

上海菜区人工模拟暴雨入渗试验研究初报*

杨秋珍 李 军 谈建国 杨星卫 汪治澜**

(上海市气象科学研究所, 上海 200030)

盛 平 洪嘉琏

(上海市余山农田水利试验站, 上海 201602)

刘彩堂 李 林

(中国科学院 国家计划委员会地理研究所, 北京 100101)

提 要

根据水量平衡原理, 采用人工模拟降雨入渗实验装置, 对上海新老菜区土壤进行不同墒情状态下的多种雨强人工模拟降雨入渗试验, 获取了上海菜区代表性土壤的暴雨入渗过程动态实验数据和入渗基本参数, 并分析了土壤水分变化规律, 可作为上海菜区开展暴雨雨涝灾情评估的依据, 对类似土壤条件的长江流域平原地区菜田, 也有一定的参考价值。

关键词: 菜区 人工模拟暴雨 入渗率 土壤水分变化

前 言

上海滨江临海、地势低平, 属东亚季风气候区, 汛期多大雨、暴雨。据上海市郊 11 个气象站及 9 个水文站点资料统计, 上海境内 1979~1994 年的 5~9 月共出现暴雨 376 次, 其中过程降雨量 ≥ 100 mm 强暴雨占暴雨总数的 15%, 年平均 3.4 次, 60~100 mm 的降水年均 7.4 次, 极易造成积水受淹, 对蔬菜生产影响极大, 是引起上海地区蔬菜夏淡的主要气象灾害。例如 1995 年 6 月 20 日~7 月 7 日梅雨期, 本市因涝淹而死亡的菜田, 面积达 2.7 万亩, 约占菜田种植面积的 20%。又如 1996 年 6 月底 7 月初的两场暴雨, 导致市郊菜田普遍积水, 使 7 月中下旬蔬菜上市量显著减少, 出现淡季早临的局面。因此, 市府及有关决策部门对暴雨灾情十分关心。但有关上海菜区积水受淹与暴雨之间的关系迄今尚未开展研究。本试验旨在摸清上海菜区主要土壤在前期不同墒情、不同强度暴雨条件下的入渗规律和参数, 为暴雨后进行菜田受淹分布、灾情程度的定量评估提供依据, 同时也为菜区排灌设施的合理布局提供设计参数。

* 本项目经费由上海市人民政府资助。

** 参加本试验的还有潘东晓、陆贤。

1997-01-21 收到, 1997-04-21 收到修改稿。

1 试验原理及方法

1.1 原理

本试验将地表至地下水位之上土层作为一个系统, 在系统内, 降雨量(R)是输入, 而蒸散量(E)、地表径流(R_0)是输出, 系统储水量的变化(W)即为降水渗入土壤的水量. 根据水量平衡方程, 一次降雨入渗土壤水量可表示为: $W = R - R_0 - E$. 但在大强度、短历时暴雨试验条件下, E 相对于 W 与 R_0 来说很小, 可忽略不计($E=0$). 因此, 只要控制降雨量, 测定 R_0 随降雨量变化的数据, 便可定量估算 W .

1.2 试验处理及设计

入渗率是单位时间内通过地表单位面积渗入土壤的降水量, 它主要与土质、雨前土壤含水量、雨强(降雨强度, 下同)等因素有关^[1]. 因此, 本试验将土质、降雨前土壤墒情、雨强作为试验因子.

(1) 土质: 上海蔬菜区 90% 以上是中壤与重壤^[2]. 本试验设 3 个点(中壤 1 个, 重壤 2 个). 中壤: 主要集中在浦东、嘉定、闵行、宝山等老菜区, 该土质占的比重最大, 将嘉定江桥园艺场(老菜区)作为该土质的试验点. 重壤: 主要集中在青浦、南汇及奉贤和闵行的部分地区, 由于南汇、奉贤和青浦在成土母质及土壤垂直剖面、菜田耕作程度等方面存在着显著差异, 所以分别在南汇新场园艺场(新菜区)和青浦白鹤陈岳园艺场(老菜区)各设 1 个点.

(2) 墒情: 鉴于菜田过干情况很少, 因此试验时只分近饱和(相应前期多雨, 土壤含水量高于田间持水量, 以下简称湿土)及田间持水量以下(以下简称干土)两种情况处理.

(3) 雨强: 根据上海地区最大降水量极值, 以及用耿贝尔极值分布函数^[3]估算的降水极值出现的可能最大值和菜区现时排涝能力的综合分析, 确定各试验点的雨强控制范围(表 1).

1.3 试验方法

试验采用中国科学院地理研究所研制的上喷移动式人工模拟降雨仪器^[4, 5], 该装置的降雨面积为 1 m^2 . 试验时, 四周以隔板围拦, 以防侧渗. 降雨时以稳压箱保持恒压水头, 以供水阀及喷头的大小和数量控制雨强, 利用摇杆连续均匀摆动喷水装置, 以趋近天然降雨的面分布. 以体积法在截流槽端点测定径流量, 用负压计监测水体入渗锋面资料.

1996 年 4~5 月在嘉定、青浦、南汇的菜田进行了 35 次试验. 试验前后测定了代表性小区土壤的含水量及负压变化、土壤容重、土壤水分特征曲线等.

表 1 人工模拟降水入渗试验降雨控制范围

	雨强(mm/min)	雨时(min)	雨量(mm)
嘉定江桥	0.31~2.04	30~150	60~140
青浦白鹤	0.48~2.59	40~120	30~233
南汇新场	0.31~2.87	30~150	15~140

2 试验结果

2.1 上海菜区暴雨入渗系数

入渗系数为降水渗入土壤的水量占同期降水量的比例。试验表明：暴雨强度小、降雨前土壤偏干、土壤质地轻、耕作年限长，则入渗系数大；反之，入渗系数小。入渗系数的平均值表明，土质的影响在干土时不明显，各种菜地平均为 58%~74%；湿土时，不同土质之间的差异显著，如重壤(新菜田南汇新场)的入渗系数为 23%，而中壤(老菜田江桥)则为 66%。说明前期墒情差异对轻质土入渗系数影响小，对重质土影响大。

积水期入渗系数(土壤开始积水到停雨的入渗量与同期降雨量之比)受前期墒情影响较小，主要是湿土时很快积水之故。新老菜区间积水期的入渗系数差异明显，老菜区为 45%~60%，新菜区在 25% 以下。

2.2 上海菜区暴雨入渗的主要差异

试验表明暴雨入渗土壤分两个阶段进行：积水前的自由入渗及积水后的有压入渗。

(1) 初渗量大小主要与前期墒情及土质有关

初渗量是地表饱和积水前自由入渗阶段渗入土壤的降水量，随土壤含水量的增大而减少。当 0~50 cm 土层比较干燥时，各地初渗量平均为 25~40 mm；而当 0~50 cm 土层近于饱和时，初渗量绝大多数在 10 mm 以下。

前期墒情不同的菜地初渗量差异表明，在同样的暴雨条件下，菜田干旱时，土壤可迅速大量吸水，入渗量大，不易成灾；而在连雨时，菜田入渗量小，会较快产生地表径流，容易引起涝渍灾害。

试验结果还表明，在前期墒情和降雨相似条件下，耕性好、土壤质地偏轻的中壤土菜地，吸水能力最强，初渗量大于其它土质的菜田土壤。

(2) 积水开始时刻主要受控于雨强和前期墒情

积水开始时刻的早晚与雨强、雨前土壤墒情、土质(或耕作程度)等密切相关。从试验资料来看，各地积水开始时刻均随着雨强的增大而减小。不同土质的影响主要表现在耕性好、质地偏轻的土壤，其积水开始晚；反之积水开始早。干土条件下，在小雨强时积水开始时刻各试验点可差 1 小时以上，地区差异显著；而在大雨强时影响减小，地区差异不明显，不同试验点间仅差几分钟。此外，干土要明显长于湿土。湿土时，不同土质间、各种强度之间积水开始时刻一般均在 10 分钟以下，且很接近，差异可忽略不计。

在土壤及墒情不变的条件下，当雨强与整个土壤层饱和时的入渗率相比很大时，可用 Smith 提出的公式^[6]来描述积水开始时刻与雨强的关系：

$$t_p = a \cdot R^{-b} \quad (1)$$

式中， t_p 为积水开始时刻， R 为雨强， a 、 b 是与土壤状况有关的参数。由试验数据建立如下拟合方程：

$$t_p = 35.9794 \cdot R^{-1.0825} \quad r = -0.9426^{**} \text{ (嘉定干土)}$$

** 通过显著水平 0.01 的检验

$$t_p = 30.2645 \cdot R^{-1.1740}$$

$$r = -0.9944^{**} \text{ (南汇干土)}$$

$$t_p = 3.0862 \cdot R^{-1.9298}$$

$$r = -0.9472^{**} \text{ (南汇湿土)}$$

2.3 积水期入渗

进入积水入渗阶段，随着降雨的持续，入渗率呈幂指数衰减(图1)。入渗率*i(t)*可由smith模型表征^[7]为：

$$i(t) = K_s + A(t - t_0)^{-a} \quad (t > t_p) \quad (2)$$

式中，*K_s*、*A*、*a*、*t₀*是与土质、土壤含水量、雨强有关的参数，由试验数据及统计方法确定(另文报告)。由图1看出①不论暴雨强度大小，不同土质的菜田积水后，离积水开始时刻越近，入渗率衰减的差异越大。土质重、耕作层浅的土壤，其入渗率的衰减速度(南汇)大于土质轻、耕作层深的土壤(嘉定、青浦)，其入渗曲线十分陡峭，且入渗率很快趋于一个恒值；②就同一地区而言，随雨强的增大，曲线由平直变为陡峭，即强暴雨时入渗强度衰减率快于小强度降水。但这种差异也主要集中在前期。

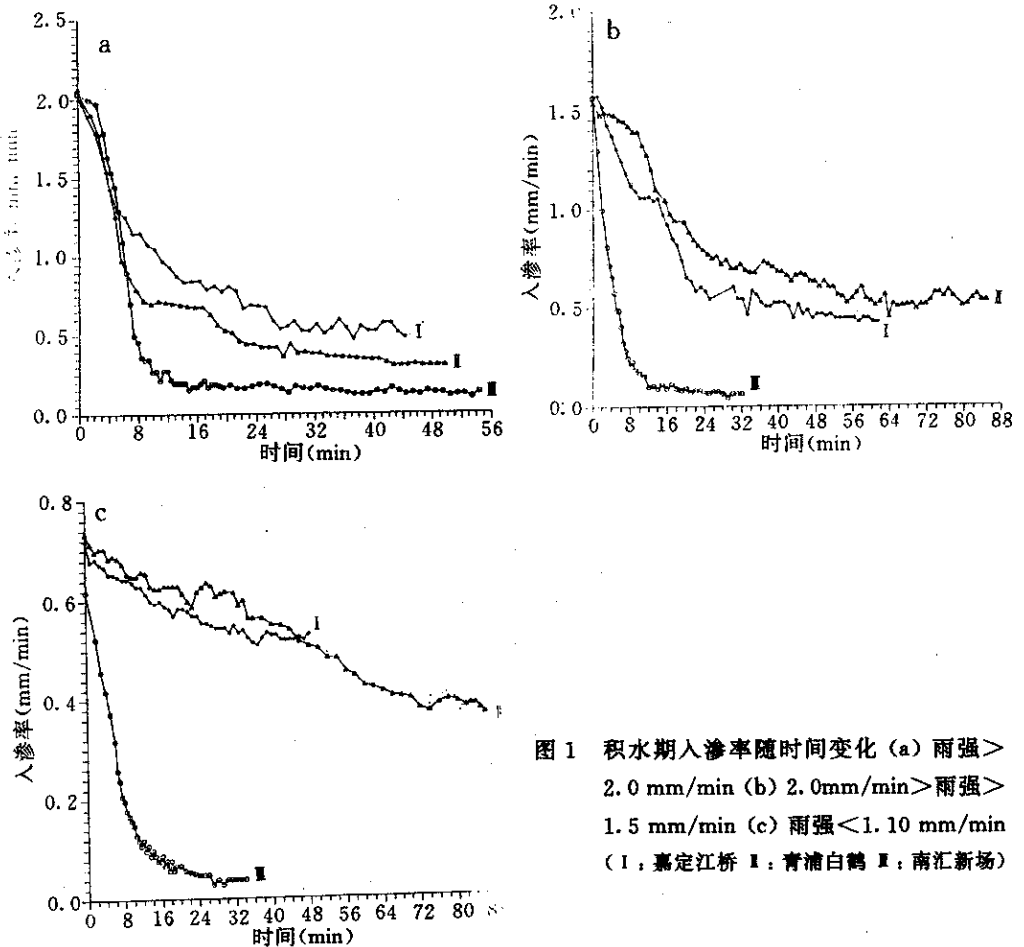


图1 积水期入渗率随时间变化 (a) 雨强 > 2.0mm/min (b) 2.0mm/min > 雨强 > 1.5 mm/min (c) 雨强 < 1.10 mm/min (I: 嘉定江桥 II: 青浦白鹤 III: 南汇新场)

2.4 稳渗值

稳渗值是整个土壤层饱和时土壤的渗透能力,对式(2)求导得:

$$\frac{di(t)}{dt} = - \frac{A \cdot a}{(t - t_0)^{a+1}} \quad (3)$$

当式(3)趋向于无穷小量时,相应时刻的 $i(t)$ 即为稳渗值.它是菜田最小入渗水量的反映,只有大于这个水量的降雨,菜田才有可能出现全面积水.从试验结果看,各菜区稳渗值差异也较大,中壤大于重壤,干土高于湿土,详见表2.

表2 上海菜区土壤稳渗值试验结果

地点	干 土		湿 土	
	平均	变动范围	平均	变动范围
嘉定江桥	0.47	0.34~0.54	0.41	0.29~0.71
青浦白鹤	0.61	0.31~0.90	0.41	0.17~0.80
南汇新场	0.10	0.04~0.27	0.08	0.01~0.11

3 入渗率与试验因子的关系

对积水期土壤平均入渗率计算的结果表明,随着雨强的增加,平均入渗率有所增加.另外,干土、耕作年限长、土质偏轻的土壤与湿土、耕作年限短、土质偏重的土壤相比,其平均入渗率要大.但随着积水历时增加,平均入渗率及瞬时入渗率均逐渐减小(表3).

表3 积水后不同时段平均及瞬时入渗率

墒情	地点	土质	降水强度 (mm/min)	时段平均入渗率(mm/min)				瞬时入渗率(mm/min)				
				积水期	60 min	90 min	120 min	180 min	60 min	90 min	120 min	180 min
干	江桥	中壤	1.230	0.66	0.65	0.57	0.52	0.45	0.44	0.43	0.34	0.30
	白鹤	重壤	1.556	0.79	0.84	0.76	0.70	0.63	0.62	0.56	0.52	0.47
土	新场	重壤	1.396	0.32	0.23	0.19	0.16	0.14	0.10	0.10	0.10	0.10
湿	江桥	中壤	1.052	0.49	0.46	0.42	0.39	0.36	0.35	0.32	0.31	0.29
	白鹤	重壤	1.245	0.52	0.50	0.46	0.43	0.40	0.40	0.37	0.35	0.33
土	新场	重壤	1.102	0.16	0.11	0.09	0.07	0.06	0.04	0.03	0.03	0.02

4 土壤水分的变化

从试验结果来看,随着降雨入渗的进行,土壤水分自上而下饱和.在土壤水分饱和时的土壤含水量,南汇大于青浦,青浦大于嘉定.在本试验降雨控制范围内,降雨主要使0~40 cm土层的土壤水分增加,尤其0~20 cm耕作层的土壤水分含量增加的更为显著(表4).从各试验区降雨渗透的土壤深度来看:耕作层深厚(江桥、白鹤)的土壤无明显不透水层,水分渗透深度可达50 cm左右,隔水层浅(新场)的土壤水分最大渗透深度为30~40 cm.

表 4 试验前后土壤水分变化

地点	试验日期		土壤深度(cm)						
			5	10	20	30	40	50	5~50 平均
江桥	4月23日	试验前	25.99	30.68	25.67	27.23	26.82	28.31	27.45
		试验后	36.16	33.88	31.77	28.79	28.11	29.61	31.39
白鹤	4月26日	试验前	13.84	18.40	20.00	21.48	22.70	23.60	20.00
		试验后	38.88	35.56	32.44	23.81	24.76	24.71	30.03
新场	5月2日	试验前	15.63	23.61	32.76	23.38	24.03	19.54	23.16
		试验后	29.66	29.40	27.78	26.33	22.94	15.65	25.29

5 结 语

(1) 菜田土质、耕作年限对湿土入渗的影响较为明显。

(2) 在强暴雨、土壤湿重条件下可能积水程度较重。

(3) 积水开始时刻早晚受控于雨强, 还受前期墒情及土质的共同影响。雨强大, 土壤湿重, 积水开始时刻早, 反之则晚。大强度降水时, 各地的积水开始时刻比较一致; 干土且暴雨强度较小时, 各地的积水开始时刻随雨强减小而差异增大。

(4) 由稳渗值得出引起积水的 1 小时降雨量, 新菜区明显小于老菜区, 新菜区为 6 mm, 老菜区为 30 mm左右。

(5) 由于土质重、耕作程度浅的土壤入渗能力差, 积水后产生的径流量要大, 容易受淹, 因此这类土壤菜地的沟渠、排涝设施要尽量完善。

参 考 文 献

- 1 于秋春, 林庆元, 程义, 等. 平原区模拟降雨对地下水的入渗补给实验研究. 水利水电技术, 1995, (9): 2~5.
- 2 侯传庆主编. 上海土壤. 上海: 上海科学技术出版社, 1992. 231~250.
- 3 屠其璞, 王俊德, 丁裕国, 等. 气象应用概率统计学. 北京: 气象出版社, 1986. 208~221.
- 4 徐克辉, 任鸿逵, 洪嘉璠, 等. 低洼地水分参数与农业开发利用. 北京: 气象出版社, 1995. 25~28.
- 5 刘昌明, 朱耀良, 秦德刚, 等. 低洼地渍害与治理试验研究. 大连: 大连出版社, 1990. 11~26.
- 6 沈冰, 王文焰, 沈晋. 短历时降雨强度对黄土坡地径流形成影响的实验研究. 水利学报, 1995, (3): 21~26.
- 7 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. 土壤水动力学. 北京: 清华大学出版社, 1988. 77~131.

INFILTRATING TEST ON ARTIFICIAL SIMULATED TORRENTIAL RAIN IN SHANGHAI VEGETABLE AREA

Yang Qiuzhen Li Jun Tan Jianguo Yang Xingwei Wang Zhilan

(Shanghai Meteorological Institute, Shanghai 200030)

Sheng Ping Hong Jialian

(Shanghai Shenshan Experimental Station for Farmland Water Conservancy, Shanghai 201602)

Liu Caitang Li Lin

(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Abstract

According to the principle of water amount balance, the infiltrating tests of artificial simulated precipitation in various precipitation intensity and soil humidity conditions are made in Shanghai old and new vegetable areas, and the dynamic experimental data in infiltrating process of torrential rain and fundamental parameters and law of infiltration are obtained, and the law of soil moisture variation is analysed, which could be used as the foundation of the evaluation for torrential rain disaster.

Key words: Vegetable area Artificial simulated torrential rain Infiltrating rate Variation of soil water