量则决定于地面坡度和梯田田面宽度。假若填挖平衡,(如图2)则修每公顷梯田的土方量为: $V = 1249.5H$ 每公顷用功量为: $W = 832.5.BH$ 其中: $B = H(\text{ctg}\alpha - \text{ctg}\beta)\alpha$ ——地面坡度, β ——田坎侧坡与地面夹角。

对于陕北黄土丘陵区,在不同的地面坡度下修筑水平梯田,不同田面宽度时,其每公顷土方量及用工量见表7。在同一坡度下,每公顷土方量与田面宽度成正比,而用工量则与田面宽度的平方成正比,因此,在同一坡度下,田面越宽,成本越高,在同一田宽下,陡坡修梯田其成本高于缓坡,要降低修梯田的成本,则梯田的田面不宜太宽,而且不宜在陡坡修筑。

根据对目前机修梯田的效率利用和费用调查,对于修田宽8m以上的梯田,推土机功效为1500~3000 $\text{m}^3 \cdot \text{m} / \text{台班}$,而且当田宽15m左右时效率最高。推土机台班费为150元左右,每公顷投劳450元左右,据此,不同坡度下不同田宽的梯田每公顷成本费用见表7;水平梯田作为一项工程措施,

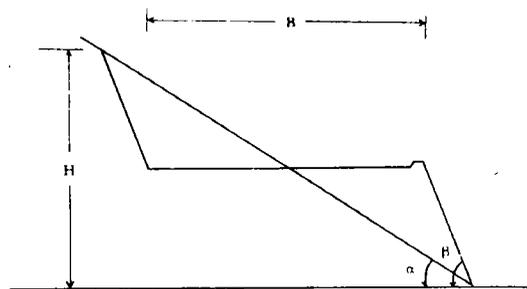


图2 土方量与用功量之比

一般要求其效益为在3~5年内达到还本。根据黄委会绥德水保站30年来对水平梯田增产效益的观测结果,水平梯田较坡耕地增产幅度平均都在1倍以上,略去土地利用率不计,增产按1倍计算,即每公顷净增产750kg粮食。按现行价格,5年增产效益为5250元,因此就目前而言,修筑水平梯田,其田面的控制宽度为:坡度在5°以下时,田宽为25m,坡度为5~10°时,田宽为20m,坡度在10~15°时,田宽为15m,坡度在15~20°时,田宽为10m,坡度在20~25°时,田宽为8m,坡度为25~30°时,田宽为5~6m。

表7 不同坡度下,不同田宽时的投资费用

坡度	田宽 (m)	坎高(m)	侧坡	每公顷土方 量 m ³	每亩用功量 m ² ·m	机修每公 顷台班数	投资费用 (元)
5°	5	0.45	85°	570	1875	1.5	450
	10	1.0	85°	1260	8295	4.5	975
	20	1.8	80°	2250	29970	10.5	1875
	30	2.7	75°	3405	71925	37.5	6075
10°	5	0.9	80°	1125	3735	3.0	750
	10	1.85	80°	2310	15345	9.0	1725
	20	3.8	70°	4755	63045	30.0	5025
15°	5	1.4	80°	1755	5805	4.5	1050
	10	2.9	75°	3750	24885	13.5	2475
	20	6.5	55°	8100	108225	52.5	8625
20°	5	2.0	80°	2505	8325	7.5	1500
	15	4.4	70°	5490	36510	19.5	3525
	20	9.0	50°	11235	149850	72.0	11850
25°	5	2.7	75°	3375	11205	10.5	2025
	10	5.7	55°	8370	55590	27.0	4800
	20						
30°	5	4.0	70°	4995	16590	15.0	2850
	10	13.7	45°	17115	113655	67.5	10500

5 讨论与结论

综上所述,若要梯田的田面宽度满足生产环境良好,并能达高产稳产的要求,则梯田的田面宜适应的宽些,以20~30m较为理想,但要保证梯田田坎的安全稳定,提高土地的利用率,降低梯田的成本费用,则梯田的田坎有宜太高,且田面也不能太宽,在田坎的安全稳定范围内,田面宽受制于地面坡度。因此水平梯田的最佳田面宽度应为在保证梯田田坎安全稳定,土地利用率较高,其成本费用相对较低的前提下的最大田面宽度。对于陕北黄土丘陵区,不同地面坡度下最佳田面宽度为:坡度小于5°时,田宽为20~15m,坡度为5~10°时,田宽为15~20m,坡度为10~15°时,田宽为10~15m,坡度为15~20°时,田宽为8~10m,坡度为20~25°时,田宽为6~8m。对于坡度在25°以上的坡耕地,一般不宜修筑做为耕地的水平梯田。除非在那些人口稠密,土地资源紧张的地区可适当地修成农用水平梯田。

参考文献

- 1 朱显谟主编.黄土高原土壤与农业.农业出版社
- 2 王正秋,刘利年主编.无定河流域综合治理技术与理论.陕西科技出版社