

# 甘肃河西冬季平均冻土深度对春小麦生育期的影响

黄 斌<sup>1,2</sup>, 张洪芬<sup>2</sup>

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,  
中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃省庆阳市气象局, 甘肃 西峰 745000)

**摘 要:** 利用甘肃河西分布较为均匀的 11 个站点冬季平均冻土资料, 分析冻土的年际变化特征, 并分析了冻土深度对春小麦生育期的影响效应。结果表明: 近 45 年来, 甘肃河西冬季冻土深度的变化呈现出波动中逐年减小的趋势, 其减小速率为 5.5 cm/10a; 甘肃河西西部、中部和东部的春小麦生育期均有提前趋势, 中部提前趋势最为明显; 冬季冻土深度与东部和西部春小麦生育期相关性显著, 与中部的酒泉站春小麦生育期相关性较差, 仅与出苗和三叶期相关性较好; 春小麦生育期随冻土深度的增加而推迟, 西部的敦煌推迟速率为 1.8~2.4 d/10cm, 中部的酒泉推迟速率为 1.9~2.1 d/10cm, 东部的武威推迟速率为 1.3~3.0 d/10cm, 变化范围较大。

**关键词:** 甘肃河西; 冻土; 春小麦; 生育期

**中图分类号:** S512.1<sup>+</sup>1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-7601(2009)01-0254-04

甘肃河西地区位于祁连山北部, 气候干旱, 许多地方年降水量不足 200 mm<sup>[1]</sup>, 境内所有水系均发源于祁连山脉, 促使灌溉农业发达, 受祁连山供给水源的影响, 形成河西绿洲农业区<sup>[2]</sup>, 是甘肃省重要农业区之一, 同时也是西北地区最主要的商品粮基地<sup>[3]</sup>, 主要种植的粮食作物为春小麦。

随着气候变化的不断发展, 气温、降水、土壤水分等气象要素的变化均能对春小麦生育期产生一定的影响, 关于此类的研究已经较多, 且已经有大量的文献可供参考<sup>[4~7]</sup>。冻土深度作为气温和土壤水分的综合指示器, 是气候变化的重要指标。本文首先分析甘肃河西地区平均冻土深度的年际变化特征以及利用代表站点分析其西部、中部和东部春小麦生育期变化趋势, 进而对冻土深度与春小麦生育期进行相关性统计分析, 在此基础上分析春小麦生育期对冻土深度的响应趋势, 以利用冻土深度对春小麦部分生育期进行预报, 这对甘肃河西农业区发展农业经济有着非常积极且重要的意义。

## 1 资料来源与研究方法

冬季(12 月~次年 2 月)冻土深度资料来源于甘肃河西地区分布比较均匀的 11 个气象观测站点, 资料序列长度为 1960~2004 年, 共 45 年; 春小麦生育期来源于敦煌、酒泉和武威农业气象观测站, 其中武威、敦煌资料序列长度为 1981~2004 年, 共 24

年, 酒泉为 1986~2004 年, 共 19 年。

每年冬季冻土深度的平均为 11 个站点平均冻土深度。

本文采用的主要研究方法有变化趋势率、相关性检验以及 *F* 检验等<sup>[8]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 冬季冻土深度的年际变化特征

利用甘肃河西 11 站 1960~2004 年 45 年冬季冻土资料, 分析冬季冻土的年际变化特征(图 1), 可以看出: 冻土深度的年际变化具有多波动变化的特征, 1961 年较 1960 年深度增加, 1961~1964 年逐年减小, 1964~1966 年增加, 1966~1968 年减小, 尤其是 1968 年较 1967 年剧减, 1969 年剧增, 1970~1971 年继续减小, 1971~1976 年持续增加, 至 1976 年达到冻土深度的最大值, 为 123.2cm, 1976~1978 年平均冻土深度急剧减小, 1978~1979 年冻土深度增大, 1980 年冻土深度再次减小, 1980~1982 年持续增大, 1982~1987 年持续缓慢减小, 1988 年略有增加后, 1988~1990 年再次减小, 1990~1992 年迅速增加, 1993 年减小后, 1993~1995 年再次缓慢增加, 1995~1998 年剧烈减小, 1999~2004 年呈锯齿型变化。就其变化趋势来说, 冬季冻土深度的变化是逐年减小的, 其减小速率为 5.5 cm/10a, 可靠性通过了 0.001 信度检验。

收稿日期: 2008-03-04  
基金项目: 科技部科研院所社会公益研究专项(2005DIB3J100)  
作者简介: 黄 斌(1979—), 男, 陕西咸阳人, 学士, 助理工程师, 从事农业气象业务与研究工作。E-mail: huangbin-xnhb@126.com。

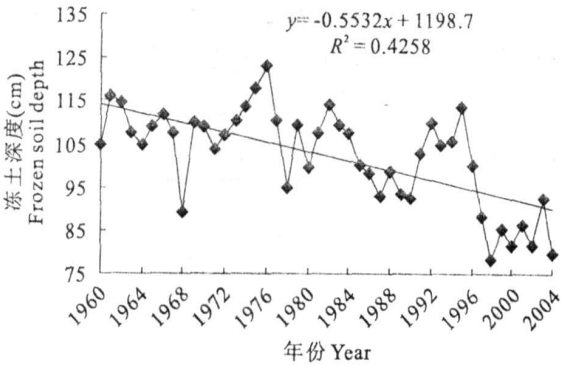


图 1 冬季平均冻土深度的年际变化特征

Fig. 1 The inter annual change characteristic of average winter frozen soil depth in Gansu Hexi

2.2 甘肃河西春小麦生育期变化特征

分别以敦煌、酒泉、武威作为甘肃河西西部、中部、东部代表站,分析春小麦的生育期随时间变化特征;春小麦生育期使用日序表示,即以 3 月 1 日作为日序 1, 4 月 1 日为日序 32,以此类推,进行线性统计分析。

从代表站春小麦生育期的时间变化特征可以看

出,春小麦的各个生育期均有不同程度的提前,甘肃河西不同地方,生育期的提前也不尽相同。西部的敦煌站春小麦各生育期均表现出提前趋势,其中乳熟和成熟期提前趋势并不明显,除此之外的播种、出苗、三叶、拔节、孕穗、开花等生育期均表现出较为明显的提前趋势,提前幅度为 2.7~4.1 d/10a,且均通过 0.05 信度检验,抽穗期提前的幅度最大,为 4.1 d/10a,通过 0.001 信度检验,达极显著相关水平;中部的酒泉站播种期有推迟趋势,但趋势并不明显,其后的各个生育期均有提前趋势,同西部的敦煌站相同,乳熟和成熟期提前的并不明显,其余各生育期均表现出明显的提前趋势,提前幅度为 3.1~5.5 d/10a,提前最为明显的是三叶期,提前幅度达 5.5 d/10a;东部的武威站与中部和西部站点有所不同,播种、出苗、三叶、拔节等生育期以及乳熟期变化并不明显,变化趋势系数不能通过显著性检验,仅有孕穗、抽穗、开花和成熟期表现出较为明显的提前趋势的,提前幅度为 3.4~4.1 d/10a,提前幅度最大且最为明显的生育期为开花期,为 4.1 d/10a。

表 1 敦煌、酒泉、武威春小麦生育期变化特征

Table 1 The characteristic of spring wheat growth period in Dunhuang, Jiuquan and Wuwei

| 生育期<br>Growth period | 敦煌 Dunhuang                       |                                        | 酒泉 Jiuquan                        |                                        | 武威 Wuwei                          |                                        |
|----------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|
|                      | 生育期倾向率(d/10a)                     | 相关系数 R <sup>2</sup>                    | 生育期倾向率(d/10a)                     | 相关系数 R <sup>2</sup>                    | 生育期倾向率(d/10a)                     | 相关系数 R <sup>2</sup>                    |
|                      | The tending rate of growth period | Correlation coefficient R <sup>2</sup> | The tending rate of growth period | Correlation coefficient R <sup>2</sup> | The tending rate of growth period | Correlation coefficient R <sup>2</sup> |
| 播种 Sowing            | -3.5                              | 0.2538 *                               | 1.3                               | 0.0313                                 | 0.2                               | 0.0032                                 |
| 出苗 Emergence         | -2.7                              | 0.2519 *                               | -4.0                              | 0.2889 *                               | -0.7                              | 0.0220                                 |
| 三叶 Three leaves      | -3.3                              | 0.3105 **                              | -5.5                              | 0.5621 ***                             | -0.3                              | 0.0081                                 |
| 拔节 Jointing          | -3.7                              | 0.3345 **                              | -4.4                              | 0.2536 *                               | -1.9                              | 0.1202                                 |
| 孕穗 Booting           | -3.5                              | 0.3334 **                              | -3.7                              | 0.2222 *                               | -3.9                              | 0.4486 ***                             |
| 抽穗 Earring           | -4.1                              | 0.4660 ***                             | -3.1                              | 0.1931 *                               | -4.1                              | 0.5225 ***                             |
| 开花 Bloom             | -3.6                              | 0.3960 ***                             | -3.8                              | 0.3729 **                              | -4.1                              | 0.7073 ***                             |
| 乳熟 Milk mature       | -1.0                              | 0.0426                                 | -0.5                              | 0.0072                                 | -0.2                              | 0.001                                  |
| 成熟 Maturing          | -1.4                              | 0.0815                                 | -0.5                              | 0.0110                                 | -3.4                              | 0.3787 **                              |

注: \* 表示通过 0.05 信度检验, \* \* 表示通过 0.01 信度检验, \* \* \* 表示通过 0.001 信度检验,表 2 同。  
Note: “\*” means significant difference at α=0.05 level; “\*\*” means significant difference at α=0.01 level;“\*\*\*” means significant difference at α=0.001 level. They are the same in table 2.

2.3 冻土深度对生育期的影响

2.3.1 冻土深度与生育期的相关性分析 为了分析冬季平均冻土深度与不同站点春小麦各个生育期的关系,对平均冻土深度与春小麦生育期进行相关系数统计(表 2)。

由表 2 可以看出,甘肃河西冬季平均冻土深度与西部的敦煌站春小麦播种~开花期相关性显著,均通过 0.05 信度检验,其中与抽穗期相关性最好,

其次是开花期,而与乳熟和成熟期的相关性不强,未能达到显著相关水平;与中部的酒泉站春小麦生育期相关效果较差,仅与出苗和三叶期通过显著性检验,其他生育期与冬季冻土深度相关性差,即冬季冻土深度与酒泉站春小麦生育期基本上无显著联系,其主要原因在于酒泉气候干旱,降水少,且年际变率大,导致农业生产气候条件的差异性大,直接影响作物的发育;冻土深度与东部武威站春小麦生育期相

关性较好,特别是与发育中后期相关性较强,即孕穗~成熟期,其中与抽穗和成熟期的相关性达到 0.7 以上,达到极显著相关水平。总之,冬季冻土深度与西部和东部春小麦生育期相关性均较好,但相关性分布有所不同,西部主要在开花期以前,东部主要在拔节期以后;与中部春小麦的生育期相关性较差。

| 表 2 春小麦生育期与冬季冻土深度相关系数                                                           |              |                 |                    |                |               |               |             |                   |                |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------|--------------------|----------------|---------------|---------------|-------------|-------------------|----------------|
| Table 2 The correlation coefficient between growth period and frozen soil depth |              |                 |                    |                |               |               |             |                   |                |
| 地区<br>Region                                                                    | 播种<br>Sowing | 出苗<br>Emergence | 三叶<br>Three leaves | 拔节<br>Jointing | 孕穗<br>Booting | 抽穗<br>Earring | 开花<br>Bloom | 乳熟<br>Milk mature | 成熟<br>Maturing |
| 敦煌 Dunhuang                                                                     | 0.4889 *     | 0.5015 *        | 0.4886 *           | 0.4841 *       | 0.4472 *      | 0.5567 **     | 0.5173 **   | -0.0333           | 0.3135         |
| 酒泉 Jiuquan                                                                      | -0.2661      | 0.4796 *        | 0.4684 *           | 0.3855         | 0.2822        | 0.3095        | 0.3603      | 0.2486            | 0.2059         |
| 武威 Wuwei                                                                        | -0.0540      | 0.4065 *        | 0.3487             | 0.5142 **      | 0.6512 **     | 0.7363 **     | 0.5580 **   | 0.4101 *          | 0.7495 **      |

2.3.2 冻土深度对生育期的影响效应分析 只有当冻土深度与发育日期的相关关系通过显著性检验,研究其影响效应才具有意义。为此,对通过显著性检验的生育期( Y )与冻土深度( X )进行回归分析,建立回归方程  $Y=A+\alpha X$ ,其中  $\alpha$  为生育期倾向率,  $\alpha>0$ ,则生育期推迟,  $\alpha<0$ ,则生育期提前。

| 表 3 冻土深度对春小麦生育期影响分析                                                               |                             |                              |                             |                              |                             |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Table 3 The impact analysis of frozen soil depth to growth period of spring wheat |                             |                              |                             |                              |                             |                              |
| 生育期<br>Growth period                                                              | 敦 煌 Dunhuang                |                              | 酒 泉 Jiuquan                 |                              | 武 威 Wuwei                   |                              |
|                                                                                   | 回归方程<br>Regression equation | F 计算值<br>F Calculated values | 回归方程<br>Regression equation | F 计算值<br>F Calculated values | 回归方程<br>Regression equation | F 计算值<br>F Calculated values |
| 播种 Sowing                                                                         | $Y=-7.2+0.23X$              | 6.91                         | —                           | —                            | —                           | —                            |
| 出苗 Emergence                                                                      | $Y=17.8+0.18X$              | 7.39                         | $Y=-9.3+0.21X$              | 5.08                         | $Y=-3.8+0.13X$              | 4.36                         |
| 三叶 Three leaves                                                                   | $Y=-1.9+0.20X$              | 6.90                         | $Y=3.7+0.19X$               | 4.78                         | —                           | —                            |
| 拔节 Jointing                                                                       | $Y=19.4+0.22X$              | 6.73                         | —                           | —                            | $Y=-4.0+0.20X$              | 7.91                         |
| 孕穗 Booting                                                                        | $Y=6.8+0.20X$               | 5.50                         | —                           | —                            | $Y=-0.6+0.27X$              | 16.19                        |
| 抽穗 Earring                                                                        | $Y=9.5+0.24X$               | 9.88                         | —                           | —                            | $Y=4.4+0.30X$               | 26.05                        |
| 开花 Bloom                                                                          | $Y=16.0+0.21X$              | 8.04                         | —                           | —                            | $Y=-13.5+0.26X$             | 9.95                         |
| 乳熟 Milk mature                                                                    | —                           | —                            | —                           | —                            | $Y=-21.7+0.14X$             | 4.45                         |
| 成熟 Maturing                                                                       | —                           | —                            | —                           | —                            | $Y=-9.7+0.29X$              | 28.19                        |

注:表中 F 检验计算值均通过 0.05 置信度检验。  
Note: F values in the table are significant difference at 0.05 level.

由回归分析结果(表 3)可以看出,冻土深度对生育期的影响效应均为正值,即  $\alpha$  均大于 0,也就是生育期随冻土深度的增加(减小)而推迟(提前)。其中西部的敦煌站,冬季冻土深度每增加(减小)10 cm,播种~开花日期推迟(提前)1.8~2.4 d,随冻土深度变化最明显的是抽穗期,变化速率为 2.4 d/10cm,其次是播种期,为 2.3 d/10cm,出苗期变化相对而言最不明显,为 1.8 d/10cm。中部的酒泉站,冬季冻土深度每增加(减小)10 cm,出苗和三叶期分别推迟(提前)2.1 d 和 1.9 d。冻土深度对东部的武威站小麦生育期影响幅度范围较大,为 1.3~3.0 d/10cm,影响最大的为抽穗期,变化速率为 3.0 d/10cm,其次是成熟期,为 2.9 d/10cm,影响相对最小的是出苗期,变化速率为 1.3 d/10cm。

3 结 论

近 45 年来,甘肃河西冬季冻土深度的变化呈现出波动中逐年减小的趋势,其减小速率为 5.5 cm/10a,可靠性通过了 0.001 信度检验。  
甘肃河西西部、中部和东部的春小麦生育期均有提前趋势。西部和中部提前趋势主要体现在开花期以前,西部提前幅度为 2.7~4.1 d/10a,中部提前幅度为 3.1~5.5 d/10a,且中部较西部明显;东部春小麦提前主要在孕穗期以后,提前幅度为 3.4~4.1 d/10a。  
冬季平均冻土深度与东部和西部春小麦生育期相关性显著,与中部的酒泉站春小麦生育期相关性较差,仅与出苗和三叶期相关性较好,通过 0.05 信度检验。

春小麦生育期随冻土深度的增加而推迟。西部的敦煌推迟速率为 1.8~2.4 d/10cm;中部的酒泉推迟速率为 1.9~2.1 d/10cm;东部的武威推迟速率为 1.3~3.0 d/10cm,变化范围较大。

目前本文只从相关统计及回归的角度找到了甘肃河西冬季平均冻土深度与春小麦生育期之间的关系,得出了冻土对生育期变化的影响效应。在下一步的工作中将借助于数值模拟来研究,这对发展甘肃河西地区农业生产,具有非常重要的指导意义。

参 考 文 献:

[1] 郭良才,岳 虎,王 强,等.河西走廊干旱区农业气候资源变化特征[J].干旱地区农业研究,2008,26(3):14—22.

[2] 索东让.河西走廊绿洲灌区灌漠土肥料利用率研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(2):18—27+37.  
[3] 康 玲.河西走廊荒漠化防治及生态农业建设的对策[J].中国沙漠,1999,19(2):195—198.  
[4] 黄 斌,张洪芬,强玉柱.西峰黄土高原作物生长期土壤水分损耗速率分析[J].干旱地区农业研究,2008,26(1):241—245.  
[5] 樊晓春,郭江勇,杨小利.西峰黄土高原冬季积温变化对作物生育期的影响[J].中国农业气象,2007,28(3):318—321.  
[6] 王位泰,张天锋,黄 斌.甘肃陇东黄土高原冬小麦对气候变暖的响应[J].生态学杂志,2006,25(7):774—778.  
[7] 黄 斌,郭江勇,张洪芬,等.陇东玉米拔节至抽雄期降水与产量及生物量的相关性分析[J].干旱地区农业研究,2007,25(1):172—175.  
[8] 魏凤英.农业气象统计[M].福州:福建科学技术出版社,1985.

Influence of mean frozen soil depth in winter on spring wheat growth period in Hexi area of Gansu

HUANG Bin<sup>1,2</sup>, ZHANG Hong-fen<sup>2</sup>

(1. Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid climatic Change and Disaster Reduction, Lanzhou, Gansu 730020; 2. Qingyang Meteorological Bureau, Xifeng, Gansu 745000, China)

**Abstract:** Using data of average frozen soil depth of winter from 11 stations with uniform distribution in Hexi area of Gansu, analysis is made of the inter annual variability characteristics of frozen soil depth and the effect of the frozen soil depth on the growth period of spring wheat. The results show that: the frozen soil depth of Hexi area of Gansu in winter shows a change fluctuation in the trend of decreasing year by year, and the rate of decrease is 5.5 cm/10a in nearly 45 years. Spring wheat growth periods are all ahead of trends in western, central and eastern part of Hexi area, and the most obvious trend of advance is in the central part. Frozen soil depth of winter is significantly associated with the growth period of spring wheat in the east and west, but not so obvious with that of the central station of Jiuquan, where it is only correlated with the emergence and three leaves stages. Spring wheat growth period postpones with the frozen soil depth increase, and the postponing rate is 1.8 to 2.4 d/10cm in Dunhuang, 1.9~2.1 d/10cm in Jiuquan, and 1.3~3.0 d/10cm in Wuwei.

**Key words:** Hexi area of Gansu; frozen soil depth; growth period; spring wheat