

中国东北

农田土壤水分属性及调控

韩晓增 颜春起 编著



科学出版社
www.sciencep.com

中国东北 农田土壤水分属性及调控

韩晓增 颜春起 编著

科学出版社
北京

内 容 提 要

本书是中国科学院知识创新工程重要方向项目“东北黑土农田生态系统水分稳定性与水肥耦合机理及调控”成果之一。作者以多年的定位观测试验为基础,对“降水—土壤—作物”系统,应用土壤学、农业水文学、农业气象学、农学的理论基础和技术方法,联系东北地区的生产实际,进行了系统分析。全书共分三篇十三章,第一篇是农田土壤水分属性及其成因;第二篇是土壤水分调控;第三篇是土壤水分研究方法。具有科学性和实用性的特点。

本书可供农业科研、院校、生产部门及国内外广大读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国东北农田土壤水分属性及调控/韩晓增,颜春起
编著. —北京:科学出版社,2005

ISBN 7-03-016398-2

I. 中... II. ①韩...②颜... III. 土壤含水量—研
究—东北地区 IV. S152.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 124552 号

责任编辑:孟宪望/封面设计:肖海福

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码 100717

<http://www.sciencep.com>

吉林农业大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

2005 年 8 月第一版

开本: 787×1 092 1/16

2005 年 9 月第一次印刷

印张: 21 3/4

印数: 1~1 000

字数: 500 000

定价: 58.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

中国东北地区地处北纬 $38^{\circ}43'$ ~ $53^{\circ}34'$, 东经 $115^{\circ}27'$ ~ $135^{\circ}09'$, 东西跨越 $20^{\circ}42'$ (经度), 南北纵越 $14^{\circ}51'$ (纬度), 包括黑龙江、吉林、辽宁三省, 土地总面积为 123.6 万 km^2 。

该区系东亚季风气候区半湿润类型。属中生生态系统, 发育着自然肥力最高的黑土。为我国晚近开发的旱作农区, 是我国重要的商品粮生产基地。

该区旱涝灾害频繁发生, 作为本区农业生产中的重要限制性因素, 严重地影响着种植业的丰产丰收。

长期以来, 我们以农田土壤为中心, 揭示“降水—土壤—作物”系统水分循环规律, 把建立农田土壤良性水分循环机制和调控作为研究目标和方向。在理论和实践上都取得了良好的成果。

水, 对于栽培业来说, 不管是天上降下来的, 还是江河湖泊汇集起来的, 以及地下贮存着的, 都得通过土壤这个载体来供作物吸收利用。事实上土壤是一个看不见自由水面的“浩大水系”, 它是作物最亲近最直接的水源。所以, 研究土壤水分运行规律就显得十分重要。

我们应用长系列的土壤水分定位观测资料, 采用统计分析方法, 获得了该区主要农田土壤垂直的和水平的水分运行规律, 揭示了主要农田土壤水分属性及其成因, 提出了土壤水分对三大作物的保证程度; 在广泛收集科研、教学、生产等有关部门资料的基础上, 提出了农田土壤水分的调控措施。

本书在以往所取得成果基础上, 融进了中国科学院知识创新工程重要方向项目“东北黑土农田生态系统潜力、稳定性和环境安全研究 ($\text{KZCX}_2 - \text{SW} - 416$)”和即将完成的中国科学院知识创新工程重大项目“东北地区农业水土资源优化调控机制与技术体系研究 ($\text{KZCX}_1 - \text{SW} - 19$)”的部分成果, 以及中国科学院海伦农业生态实验站的部分监测与研究成果。本书的出版得到上述两个项目和中国科学院资源环境领域野外台站研究基金资助。

全书共分三篇十三章, 其中第一篇包括五章 (一 ~ 五章), 主要写主要农田土壤水分属性及其成因; 第二篇包括四章 (六 ~ 九章), 主要写土壤水分调控; 第三篇包括四章 (十 ~ 十三章), 主要写土壤水分研究成果的应用方法和土壤水分的测试方法。

在研究过程中还提出了“以土蓄水, 土中取水”和“耕作水利”等理论观点、冻层在农业生产中的积极作用、推导出凋萎系数求算的理论公式, 建议采用最大分子持水量法来求算凋萎系数, 并测得了黑土水分“零”通量。

总之, 本书的出版, 无论在理论上和农业生产实践中都是很有益处的。愿为国内外广大读者提供帮助。

作 者

2005 年 8 月

目 录

前 言

第一篇 农田土壤水分属性

第一章 农田黑土水分属性及其成因分析	(3)
第一节 农田黑土水分属性	(3)
第二节 成因分析	(29)
第二章 农田黑钙土水分属性及其成因分析	(35)
第一节 农田黑钙土水分属性	(35)
第二节 成因分析	(57)
第三章 农田草甸土水分属性及其成因分析	(59)
第一节 农田草甸土水分属性	(59)
第二节 生产反应	(85)
第三节 成因分析	(86)
第四章 农田白浆土水分属性及其成因分析	(91)
第一节 农田白浆土水分属性	(91)
第二节 成因分析	(97)
第五章 农田暗棕壤水分属性及其成因分析	(103)
第一节 农田暗棕壤水分属性	(103)
第二节 成因分析	(123)

第二篇 土壤水分调控

第六章 农田土壤水分状况对小麦、大豆生长发育的影响	(127)
第一节 农田黑土水分动态平衡特征	(127)
第二节 农田黑土不同水分状况对小麦生长发育的影响	(132)
第三节 不同土壤水分条件对大豆产量的影响	(152)
第四节 不同土壤水分条件对重迎茬大豆产量的影响	(156)
第五节 大豆重迎茬种植对土壤水分物理性状的影响	(159)
第七章 耕作水利及其应用	(164)
第一节 耕作水利概念的形成和发展	(164)
第二节 耕作水利的作用和应用	(165)
第三节 推广中要注意的几个问题	(166)

第一篇 农田土壤水分属性

不同的土壤类型其水分属性和动态规律是不一样的。各种土壤的蓄水、保水和供水能力差异很大,进而对作物的需水保证率相差悬殊。我们对农田土壤长期定位观测资料和相关参数进行了统计分析,揭示了该区主要农田土壤的水分属性、动态变化规律及其成因,为实施土壤水分调控提供了理论依据。

第一章 农田黑土水分属性及其成因分析

黑土是中温带半湿润地区的一种地带性土壤。

黑土主要分布在黑龙江和吉林两省中部地区的滨北、滨长铁路沿线两侧,南界延伸到辽宁省昌图县的八面城镇,北界到黑龙江边。地貌类型属于波状平原,俗称“漫川漫岗”,自然景观为中生性疏林草甸和草原化草甸,植被繁茂,生物量大,每当夏秋季节百花盛开,万紫千红,农民称为“五花草塘”。由于有机质的大量积累,形成了深厚的基础肥力相当高的黑色土层,俗有土中王之称,是自然肥力最高的农田土壤。

黑土总面积为 593.93 万 hm^2 ,其中黑龙江省为 482.47 万 hm^2 ,占本省土壤总面积的 8.46%,已垦为农田 360.62 万 hm^2 ,占本省农田总面积的 31.24%,占本省该土类总面积的 75.27%;吉林省黑土总面积为 110.09 万 hm^2 ,占本省土壤总面积的 5.90%,已垦为农田 83.19 万 hm^2 ,占本省农田总面积的 15.55%,占本省该土类总面积的 75.56%;辽宁省黑土总面积 1.37 万 hm^2 ,占本省土壤总面积的 0.09%,皆被垦为农田。黑土是黑龙江、吉林两省重要的粮食生产基地。

为了掌握农田黑土水分运行机制及其调控,我们以具有代表性的黑龙江省北安市赵光地区黑土为例,对其长系列的气象和土壤水分定位测定资料^①进行了统计分析和系统研究。用以揭示农田黑土的水分属性、动态变化规律及其成因。

第一节 农田黑土水分属性

一、贮水量丰富,保证率高

黑土 1 m 土层内的总贮水量是丰富的。据 1956 ~ 1964 年的 134 个土壤水分动态值统计结果,在每年 4 ~ 10 月的农事活动季节里,接近 80% 田间持水量的占 100%,介于田间持水量和饱和含水量之间的占 88%,大于饱和含水量的占 2%,而且旬间变化很小,表现稳定(表 1.1、表 1.2、图 1.1)。

0 ~ 20 cm 黑土耕作层水分含量变幅最大。这一层的水分状况能够反映黑土水分丰、平、枯的基本状况,因而划分为五个水分等级,并以旬为单位进行了频率计算。在 432 次统计中,处于饱和湿变的 38 次,占 8.8%,主要出现在早春的土壤解冻期和盛雨季节里;处于饱和含水量和田间持水量之间的 168 次,占 38.9%,以 8、9 月各旬出现次数最多,4、10 月各旬出现次数次之,5、6、7 月各旬出现次数最少;介于田间持水量和生长阻滞含水量之间的 195 次,占 45.1%,主要出现在 5、6、7 月各旬,4、9、10 月各旬最少;介于生长阻滞含水量和凋萎含水量之间的 31 次,占 7.2%,除 5 月份外都出现过,其中 6 ~ 9 月各旬的机

^① 赵光气象观测站,历年大气降水及土壤水分定位观测资料。

表 1.1 赵光地区耕作黑土(0~100 cm)水分动态统计值

年	土壤水分含量(mm)														
	5 月			6 月			7 月			8 月			9 月		
	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中
1956	396	396	431	390	450	473	491	463	441	414	436	434	431		
1957		430	396	411	428	500	449	481	513	494	509	521	548	535	524
1958		463	465	458	455	443	479	471	429	488	464	511	449	491	456
1959		350	326	383	350	355	335	426	426	449	433	430	433	421	434
1960	446.3	495	443	452	421	409	403	484	468	494	458	443	440	456	461
1961		346	320	308	379	364	439	434	448	429	445	424	418	421	340
1962		439	324	409	311			495	458	425	469	473	470	420	394
1963	343	374	338	363	391	376	378	381	391	375	373	398	379	424	395
1964	365	356	375	370	358	349	340	398	428	355	383	380	349	361	395
均值($\bar{X}$)	390	405	380	394	394	408	414	448	445	436	441	446	435	441	425
标准差($\pm\sigma$)	44.9	43.6	56.4	46.2	48.9	57.5	59.9	40.3	33.9	47.9	36.6	47.6	39.5	52.8	56.2
最 小	343	346	324	308	311	349	340	381	391	355	373	380	349	361	340
最 大	446.3	495	465	458	455	500	491	495	513	494	509	521	548	536	524
极 差	103.3	149	141	150	144	151	151	114	122	139	136	141	199	174	184

表 1.2 134 个土壤水分频次表

组 距 (土壤含水量 mm)	中 介	次 数	占总频次 %
308~330	319	5	3.8
331~352	341	11	8.3
353~374	363	9	6.9
375~396	385	19	14.3
397~418	407	11	8.3
419~440	429	26	19.5
441~462	451	22	16.5
463~484	473	13	9.6
485~506	495	9	6.9
507~528	517	5	3.8
529~550	539	2	1.4
551~572	561	1	0.7

遇是 5、7、10、20 年不等。而以 6~7 月份对生产影响最大,4、10 月份基本不受影响。

在土壤水分含量统计值中,土壤过湿占 47.7%,远远高于水分不足,以 4、8、9 三个月出现次数为多。其中 4 月份因土壤刚刚解冻,又是小麦的播种期,一般不受影响,唯 8、9 月土壤过湿易引发秋涝,常常造成小麦丰产不丰收,也会影响大田作物中后期生长和田间管理(表 1.3)。

从土壤实际供水能力频率计算结果来看,黑土的枯水期主要出现在每年的 6 月份,其他月份都很丰富。在无灌溉的条件下,保证率为 80% 时,可满足玉米产量 1 500 kg/hm² 的需水量;但对小麦、大豆的保证率较低。如以小麦产量 3 000 kg/hm² 计算,则 6 月份保证率仅 50%;以大豆产量 1 950 kg/hm² 计算,则开花至结荚期的水分保证率仅为 60%(表 1.4~表 1.6;图 1.2~图 1.31)。

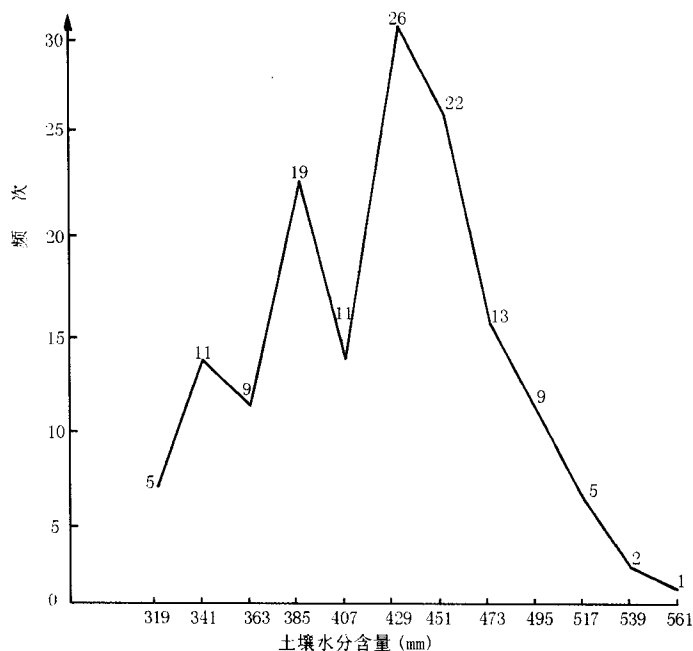


图 1.1 134 个(0~100 cm)土壤水分动态值频次分布多边形图

表 1.3 农田黑土水分状况统计表

类 别	4 月 上 旬				4 月 中 旬				4 月 下 旬			
	出现	频率	超过制	超过制	出现	频率	超过制	超过制	出现	频率	超过制	超过制
	次数	(f)	累积次数	累积频率	次数	(f)	累积次数	累积频率	次数	(f)	累积次数	累积频率
过饱和 (>54.5%)	4	26.6	4	26.6	3	18.7	3	18.7	2	11.0	2	11.0
饱和含水量~ 田间持水量 (54.4%~41.2%)	7	46.7	11	73.3	7	38.9	10	57.6	9	50.0	11	61.0
田间持水量~ 生长阻滞含水量 (41.2%~28.8%)	3	20.0	14	93.3	7	38.9	17	94.5	7	39.0	18	100
生长阻滞含水量~ 凋萎含水量 (28.8%~14.5%)	1	6.7	15	100	1	5.5	18	100				
低于凋萎含水量 (<14.5%)												
合 计	15	100			18	100			18	100		

注:土层厚度为0~20 cm

续表

类 别	5 月 上 旬				5 月 中 旬				5 月 下 旬			
	出现	频率	超过制	超过制	出现	频率	超过制	超过制	出现	频率	超过制	超过制
	次数		累积次数	累积频率	次数		累积次数	累积频率	次数		累积次数	累积频率
	(f)	(p%)	($\sum f$)	$P = \sum P(\%)$	(f)	(p%)	($\sum f$)	$P = \sum P(\%)$	(f)	(p%)	($\sum f$)	$P = \sum P(\%)$
过饱和 (>54.5%)	1	5.0	1	5.0	2	10.0	2	10.0	0	0	0	0
饱和含水量 ~ 田间持水量 (54.4% ~ 41.2%)	10	50	11	55.0	8	40.0	10	50.0	6	28.6	6	28.6
田间持水量 ~ 生长阻滞含水量 (41.2% ~ 28.8%)	9	45.0	20	100	10	50	20	100	15	71.4	21	100
生长阻滞含水量 ~ 凋萎含水量 (28.8% ~ 14.5%)												
低于凋萎含水量 (<14.5%)												
合 计	20	100			20	100			21	100		

续表

类 别	6 月 上 旬				6 月 中 旬				6 月 下 旬			
	出现	频率	超过制	超过制	出现	频率	超过制	超过制	出现	频率	超过制	超过制
	次数		累积次数	累积频率	次数		累积次数	累积频率	次数		累积次数	累积频率
	(f)	(p%)	($\sum f$)	$P = \sum P(\%)$	(f)	(p%)	($\sum f$)	$P = \sum P(\%)$	(f)	(p%)	($\sum f$)	$P = \sum P(\%)$
过饱和 (>54.5%)	2	9.1	2	9.0	1	4.5	1	4.5	0	0	0	0
饱和含水量 ~ 田间持水量 (54.4% ~ 41.2%)	5	22.7	7	31.7	6	27.0	7	31.5	4	18.0	4	18
田间持水量 ~ 生长阻滞含水量 (41.2% ~ 28.8%)	14	63.7	21	95.5	12	59.1	19	90.6	14	63.6	18	81.6
生长阻滞含水量 ~ 凋萎含水量 (28.8% ~ 14.5%)	1	4.5	22	100	3	9.4	22	100	4	18.4	22	100
低于凋萎含水量 (<14.5%)												
合 计	22	100			22	100			22	100		

续表

类 别	7 月 上 旬				7 月 中 旬				7 月 下 旬			
	出现 频率	超过制	超过制	超过制 累积频率 $P = \sum P(\%)$	出现 频率	超过制	超过制	超过制 累积频率 $P = \sum P(\%)$	出现 频率	超过制	超过制	超过制 累积频率 $P = \sum P(\%)$
	次数 (f) (p%)	累积次数 ($\sum f$)	累积频率 (%)		次数 (f) (p%)	累积次数 ($\sum f$)	累积频率 (%)		次数 (f) (p%)	累积次数 ($\sum f$)	累积频率 (%)	
过饱和 (>54.5%)	0 0	0	0	0	2 9.1	2	9.1	9.1	4 18.2	4	18.2	18.2
饱和含水量 ~ 田间持水量 (54.4% ~41.2%)	8 36.4	8	36.4	36.4	6 27.3	8	36.4	36.4	4 18.2	8	36.4	36.4
田间持水量 ~ 生长阻滞含水量 (41.2% ~28.8%)	10 45.5	18	81.9	81.9	11 50.0	19	86.4	86.4	12 54.5	20	91.0	91.0
生长阻滞含水量 ~ 凋萎含水量 (28.8% ~14.5%)	4 18.1	22	100	100	3 13.6	22	100	100	2 9.1	22	100	100
低于凋萎含水量 (<14.5%)												
合 计	22 100				22 100				22 100			

续表

类 别	8 月 上 旬				8 月 中 旬				8 月 下 旬			
	出现 频率	超过制	超过制	超过制 累积频率 $P = \sum P(\%)$	出现 频率	超过制	超过制	超过制 累积频率 $P = \sum P(\%)$	出现 频率	超过制	超过制	超过制 累积频率 $P = \sum P(\%)$
	次数 (f) (p%)	累积次数 ($\sum f$)	累积频率 (%)		次数 (f) (p%)	累积次数 ($\sum f$)	累积频率 (%)		次数 (f) (p%)	累积次数 ($\sum f$)	累积频率 (%)	
过饱和 (>54.5%)	3 13.6	3	13.6	13.6	1 4.5	1	4.5	4.5	2 9.0	2	9.0	9.0
饱和含水量 ~ 田间持水量 (54.4% ~41.2%)	9 40.9	12	54.5	54.5	11 50.0	12	54.5	54.5	9 41.0	11	50.0	50.0
田间持水量 ~ 生长阻滞含水量 (41.2% ~28.8%)	8 36.4	20	90.9	90.9	10 45.5	22	100	100	10 45.5	21	95.5	95.5
生长阻滞含水量 ~ 凋萎含水量 (28.8% ~14.5%)	2 9.1	22	100	100					1 4.5	22	100	100
低于凋萎含水量 (<14.5%)												
合 计	22 100				22 100				22 100			

续表

类 别	9 月 上 旬				9 月 中 旬				9 月 下 旬			
	出现	频率	超过制	超过制	出现	频率	超过制	超过制	出现	频率	超过制	超过制
	次数	(f) (p%)	累积次数	累积频率	次数	(f) (p%)	累积次数	累积频率	次数	(f) (p%)	累积次数	累积频率
过饱和 (>54.5%)	1	4.8	1	4.8	2	9.5	2	9.5	2	9.1	2	9.1
饱和含水量 ~ 田间持水量 (54.4% ~41.2%)	10	47.6	11	52.3	13	62.0	15	71.5	11	50.0	13	59.1
田间持水量 ~ 生长阻滞含水量 (41.2% ~28.8%)	9	42.9	20	95.2	6	28.5	21	100	6	31.8	20	90.9
生长阻滞含水量 ~ 凋萎含水量 (28.8% ~14.5%)	1	4.7	21	100					2	9.1	22	100
低于凋萎含水量 (<14.5%)												
合 计	21	100			21	100			22	100		

续表

类 别	10 月 上 旬				10 月 中 旬				10 月 下 旬			
	出现	频率	超过制	超过制	出现	频率	超过制	超过制	出现	频率	超过制	超过制
	次数	(f) (p%)	累积次数	累积频率	次数	(f) (p%)	累积次数	累积频率	次数	(f) (p%)	累积次数	累积频率
过饱和 (>54.5%)	2	10.5	2	10.5	1	5.0	1	5.0	3	15.8	3	15.8
饱和含水量 ~ 田间持水量 (54.4% ~41.2%)	10	52.7	12	63.2	7	35.0	8	40.0	8	42.1	11	67.9
田间持水量 ~ 生长阻滞含水量 (41.2% ~28.8%)	5	26.3	17	89.5	10	50.0	18	90.0	6	31.6	17	89.5
生长阻滞含水量 ~ 凋萎含水量 (28.8% ~14.5%)	2	10.5	19	100	2	10.0	20	100	2	10.5	19	100
低于凋萎含水量 (<14.5%)												
合 计	19	100			20	100			19	100		

二、双岭谷型

黑土水分动态按水文年度分为双岭谷型;按生育周期划分显双峰型。每年的11月至翌年4月为水文年度的第一个峰岭,历时约160天,4月中旬至6月末为全年的大型不对称谷,历时约80天;7~8月为第二个峰岭,历时60天左右,与第一个峰岭相比,有高有

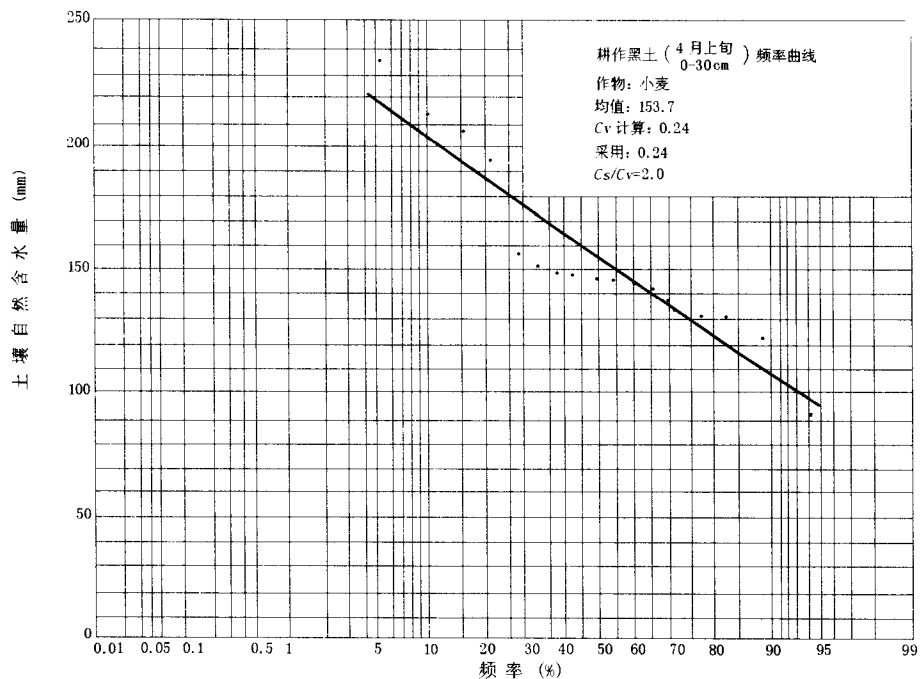


图 1.2 耕作黑土(0~30 cm)供水能力频率曲线(4月上旬,小麦)

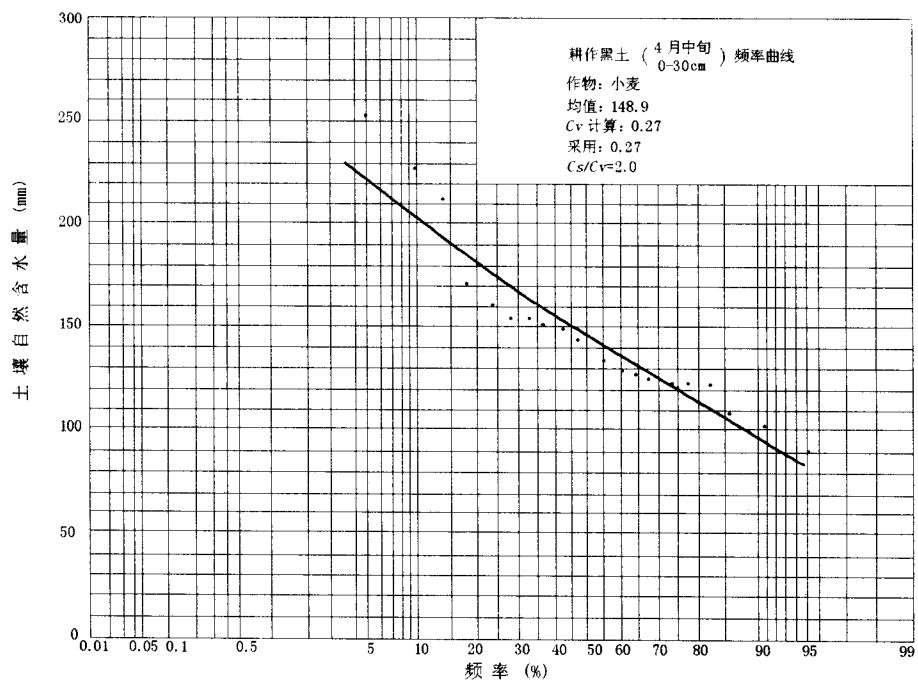


图 1.3 耕作黑土(0~30 cm)供水能力频率曲线(4月中旬,小麦)

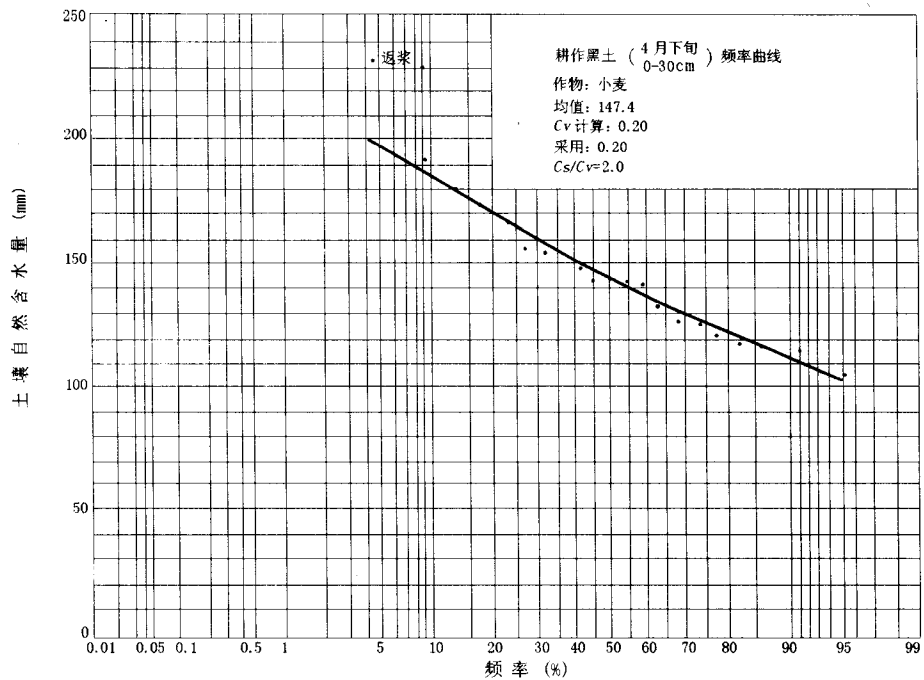


图 1.4 耕作黑土(0~30 cm)供水能力频率曲线(4月下旬,小麦)

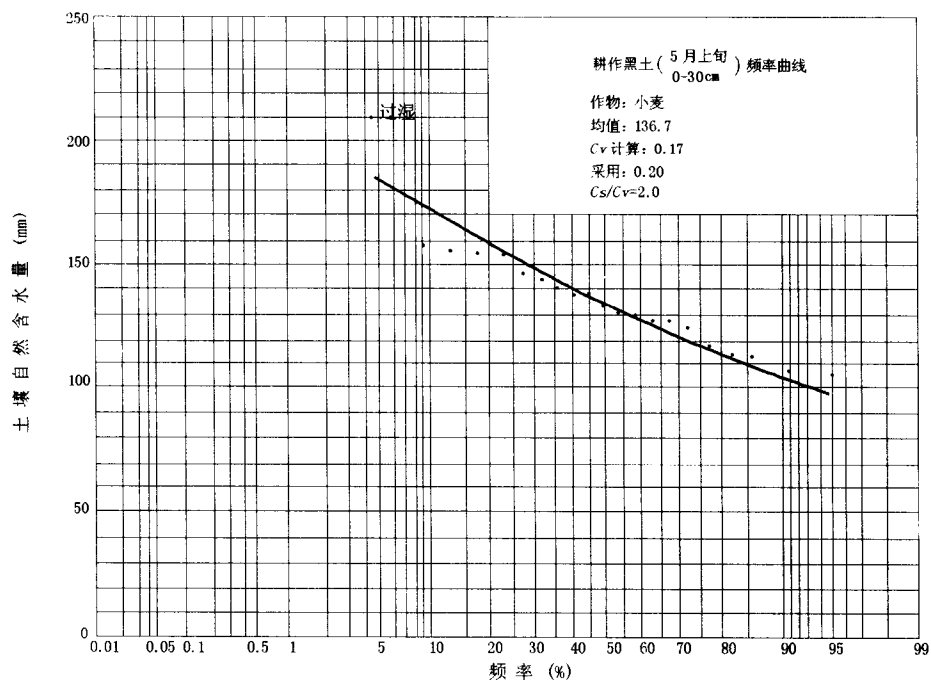


图 1.5 耕作黑土(0~30 cm)供水能力频率曲线(5月上旬,小麦)

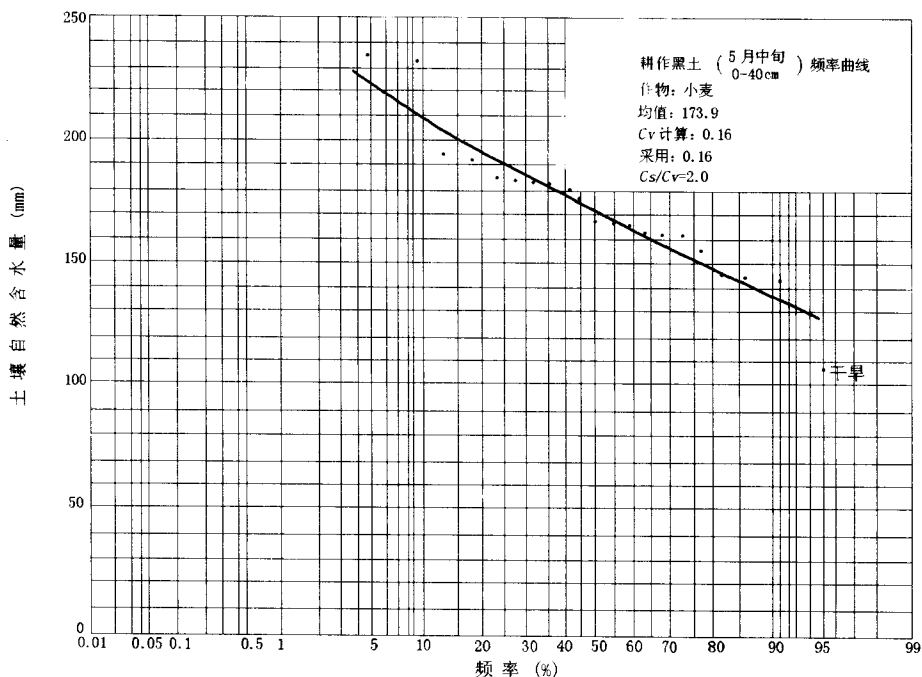


图 1.6 耕作黑土(0~40 cm)供水能力频率曲线(5月中旬,小麦)

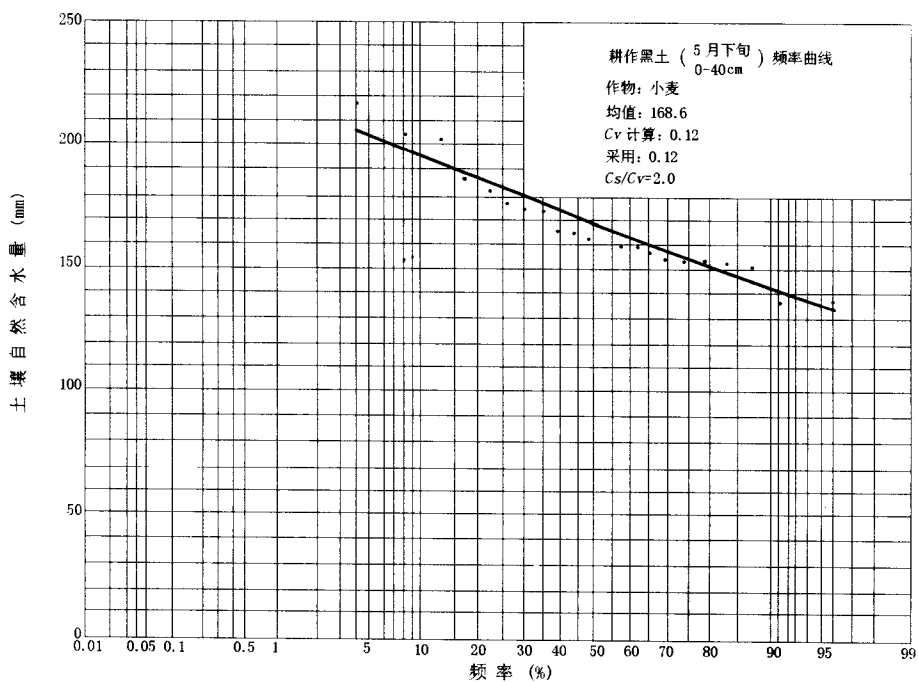


图 1.7 耕作黑土(0~40 cm)供水能力频率曲线(5月下旬,小麦)