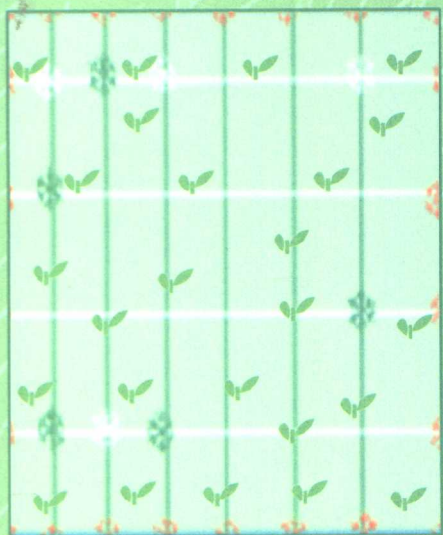


国家自然科学基金资助项目

作物根系与土壤水利用

张喜英 编著



气象出版社

国家自然科学基金资助项目

作物根系与 土壤水利用

张喜英 编著

气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

作物根系与土壤水利用/张喜英编著. -北京:气象出版社,
1999.10

国家自然科学基金资助项目

ISBN 7-5029-2619-4

I. 作… II. 张… III. 作物-根系-生长发育-关系-土壤
水-利用 N. S311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 08014 号

作物根系与土壤水利用

张喜英 编著

责任编辑:崔晓军 终审:纪乃晋

封面设计:华 艺 责任技编:刘祥玉 责任校对:张若军

* * *

气象出版社出版

(北京市海淀区白石桥路 46 号 邮编 100081)

北京市白河印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

开本:787×1092 1/32 印张:6.25 字数:139 千字

1999 年 10 月第一版 1999 年 10 月第一次印刷

印数:1~1000

ISBN 7-5029-2619-4/S·0340

定价:12.00 元

前 言

随着我国北方广大地区水资源短缺的日益严重,作物科学对实现农业节水,也就是提高单位水资源消耗的农产品产出效率的研究越来越重视。在节水农业中,提高作物的水分利用效率,既是节水农业的重要方面,也是今后节水农业发展的潜力所在。作物是依靠其根系吸收土壤水分满足地上部分蒸腾需水要求的,因此可以根据作物根系生长发育规律和根系对土壤水分吸收利用特点,制定节水高效的供水制度和进行科学的农田水分管理,达到提高农田水分利用效率的目的。

长期以来,作物科学围绕产量的形成,对作物地上部分器官的结构、功能及叶光系统的调控进行了大量研究,取得了显著的进展。但由于研究方法和工作条件的原因,对作物地下部分根系的研究远远落后于地上部分。随着科学技术的发展,根系研究方法也在不断地改进和完善,对根系的研究也越来越深入。近年来,国内外特别是国外对根系的形态构造、生理特性、生态型及品种间根系的差异及环境因素对根系生长的影响进行了较多的研究工作,同时对根系吸水也进行了大量的研究,并建立了理论、半理论和半经验及经验模型来描述根系吸水,为农田水分数值模拟技术提供了基础。同时随着全球变化研究的开展,区域尺度和全球尺度的土壤-植被-大气系统能量和物质的传输需要借助于模型模拟的手段,而植被群落的根深和分布是这些大尺度模型中的必要参数。

国内对根系研究与国外相比,起步较晚,但已引起重视,

Alg 92/13

也作了大量的工作。作者有幸得到国家自然科学基金两个面上基金的资助,从 1993~1998 年对华北地区冬小麦、夏玉米、谷子和高粱四种作物根系生长发育、在土壤中分布规律、根系吸水特征、土壤环境对根系生长的影响、根系调控与提高水分利用效率等方面进行了研究,在参阅一定文献资料的基础上,撰写了此书。作者抱着学习、交流的愿望,对所作的根系研究进行总结,恳请广大同行和各位专家批评指正。

本书共分七章。第一章在介绍了描述根系的常用参数和测定方法后,着重介绍了根系的研究方法和田间取样技术,并比较了几种常用根系研究方法的优缺点。第二章根据试验结果,描述了华北地区主要作物冬小麦、夏玉米、谷子和高粱根系类型,根系生长发育基本规律,根长、根量和根系在土壤中分布特征。第三章在参阅一定文献资料的基础上,结合实验结果,介绍了土壤环境如,土壤温度、湿度、养分、机械阻力等因素对根系生长发育及其在土壤中分布的影响。第四章介绍了根系对土壤水分吸收利用的规律和特征,包括根系吸水过程、液态和汽态水传输阻力、影响根系吸水的因子等,以及根系吸水不能满足地上部分要求时,作物光合、气孔和水势对水分亏缺的反应。第五章是本书的核心,着重介绍怎样通过调控作物根系,提高作物对干旱的抵抗能力和农田水分利用效率,并根据根系对土壤水分的吸收特点,建立节水高效的农田灌溉制度。第六章是根系吸水的模型模拟,主要介绍了常用的一些单根吸水模型和宏观根系吸水模型。第七章是在参阅文献资料的基础上,对全球陆地系统植被最大根深和分布的综述。为了读者查阅方便,在附录中列出了 Canadell (1996)对全球陆地系统不同植被根深的统计结果。

本研究得到了国家自然科学基金的资助,刘昌明院士

和由懋正研究员经常关心和指导这项研究工作,并对本书的完成给予了大力支持和帮助。韩润娥助理研究员、裴冬硕士研究生参加了课题的部分田间试验工作。在栾城试验站的田间试验工作得到了站领导和工作人员的支持和帮助。在此表示衷心感谢。

目 录

前言

第一章 根系研究	(1)
第一节 根系参数测定方法	(1)
一、根长测定方法	(2)
1. 直接测定方法	(2)
2. 交叉法	(2)
3. 根长测定仪	(5)
4. 测定根系的计算机技术	(5)
二、其他参数的测定方法	(5)
1. 根直径	(5)
2. 根系表面积	(6)
三、根系活力的测定	(6)
1. 用刚果红染色法区分活根和死根	(6)
2. 用“TTC”(红四氮唑)测定根系活力	(6)
第二节 根系研究方法	(7)
一、田间直接挖掘方法	(8)
1. 挖掘法	(8)
2. 整段标本法	(9)
3. 土钻法	(11)
4. 剖面法	(14)
二、直接观察方法	(17)
1. 装有玻璃壁的剖面	(17)
2. 根系研究室	(17)
3. 玻璃管的根系观测方法	(19)

三、间接方法	(21)
1. 根据土壤含水量的变化	(21)
2. 染色技术	(22)
3. 非放射性示踪物吸收法	(22)
4. 放射性示踪法	(22)
5. 土壤注射法	(22)
6. 植株注射法	(23)
7. 应用 ^{14}C 研究根系	(23)
四、其他方法	(23)
1. 容器方法	(23)
2. 测定根系拉伸强度	(24)
五、几种测定根系方法的比较	(24)
六、根际环境研究方法	(26)
第二章 华北地区主要作物根系生长发育及其在 土壤中分布特征	(31)
第一节 概述	(31)
一、禾本科作物的根系结构	(32)
二、主根、侧根和不定根的发生	(33)
第二节 试验地点情况介绍	(33)
第三节 冬小麦根系发育规律	(34)
一、冬小麦根系发育基本特征	(34)
1. 种子根和初生根系	(34)
2. 茎节根和次生根系	(35)
3. 小麦根系的形成和发展	(36)
二、冬小麦根系在土壤中的分布	(36)
1. 根深	(36)
2. 总根长、总根量	(38)

3. 冬小麦根长密度在土壤中的分布	(39)
第四节 夏玉米根系生长发育基本规律	(41)
一、玉米根的类型	(41)
二、玉米根的功能	(43)
三、玉米根系在土壤中的分布	(44)
第五节 谷子根系生长发育规律	(46)
一、谷子根系生长发育基本规律	(46)
二、谷子总根长和总根量	(47)
三、谷子根系在土壤中的分布	(48)
四、不同品种间谷子根系的差异	(48)
第六节 高粱根系生长发育规律	(49)
一、高粱根的基本形态	(49)
二、总根长和根重	(51)
三、根系在土壤中的分布	(52)
第三章 土壤环境对作物根系生长的影响	(55)
第一节 土壤温度对作物根系生长的影响	(56)
第二节 土壤机械阻力对作物根系生长的影响	(60)
第三节 土壤湿度对作物根系生长的影响	(64)
第四节 土壤 N、P、K 对作物根系生长的影响	(71)
第五节 土壤盐碱及其他因素对作物根系生长 的影响	(78)
一、土壤盐分	(78)
二、土壤通气状况	(79)
三、其他因素	(80)
第四章 作物根系对土壤水分的吸收	(85)
第一节 根系的吸水过程	(85)
一、水分传导途径	(86)

二、水分传导阻力	(87)
1. 气态水传输阻力	(90)
2. 液态水传输阻力	(91)
3. 根系吸水阻力	(96)
第二节 作物根系对土壤水分的吸收特点	(100)
一、根量(长)对根系吸水的影响	(102)
二、土壤含水量对根系吸水的影响	(105)
三、根系吸水活力对根系吸水的影响	(106)
四、根系的水分提升作用	(108)
第三节 作物对水分亏缺的反应	(109)
一、水分亏缺对作物形态的影响	(109)
二、水分亏缺对作物一些生理过程的影响	(111)
1. 气孔开度对水分亏缺的反应	(111)
2. 叶片光合速率对水分亏缺的反应	(112)
3. 叶片水势对水分亏缺的反应	(113)
第五章 作物根系调控与提高水分利用效率	(122)
第一节 作物根系与抗旱性	(122)
一、通过根系增加土壤储水的可利用量	(124)
1. 调控土壤环境促进根系生长	(124)
2. 利用上下茬作物搭配,促进根系深扎	(126)
3. 提高单位根长的吸水速率	(131)
4. 降低水分传输阻力	(131)
二、提高作物的水分利用效率	(132)
1. 提高根系对表层土壤水的利用能力	(132)
2. 提高单位耗水生产的干物质量	(137)
3. 改善土壤肥力,提高水分利用效率	(138)
三、提高作物收获指数	(140)

第二节 根据根系吸水特点,建立农田节水高效的供水制度.....	(141)
一、根际过程与供水方式	(141)
二、节水高效灌溉制度	(145)
1. 作物不同生育阶段对水分亏缺敏感程度的差异	(146)
2. 不同生育时期调亏程度对作物产量的影响	(147)
第六章 作物根系吸水模型.....	(154)
第一节 单根吸水模型.....	(154)
第二节 宏观吸水模型.....	(161)
第七章 全球陆地系统植被最大根深及其分布综述.....	(168)
第一节 不同植被群落最大根深.....	(168)
第二节 不同植物群落根系分布.....	(171)
第三节 全球植被根系深度和分布在全球变化研究中的意义.....	(173)
附录: 全球生态系统不同植被群落根系最大深度表 ...	(177)

第一章 根系研究

第一节 根系参数测定方法

为了分析植物根系生长情况,必须用一定的参数来描述,如根数、根的分枝、根长、根鲜重、根干重、根表面积、根体积、根半径、比根长、根冠比、根尖、根毛等。根据研究目的和根系参数测定所需的时间和劳力,权衡应选择的根系参数,然后决定根系研究方法。下面是一些常用根系参数及其意义:

(1) 总根长(重):单位土壤面积的总根长(重),单位是 $\text{km}/\text{m}^2(\text{g}/\text{m}^2)$,表征植物根系总量的大小。

(2) 根长(根重)密度:单位土壤体积的根长(根重),单位是 $\text{cm}/\text{cm}^3(\text{g}/\text{cm}^3)$,反映出植物在某一土壤层次根长(根重)的多少。

(3) 根冠比:地下部分生物量与地上部分生物量之比,根冠比大的植物,分配至根的同化物多,根系相对发达。该参数也反映出地上和地下部分的关系。

(4) 单位地上部分所具有的根长:总根长与地上部分生物量之比,表示供应单位地上部分所需要的根长,该值大,根系相对发达,与根冠比意义相似。

(5) 比根长:单位重量的根所具有的根长,单位一般是 m/g ,表示根系粗细的一个参数,比根长大,根细,反之,则较粗。

一、根长测定方法

在根系研究中,根长作为最常用的参数,是因为大多数研究人员认为根长密度是估算根系吸收土壤水分和养分最优参数之一,因此根长的测定在根系研究中显得尤为重要。测定根长的方法很多,从最原始的直接测量方法直至最近的计算机测定技术。

1. 直接测定方法

把根系置于有刻度的玻璃平面上,用镊子拉直根系,用放大镜或目测直接读数。这种方法较费时费力。

2. 交叉法(也叫截线法,Line-intersection method)

交叉法是用根系与线段之间的交点数,根据公式计算出根长的一种方法。交叉法因其有理论基础,简单快速,是最常用的测定根长的方法之一。Newman(1966)推导出用交叉法计算根长的公式:

$$R = \pi NA/2H \quad (1.1)$$

式中: R 是总根长; N 是根系与非常纤细的线段之间的交点; A 是矩形面积; H 是在矩形面上所有线段的总长度。如图(1.1)是对公式(1.1)的解释。公式(1.1)的推导过程如下:

长为 ΔR 的线段 PQ , 位于具有面积 A 的平面内, PQ 代表一段根系, 它很短, 可以认为是直的; 另有一很纤细的线段 MN (长度 h) 也位于 A 内。 MN 与 PQ 相交的条件是 PQ 的中点 D 位于 MN 的 $1/2\Delta R$ 内, 也就是在面积为 $(\Delta R)h$ 的长条带中(假设 $\Delta R/h$ 很小)(图 1.2), 如果 MN 相对于 PQ 是随机的, 那么 D 在 $(\Delta R)h$ 范围内的概率为 $(\Delta R)h/A$ 。当 D 点在 MN 一半的 $1/2\Delta R$ 内时, PQ 和 MN 形成的角度假设为 θ , 这时 D 至 MN 的距离应小于 $1/2\Delta R|\sin\theta|$, 那么 PQ 和 MN 出

现交点 p 的概率是：

$$1/(2\Delta R) |\sin\theta| / (1/2\Delta R) = |\sin\theta| \quad (1.2)$$

假设 D 在 A 中的任意位置, 则：

$$p = \Delta R h |\sin\theta| / A \quad (1.3)$$

如果 A 内有許多纤细的线段, 总长度是 H , 那么 PQ 与这些线段的总交点数为：

$$N = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\Delta R H}{A} |\sin\theta| d\theta \quad (1.4)$$

所以：

$$N = (2\Delta R H) / (\pi A) \quad (1.5)$$

假设具有总长度 R 的根系位于 A 内, R 可以看作是由无数个 ΔR 组成, 那么：

$$N = (2R H) / (\pi A) \quad (1.6)$$

总根长：

$$R = \pi A N / (2H) \quad (1.7)$$

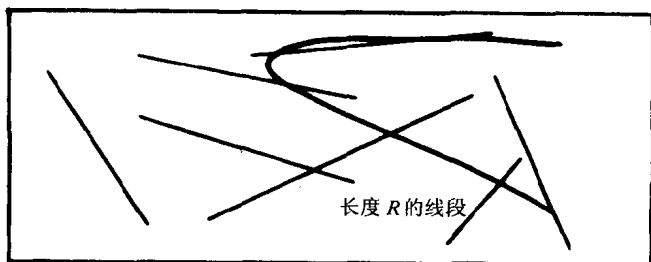


图 1.1 在一个矩形平面上根系与直线的交点用于计算根长

用上述方法测定的根系结果与直接测定方法相比, 能反映出根系的实际长度(表 1.1), 而测定时间比直线法大大缩

短。

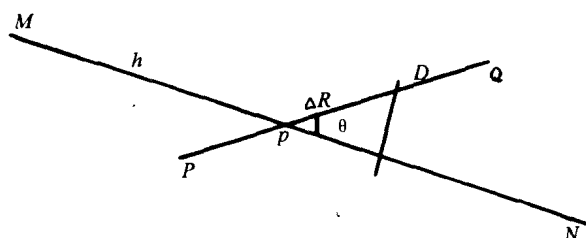


图 1.2 对公式(1.1)推导过程的图形描述

表 1.1 用截线法和直测法结果比较(Newman, 1966)

(单位:m)

样品	随机直线	规整直线	直接测定方法
亚麻 A		3.76 ± 0.07	3.43
大豆 A	7.57 ± 0.18	8.05 ± 0.18	7.31
树木		20.5 ± 0.46	21.0
大豆 B	31.8 ± 0.97	33.8 ± 0.55	29.3 ± 1.75
亚麻 B		36.5 ± 0.55	41.1 ± 0.98
羊茅草		125.6 ± 2.3	135.8 ± 9.6

Marsh(1971)发现 A 和 H 之间有一简单的关系,可对 Newman 的方法进行简化。对于一个不限定大小的矩形平面,但随机直线要用同一间距的垂直和水平直线形成的网格代替(直线之间的间距为网格单位),根据测定根系与垂直和水平直线的交叉数(N),得到根长:

$$\text{根长}(R) = 11(N \times \text{网格单位})/14 \quad (1.8)$$

如果把网格单位与公式中的系数合并,当网格单位分别是 1、2、3cm 时,根长 R 可分别简化为:0.7857、1.5714 和 2.3571

乘以交点数 N 。Tennant(1975)用此方法测定的根长与实际根长相关系数可达 0.9998^{*}。网格单位的选取可根据样品的大小来决定,样品大,适于选择大网格,如 5cm。但网格单位越大,准确性将降低。

3. 根长测定仪

这是利用交叉法原理发展的电动仪器。根系与平行线之间的交叉点数,通过移动玻璃板上摆布的根系样品位置来计算。玻璃板的下面,放着双目显微镜,并附有光电计算装置。每次当根部通过下方的显微镜,由换算器的电子装置记数记录,然后换算为实际根长。这种方法大大简化了根系测定过程,既方便又快速。如 Comair Root Length Scanner,Quantimet 720 等根长测定仪就是根据这种原理来测定根长的。

4. 测定根系的计算机技术

随着计算机技术在图像方面的发展,把计算机与摄像机连接,首先对根样进行摄像,然后通过计算机特定的软件系统,可以直接测定出根系根长,而且根据需要,还可以分析出根系的分枝、根数、根系的直径和表面积等参数,为研究根系提供精确和大量的信息。如美国 CID 公司的 CI-400 彩色图像分析系统等。

二、其他参数的测定方法

1. 根直径

借助于装有测微计的显微镜,可以直接测量根直径。另一种方法是用排水法间接测定根系平均半径,具体步骤是:把洗净的根系,用吸湿纸吸干表面水分,置入装满水的一个有溢流管的特制容器中,测定溢出水分的体积,即为根系的体积,然后根据根系的总根长,求出其平均半径。

2. 根系表面积

根系表面积是研究根系吸收水分和养分的重要参数,可根据根半径和根长计算根系表面积。除此之外,还可以用测定叶片表面积的光电技术,或者用吸附方法测定。吸附方法的原理是把刚洗净的根系浸入染色溶液,测量根部所吸附的染料数量,推算出根表面积。亚甲基蓝是最常用的染料,具体方法是把洗净的根系置于已知浓度的亚甲基蓝溶液中,慢慢转动根系,停留一段时间后,测定亚甲基蓝溶液浓度,根据两者浓度差,计算根系的吸附量,来推算根系表面积。这种方法也可用来区分活根和死根。

三、根系活力的测定

在研究根系对土壤水分和养分吸收的过程中,一般认为只有活根才有吸收能力,因此区分根系样品中的死根和活根对准确得到根系参数有重要意义。有时根据死根和活根的颜色、弹性、外皮层、侧根等用肉眼能够区分开,但是根系样品中有一些是难以分辨的,必须借助一些试剂来区分,如比较常用的刚果红染色法,和上面提到的亚甲基蓝溶液等。

1. 用刚果红染色法区分活根和死根

将洗净的根系置于1%刚果红溶液中浸泡3分钟,用水冲洗,然后用吸湿纸吸干根表面的水分,再放入95%乙醇溶液中浸泡3分钟,取出后再用水冲洗。这时,活的根系就被染成深红色或鲜红色,死的根系和其他有机物质将呈无色或浅红色、褐色(凯西等,1980)。

2. 用“TTC”(红四氮唑)测定根系活力

“TTC”是标准的氧化还原色素,呈无色的水溶液,当它遇到根、花粉、种子等的活细胞时,接受活细胞中脱氢酶的氢