

黑龙江省南部玉米田间土壤湿度长期时空变化特征及与产量的关系

吕佳佳, 杨晓强, 李 帅, 姜丽霞

(黑龙江省气象科学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要:应用黑龙江省南部1983—2009年15个农业气象观测站玉米生长季的土壤湿度资料,采用气候倾向率统计方法,利用GIS空间分析模块,分析了黑龙江省玉米生长季不同生育期土壤相对湿度的时空变化特征及与产量的关系。结果表明:近27年来黑龙江省南部玉米生长季不同生育期土壤相对湿度均呈下降趋势,与降水量呈极显著正相关;土壤相对湿度的空间分布存在明显差异,黑龙江省玉米产区松嫩平原中东部及三江平原土壤相对湿度正常或偏高,松嫩平原西部土壤相对湿度偏低。土壤相对湿度年变化倾向率空间分布特征为松嫩平原中东部、牡丹江大部呈下降趋势,仅少数地区呈增加趋势。松嫩平原西部偏旱地区的青冈、泰来玉米实际单产与生长季各生育期的土壤相对湿度均呈显著的正相关,土壤偏干或偏湿对玉米的产量形成均存在不利的影响。

关键词:黑龙江省;玉米生长季;土壤湿度;时空分布;产量

中图分类号: S513; S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)04-0020-06

黑龙江省是我国重要的商品粮生产基地,在保障我国的粮食安全方面起着至关重要的作用。玉米是黑龙江省的主栽旱作作物之一,近年来,由于种植结构的调整,玉米的种植面积在逐年扩大,玉米总产占粮食总产的比例也在逐年提高,2010年接近50%。

吴建国和吕佳佳根据IPCC提出的A1、A2、B1、B2四种未来气候变化情景^[1],预测得出黑龙江省的半干旱区范围或将随气候变化程度的加深呈扩大趋势^[2],松嫩平原西部将是最先被影响的地区。黑龙江省的松嫩平原近年来发生春旱的频率较大^[3],已经对玉米生长及产量产生了不同程度影响,随着气候变化程度的加深和半干旱区范围的扩大,土壤湿度对玉米产量的影响将进一步加深。因此,研究玉米生长季内各生育期的土壤湿度时间及空间分布变化特征及其与降水量的关系,分析不同生育期土壤相对湿度和玉米产量的关系,对于黑龙江省玉米作物的生产和决策有重要意义^[3-5]。姜丽霞等^[6]研究了1980—2005年松嫩平原土壤湿度对气候变化的响应,分析表明松嫩平原不同地区作物生长季表层土壤湿度均呈显著下降趋势,张淑杰等^[7]分析了东北地区的玉米干旱时空特征,研究表明东北地区近十年来干旱呈显著增加的趋势,且干旱在各个发育阶段同时发生;孙艳玲等^[8]根据松嫩平原多年降水

量和玉米多年生育期需水量分析出7个区域玉米种植的旱情特点并提出了相应的对策。也有不少学者研究了干旱胁迫对玉米形态发育的影响及防御对策^[9-12]。然而,关于黑龙江省玉米生长季各生育期土壤湿度时空变化特征与玉米产量关系的研究尚少有报道。本文通过分析黑龙江省南部玉米生长季土壤湿度的时空变化特征及其对玉米产量的影响,以期对黑龙江省玉米生产合理布局和防灾减灾提供一定的理论依据。

1 资料与方法

1.1 站点选择及资料

选取巴彦、龙江、富裕、泰来、青冈、安达、佳木斯、哈尔滨、肇源、双城、方正、尚志、勃利、五常、宁安15个黑龙江省农业气象站作为研究站点(图1),均有1983—2009年玉米生长季(5—9月)的气象资料,具有玉米播种至苗期的耕层(0~30 cm)土壤每旬的土壤湿度资料(土壤重量含水量),玉米拔节孕穗期、抽雄吐丝期和灌浆成熟期的0~50 cm土壤每旬的土壤湿度资料(土壤重量含水量)。这些县市均分布在黑龙江省的南部地区,为主要的玉米产区,具有一定的代表性,能够较好地反映该省玉米产区的生产特点和气候特征。15个气象站均有土壤湿度、气温、降水等的观测资料,为典型的旱作农业区,耕作

收稿日期:2011-10-10

基金项目:公益性行业(气象)科研专项资助项目(GYHY201106026)

作者简介:吕佳佳(1983—),女,黑龙江哈尔滨市人,硕士,工程师,研究方向为应用气象。E-mail: freelvjia@163.com。

通讯作者:姜丽霞(1972—),女,吉林德惠市人,硕士,高级工程师,研究方向为应用气象和气候资源研究。E-mail: nongyeqixiang@yahoo.com.cn。

方式均无显著变化。



图1 研究区站点分布

Fig.1 Spatial distribution of the stations in the study area

1.2 土壤干湿检验指标

黑龙江省气象局根据该省各地的土壤质地,考虑实际气候状况,结合多年的基础研究及实际使用经验,参照国家标准,确定了黑龙江省土壤旱涝检验指标,因此本文土壤干湿检验指标参照黑龙江省气象局确定的土壤湿度旱涝指标:当土壤相对湿度 $\leq 70\%$,土壤为偏干;在 $70\% \sim 90\%$,土壤湿度为正常; $> 90\%$,土壤湿度为偏湿^[13]。土壤相对湿度表达式如下:

$$\text{土壤相对湿度} = \frac{\text{土壤重量含水率}(\%)}{\text{田间持水率}(\%)} \times 100\%$$

1.3 数据处理方法

采用 SPSS 数据处理软件分析研究区各站点 1983—2009 年玉米生长季内平均土壤相对湿度与降水量的变化趋势,利用一元线性回归分析方法,分析研究区玉米生长季内土壤相对湿度与降水量的关系。

采用线性气候倾向率^[4],对研究区各站点 1983—2009 年生长季降水量及全生育期、拔节孕穗期、抽雄吐丝期的平均土壤湿度变化趋势进行估计,即: $\hat{y}(t) = a_0 + a_1 t$ 。其趋势变化率方程为: $d\hat{y}(t)/dt = a_1$ 。把 $a_1 \times 10$ 称作气候倾向率,表示气候要素的变化率,其符号正负表示升降。式中的系数 a_0 、 a_1 通过最小二乘法来确定,即满足 $\sum [y_n - \hat{y}(t)]^2 = \min$ 。

地理信息资料的处理是在 ArcGIS 9.2 空间分析模块中,利用 ArcCatalog 将黑龙江省研究区站点进行加载坐标文件数据工作,并进行地理坐标定义,转换成 Shapefile 格式文件;利用 ArcGIS 9.2 Analyst 模块下的 Interpolate to Raster 功能,采用反距离加权法将玉米生长季降水量、全生育期土壤湿度、拔节孕穗期土壤湿度、抽雄吐丝期土壤湿度及降水量年变化倾向率、各生育期土壤湿度年变化倾向率内插成 0.1°

$\times 0.1^\circ$ 的栅格数据,再根据黑龙江省边界数据对生成的栅格数据进行剪裁,完成文中各图的建立。研究中采用的地理坐标系是 WGS 1984^[14]。

2 结果与分析

2.1 玉米生长季土壤湿度的年变化趋势

图2为黑龙江省玉米生长季降水量的年变化特征,黑龙江省玉米生长季降水量的年变化总体上呈减少趋势,降水倾向率为 $-37.00 \text{ mm}/10\text{a}$,其中 1994 年生长季降水最多,为 612.15 mm ,2001 年生长季降水最少,为 273.62 mm ,两年相差 338.53 mm 。

玉米全生育期 $0 \sim 50 \text{ cm}$ 土壤相对湿度随年际的线性变化趋势为 $y = -0.359x + 799.573$ ($R = 0.578$),说明黑龙江省玉米全生育期土壤相对湿度随年际呈极显著线性下降趋势(图3),变化速率为 $3.59\%/10\text{a}$ 。这与黑龙江省近 30 年土壤湿度变化特征一致^[6]。从年际变化来看,27 年来黑龙江省玉米全生育期土壤干化程度明显,20 世纪 80 年代初期至 90 年代后期下降较为平缓,2000 年以后波动稍大。黑龙江省玉米生长季土壤相对湿度年变化趋势与降水量的年变化特征一致,均呈较明显的减小趋势,二者的相关系数为 0.723^{**} ($\text{Sig} = 0.000$,通过显著性检验),存在极显著的相关关系。这说明,1983—2009 年来的 27 年中自然降水是影响黑龙江省玉米生长季土壤干湿程度的主要因素。

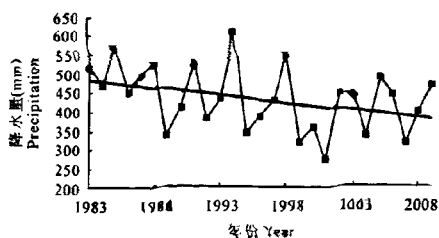


图2 研究区玉米生长季降水量变化

Fig.2 Change curve of annual precipitation during corn growing season in study area

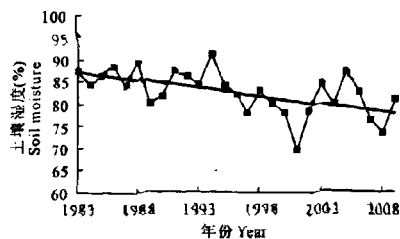


图3 玉米全生育期土壤相对湿度变化

Fig.3 Change curve of soil moisture during corn whole growing season

玉米拔节孕穗期 0~50 cm 土壤相对湿度的线性变化趋势为 $y = -0.239t + 560.188$ ($R = 0.329$), 说明黑龙江省玉米拔节孕穗期土壤相对湿度呈线性下降趋势(图 4), 变化速率为 2.39%/10a。下降趋势较全生育期缓慢。玉米抽雄吐丝期 0~50 cm 土壤相对湿度的线性变化趋势为 $y = -0.356t + 790.773$ ($R = 0.367$), 说明玉米抽雄吐丝期土壤相对湿度呈线性下降趋势(图 5), 变化速率为 3.56%/10a; 下降趋势较快, 接近全生育期。

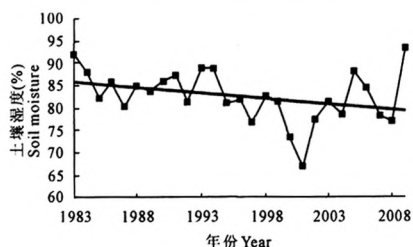


图 4 玉米拔节孕穗期土壤相对湿度变化

Fig.4 Change curve of soil moisture during corn jointing-booming stage

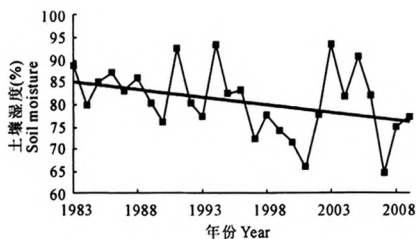


图 5 玉米抽雄吐丝期土壤相对湿度变化

Fig.5 Change curve of soil moisture during corn tasseling-silking stage

2.2 土壤湿度的空间分布特征

图 6 为黑龙江省南部地区玉米生长季降水量空间分布, 从图中可以看出, 玉米生长季降水量空间分布有如下特征: 中部农区和三江平原玉米生长季降水量相对较高, 在 420~540 mm 之间, 其中尚志降水量最高, 为 542 mm; 松嫩平原西部玉米生长季降水量相对较低, 在 350~420 mm 之间, 其中泰来降水量最低, 为 353 mm。

利用 1983—2009 年近 27 年玉米生长季全生育期土壤相对湿度的插值结果来分析其总体的空间分布特征。近 27 年来南部玉米产区全生育期、拔节孕穗期、抽雄吐丝期的土壤相对湿度空间分布如图 7~9 所示。

从玉米全生育期土壤相对湿度多年平均分布情况来看(图 7), 1983—2009 年, 各地土壤湿度分布存

在比较明显的差异, 牡丹江地区土壤相对湿度偏高, 在 85%~90% 之间, 松嫩平原西部地区及三江平原的佳木斯市土壤湿度相对偏低, 一般平均在 70%~80% 之间, 其中龙江、泰来、富裕为低值中心; 松嫩平原东部的哈尔滨市、双城、方正是一个次高值区域, 土壤比较湿润, 平均在 85% 左右。玉米拔节孕穗期土壤相对湿度多年平均分布特征与全生育期比较一致(图 8), 仅是松嫩平原西部偏旱的范围较全生育期缩小。玉米抽雄吐丝期土壤相对湿度多年平均较全生育期及拔节孕穗期均偏小(图 9), 松嫩平原西部偏旱范围比较大, 三江平原土壤相对湿度明显下降, 牡丹江地区土壤偏湿程度也不高、范围不大。这与文献[15]的研究结果相似。玉米生长季土壤湿度多年平均空间分布特征与降水量空间分布特征比较一致。这说明, 近 30 年来自然降水是影响黑龙江省南部地区玉米生长季土壤湿度的主要因素。

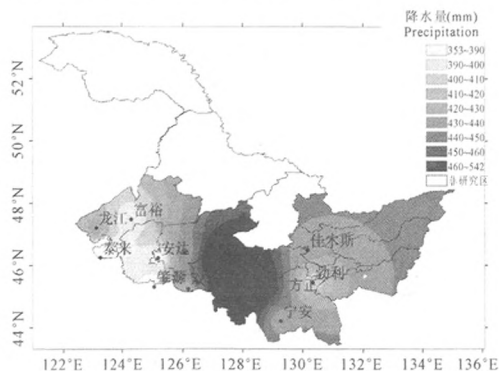


图 6 玉米生长季降水量空间分布(1983—2009 年平均值)

Fig.6 The spatial distribution of precipitation during corn growing season(mean value during 1983—2009)

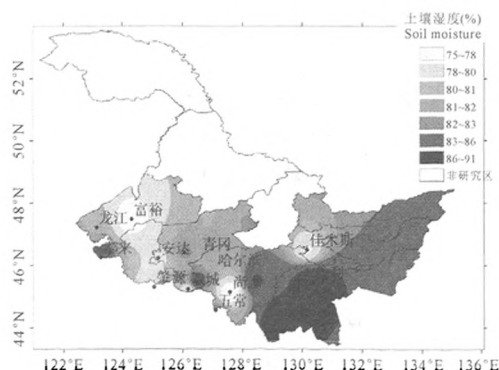


图 7 玉米全生育期土壤相对湿度空间分布(1983—2009 年平均值)

Fig.7 The spatial distribution of soil moisture during corn whole growing season (mean value during 1983—2009)

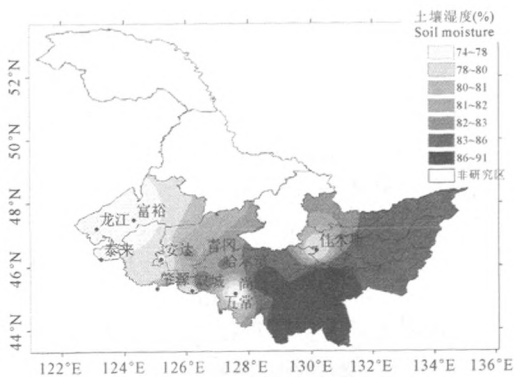


图8 玉米拔节孕穗期土壤相对湿度空间分布
(1983—2009 年平均值)

Fig.8 The spatial distribution of soil moisture during corn jointing-booting stage (mean value during 1983—2009)

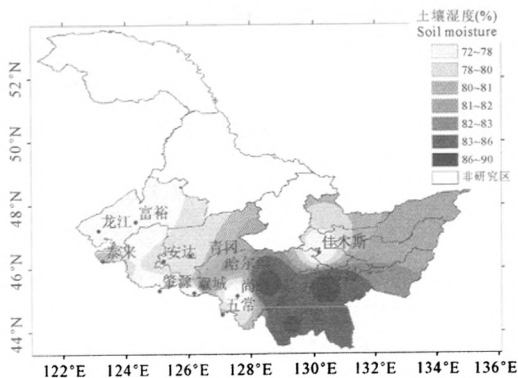


图9 玉米抽雄吐丝期土壤相对湿度空间分布
(1983—2009 年平均值)

Fig.9 The spatial distribution of soil moisture during corn tasseling-silking stage (mean value during 1983—2009)

2.3 土壤湿度变化的空间差异

从黑龙江省南部玉米产区生长季降水量年变化倾向率空间分布(图10)可以看出,研究区域均为负值区域,说明近27年来降水量均呈下降趋势,各地的下降趋势不同。三江平原、牡丹江地区及松嫩平原的安达玉米生长季降水量的下降趋势相对较小,在20%/10a至30%/10a之间,其中勃利的下降趋势最小,为8.5%/10a;松嫩平原西部下降趋势次之,在35%/10a至40%/10a之间;松嫩平原东部下降趋势最大,在40%/10a至60%/10a之间,其中哈尔滨地区土壤相对湿度下降趋势最大。

从玉米全生育期土壤相对湿度年变化倾向率空间分布(图11)可以看出,松嫩平原中东部、牡丹江大部为负值区,仅在松嫩平原西部的富裕、泰来及三江平原西部的佳木斯、勃利等少数站点为正值区。

在土壤湿度呈上升趋势的区域中,最大的上升趋势倾向率为8.65%/10a;在土壤湿度呈下降趋势的区域中,哈尔滨地区及青冈下降趋势最大,下降倾向率达到了6%/10a。与玉米全生育期土壤相对湿度年变化倾向率的空间分布比较,玉米拔节孕穗期土壤相对湿度年变化倾向率空间分布(图12)的负值区域的范围缩小、幅度降低,正值区域的范围略有扩大,幅度略有增加,其中最大的上升趋势倾向率为16.15%/10a。与玉米全生育期土壤相对湿度年变化倾向率的空间分布比较,玉米抽雄吐丝期土壤湿度年变化倾向率空间分布(图13)的负值区域范围略有扩大、幅度增加,其中最大的下降趋势倾向率为10.89%/10a,正值区域的范围略有缩小但幅度有所增加,其中最大的上升趋势倾向率为16.96%/10a。由此可见,玉米生长季全生育期、拔节孕穗期、抽雄吐丝期的土壤相对湿度下降的范围和幅度均占主导,主要表现为下降趋势。

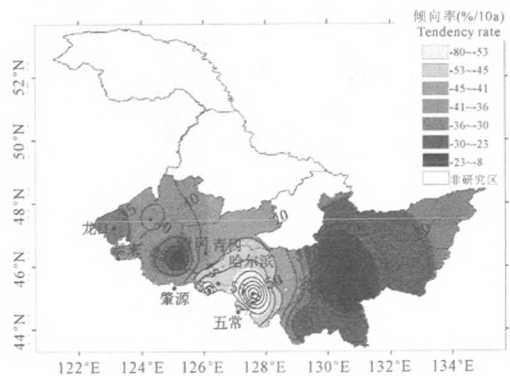


图10 玉米生长季降水量变化倾向率空间分布(%/10a)
Fig.10 The spatial distribution of precipitation change tendency rate during corn growing season

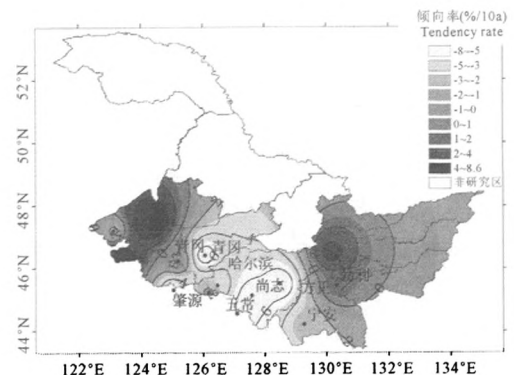


图11 玉米全生育期土壤相对湿度变化倾向率空间分布(%/10a)
Fig.11 The spatial distribution of soil moisture change tendency rate during corn whole growing season

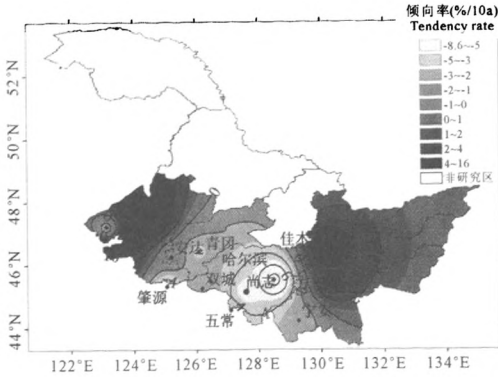


图 12 玉米拔节孕穗期土壤相对湿度变化倾向率空间分布(‰/10a)

Fig.12 The spatial distribution of soil moisture change tendency rate during corn jointing booting stage

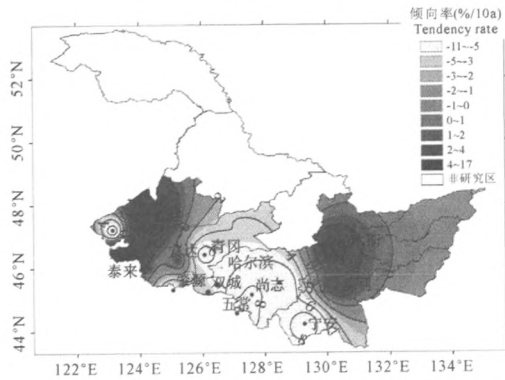


图 13 玉米抽雄吐丝期土壤相对湿度变化倾向率空间分布(‰/10a)

Fig.13 The spatial distribution of soil moisture change tendency rate during corn tasseling-silking stage

3 土壤相对湿度与玉米产量(百粒重)的相关分析

青冈位于松嫩平原的中部,泰来位于松嫩平原的西部,双城位于松嫩平原南部,这 3 个站点是黑龙江省主要的玉米产区,选择这 3 个站点分析玉米产量与各生育期土壤相对湿度的关系具有较好的代表性。因此,本文直接利用青冈、泰来、双城 3 站的玉米实际单产资料(百粒重),采用一元二次回归方法,分析 1983—2009 年 3 站玉米实际单产与玉米全生育期、拔节孕穗期、抽雄吐丝期、抽雄前 10 天不同生育期土壤相对湿度的关系,发现这 3 个站点的玉米实际单产与各生育期土壤相对湿度均呈显著(Sig < 0.05)或极显著(Sig < 0.001)的相关关系(表 1)。根据回归方程显示,随着土壤相对湿度的增加,玉米单产明显增加,当土壤湿度处于较为适宜状态时,玉米的产量达最高,然后随着土壤湿度的增加,玉米产量呈下降趋势。可以看出,土壤湿度偏低或偏高对玉米产量均有不利影响,土壤湿度在一个适宜的范围对玉米产量的形成至关重要。

4 结论与讨论

本文利用 GIS 空间分析模块研究探讨了 1983—2009 年黑龙江省南部玉米全生育期、拔节孕穗期、抽雄吐丝期土壤相对湿度的时空变化特征,得到如下结论:

1) 从年际变化来看,27 年来研究区玉米全生育

表 1 玉米产量(百粒重)与各生育期土壤相对湿度的相关分析

Table 1 The correlation analysis between corn yield (100-grain weight) and soil moisture in different growing seasons

站号(站名) Station	生育期 Growing season	R ²	F	Sig	方程 Equation
50844 泰来 Tailai	全生育期 Whole growing season	0.658	7.706	0.014 *	$y = -1.191x^2 + 0.011x + 60.986$
	拔节孕穗期 Jointing-booting stage	0.541	4.716	0.044 *	$y = 1.105x^2 - 0.006x - 15.066$
	抽雄吐丝期 Tasseling-silking stage	0.764	12.984	0.003 * *	$y = -0.115x^2 + 0.002x + 30.218$
	抽雄前 10 天 Previous ten days in tasseling-silking stage	0.779	14.078	0.002 * *	$y = -0.303x^2 + 0.003x + 38.01$
50851 青冈 Qinggang	全生育期 Whole growing season	0.803	18.293	0.001 * *	$y = -107.309x^2 + 0.676x + 4262.516$
	拔节孕穗期 Jointing-booting stage	0.571	5.997	0.022 *	$y = -52.099x^2 + 0.341x + 2007.133$
	抽雄吐丝期 Tasseling-silking stage	0.494	4.392	0.047 *	$y = -52.609x^2 + 0.35x + 1992.502$
	抽雄前 10 天 Previous ten days in tasseling-silking stage	0.461	3.843	0.062	$y = -22.287x^2 + 0.163x + 782.892$
50955 双城 Shuangcheng	全生育期 Whole growing season	0.388	5.396	0.015 *	$y = -127.997x^2 + 0.786x + 5212.972$
	拔节孕穗期 Jointing-booting stage	0.492	8.229	0.003 * *	$y = -115.467x^2 + 0.686x + 4861.426$
	抽雄吐丝期 Tasseling-silking stage	0.203	2.161	0.146	$y = -56.662x^2 + 0.352x + 2300.081$
	抽雄前 10 天 Previous ten days in tasseling-silking stage	0.234	2.598	0.104	$y = -29.234x^2 + 0.174x + 1243.447$

期、拔节孕穗期、抽雄吐丝期的土壤水分呈显著下降趋势,与降水量的年变化特征一致,二者存在极显著的相关关系。1983—2009年来的27 a中自然降水是影响玉米生长季土壤干湿程度的主要因素。

2) 黑龙江省南部玉米全生育期、拔节孕穗期、抽雄吐丝期土壤相对湿度的空间分布存在明显差异,这种空间分布与玉米生长季降水量的空间分布存在相关性,松嫩平原中东部及三江平原土壤相对湿度正常或偏高,松嫩平原西部土壤相对湿度偏低。

3) 黑龙江省南部玉米生长季土壤相对湿度年变化倾向率空间分布有如下特征:松嫩平原中东部、牡丹江大部呈下降趋势,仅在松嫩平原西部的富裕、泰来及三江平原西部的佳木斯、勃利等地呈增加趋势。土壤相对湿度的变化趋势与降水量的变化趋势基本吻合,气候变化是导致黑龙江省玉米产区土壤相对湿度变化存在时空差异的主导因素^[6,13]。

4) 黑龙江省南部玉米主产区代表性站点的玉米实际单产与全生育期、拔节孕穗期、抽雄吐丝期、抽雄前10天土壤湿度呈显著($\text{Sig} < 0.05$)或极显著($\text{Sig} < 0.001$)的相关关系,在一定的土壤湿度范围内,玉米产量随着土壤湿度的增加先升后降,适宜的土壤湿度对玉米产量的形成影响较大,土壤相对湿度偏低或偏高对玉米产量的形成均有不利影响。

参考文献:

[1] 气候变化国家评估报告编写委员会. 气候变化国家评估报告

[M]. 北京: 科学出版社, 2007.

- [2] 吴建国, 吕佳佳. 气候变化对我国干旱区范围的潜在影响[J]. 环境科学研究, 2009, 22(2): 199-206.
- [3] 李廷全, 那济海, 王 桦, 等. 松嫩平原近年春旱特点浅析[J]. 中国农业气象, 2006, 27(1): 53-55.
- [4] 李秀芬, 李 帅, 纪瑞鹏, 等. 东北地区主要作物生长季降水量的时空变化特征研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(32): 18351-18353; 18364.
- [5] 李 琛, 沈新勇, 李伟平. 东北地区土壤湿度的诊断分析[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(9): 4696-4700.
- [6] 姜丽霞, 李 帅, 纪仰恩, 等. 1980—2005年松嫩平原土壤湿度对气候变化的响应[J]. 应用生态学报, 2009, 20(1): 91-97.
- [7] 张淑杰, 张玉书, 纪瑞鹏, 等. 东北地区玉米干旱时空特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(1): 231-236.
- [8] 孙艳玲, 司振江, 滕云松. 嫩平原玉米种植区域旱情分析[J]. 黑龙江水专学报, 2010, 37(1): 127-128.
- [9] 李秋祝, 赵宏伟, 魏永霞, 等. 春玉米不同生育时期干旱对主要生理参数的影响[J]. 东北农业大学学报, 2006, 37(1): 8-11.
- [10] 白莉萍, 隋方功, 孙朝晖, 等. 土壤水分胁迫对玉米形态发育及产量的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(7): 1556-1560.
- [11] 高家华, 刘 玲. 低温、干旱胁迫对抽雄期玉米叶片光和效率和光合作用速率的影响[J]. 气象, 2007, 33(4): 88-91.
- [12] 范秀伟. 干旱对玉米生长发育的影响及防御对策[J]. 现代农业科技, 2009, 21: 57.
- [13] 姜丽霞, 王 桦, 李 帅, 等. 黑龙江省土壤湿度的气候响应及其与大豆产量的关系[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(1): 34-40.
- [14] 吴秀芹, 张洪岩, 李瑞改, 等. ArcGIS9 地理信息系统应用与实践[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [15] 韩俊杰, 高水刚, 南 瑞, 等. 1984—2005年黑龙江省主要农区土壤湿度的变化特征[J]. 中国农业气象, 2009, 30(1): 41-44.

Characteristics of long-term temporal and spatial variation of corn field soil moisture and relationship between soil moisture and corn yield in South Heilongjiang

LU Jia-jia, YANG Xiao-qiang, LI Shuai, JIANG Li-xia

(Heilongjiang Provincial Institute of Meteorological Science, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: Based on the observation data of soil moisture during corn growing season (from May to September) in 1983—2009 from 15 agro-meteorological stations in South Heilongjiang Province, with the statistical method of the climatic tendency rate and trend coefficient, using of GIS spatial analysis module, the characteristics of spatial and temporal variations of soil moisture and relationship between them at different growth stages of corn growing season in South Heilongjiang Province were analyzed. The results showed that: Soil moisture during different growth stages of corn in 1983—2009 had a decreasing trend and was significantly positively correlated to precipitation; The spatial distribution of soil moisture was obviously different in various areas, the soil moisture was normal or relatively higher in Sanjiang Plain and the middle agricultural area, while it was relatively lower in western Songnen Plain. The spatial distribution of annual change trend rate of soil moisture showed that: Most of the Middle East Songnen Plain and most of Mudanjiang area had a decreasing trend, only a few areas showed an increasing trend. In the dry areas of Qinggang and Tailai in western Songnen Plain, corn yield and the actual growth period of each growing season and soil moisture showed a significantly positive correlation, and partial dry or wet soil had a adverse influence on corn yield.

Keywords: Heilongjiang Province; corn growing season; soil moisture; spatial and temporal distribution; yield