

南京圩田地区机械化土壤耕作的初步研究

趙誠齋 徐夢熊

(中国科学院土壤研究所)

随着农业技术的不断改造,耕作工具也在不断的革新,党中央已明确提出农业机械化的进度是三年小解决、七年中解决、十年大解决。根据这个要求,可知大面积实现农业机械化已为期不远,面临当前形势,摸清机械化中存在的问题甚为必要。1960年江苏省委选择南京郊区长江人民公社为农业机械化试点,我们曾与有关方面人员对圩田地区农业机械化土壤的耕作情况进行观察,并对所存在的问题进行了研究。

一、圩田土壤的物理特性

长江人民公社位于长江曲流的一个凸岸,成土母质为冲积物,目前沿江300—500米宽的地带为栽旱作的洲地,内部则早为稻麦二熟的圩田,圩区地势低平,其起伏不到1米,低地排水困难,春夏江水高,常有内涝,根据野外观察该区土壤可分为三个大类(表1):

(1) 红、黄马干土: 分布于地势较高的地方,地下水位经常在1米以下,排水方便,雨季不会受水淹没,因历年施肥水平不同而分为红马干土及黄马干土,前者肥力高,后者略低。

(2) 青沙白螺蛳土(包括青沙土): 分布于地势低的地方,地下水位经常临地表,排水困难,

表1 圩田土壤的容重及机械组成

土 壤	深 度 (厘米)	容 重 (克/立方厘米)	机 械 组 成 (%) (毫 米)					质 地
			0.25—0.05	0.05—0.01	0.01—0.005	0.005—0.001	< 0.001	
红 马 干 土	0—15	1.12	7.0	31.0	15.0	23.0	24	轻粘土
	11—24	1.53	9.0	31.0	15.0	20.0	25	轻粘土
	24—55	1.60	3.5	1.95	38.0	9.5	29.5	中粘土
	55—65	—	1.5	9.0	16.5	57.0	36	重粘土
	65—110	—	1.0	24	24	28.0	23	中粘土
	110以上	—	1.5	29	22	23.5	25	轻粘土
黄 马 干 土	0—14	1.16	4	27	15.5	24	29.5	轻粘土
	14—24	1.55	3	25.6	17.0	22.0	32.5	轻粘土
黑 马 干 土	0—15	1.25	8	27.0	19.5	18.5	27.0	轻粘土
	15—30	1.57	5.5	28.0	18.5	22.0	26.0	轻粘土
青 沙 土	0—15	—	2.5	38.5	16.7	23.4	20.9	重壤土
青沙白螺蛳土	0—15	1.18	5.0	33.5	17.0	23.5	21.0	轻粘土
	15—25	1.29	6.0	33.0	17.0	25.5	18.5	轻粘土
	25—46	1.50	4.0	28.0	18.0	20.0	30.0	轻粘土
	46—73	—	2.5	21.5	23.0	24.0	29.0	轻 粘
	73—90	—	6.0	41.0	17.5	17.5	18.0	重 壤
	90以上	—	11.0	51.0	13.0	12.0	13.0	中 壤

10—15 厘米以下有一层还原性强的烂泥层，因通气不良，有机质分解缓慢，有机质积存多，使土壤松软，肥力很低。

(3) 黑馬干土：位置处于上述二者之間，地下水位一般在 25—30 厘米以下，有一层較厚的烂泥层，排水和通气均較差，肥力中等。

从表 1 可以看出，几种土壤的質地都較粘重，一般为重壤到中粘，以地势高的馬干土最粘重，地势低的青沙白螺螄土較輕，尤其心土粘粒含量少。除青沙白螺螄土外，在耕作层(0—15 厘米)以下土壤结构相当紧实，容重都在 1.5 以上，这与較高的烂泥层有关。

土壤性质不同，土壤的坚实度也有变异，从图 1 秋播地上坚实度测定的结果可看出，以紅、黃馬干土的坚实度最大，而且愈至下层坚实度愈大，青沙白螺螄土的坚实度上下层差异不大，而黑馬干土的坚实度介乎以上两者之間，其上层坚实度与黃馬干土相同，而其上下层的变化趋势与青沙白螺螄土相似，从这些变化关系中可得出土壤受水作用的强度与土壤坚实度的大小有密切关系。从稻茬田上坚实度测定的结果与秋播地比較可看出(图 2)，秋播經過较长时期的晒袋冻融作用，耕作层具有松散的性質，而稻茬田是經過灌水使土壤分散沉实，干后变成板結状况，这说明土壤坚实度与土壤深耕有密切关系。

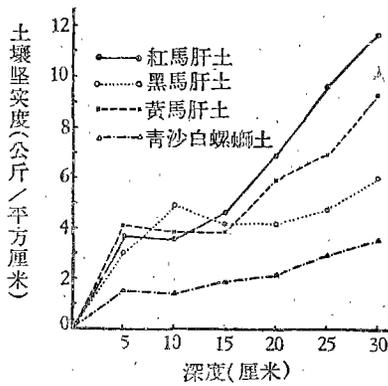


图 1 土壤坚实度随深度的变化
(测于秋播作物地相当于田间持水量的湿度下)

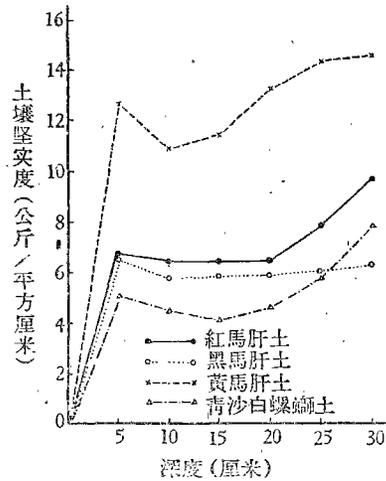


图 2 土壤坚实度随深度的变化
(7月11日测于水稻收割后的板田)

根据 H. A. 卡庆斯基, П. V. 巴赫津的研究资料,土壤的坚实度与比阻有关。农民的实践經驗也証明：青沙白螺螄土比馬干土阻力小，好耕，故土壤坚实度可以作为土壤耕作阻力的指标。

根据土壤坚实度和土壤比阻之間的关系可知，耕翻稻茬田将比秋播作物遇到較大的阻力，如紅、黃馬干土底土坚实度很大，深耕时增加阻力，而青沙白螺螄土上下层坚实度相似，所以深耕引起的阻力与深度成正比。

圩田土壤由于有水稻生长的淹水过程使土粒和土粒間的接触关系更为紧密，产生較大的結持力，根据测定耕层土壤的坚实度和水分含量之間有峻陡的直綫函数关系(图 3)。用迴归方程式表示：

$$\text{紅馬干: } T = 7.57 - 0.615(w - 28.40)$$

$$\text{黃馬干: } T = 8.12 - 0.657(w - 31.62)$$

$$\text{青沙白螺螄土: } T = 7.14 - 0.474(w - 32.26)$$

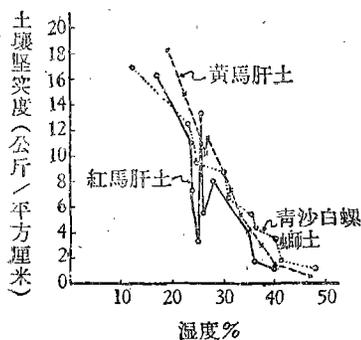


图 3 土壤坚实度与湿度的关系

式中 T = 土壤的坚实度;

w = 测定时的土壤湿度。

当土壤湿度减少 1% 时红马干、黄马干及青沙白螺蛳土的抵抗机械破碎的阻力每平方厘米分别增加 0.615、0.657、0.474 公斤。马干土由湿度降低机械强度的增加尤为强烈,故对马干土耕作掌握适宜的水分更有重要的意义。

从图 3 还可看出,土壤坚实度和湿度之间不存在所谓结持力的阶段变化。一般研究者认为比塑性下限湿度小时,土壤为松散结持,应具有阻力较小的松散特性,但圩田土壤不具有这种性质。

随着土壤湿度的增加,颗粒之间的粘聚力减小,但在相反方面出现了土壤的塑性和粘着力(图4)。三种土壤塑性的出现都在湿度 30% 上下,湿度 45—50% 为流限(塑性指数一般为 17—22,均系强塑性土)。塑性的出现亦即出现了土壤对外物的粘着作用,但在塑性范围内,随着湿度的增大粘着力的增高是很缓慢的,至流限或流限以上的湿度粘着性强烈,在较小的土壤湿度变幅内急速回落,故知对圩田土壤在塑性湿度范围内耕地粘着性对耕作阻力的增加是不大的,高湿度时方有严重影响。农民为了克服湿度大时耕地土壤有顶犁的困难,往往采用水耕,是有其一定的物理基础的。

二、机械化土壤耕作及存在的问题

不论热托-25A 悬挂式二铧犁或东方红 DT 213 所牵引的 5 铧犁,其犁的结构及拖拉机机耕动力和牛引木犁有很多不同之点,因此机耕的问题就比较突出。

春耕中首先一个问题是机耕后田面平整度很差,图 5 是同一种土壤的蚕豆地(黄马干)经牛耕和机耕后的田面平整状况,这是任意取样的两块 3 米宽地段实际测定的结果,可以看出,机耕的田面比牛耕的要平整得多,尤其壟沟对机耕造成不平的影响更大,其原因是:

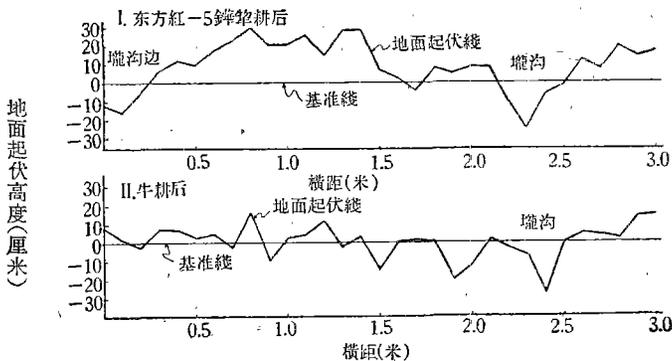


图 5 机耕和牛耕后的田面状况(蚕豆地)

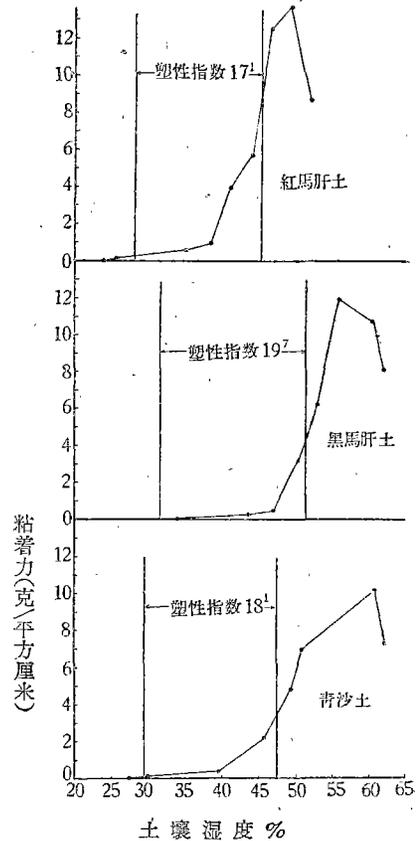


图 4 土壤粘着力随湿度的变化

(1) 一般机引犁的每个犁铧宽 30—35 厘米, 2 铧犁的耕幅达 60 厘米, 5 铧犁的耕幅达 170 厘米(木犁一般不到 20 厘米), 在耕幅宽、耕翻深度又大为增加的情况下(机耕深一般 16—18 厘米, 牛耕仅 12—14 厘米)被翻转的土块很大。如前所述,圩田土壤为一般塑性土,底土因潜育作用而缺乏结构,犁壁的曲面不能捻碎土,造成田面不平。

(2) 秋播作物地都是有壟沟

的,为了便于排水,壟沟很密,并且壟呈龟背形,基地原先就不平。

(3) 田間原有的壟寬和拖拉机耕幅不成整数比,故造成有时漏耕,有时重耕,在原来的壟沟处形成了更大的堆起和低洼。

表2 牛耕和机耕碎土的比較

机 具	耕深 (厘米)	土 壤	耕时土壤湿度(%)		耕后土块分級(厘米)						
			0—10 (厘米)	10—15 (厘米)	>35	35—25	25—15	15—8	8—5	5—2	<2
DT213牵引4铧犁	17	黃馬干	34.9	32.0	37.4	7.2	17.7	24.9	6.8	9.6	16.4
牛 耕 木 犁	12—14	黃馬干	34.2	35.7	—	—	—	30.0	14.3	6.5	49.4

从表2可看出,用犁铧較小犁壁較直的牛耕木犁耕,土壟很小。又如图6指出,经过秋翻的休閑晒垡田原来的田面平(沒有壟沟),土壤性質疏松,在不增加耕翻深度的情况下可获得平整田面。

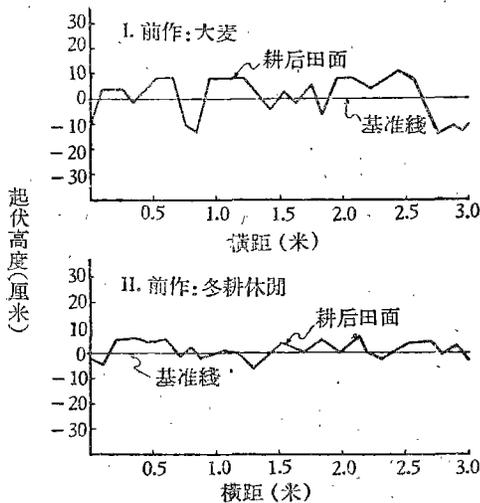


图6 不同前作机耕后面状况

土壟仍未切开,人工壟垡后,形成了具有光滑面的土块,土块直径都大于5厘米,不具有团聚体的某些优良性質。

为了解决碎土工具,我們曾观察了不同的机具对碎土的效果,其中有圆盘耙、24片重耙改装的缺口耙及旋轉耙(为南机所試制的一种新式机具)。圆盘耙碎土的结果,不能令人满意,这里不作詳細討論,現只将后二种机具使用后的土块状况,与牛耙、人工碎土的效果作一比較,列入表3。

表3 秋耕地不同机具碎土的结果

試号	机 具 型 类	土 壤	耕深 (厘米)	不同深度(厘米)的土壤湿度(%)		耕耙后的土块状况			
				0—10	10—20	土块組成(%)		每平方 米耕层 中土块 数	>8厘米 土块重量 (克/块)
						>8厘米	<8厘米		
I	DT213 四铧犁耕,牛耙,人工壟垡	紅馬干土	15	40.8	39.2	36.9	63.1	104	818
X	热托-25 二铧犁耕,牛耙,人工壟垡	紅馬干土	15	29.4	32.5	41.2	58.8	100	980
II ₁	热托-25 二铧犁耕,缺口耙二次,人工略壟垡	紅馬干土	15	34.3	31.3	22.6	77.4	72	558
II ₂	热托-25 二铧犁耕,缺口耙二次,人工略壟垡	紅馬干土	15	38.2	38.2	41.7	58.3	88	796
XXII ₂	热托-35 A 悬掛旋轉耙一次作业	次紅馬干	15	47.3	40.4	19.0	81.0	68	596
V ₁	牛耕,牛耙,人工壟垡	紅馬干	12.14	35.0	36.7	43.2	56.8	100	980

当土壤湿度较高时(38.2%)缺口耙地的碎土作用较差,湿度降低到31.4—34.3%已可获得较小的土块组成。旋转耙耕作后,即使在较高的土壤湿度(40.4—47.3%)亦可获得较小的土块组成,我们并在旋转耙耕作后的地段上作了大麦的机播试验,播种的均匀度及复盖状况都令人满意。从表3看出,试号II₁和XXII₂的土块状况差不多,所以在土壤湿度适宜的情况下缺口耙地不仅碎土好,并可达到机播需要的整地要求。因此,圩田土壤在合适的湿度下用特殊机具也可以克服其不良的性质,达到合乎机播的整地要求。

三、土壤的物理适耕性

所谓土壤的物理适耕性,就是经耕作后能形成优良的结构和土壤表现对于机耕的最小阻力。从土壤含水量来考虑,可以认为比塑性下限稍低的土壤湿度(即松轻结持)是最适耕的时期。

为了说明圩田土壤的适耕性,我们先讨论一下与耕作有关的几个重要特性。

圩田土壤的坚实度和水分含量的关系是一直线关系,从土壤抵御机械破碎的阻力来看,土壤湿度愈大,切开土壤所需要的力愈小,但不可避免的随着土壤湿度增大导致土壤的塑性和粘着性的出现,图4指出,在小于流限的土壤湿度范围内,粘着力的数值实际是不大的,至于塑性的影响,一般认为在该种土壤状况下从事耕作会使土粒定向排列,一方面板结,另一方面失去断裂的性质。

圩田土壤与旱地不同,水稻田长期的淹水过程,水对土壤性质的影响很大,故农民的实践经验,改善圩田土壤物理性质的重要方法是晒垡。而不是着重调节耕作时的土壤湿度,通过晒垡可将水分对土壤所影响的板结状况获得根本改变。

表4 不同土壤湿度下耕作状况的观察

田号	机具	土壤	质地	流塑限		耕作时的土壤湿度(%) (厘米)				耕作时的现象
				塑限	流限	0—5	5—10	10—15	15—20	
XV ₁	zt-25A 二铧犁	次红马干	轻粘	30.5	50.3	51.3	50.4	52.1	48	陷车,土垡长条
	zt-25A 二铧犁	次红马干	轻粘	30.5	50.3	51.7	48.7	49.0	42.3	未陷车,打滑,土垡长条
XVII	zt-25A 二铧犁	次红马干	中粘	33.2	54.4	37.1	38.2	40.8	51.1	拖拉机行走正常,上垡较长,稍嫌湿些
VI	zt-25A 二铧犁	红马干	轻粘	28.2	45.3	25.2	28.5	31.7	29.4	行车正常,耕时水分适宜
XV	zt-25A 二铧犁	红马干	轻粘	—	—	33	32.6	30.3	27.3	行车正常,耕时水分适宜
	zt-25A 二铧犁	红马干	轻粘	—	—	24.7	27.9	32.2	26.2	机耕有跳动感,嫌稍干
XIII	牛耕	黑马干	轻粘	—	—	43.5	43.5	48.1	36.8	牛耕较适合
XII	牛耕	红马干	轻粘	28.9	46.1	40.1	42.7	46.3	44.3	牛耕较适合
IX	耙	青沙土	轻粘	29.3	46.7	30.6	30.6	37.1	—	宜耙

表4是秋耕时在不同的土壤湿度下拖拉机(热托-25A 悬挂二铧犁)在田间耕作观察的结果,可以看出当土壤湿度在塑限及增高5%时为最宜机耕的湿度范围,若湿度增高10%则机耕似嫌过湿,土垡呈长条状,故圩田土壤湿度在塑性范围的下半部分并不会产生板结的现象。当湿度比塑限低5%时,由于土壤粘结力的巨大增高使机身跳动,这时牛耙碎土已失去作用,显系湿度太小,这也是松软结持对圩田土壤不存在的佐证。对秋播作物地的耕翻,由于土壤的状况不同,其宜耕

的上下限还可扩大。

但上述适耕范围只是孤立的,从土壤性质考虑,当干耕干耙作业同时进行是如此,如果将耕耙分开,而耕后不立即耙地,秋耕时当土壤湿度高至45%时机耕仍可进行,从表4可看出:轮式拖拉机发出沉陷是在湿度50%左右(都在流限附近),湿度40%尚无打滑现象,则知土壤湿度对拖拉机耕地有严重影响的范围是40—50%之间。根据圩田土壤的特点,湿度较高从事耕作未必会引起土壤性质的恶化,进一步复合播种要求的整地碎土,可待湿度降低后由耙地作业来完成。

从表5看出进一步耙地碎土湿度过高是不适宜的。

表5 不同土壤湿度下缺口耙后的土块大小

田号	机具	土壤	土壤湿度(%)		耕耙后的土块				
			5—10 (厘米)	15—20 (厘米)	块级 (厘米)	土块数量及重量		块级组成	
						块/米 ²	克/块		
II	南段	热托25A二 铧犁耕,缺 口耙,人工 壟堡	紅馬干 (輕粘)	34.1	31.3	>8	72	555	22.6
						5—8	244	189	26.0
						<5	—	—	51.4
	北段	同上	同上	38.2	38.2	>8	88	196	41.7
						5—8	192	177	20.2
						<5	—	—	38.1

当湿度高至38.2%,其土块体积平均达54平方厘米(以容重1.5计),这时已不合乎机播要求,田间测定表明,土块大的存在多,将严重影响麦子的出苗和其均匀度。要达到可机播的碎土状况,从上述资料看来,只有土壤湿度稍低于塑限及塑限+5%的范围内从事耙地是最适宜的。

至于水稻本田的整地,它与秋耕不同,要达到插秧前的土壤融烂,主要靠晒垡及灌水后的反复耙耖来实现,对耕的要求着重在田面平整,翻土较好。这二个要求往往对机具结构,原来田间条件及前期耕作关系更为密切,而耕时的湿度较高影响土垡较大,对灌水耙耖后的土块状况少有一致的关系(表6)。

表6 不同湿度干耕水耙后的耕层土块状况

田号	土壤	前作	干耕时的土壤湿度		晒垡天数	干耕或水耙	土块大小组成(%) (厘米)					
			厘米	%			25—15	15—8	8—5	5—2	2—0.8	<0.8
IV	黃馬干	蚕豆	0—10	34.2	2	干耕后 水耙后		3.0	14.5	6.5	49.0	—
			10—20	35.7					4.8	14.1	15.5	69.5
VII	紅馬干	大麦	0—10	40	10	干耕后 水耙后	18.2	29.4	11.8	14.5	26.1	—
			10—20	37.3					9.4	3.4	15.3	12.8
XII	紅馬干	休閑	0—10	34.6	4	干耕后 水耙后	11.8	17.8	3.8	6.1	30.4	—
			10—20	46.1					7.0	15.1	15.1	62.8
VIII	紅馬干	大麦槎	0—10	32.9	9	干耕后 水耙后	2.8	21.8	11.8	19.5	43.7	—
			10—20	37.5					7.8	12.2	12.2	67.8
XIV	紅馬干	蚕豆	0—10	36.7	4	干耕后 水耙后	30.5	33.5	9.2	10.5	16.3	—
			10—20	43.7					2.9	2.9	16.6	12.1

所以春耕的土壤适耕性主要决定于拖拉机能否下田及其能否顺利操作,故土壤湿度为40—50%(发生沉陷打滑的湿度)才是其最高的极限,湿度较高的引起的土垡较大,只要充分晒垡,完全

可将其不良影响消失,如要干耙碎土,这也必然以塑限 + 5%为适宜湿度,但如水耕水耙,则所谓适耕性的问题已不存在。

上述讨论说明所谓土壤的适耕性是 与作物要求、耕作方法、机具类型及土壤性质有密切关系,而综合决定的某个土壤状况,不是一个象某些研究者指出的一个不变的常数,这个概念的建立对圩田土壤的机耕大大扩大了适耕范围,并可从圩田土壤的特殊条件来改变耕作方法和机具类型以适应湿度过大的状况。

四、对提高圩田土壤机械化耕作的意见

綜其上述,原来只适合于手工业操作的圩田固有的农业技术措施,针对旱地设计的机具类型,在圩田机耕化中都将产生一些矛盾,我们提出下列几点意见:

1. 建立和清理灌排系统,加强水稻后期的排水措施。圩田土壤适耕的范围虽较大,但也有其极限,当前拖拉机下水田工作尚不能完全解决。干耕是必须遵从的耕作方法,秋耕时期土壤湿度对耕作的影 响尤为显著。因此,创造田间适宜的耕作水分是很必要的,从不同土壤水分测定的结果可以看出,地势较高的红马干其湿度常可在适耕的范围以内,黑马干地势已较低,土壤湿度一般在 40%或以上,如天气较好,机耕尚可进行,但已濒于适耕的极限,耙地必须待湿度进一步降低方可进行;如天气多雨,则机耕将发生困难。地势低的青沙白螺蛳土,即使天气正常也使耕作造成困难,目前长江公社圩田地区地势低的土地几占一半,故建立完整的灌排系统,从耕作的需要来调节田间的土壤湿度状况是实现机耕化最根本的措施,但在当前劳力不足的情况下完整的灌排系统不能一时建立,则将现有的沟渠加以清理,也是一个暂时解决问题的办法。

秋季水稻黄熟时应排水,但在该地区农民一向无水稻晚期的排水措施(不清理稻沟),这势必延长田面落干的时间,也影响秋收后的土壤湿度状况。

2. 改变某些固有的田间技术措施,改变壟的宽度和形状是便于田间机械操作的一个重要措施。由于壟宽和耕幅不成整数比,以致发生重耕和漏耕,严重影响耕后的田面平整,故宜将秋播作物田的壟改为 3—5 和 3—6 米,前者适于 5 铧犁,后者适于 2 铧犁,同时龟背形的壟改为平壟,以加强田间管理和建立农排来克服对冬作的湿害影响。

3. 湿度过大时,宜将链轨式的拖拉机在地势低的地方耕地,因它的单位面积压力小,不易发生沉陷打滑,并舍去一部分犁铧增加行速来克服沉陷和工效降低的不足。同时从圩田土壤的特性来看,链轨式拖拉机可能将是圩田地区主要的机具。耕地对土壤湿度的适应比耙地要大得多,可以先在湿度较大时进行耕翻,晒垡,待土壤水分含量减少,再来耙地,耕耙作业在时间上分开,是克服圩田土壤湿度过高所造成的困难的主要方法,并且土壤经过晒垡后亦易于耙碎。

4. 机耕土垡大,牛耙压力小,不易碎土,故机耕必然机耙配套。圩田土壤性质特殊,不论土壤湿度高低,一般耕后形成的土垡都很大,耙是碎土的重要工序,除了宜在合适的土壤湿度下,应将耙齿加长,使下面的土垡也被切碎。

5. 改变机具的设计原则。目前所用的犁碎土的原理是一方面靠犁铧切土,同时又靠犁壁的曲面压碎土,而后者都放在主导的地位。但圩田土壤塑性大,湿度高,土壤分散板结,由犁壁碎土往往起不了应有的作用,但犁铧大,切割率小,以致土垡很大,因此,以切为主是在圩田土壤上所用犁的重要设计原则,为了增加犁的切割程度,宜将犁铧改小,而增加犁的个数,这样仍可充分利用拖拉机的功能。

6. 调整地块,修长田块,减少拖拉机转弯,增加行速可提高功效。目前圩田土壤一个重要特征是田块小,地面纵横交错,将地面切割成块而不连片,给机械化造成很大不便,故有计划的加以规划,使逐渐走上田园化是机耕迫切要求的田间条件。