

【灌溉 · 供水】

阜新地区降水量对主要粮食作物单产的影响

张旭东, 孙仕军, 付玉娟, 闫 瀛

(沈阳农业大学 水利学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘 要: 根据 1992—2007 年阜新地区降水量等资料, 运用数理统计方法分析了该区全年、主要粮食作物生育期内和生育期前降水量对粮食单产的影响。结果表明: 降水量季节分配不均造成阜新地区粮食单产年际差异较大的主要原因, 粮食单产和年降水量基本呈二次曲线关系; 旱作物生育期 5—6 月降水不足, 缺水严重, 无法播种或苗期干旱, 导致粮食歉收甚至绝收; 对玉米、谷子而言, 8 月的降水又相对过剩; 作物生育期前降水总量对当年的粮食单产影响不明显。

关 键 词: 降水量; 粮食单产; 相关性分析; 阜新地区

中图分类号: S162.5 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1000-1379.2011.02.038

阜新地区位于辽宁省西北部, 属半干旱大陆性气候区, 总面积为 1.035 5 万 km², 现有耕地面积 37.6 万 hm²。该区水资源匮乏, 灌溉条件不好, 粮食生产基本上依靠天然降水^[1]。阜新地区降水年内分配不均, 6—8 月降水量占全年降水量的 70% 以上, 且多暴雨, 水土流失严重, 农业生产基本上处于大旱大减产、小旱小减产的状态。该区粮食单产波动大, 对雨量的变化非常敏感, 因此探讨降水量和主要粮食作物单产之间的关系, 对阜新地区合理利用降水资源、提高降水利用率具有重要的意义。

1 降水和粮食单产特征

1.1 降水量年际变化

阜新地区降水量年际变化明显, 1992—2007 年平均年降水量为 465.3 mm, 年降水量最多的是 1994 年 (775.7 mm), 最少的是 2006 年 (300.4 mm), 分别为多年平均降水量的 1.67 倍和 0.65 倍, 最大值与最小值相差 475.3 mm, 变幅较大。16 a 间, 11 年降水量小于多年平均值, 占年份总数的 68.75%。1999—2002 年连续 4 a 枯水。由表 1 可知, 就作物生育期降水量来说, 每月降水量的变化幅度都比全年剧烈, 5 月的变差系数最大, 而 8 月相对较小。

表 1 1992—2007 年作物生育期内各月及全年降水量

| 月份 | 最小值/mm | 最大值/mm | 平均值/mm | 均方差 | 变差系数 | 偏度 | 峰度 |
|----|--------|--------|--------|--------|------|--------|---------|
| 5 | 10.2 | 115.1 | 38.16 | 31.55 | 0.83 | 1.3419 | 0.8832 |
| 6 | 15.7 | 192.2 | 89.84 | 48.30 | 0.54 | 0.5687 | 0.2221 |
| 7 | 27.8 | 297.7 | 120.43 | 79.55 | 0.66 | 1.0379 | 0.4489 |
| 8 | 34.4 | 225.2 | 122.18 | 56.24 | 0.46 | 0.6485 | -0.4593 |
| 9 | 2.8 | 71.70 | 28.68 | 16.20 | 0.56 | 1.1431 | 2.3237 |
| 全年 | 300.4 | 775.7 | 465.28 | 135.72 | 0.29 | 1.1031 | 0.6625 |

注: 资料来源于 1993—2008 年《辽宁省统计年鉴》。

1.2 降水量年内变化

阜新地区降水量年内分布不均, 雨季到来晚而结束早, 降水主要集中在夏季。根据图 1 计算, 阜新地区降水量集中在 6—8 月, 其降水总量达到 332.4 mm, 占年降水总量的 71.44%, 这一时期热量也很充足, 雨热同期对作物的生产非常有利, 在正常年份 6—8 月降水量基本上能满足一般作物的生长需求; 春季 4—5 月降水总量为 54.5 mm, 占年降水总量的 11.71%; 秋季 9—10 月降水总量为 53.8 mm, 占年降水总量的 11.56%; 冬季降水最少, 11 月至翌年 3 月, 5 个月降水总量只有 24.9 mm, 仅占年降水总量的 5.35%。

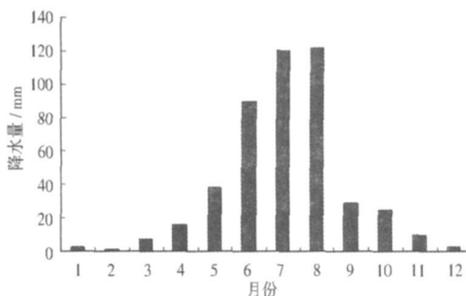


图 1 阜新地区降水量年内分布

1.3 粮食单产变化特征

阜新地区的粮食单产呈现出剧烈的波动特征, 并且与降水量的波动一致, 这表明降水量对粮食单产有重要影响。在玉

收稿日期: 2010-03-21

基金项目: 辽宁省教育厅高校科研项目 (2009A630); 辽宁省节水农业重点实验室基金项目 (05KJ21002)。

作者简介: 张旭东 (1979—), 男, 河南巩义人, 讲师, 主要研究方向为节水灌溉理论与技术。

通讯作者: 孙仕军 (1969—), 男, 辽宁庄河人, 副教授, 博士, 主要从事水资源开发利用和农业节水方面的教学与科研工作。

E-mail: zxxdd@126.com

米、高粱、谷子、大豆、水稻 5种主要作物中,高粱和玉米的波动最大,变差系数分别为 0.31、0.29,谷子和大豆次之;水稻单产波动最小,变差系数为 0.14。该变化现象基本上和作物播种面积一致,即播种面积越大,单产随降水量的波动幅度越剧烈。从年际动态变化来看,近 16 a来,随着作物品种的改良、耕作措施的改进和田间管理水平的提高,水稻、谷子、大豆呈明显增产趋势,但高粱和玉米却没有明显增产趋势。表明品种、耕作和田间管理,对种植面积小的作物的影响大于种植面积大的作物,这和降水对单产影响刚好相反。粮食相对产量(年单产/多年平均单产)和相对降水量(年降水量/多年平均降水量)的变化趋势见图 2。

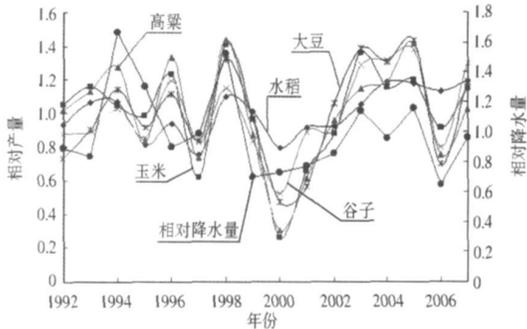


图 2 阜新地区粮食单产和降水的动态变化

2 降水量对粮食单产的影响

2.1 全年降水量对粮食单产的影响

为进一步揭示降水量和粮食单产间的关系,用 1992—2007 年历年降水量和粮食单产数据进行分析,发现它们之间基本上呈经典的二次曲线的关系,是一条开口向下的抛物线,即

$$y = ax^2 + bx + c \quad (1)$$

式中: y 为粮食作物单产, kg/hm^2 ; x 为当年的降水量, mm ; a 、 b 、 c 为参数,拟合参数的结果及其相关性见表 2。

表 2 粮食单产与全年降水量二次曲线关系参数

| 作物 | 相关系数 | 二次项系数 a | 一次项系数 b | 常数 c | $-\frac{b}{2a}$ |
|----|------------|-----------|-----------|----------|-----------------|
| 玉米 | 0.549 0** | -0.026 8 | 34 469 0 | -3 813 9 | 643 1 |
| 高粱 | 0.635 6*** | -0.020 9 | 29 526 0 | -3 395 6 | 706 4 |
| 谷子 | 0.643 1*** | -0.015 0 | 17 640 0 | -2 333 3 | 588 0 |
| 大豆 | 0.694 5*** | -0.010 3 | 13 041 0 | -1 966 0 | 633 1 |
| 水稻 | 0.174 6 | 0.002 0 | -1 123 5 | 6 015 4 | 280 9 |

注:原始数据来源于 1993—2008 年《辽宁省统计年鉴》*表示 0.1 水平显著;**表示 0.05 水平显著;***表示 0.01 水平显著。

由表 2 可知,水稻单产受降水影响不显著,主要原因是阜新地区水资源匮乏,水稻种植面积很小,常年只占粮食作物种植总面积的 2%左右。通常,农户采用打井灌溉的方式种稻,因此水稻的单产水平受降水量影响不大。

对于玉米、高粱、谷子、大豆来说,常年的种植面积占粮食种植面积的 97%,降水对单产的影响分别达到了显著水平和极显著水平,说明这些作物单产与降水量有着重要的关系。实地调查也证实,这几种作物基本上没有灌溉,仅靠天然降水提供整个生育期所需水分,是典型的雨养农业。近 16 a来,阜新地

区年降水量的变化范围为 300~776 mm 。然而,式(1)中玉米、高粱、谷子、大豆对应的对称轴 $x = -b/(2a)$ 值远远大于年平均降水量 465.3 mm ,表明这 4 种作物均是因降水量不足而不能实现高产和稳产,其中高粱最为严重,对称轴几乎接近于年降水量的上限,表明雨水能够满足高粱生育期需水的几率很小。

2.2 生育期降水量对主要粮食作物单产的影响

在所考察的自变量中,进入回归方程中的自变量对因变量的影响都是显著的,未选进回归方程的自变量均是不显著的,这样的回归方程叫最优回归方程^[2]。以历年粮食单产为因变量,以生育期 5—9 月降水量为自变量,运用逐步回归的方法,得到了阜新地区主要粮食单产和生育期各月降水量之间的最优回归方程:

$$y = \sum_{i=5}^9 A_i X_i + B \quad (2)$$

式中: y 为粮食作物单产, kg/hm^2 ; i 为月序号; X_i 为第 i 月的降水量, mm ; B 为常数项; A_i 为第 i 月的参数,拟合参数的结果及其相关性见表 3。

表 3 主要粮食作物单产与生育期各月降水量最优回归方程系数

| 作物 | 相关系数 | 常数 B | A_i | | | | |
|----|---------|-------------|----------|---------|----|-----------|----|
| | | | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 |
| 玉米 | 0.638 0 | 4 780 49*** | 49 24*** | 13 48* | 0 | -15 58** | 0 |
| 高粱 | 0.623 1 | 2 543 66*** | 40 93*** | 15 09** | 0 | 0 | 0 |
| 谷子 | 0.642 0 | 1 883 14*** | 15 82*** | 4 81** | 0 | -4 51* | 0 |
| 大豆 | 0.550 8 | 833 06*** | 10 56*** | 5 00** | 0 | 0 | 0 |
| 水稻 | 0.659 3 | 6 459 03*** | 24 86*** | 0 | 0 | -11.76*** | 0 |

注:原始资料来源于 1993—2008 年《辽宁省统计年鉴》*表示 0.1 水平显著;**表示 0.05 水平显著;***表示 0.01 水平显著。

由表 3 分析可知,对玉米、高粱、谷子、大豆、水稻 5 种作物来说,7 月和 9 月的降水对粮食单产影响不显著。除水稻外,5—6 月降水对其他几种主要作物的影响均为显著水平,而且均是正相关,这就是说在作物播种和生长前期降水量严重不足,造成粮食单产下降。特别是 5 月,对各种作物来说,偏相关系数均已达到了极显著的水平。5 月正是播种的时候,此时的有效降水对出苗、齐苗有非常重要的作用,因此有“秧好一半禾,苗好七分收”的俗语。表 3 中 5 月的系数大于 6 月,5 月降水量的增加引起粮食作物单产的提高会比 6 月强。对玉米、谷子、水稻来说,8 月的降水量和粮食单产之间呈负相关,表明这 3 种作物生长到 8 月时,雨水又相对过剩,有可能导致减产,其原因是玉米和水稻 8 月处于抽穗开花期,若降水过多而光照不足,则会使花粉失活,影响籽粒的授粉,进而影响作物的单产。

2.3 生育期前降水量对主要粮食作物单产的影响

分析了从上个生长季结束开始到下个生长季进入之前降水总量(即上年 10—12 月和当年 1—4 月降水总量)和当年粮食作物产量之间的关系,发现这 5 种作物的单产同降水量之间呈微弱的正相关关系,均没有达到显著水平。原因是生育期前降水量只有 67.4 mm ,平均只占一个生长季总降水量的 15.2%,然而,这一阶段有 7 个月,其平均蒸发量远远大于降水量,说明该时段内农田土壤水分消耗大于补给,导致了春季播种时土壤墒情非常差,通常 0~30 cm 土层储水量 (下转第 96 页)

的出流量相等,也就是将出水口视为等量出流,这与实际设计是吻合的。同时,各出水口间距为 S_0 上游进口段出水口长度也为 S_0 并且毛管末端无出流,即尾端出流量与单出水口出流量相同。也就是计算管段为全等距、等量出流的多出水口管。



图 2 毛管总水头损失简化算法

那么根据式(1)可得第 j 号管段的水力比降:

$$i_j = KaQ_j^m = Ka[(N-j+1)] q_a^m \quad (j=1, 2, \dots, N) \quad (2)$$

式中: i_j 为第 j 号管段的水力比降; Q_j 为第 j 号管段的流量; L/q_a N 为毛管总出水口数或管段总数; q_a 为毛管各出水口流量的平均值; 其余符号意义同前。

显然有

$$H = \sum_{j=1}^N i_j S_0 = Kaq_a^m S_0 \sum_{j=1}^N (N-j+1)^m \quad (3)$$

式中: H 为全管长总水头损失, m

先对式(3)等号右边部分进行简化计算可得

$$\sum_{j=1}^N (N-j+1)^m = N^m + (N-1)^m + (N-2)^m + \dots + 2^m + 1 = (0.2341N^3 + 0.5N^2 + 0.2659N) \times N^{0.1^m} \quad (4)$$

将式(4)代入式(3)得

$$H = Kaq_a^m S_0 (0.2341N^3 + 0.5N^2 + 0.2659N) \times N^{0.1^m} \quad (5)$$

以上讨论的只是毛管水头损失的计算,而滴头的设计水头问题制造厂家已经有了比较成熟研究,现以厂家提供的毛管进口设计水头 H_d 为例进行说明,见表 1。

表 1 平坦地形毛管铺设长度 m

| 滴头间距 | $H_d=10$ | $H_d=14$ | $H_d=18$ | $H_d=22$ | $H_d=26$ | $H_d=30$ |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0.50 | 63 | 92 | 110 | 122 | 131 | 139 |
| 0.60 | 72 | 105 | 126 | 141 | 152 | 161 |
| 0.75 | 85 | 126 | 151 | 168 | 181 | 192 |

注: H_d 为毛管进口设计水头, m

需要说明的是,表 1 中毛管进口设计水头只是整数水头,实际设计中应根据设计毛管铺设长度进行进口水头的选择。一般情况下,滴灌系统的毛管和滴头铺设于地表,且一个灌水小区上的毛管和滴头是同时工作的。灌水小区内田面有局部起伏,设计中将其简化为水平面或均匀起伏等情况。那么,灌水小区的实际高程将会偏离设计高程,这样将会引起流量高差偏差,应视设计的实际情况进行考虑或予以忽略。除高差引起的流量偏差外,还有水力偏差、滴头制造偏差、滴头高程偏差、计算误差等。这些偏差应在灌水小区的设计过程中视影响大小决定是否考虑。

4 结 语

滴灌系统中毛管的设计是整个滴灌系统工程设计的重要步骤和关键环节,不仅对整个工程的投资、运行费用有重大影响

而且关系到灌溉系统的发展方向。笔者对式(3)进行简化,由于流态处于光滑紊流区,因此其流量指数为 1.75~2.00 运用数列常用求和公式(在一次方和二次方之间)再使用逐步逼近法,推导出式(5)的系数。这使得毛管的出口总水头计算公式简化为 $H_{总} = H + H_d$ 可直接进行下一级管道水力计算。

参考文献:

- [1] 张国祥,吴普特.滴灌系统滴头设计水头的取值依据[J].农业工程学报,2005(9):20-22
- [2] 李光永,雷廷武,郑耀全,等.均匀坡定水头微灌支管的优化[J].北京农业工程大学学报,1994,14(1):70-74
- [3] 李世英.对我国节水灌溉技术发展的几点思考[J].节水灌溉,2001(1):30-31
- [4] 张志新.灌溉工程规划设计原理与应用[M].北京:中国水利水电出版社,2007
- [5] 顾烈烽.新疆生产建设兵团棉花膜下滴灌技术的形成与发展[J].节水灌溉,2003(1):27-29
- [6] 张天举,仵峰,邓忠,等.不同坡度下压力对滴灌毛管均匀度的影响试验[J].节水灌溉,2007(3):24-26
- [7] 吴春华,刘昌明.生态水力半径法计算河道内生态需水量研究[J].人民黄河,2008,30(10):52-54
- [8] 付玉娟,蔡焕杰,王健.轮灌条件下的灌溉管网优化设计[J].农业机械学报,2007,4(38):47-49
- [9] 张显辉,吕宏兴.梯形渠道水力最佳断面的一种计算方法[J].人民黄河,2009,31(5):109-111

【责任编辑 赵宏伟】

(上接第 94 页)在 65 mm 以下,大致相当于田间持水量的 78%。底墒对玉米苗期生长起主导作用^[3],因此阜新地区生育期前的降水量不足导致底墒不足,往往会对作物种子的发芽、出苗、生长、产量有不良影响。

3 结 语

降水量季节分配不均造成阜新地区粮食单产年际差异较大的主要原因,该地区粮食作物单产和年降水量基本呈二次曲线关系。对旱作物来说,生育期内 5—6 月降水不足,作物缺水严重,无法播种或苗期干旱,导致粮食歉收甚至绝收,而对玉米、谷子来说在 8 月雨水相对过剩;作物生育期前降水总量对当年的粮食单产影响不明显。因此,可采用秋后覆盖保墒、雨水时空调控、土壤水分调控等技术^[4-5],以提高降水的利用率和粮食产量。

参考文献:

- [1] 张淑金.阜新地区的气候资源及其与旱地农业关系初探[J].辽宁农业科学,1988(2):39-42
- [2] 金益.试验设计与统计分析[M].北京:中国农业出版社,2007
- [3] 张和喜,房军,方小宇,等.土壤底墒与灌水量对玉米苗期生长发育的影响[J].人民黄河,2008,30(4):64-66
- [4] 黄毅,张玉龙,邹洪涛,等.辽西北旱地土壤水分调控[J].水土保持研究,2009,16(4):113-116
- [5] 黄毅,邹洪涛,虞娜,等.辽西易旱区雨水资源跨时空调控技术的研究[J].水土保持学报,2006,20(5):126-129

【责任编辑 赵宏伟】