

全国第三次土壤物理学术会议
交 流 资 料

土壤水分物理研究论文集

上海市农业科学院土壤肥料研究所

一九八五年十月

1986.7

土壤水分物理研究论文集



305643



北林图 A00052143

上海市农业科学院土壤肥料研究所

一九八五年十月

前 言

1982年10月“中国土壤学会”在大连召开的“全国第二次土壤物理专业会议”决定于1985年10月在上海召开“全国第三次土壤物理学术讨论会”，这对我所的土壤物理研究工作是一个有力的促进。我们愿借此机会向与会的全国土壤物理专家们汇报交流我所近年来土壤物理研究工作的主要进展，特此汇集成册，欢迎各方给予指导。

该“土壤水分物理研究论文集”，主要从土壤物理科学的应用基础研究(水稻土排水理论、土壤持水理论等)、农田排灌新技术应用研究(深线沟排水、深松土排水、塑料暗管排水、地下渗灌技术等)、土壤物理新的测试技术研究等三方面汇集了十余篇主要论文，共约33万字。可供从事农田水利、土壤物理、土壤地理、土壤改良、水文地质等专业的大专院校、科研及应用部门的科学技术人员和管理人员参考。

该论文集由我所杨金楼同志编辑，朱济成、计中孚等同志进行了绘图校对。因限于时间和水平，谬误在所难免，谨请予以指正。

上海市农业科学院土壤肥料研究所

一九八五年十月

目 录

一、农田排灌新技术研究

1. 土壤水分研究简介.....杨金楼(1)
2. 努力改善生产条件, 治渍抗灾稳产高产.....杨金楼(3)
3. 水稻土排水理论和实践.....杨金楼(8)
4. 水稻土旱作期间耕层滞水的形成和排除.....杨金楼、朱济成、施南昌、姜素珍、朱连龙(49)
5. 深松土排水通气治渍研究.....柯福源、杨金楼、朱连龙、朱济成(59)
6. 农田塑料暗管排水应用技术研究.....杨金楼、朱济成、朱连龙、柯福源(69)
7. 应用排水暗管进行地下渗灌研究初探.....朱济成、杨金楼、张家琪、张纪方(135)

二、土壤水分能量概念

8. 上海地区土壤持水特性研究.....杨金楼、朱连龙、朱济成(145)
9. 土壤水分能量概念及其测定应用方法.....杨金楼(156)

三、测定方法

10. 水稻土氧化还原电位测定应用研究.....杨金楼、廖兆熊、朱济成(204)
11. 水田土壤渗漏量测定法.....杨金楼(212)
12. 《DK—1型》旱田土壤渗透系数实验室测定法.....杨金楼、朱济成、朱连龙、柯福源(216)
13. 水对土的稳定性测定法.....柯福源、杨金楼、朱济成(225)
14. 《DIK—320 型压力板测水装置》对外测试咨询服务简介.....(231)
15. 《岩石和土壤微结构制片》对外服务简介.....(232)

四、资料目录

16. 《土壤物理》学术论文发表目录(1975年~1984年).....(233)
17. 《土壤物理》主要科普文章目录(1976年~1984年).....(236)

土壤水分研究简介

杨金楼

我所农田排灌研究始于1960年,60年代初为改造松青金近百万亩低洼地进行了综合研究。70年代以来,针对双三熟制发展,水稻土农田渍害有所加重的新情况,开展了麦田合理开沟排水、深线沟排除犁层滞水、深松土排水通气治渍、排水塑料暗管研制、选定型及农田应用技术、应用排水暗管进行地下渗灌等一系列农田排灌新技术的研究,还开展了土壤水分能量理论的应用和测试方法等研究。

在研究过程中,我们应用重点试验与面上考察相结合、宏观(生态观察)与微观(微形态变化)相结合、田间试验与室内分析相结合的方法。应用渗流计算技术、电子计算机技术、放射性同位素示踪技术、土壤水分能量测试技术、微形态制片技术、数理统计分析技术等手段。先后取得了“低洼地改良研究”、“麦田合理开沟排水”、“深线沟排水”、“深线沟犁研制”、“塑料暗管研制”、“塑料暗管选定型及间距研究”、“农田塑料暗管应用技术研究”等七项研究成果,其中五项填补了国内空白,一项获轻工业部重大成果奖、二项获市农牧科技成果奖。在国内外《土壤学报》等十余种杂志上共发表了五十余篇约四十万字的学术文章,并编写了三、四十万字的科普材料。

低洼地综合改良研究,我们总结得出了应以“治水改土”为中心,实行“围起来、排出去、控制住、三分开(内外、排灌、高低分开)、突击排、配套齐、管理好、综合治”的治水方针,在排降控水基础上,狠抓“轮作改土”,并因地制宜地“增肥改土”、“深耕改土”。使低洼地上实现了农业生态的良性循环,取得了稳产高产持续增产的重大社会经济效益。

农田合理排水治渍抗灾,是重要的应用技术,是小麦等旱作物稳产高产的关键。我们研究得出:降雨形成“三水”对旱作物危害程度来说,是地面水>上层滞水>地下水。因此,麦田等旱作物开沟排水,要在预降河沟水位基础上,田间排水要“明暗结合、深浅结合、直横结合、沟洞管结合”,建立“立式排水网”,实行“分层排降”,收到了明显的治渍抗灾效果,一般小麦增收1~2成。明暗结合排水方式在松江等县得到了大面积推广应用,每年秋播约开三、五十万亩。

对农田渍害机理这一应用基础理论问题,我们研究得出:南方水稻土农田渍害主要是由于犁底层阻隔引起上层滞水,使根系层水分过多,影响通气和根系呼吸。而地下水一般易升又易降,并不构成主要威胁。由此提出治理渍害主要应是排除根系层内的滞水,其次才是降低地下水。这一重要结论纠正了长期以来水利学界认为地下水是形成渍害的主要原因,治渍就是降低地下水的片面看法,被国内土壤、水利学界所接受。有关排除上层滞水的方法,1976年我们在国内首次研究应用深线沟排水新技术,打破滞水的犁底层,促使上层滞水的快速排除,一般可增收1~2成,得到了国内外专家学者的赞同和好评。现在我们又发展应用深松土排水新技术,既排水,又通气、治渍,效果更为显著,旱作物可增收2成左右。

长期以来,我国地下暗管排水,一直沿用脊瓦、空心砖等管材,易于淤积失效。1978年我所在国内首次提出并会同塑料所协作,相继研制成功塑料平滑管和波纹管,还进行了选定型研究,为工厂化生产提供了科学依据,均填补了国内空白。塑料暗管农田应用技术经六年多的研究,已拥有田间合理布置施工、深密度、防滤冲淤、在水旱作物上的管理等成套技术,还应

用电子计算机编制程序进行暗管间距计算,可为不同地区合理埋设暗管提供实用方案。塑料暗管排水已在全国十四个省、市共埋设十万亩以上,在麦、稻、棉、菜等作物上可增收二成左右。目前又应用排水暗管进行地下渗灌研究,亦取得了一定进展。

应用土壤水分能量概念研究土壤水分,我国起步较晚,近年来我们为这一最新理论的应用,更好地为生产服务进行了较多研究实践。特别是对上海地区土壤持水特性进行了深入研究,并对不同水分吸力下持水的影响因素和作用大小作了大量的相关分析,得出了不论低吸力还是高吸力条件下,土壤持水与有机质含量多少关系最为密切的新见解。还对应用土壤水分能量理论为农业生产服务作了较多探索。为了更好开展这方面的研究工作,我们1982年从美国引进了压力板测水装置等先进设备,可接受土样测定土壤水分常数、土壤水分生物学分类、土壤孔隙组成和分布以及土壤水容量等,可提供一系列诊断指标,用以指导合理排灌。

在土壤水分研究设备方面,我们先后研制成功了“水田渗漏量测定器”、“DK-1型旱作土壤渗透系数测定装置”等测试仪器,并已定型由“上海市青浦县赵巷中伍农业仪表厂”生产,供应全国应用。还对稻田氧化还原电位进行了较深入的研究,得出了一套行之有效的诊断指标,为农田水分管理提供了科学依据。

另外,我们还掌握了土壤微形态制片技术,可接受土壤、岩石等制片任务,为土壤改良等提供较好的鉴定手段。

我所已具备条件,可承接农田排灌、土壤水分能量、土壤物理等方面的试验研究、培训、测试及咨询服务任务,欢迎来电来函联系。

努力改善生产条件 治渍抗灾稳产高产

杨金楼

一、上海郊区农作物不能稳产的主要原因

上海郊区农业不能稳产的主要原因是由于不可抗拒的气候因素引起的。从一年三熟来说，一般是中间稳(早稻)二头摆(三麦、后季稻不稳)。三麦、油菜以及棉花不能稳产主要是降雨过多，土壤受水浸渍，特别是三熟制后，长期湿耕碾压，使犁底层上升增厚，土壤通气透水性变差，雨后土壤上层滞水加剧，水、气矛盾尖锐，渍害加重，往往导致大幅度减产。因此，不能稳产是上海郊区农业生产上的一个普遍问题。

建国以来，由于农田水利建设的稳步发展，特别低洼地区实行了“联圩并圩、建闸控制、兴建排涝泵站、疏浚内河”等措施，目前涝灾威胁已基本缓和。在这种情况下：西部低洼地区排、降、控水及排除上部滞水，以治“潜害”和“渍害”；中部及东部地区排除耕犁层滞水治理“渍害”；滨海盐土建立排灌分开水系和确保淡水水源，以消除“盐害”，已成为上海郊区农业稳产高产的主要关键。郊区粮、棉、油、菜农作渍害都是由于环境因素(水、气矛盾)引起的。现在农业稳产土壤环境因素大于养分因素。对于土壤肥力因素来说，以治水改土为中心进行土壤物理肥力(即水、气、热)的调节，以保证稳水、稳气、稳肥、稳温，确保作物根系生长良好的环境条件，是稳产的重要保证，应引起高度的重视。

二、上海郊区农田的渍害原因分析

什么叫渍害？渍害就是指土壤含水量过多，作物根系受水浸渍，影响作物正常生长导致减产的一种自然灾害。除沿海成陆较晚，犁底层不明显或发育较差的沙泥、沙夹黄土壤，土壤渗透性较好，渍害较轻外，其他均有不同程度的渍害，而尤以青紫泥更为严重。渍害有四个方面原因：

(一)气候原因：据历年来产量和气象因子的相关分析：三麦单产与秋播、春后3~5月、全生育期雨量和雨日多少呈负相关，相关系数在 -0.72° 以上。秋播时11月上中旬总雨量超过60mm就会造成烂耕烂种(发生机率在23.0%，平均每四年遇到一次)，一般减产2成左右。春后3~5月，正是三麦根系大量吸肥的旺长时期，总雨量超过320mm(发生机率在40%，平均每2.5年遇到一次)将产生渍害，一般减产2~3成。如77年3~5月降雨量461.9mm，92天中有52个雨日(雨天：晴天=1:0.7)，其中出现三个连续半个月以上的降雨过程，一因向上生物排水大大减少(原晴天蒸发5~8mm/天，现阴雨天只有1mm左右/天)，二因土体膨润蓄水，向下亦渗不下去，使入渗雨水在耕犁层停滞时间过长，而造成严重渍害，致使减产五成以上(由1976年的410斤/亩降至1977年的195斤/亩)。因此，气候因素中的降雨过多造成农田渍害，是导致农作物产量不稳的直接原因。

(二)水文地质原因：主要是地下水位过高，地下毛管水强烈上升顶托，土壤过湿，加剧了水、气矛盾，而导致渍害。主要发生在青、松、金低洼地区近二十万亩还没有包围起来以及围

至不控农田上。已经包围起来象林家草那样坚持常年排降水的为数甚少，而大部分是围而不控（原因：内河、龙沟淤浅；贪图行船用水方便；怕水费负担重）。河沟水位一般在田面以下50~80cm，地下水埋深在50cm左右，地下水沿土壤毛细管张力上移（一般上移30~50cm）顶托，降雨后上层土壤水亦渗不下去，也易造成渍害。因此，很大程度上是人们对渍害认识不清，而措施不力所造成。

（三）土壤物理原因：六十年代以来，三熟制的发展，土壤渍水时间延长40多天。原两熟制都干耙干耕，现因茬口衔接紧，三熟制都湿耕湿耙。土壤湿润状态时的可塑性大，轮胎碾压将犁底层压得愈加紧密，导致大孔隙破坏以及孔隙粘闭（通气孔隙比干耕减少40%），耕性变差，犁底层上升增厚（6~8cm）。轮胎对土体压力经试验可传递到1公尺以下，因此整个土层均有压实的趋势。土壤透水性变小，特别是犁底层渗透系数，从原来的10~100cm/天，下降至0.1~1cm/天，制约着整个土层水分的入渗排除。当雨量过多和降雨强度较大时，由于弱透水性犁底层的阻隔，易导致耕层暂时滞水（悬着水），往往在耕犁层交界形成粘滑具有还原特征的青泥层（亦称土壤次生潜育化），作物根系土壤环境不良，从而影响作物正常生长。

著名土壤学家威廉斯说过：“没有不良的土壤，只有不良的耕作”。三熟制后出现土壤被压实这一新情况主要是人为不良的耕作所造成的。在农业集约化的今天，机械对土壤反复搓揉造成压板，导致土壤物理性状变差，影响作物生长，已成为世界性的普遍问题。适当回旱，减少湿耕和耕作次数，研究免耕，打破阻水的犁底层，对内排水不良的土壤进行深松土，确保土层30~50cm内疏松透水，将是行之有效的对症措施。

（四）技术原因：不重视开沟，田间沟道浅而不畅，间距过稀，田外沟道不配套、不畅通，“一尺不通，万丈无用”。水利建设上重建轻管，重灌轻排，管理不善，增加了雨后入渗，抬高了地下水位，也易造成渍害。还有没有在不同品种、不同茬口间开好隔水沟，也易入渗受渍害。

综上所述：除降雨过多造成渍害是客观直接原因外，其余三点均存在很大程度的人为因素。可以通过不断总结经验发挥人类改造自然的主观因素，扬长避短，减轻和缓和渍害。以达到大灾之年少减产，中灾之年能稳产，小灾之年能增产，无灾之年大增产。

三、对策之一——治水改土，建立防洪除涝

治渍抗灾稳产的农田水利体系

郊区农田治水方针，必须明确“以排为主”的主攻方向。整治河沟，加强配套，辅以轮作改土，通过排、降、控水，以提高防洪、除涝、治渍等抗灾能力。

（一）田外工程——建立可靠的防洪除涝排水体系，控制河沟水位，是治渍抗灾的重要基础：

上海处于太湖下游，黄浦江是太湖主要的泄水道，承受上游70~80%的来水。由于太湖上游地区入湖河道拓宽加深；机电排灌动力发展，使原圩区的淹涝水现在能够排出；加上围湖造田（江浙二省共围几十万亩）减少了蓄水面积。因此，如1954年洪水（50年一遇）再现，由东西太湖各口排水量加大了17亿立方。当年太湖流域淹没农田830万亩（其中，本市郊区农田淹没105.5万亩），也起了部分滞洪减缓洪峰的作用。但由于农田水利建设的发展，联圩并圩，

兴建排涝泵站,机电排涝能力逐步增强,受灾面积大大减轻,必然导致洪峰集中。黄浦江高潮位估计将比1954年8月7日松江米市渡的3.8米增高到4.2~4.4m。而目前堤顶高程基本低于3.8m,亦有不少内河堤顶在3.5米以内。且厚度太薄,险工段多。现潮汛超过3米,就有几万亩被淹的可能,如遇1954年洪水,有可能造成较大灾害。若与江海高潮相遇,则易泛滥成灾,不可吊以轻心。因此,加高江柳和内河堤顶高程,分别达到5米和4.5米以上,并提高圩堤标准。这已是一项紧迫任务。同时要加强对内部的排涝动力配套。特别要把首当其冲的近20万亩低洼地及早包围起来。已经包围起来,而除涝标准尚不到五年一遇抗险要求的30万亩农田,要进一步提高抗灾能力。并在主要泄水道两旁建闸,建立大控制,缩短防线,以提高抗洪能力。

在圩区的整治上,要实行“围起来,排出去,四分开(内外、高低、排灌、水旱分开),两控制(河沟、地下水位),配套齐,管理好,再改造,综合治”的治水方针,也就是建立“闸(套闸)一泵(排水泵站)一河(挖深内河至3.2米)一沟(挖深龙沟达1.5米)”排水体系,而关键是要控制住。就是要象林家草那样将河沟水位始终控制在最低田面以下1.2米,使地下水位雨后三天能降到地面以下0.8米的标准。既有利于农作物治渍,亦可使土体得以氧化,加厚氧化层,以利“降潜”(潜育层部位降低)。这是改土、抗逆、稳产的重要保证。

农田水利建设,要因因地制宜,合理利用,适当改造,讲究实效,减少农田被挖和压废。为珍惜每寸土地,大、中、小型河道,宜因地制宜的由浅、密向深、稀发展。可开可不开的应坚决不开(如金浦河)。并要积极稳妥地发展“三暗”(暗渠、暗沟、暗管)工程。实行渠路结合,排灌地下化,以节省农田,有利输水。

对于郊区52万亩盐碱地,还有近20万亩没有脱盐,要从速建立排灌分开水系,引淡水洗盐。关键是解决排水出路。南汇境内的大治河要打通排水,开好随塘河,改善滨海盐土地区的水质,加速淋洗,以根治“盐害”。

(二)田内工程——因地制宜建立立式排水网,实行分层排降,是治渍的重要措施:

农田排水主要是排除降雨形成的地面水免于受涝;排除耕犁层的滞水免于受渍;降低地下水,减少顶托,免于受“潜、渍”。而明沟排地面水较好;深线沟、浅鼠道划破犁底层,是排耕层滞水的最好形式;暗管、土暗沟排地下水较好。因此,田间排水应实行“四个结合”(明暗、深浅、直横、沟洞管结合)，“四沟配套”(明沟、深线沟、暗沟(管)、龙沟),组成立式排水网,实行分层排降,上下水兼治,可有效地治理渍害。

至于不同地区对开沟的形式和要求,要根据形成渍害的主要原因来决定。如浦东由长江冲积母质近海沉积而成的沙泥、夹沙泥、黄泥头以及岗身的沟干泥,地势较高,地下水位较低,土壤内排水尚好,主要是由于犁底层的致密难透水,雨后天在耕犁层易形成悬着毛管水,而引起渍害。因此,东部及中部地区排水重点是耕犁层内的暂时滞水。排水方式仍以传统的明沟为主。从沿海向内陆依次分布的沙泥、沙夹黄、黄夹沙、黄泥头、沟干泥,质地从砂到粘,土壤透水性从大到小,因此,开沟要从浅到深,畦畦开沟。一般沙泥5~6寸;沙夹黄0.8~1尺;黄夹沙1.2尺;黄泥头和沟干泥1.5尺。沟间距以3~4米为宜。如能“明沟与深线沟垂直配套”,排水治渍效果显著。要创造条件,推广这较好的排水方式。黄夹沙、黄泥头和沟干泥土壤内排水仍需改善,发展暗管排水,减少开沟,是今后发展的方向,亦应重视推广应用。

浦西低洼地区的青紫泥,主要矛盾是地下水位高,以及上部滞水引起“潜害”和“渍害”。因此,要先降地下水,再排除耕层滞水。故宜明暗沟结合,尤以“明沟—暗管”结合较好。对

于2.6米以上的青紫泥，犁底层阻水，以明沟——深线沟——暗管结合，实行分层排降，可有效排除“三水”减轻渍害。1978~1979年我们在青紫泥上试行，十亩小麦平均亩产773.5斤，最高为802.3斤/亩。这种最佳结合方式是郊区农田排水的发展方向。

值得强调指出的是：暗管排水是增强土体内排水能力，治理农田渍害的有效措施。埃及自1956年起把埋设暗管排水作为治水改土的国策，而成为世界上最大的棉田出口国。以围海造田称著的世界上最低国家荷兰，40%土地在海平面以下，全国100%土地埋设塑料暗管。1980年213万亩小麦平均亩产826.9斤；80万亩大麦，平均亩产643.5斤，均占世界首位。欧、美、日、澳、加等国助农国策均把埋设暗管排水，改善生产条件作为重要措施来安排。这些成功经验，我们应该借鉴。我国从南到北暗管排水已出现大发展的势头。经我们1964~1982年在郊区多年多点不同土壤上的试验，埋设地下暗管能有效降水、降湿、改善根系生长的土壤环境。放射性同位素 P^{32} 示踪测定表明，根系活力增强，吸收养分增多，从而促进了高产。前后共实收96块三麦试验田，暗管田亩产 657.8 ± 99.4 斤，比无管对照田亩增 77.5 ± 53.8 斤，增幅 $13.9 \pm 10.1\%$ ；同样，水稻实收40块田，暗管田平均亩产785.6斤，比无管对照田亩增 61.2 ± 42.3 斤，增幅 $8.4 \pm 5.6\%$ ；棉花也增产一成以上。这说明，埋设地下暗管排水是粮、棉、油高产稳产的重要措施。

暗管埋设适宜间距，我们试验得出：7米间距，三麦平均亩增93.5斤，增幅16.4%；10米间距亩增82.9斤，增幅13.0%；12~15米间距，亩增19.3斤，增幅3.5%(<5%)。故郊区埋管一般以7~10米间距为宜，不宜过稀。塑料暗管每亩投资在70元左右，可用15~20年，折合年投资4元/亩左右。塑料暗管延长使用寿命的关键是要认真做好防滤和冲淤工作。

四、对策之二——轮作改土，增强土体内排水性能，确保稳产

推广稻棉轮作(棉花比例占1/3)或“两旱一水”(三麦~玉米~后季稻)轮作制，可以快速改土，增强土体内排水性能，缩短土壤滞水时间，有效“降潜”、“治渍”。特别在低洼地区，它的作用更大。即可通过生物排水降低地下水位，干燥土体(据我们测定，种一年棉花可使40cm土层内的容重减轻6~8%)，加快心土层结构的发育，使氧化层从无到有，从薄到厚，土壤爽水性能增强，潜育层部件下降，可有效地根治低洼地的“潜害”。

其次，经棉花等旱作强大深根系的伸展和犁底层的干缩龟裂，形成很多裂隙。这种排水的强度很大，使耕层无法滞水，故可有效治理渍害。种棉不仅提高了土壤的物理肥力，而且棉茬冬绿肥可收万斤，一亩可解决三亩左右后熟作物优质的有机肥，还能激发老有机质代谢更新。既改善了土壤结构，又提高了土壤供肥能力。

总的说来，轮茬旱作，它的改土作用远比水利改良快速且效果好。水利是基础，改善了水利条件，才能为轮作换茬创造条件，而轮茬旱作又反过来加速土壤改良。二者相辅相成，就能逐渐加厚氧化层，提高土壤的生产能力。

在三熟制集约化的今天，实行“一年花，两年稻”的轮作制，土壤养分的释放和积累能达到动态平衡，土壤环境能向好的方向转化。这对提高土壤生产力，促进农田生态系统得以良性循环都有很大的作用。

五、结 论

郊区粮食作物不能稳产除后季稻低温早临，施肥以及茬口搭配不当引起外，在旱作三麦、

油菜以及棉花上不能稳产的直接原因是气候因素中的降雨过多。间接原因是排降控水不力，地下水位过高；不良的耕作；管理不善等导致土壤环境恶化，水、气矛盾尖锐，从而造成渍害。可以通过人为措施减轻渍害。产量也可从不稳到稳。

对策：明确“以排为主”这一主攻方向，努力改善生产条件，这是稳产的关键。低洼地区要提高圩堤标准，加强动力配套，建立“闸～泵～河～沟”排水体系。全郊区都要有计划地全面埋设暗管，控制河沟水位和地下水位，这是治渍的基础；在田间还要打破阻水的犁底层，建立立式排水网，实行分层排降；坚持轮作改土，这是治渍、稳产的保证；并要重视改善土壤环境的水、土技术措施的研究应用。

一九八二年八月

水稻土排水理论和实践

杨 金 楼

目 录

内容提要	(9)
第一章 水稻土的旱作排水	(9)
一、上海市郊区农业不能稳产的主要原因	(9)
二、农田渍害原因分析及其机制	(10)
三、农田排水的对象、目的、任务及其排水重点	(15)
四、水利措施——建立除涝治渍抗灾的排水体系	(19)
五、农业措施——轮茬旱作改土，增强土体内排水性能	(31)
六、关于秋播开沟应注意的几个问题	(34)
七、一个除涝治渍改土抗灾稳产的实例	(35)
第二章 稻田排水	(42)
一、稻田排水的意义	(42)
二、稻田排水的功效	(42)
三、稻田的适宜渗漏	(42)
四、稻田的合理排水	(47)

内 容 提 要

“水稻土排水理论和实践”是作者在上海郊区进行近二十年排水研究实践的经验总结。水稻土的旱作排水主要论述除涝治渍改土问题,稻田排水主要论述增强稻田土壤的爽水性问题。力求从理论和实践的结合上,将水、土、作物紧密联系起来,阐明:水稻土进一步稳产高产土壤环境因素>养分因素;分析了农田排水研究重点的逐步转移;论述了通过排水、轮茬旱作等综合措施,是改善土壤环境条件的重要手段,使“水、气、养、热”诸肥力因素得以协调,为壮根、活熟、抗灾、稳产高产打下坚实基础,可实现农业生态的良性环境,逐步提高土壤的生产力。

我国南方1亿多亩低湿稻田及其他水稻土壤,随着双季稻三熟制的发展,土壤滞水加剧,旱作农田渍害日趋严重,已成为限制农业生产发展的严重障碍。因此,合理治渍已成为农田抗灾稳产的关键所在。同样,稻田排水亦成为实现水稻高产的重要手段。本文可供从事水稻土排水研究的科学技术人员、水利院校师生以及类似地区的基层农田水利工作人员参考。

第一章 水稻土的旱作排水

一、上海市郊区农业不能稳产的主要原因:

上海郊区农业不能稳产主要是由于不可抗拒的气候因素引起的。从一年三熟制来说,一般是中间稳(早稻)、二头摆(三麦、后季稻不稳)。众所周知,后季稻不能稳产,主要是由于低温早临、茬口搭配不当、施肥过多所造成的。而三麦、油菜以及棉花不能稳产主要是降雨过多,土壤受水浸渍,作物根系层生长环境不良,特别是随着双季稻三熟制的发展,犁底层上升增厚,土壤耕作层和犁底层的滞水加剧,水气矛盾尖锐,渍害加重,往往导致大幅度减产。如1977年多雨,三麦单产<200斤/亩,油菜籽153斤/亩,皮棉92斤/亩。1978~79年少雨,三麦单产分别为442斤/亩和530斤/亩;油菜籽303斤/亩和310斤/亩;皮棉167斤/亩和126斤/亩。产量相差一倍左右。常年亩产1977年为1242斤/亩,78~79年分别为1606斤/亩和1634斤/亩,相差达400斤/亩上下,总产减少了10亿斤,很大程度上是由于农田渍害所造成。上海地区除沿海成陆较晚、耕垦时间亦短、犁底层尚未形成阻水的部分淤泥、沙夹黄土壤,渍害较轻外,在其他土壤上均有严重渍害,减产幅度大体相近。因此,不能稳产是上海郊区农业上的一个普遍问题。

建国34年来,由于农田水利基本建设的持续稳步发展,特别是低洼地区实行了“联圩并圩、建闸控制、兴建排涝泵站、疏浚内河”等措施,目前一般做到日雨140~170mm不受涝的标准(5~10年一遇),1980年在雨情与1954年大体相近情况下,受灾面积只有9.6万亩,不到1954年的1/10(1954年受淹105.5万亩)。因此,涝灾威胁已基本缓和。在这种情况下,西部低洼地区排、降、控水及排除上层滞水,以“降潜、治渍”,根治“潜害”和“渍害”;中部和东部的平原地区排除耕犁层滞水,以治理“渍害”;滨海盐土建立排灌分开水系和确保淡水水源供应,以消除“盐害”,已成为上海郊区农业稳产高产的主要原因和关键所在。

上海郊区粮、棉、油、菜旱作渍害以及潜害都是由于土壤环境因素(水、气、热)引起的。就目

前而言,土壤多施肥料往往不能得到令人满意的效果,过多施肥反而会引起减产。而改变土壤的环境条件,使水、气得以协调,往往能使土壤变恶性循环为良性循环,有利抗灾稳产和持续增产。因此,现在水稻土农业稳产高产土壤环境因素>养分因素,亦即土壤物理肥力>养分肥力。这是南方水稻土在较高产量水平下出现的一个新的问题。对于土壤肥力来说,土壤物理肥力即水、气矛盾的调节,以保证稳水、稳肥、稳温,确保作物根系生长良好的环境条件,做到壮根活熟,是稳产的重要保证。应有足够的认识和引起高度的重视。因地制宜地采取治水、管水、耕作、轮作、施肥、生物等综合措施,可快速改土,协调水、气,必将有利于抗灾稳产,更好地发挥土地的增产潜力,创造更多的物质财富,满足人们日益增多的对农产品的需要。

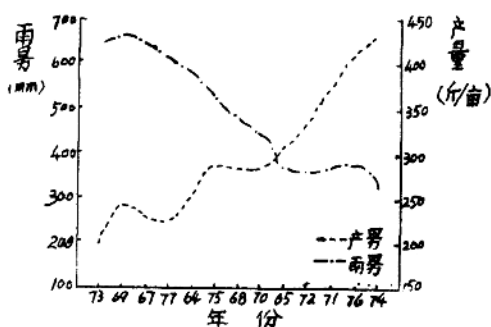
二、农田渍害原因分析及其机制:

什么叫渍害?渍害就是指土壤含水量过多,作物根系层受水浸渍,致使根系土壤环境恶化,作物呼吸窒息、中毒,造成生理失调,从而影响作物正常生长,导致减产的一种自然灾害。

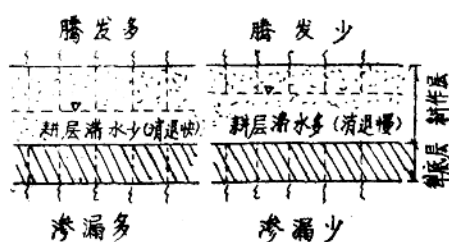
1. 渍害原因分析:

(1) 气候原因:降雨是形成麦田渍害的直接原因。据历年产量和气象因子的相关分析说明:三麦单产与秋播、春后3~5月、全生育期的雨量和雨日多少均呈负相关(图一),相关系数在-0.72左右。秋播期11月上中旬总雨量超过60mm,就会造成烂耕烂种(发生机率在30%左右),一般减产2成上下。春后3~5月,正是三麦根系大量吸肥的旺长时期,总雨量超过320mm(发生机率在40%左右)将产生渍害,一般减产2~3成。说明雨量愈多,愈易形成渍害,三麦单产愈低。

间歇性暴雨,雨过天晴,向上蒸发蒸腾强烈(平均每天5~8mm之多),向下因土体还未完全膨胀又脱水收缩了,故裂缝及通气孔隙多,因裂缝的排水能力极强,因此耕犁层滞水不易形成,且消退极快。而连绵阴雨极易引起耕层滞水的滞留,这是因为雨日过多,虽在某种程度上反映了雨量较多的可能性,但更重要的是反映了连绵阴雨使土壤内部水分排除的重要途径——向上蒸发蒸腾受阻(一般每天1毫米左右),向下土体膨胀,堵塞通气孔隙,水亦渗不下去,耕层滞水的二个出路受阻,势必消退迟缓(图二),造成严重渍害。因此,气候因素中的降雨量和雨日过多,造成农田渍害,是导致旱作产量不稳的直接原因。



图一 三熟制后三麦全生育期雨量与产量关系图



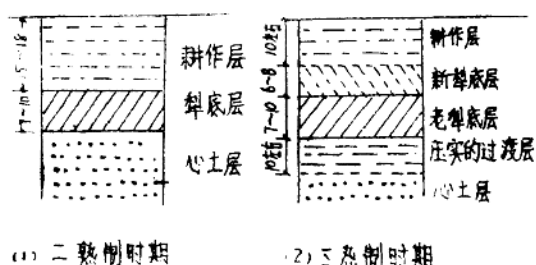
图二 连阴雨耕层易滞水

(2) 水文地质原因：低洼地区过高的河沟水位和地下水位的顶托，地下水毛管水强烈上升，致使土壤过湿，加剧了水气矛盾，从而导致渍害。主要发生在低洼地区还未建立包围的农田以及虽已建立包围但围而不控(原因：内河、龙沟淤浅；贪图行船用水方便；怕水费负担重)，河沟水位一般在50~80cm，地下水位在50cm左右，地下水随毛管张力上移(30~50cm)顶托(图三)，形成过湿的土壤环境，从而造成渍害，很大程度上是由于认识不足，措施不力所造成。

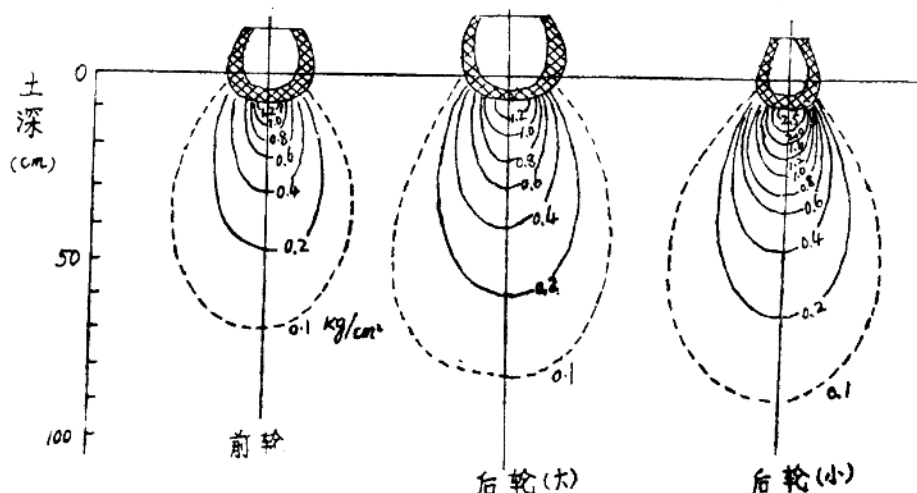
(3) 土壤物理原因：耕作土壤，尤其是水稻土，因成土过程、耕作、轮作、排灌条件等不仅相同，土壤剖面的层次分化很明显，故土壤本身不是均质体，而有层次性，且不同层次土壤的物理性质(如密实程度、孔隙性状、持水特性等)差异很大。因此，雨水入渗土体一般不是均匀下渗，而是受犁底层的制约，在犁底层聚积滞留。随着双季稻三熟制的发展，土壤渍水时间延长40多天，由于茬口衔接紧，湿耕镇压，破坏了土壤结构，通气孔隙比干耕减少约40%，耕性变差，阻力增大；连年浅耕，粘粒下移淀积，使犁底层增厚6~8厘米；农业机械镇压，反复搓揉造成压板，使犁底层下方的心土层有10厘米左右也变压实(图四)，且轮胎对土的压力可传递到1米以下(图五)，因此，整个土层均有压实的趋势。由于犁底层大孔隙遭致破坏和孔隙粘闭，土



图三 河沟高水位顶托影响上层水分下渗

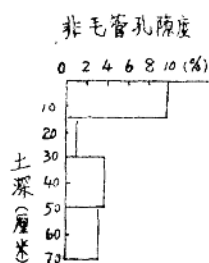


图四 犁底层的变化 单位：厘米

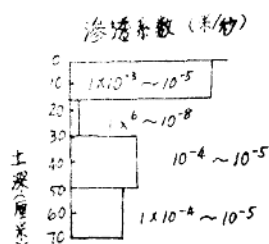


图五 轮压(压强)在土壤中的分布(单位: kg/cm^2)

壤的非毛管孔隙率降低(一般0.5~2.0%)(图六)。土壤饱和传导度大大减少,一般 $<1 \times 10^{-6}$

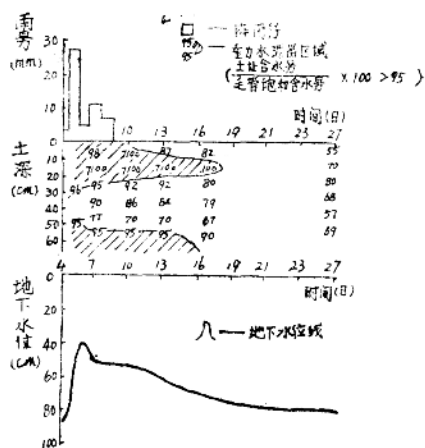


图六 非毛管孔隙垂直分布

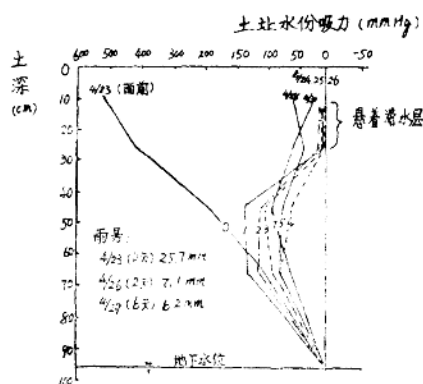


图七 渗透系数垂直分布

米/秒(图七)。致使入渗雨水易在耕犁层交界面聚积滞留(图八、九、十)。耕层下部形成粘滑并带明显还原特征的青泥层,土壤环境不良(麦作后期耕层下部活性亚铁含量高达300~800 ppm)。使农田渍害加重。据分析六三年前二熟制时期上海市郊3~5月份多降雨100mm,三麦减产44.5斤/亩,六四年后三熟制时期已上升到减产55.7斤/亩,雨量与三麦产量的相关系数从-0.76**,上升至-0.78**。三麦全生育期每多降雨100mm,由二熟制时期减产38.8斤/亩上升至减产49.3斤/亩,相关系数亦由-0.72**升至-0.87**,均说明了,三熟制后农田渍害在日渐加重,从而严重影响了作物正常生长。



图八 雨后土壤耕层滞水滞留区和地下水位图



图九 20mm以上雨量土壤剖面水分吸力垂直分布

著名的土壤学家威廉斯说过：“没有不良的土壤，只有不良的耕作”。三熟制后出现土壤被压实这一新情况，主要是人为不良的耕作所造成的。

在农业集约化的今天，土壤被压实，导致土壤物理性状变差，影响作物生长，已成为世界性的普遍问题，从而引起了广泛的重视。适当回旱、减少湿耕和耕作次数、研究免耕、打破阻水的犁底层、对内排水不良的土壤进行深松土，确保 40~50cm 土层内疏松透水，将是行之有效的对症措施。

(4) 技术原因：田外沟道不配套且浅而不畅，不能做到逐级排水，“一尺不通，万丈无用”。田内沟道浅、且间距过大，因水力梯度小而排水极为缓慢，易造成较长时间过湿的土壤环境，水利建设重建轻管，管理不善，增加了雨后入渗，抬高了地下水位，亦易造成渍害。另外，没有做到连片种植，并在不同品种、茬口之间开好隔水沟或围沟，使稻田水、秧田水源源不断的补给，加重了农田渍害，往往导致病害蔓延，高温逼熟，造成大幅度减产。

综上所述，渍害的四点原因，除降雨过多是不可抗拒的直接原因外，其余三点均存在很大程度上的人为因素。若能采取适当措施，扬长避短，进行综合治理，渍害可以得到不同程度的减轻和缓和，完全能够做到大灾之年少减产，中灾之年能稳产，小灾之年能增产，无灾之年大增产。

2. 旱作土壤渍害的机制：

旱作土壤渍水后，由于微生物的耗氧，使土壤氧及水中溶解游离氧的消耗，大大快于氧气向湿土的扩散，促使化学还原作用，既导致土壤根层环境恶化，又可使作物本身中毒或引起生理失调受害，从而影响作物生长，导致大幅度减产。

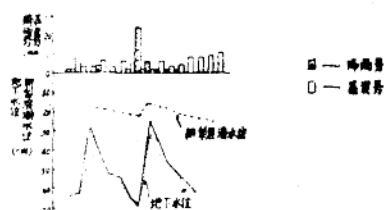
(1) 土壤中亚锰、亚铁、有机酸、乙烯的生成毒害：

亚锰(Mn^{++})的还原条件 $E_h = +400 \sim +600mv$ (注： E_h 为氧化还原电位)，当土壤中活性锰充足，有机质适当， E_h 迅速下降至 $+100mv$ ，造成锰中毒危害，但一般危害相对较轻。

亚铁(Fe^{++})的还原条件 $E_h = +300 \sim +500mv$ ，当土壤中活性铁较多，有机质充足的话， E_h 可迅速降至 $-50mv$ ，从而导致中毒烂根。

有机酸的生成中毒：有机物质施入土壤中，在腐熟分解过程中产生有机酸，可使 E_h 迅速降至 $-250mv$ ，若土壤中铁、锰离子亦多，温度又高的话， E_h 则下降更多，致使土壤环境恶化，造成烂根。有机酸主要是醋酸，伴有少量的丙酸、丁酸、乳酸、戊酸、富马酸、琥珀酸等。当醋酸含量 $>10^{-2}M$ 对许多植物根有毒，丁酸 $>10^{-4}M$ 也是有毒的。若 $pH < 5.5$ 时，问题更为严重。

硫化物的生成：当 E_h 下降至 $0 \sim -190mv$ 时，将生成 H_2S 等硫化物，一般来说，硫化物极少，对旱作土壤不构成严重威胁。



图十 雨后土层上下形成二层水位
(上：滞水位，下：地下水位)