

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 10 期 Vol.33 No.10 **2013**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 10 期 2013 年 5 月 (半月刊)

目次

福建长汀水土保持专题

- 福建省长汀县水土流失区的时空变化研究——“福建长汀水土保持”专题序言 徐涵秋 (2945)
- 福建省长汀县河田盆地近 35 年来地表裸土变化的遥感时空分析 徐涵秋 (2946)
- 福建省长汀县河田水土流失区植被覆盖度变化及其热环境效应 徐涵秋, 何 慧, 黄绍霖 (2954)
- 红壤侵蚀地马尾松林恢复后土壤有机碳库动态 何圣嘉, 谢锦升, 曾宏达, 等 (2964)
- 基于 RUSLE 的福建省长汀县河田盆地土壤侵蚀定量研究 杨冉冉, 徐涵秋, 林 娜, 等 (2974)
- 南方红壤水土流失区土地利用动态变化——以长汀河田盆地为例 林 娜, 徐涵秋, 何 慧 (2983)
- 亚热带地区马尾松林碳储量的遥感估算——以长汀河田盆地为例 黄绍霖, 徐涵秋, 林 娜, 等 (2992)
- 南方红壤侵蚀区土壤肥力质量的突变——以福建省长汀县为例 陈志强, 陈志彪 (3002)

前沿理论与学科综述

- 土壤有机质转化及 CO_2 释放的温度效应研究进展 沈征涛, 施 斌, 王宝军, 等 (3011)
- 湖泊蓝藻水华发生机理研究进展 马健荣, 邓建明, 秦伯强, 等 (3020)

个体与基础生态

- 岩溶区不同植被下土壤水溶解无机碳含量及其稳定碳同位素组成特征 梁 轩, 汪智军, 袁道先, 等 (3031)
- 黄脊雷鳉越冬卵的滞育发育特性 朱道弘, 陈艳艳, 赵 琴 (3039)
- 香港巨牡蛎与长牡蛎种间配子兼容性 张跃环, 王昭萍, 闫喜武, 等 (3047)

种群、群落和生态系统

- 西藏珠穆朗玛峰国家级自然保护区鸟类群落结构与多样性 王 斌, 彭波涌, 李晶晶, 等 (3056)
- 采伐对长白山阔叶红松林生态系统碳密度的影响 齐 麟, 于大炮, 周旺明, 等 (3065)
- 胶州湾近岸浅水区鱼类群落结构及多样性 徐宾铎, 曾慧慧, 薛 莹, 等 (3074)
- 黄河口盐地碱蓬湿地土壤-植物系统重金属污染评价 王耀平, 白军红, 肖 蓉, 等 (3083)
- 不同起始状态对草原群落恢复演替的影响 杨 晨, 王 炜, 汪诗平, 等 (3092)
- 施肥梯度对高寒草甸群落结构、功能和土壤质量的影响 王长庭, 王根绪, 刘 伟, 等 (3103)
- 高寒退化草地狼毒种群株丛间格局控制机理 高福元, 赵成章 (3114)
- 藏东南色季拉山西坡土壤有机碳库研究 马和平, 郭其强, 刘合满, 等 (3122)
- 灵石山不同海拔米槠林优势种叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值与叶属性因子的相关性 王英姿 (3129)
- 西门岛人工秋茄林恢复对大型底栖生物的影响 黄 丽, 陈少波, 仇建标, 等 (3138)
- 喀斯特峰丛洼地土壤剖面微生物特性对植被和坡位的响应 冯书珍, 苏以荣, 秦新民, 等 (3148)
- 青藏高原高寒草甸植被特征与温度、水分因子关系 徐满厚, 薛 娴 (3158)

景观、区域和全球生态

近 60 年挠力河流域生态系统服务价值时空变化..... 赵 亮,刘吉平,田学智 (3169)

基于系统动力学的雏菊世界模型气候控制敏感性分析..... 陈海滨,唐海萍 (3177)

资源与产业生态

主要气候因子对麦棉两熟棉花产量的影响..... 韩迎春,王国平,范正义,等 (3185)

低覆盖度行带式固沙林对土壤及植被的修复效应..... 姜丽娜,杨文斌,卢 琦,等 (3192)

不同土地利用方式土下岩溶溶蚀速率及影响因素..... 蓝家程,傅瓦利,彭景涛,等 (3205)

农地保护的外部效益测算——选择实验法在武汉市的应用 陈 竹,鞠登平,张安录 (3213)

研究简报

温度、投饵频次对白色霞水母无性繁殖与螅状体生长的影响 孙 明,董 婧,柴 雨,等 (3222)

内蒙古达赉湖西岸地区大鸕巢穴特征和巢址选择..... 张洪海,王 明,陈 磊,等 (3233)

红外相机技术在鼠类密度估算中的应用..... 章书声,鲍毅新,王艳妮,等 (3241)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-05



封面图说: 色季拉山的长苞冷杉和高山杜鹃林——色季拉山高海拔处的植被主要有长苞冷杉、林芝云杉和高山杜鹃等,再高海拔地区则分布有高山灌丛、草甸等。长苞冷杉为我国特有种,属松科常绿乔木,分布于西藏东南部高山地带。树高可达 40m,树皮暗褐色,针叶较短;其球果圆柱形,直立。长苞冷杉的形态独特,与分布区内多种冷杉有密切的亲缘关系,和云杉、杜鹃的分布也彼此交叠。随着色季拉山体海拔的升高,区域气候对于山地土壤从黄壤至棕色森林土、直至高山草甸土的完整发育,以及对森林生态系统类型的形成都产生直接而深刻的影响。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201203080313

韩迎春, 王国平, 范正义, 李亚兵, 冯璐, 毛树春. 主要气候因子对麦棉两熟棉花产量的影响. 生态学报, 2013, 33(10): 3185-3191.

Han Y C, Wan G P, Fan Z Y, Li Y B, Feng L, Mao S C. Analysis of key climatic factors influencing on seed cotton yield in cotton-wheat double cropping. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(10): 3185-3191.

主要气候因子对麦棉两熟棉花产量的影响

韩迎春, 王国平, 范正义, 李亚兵, 冯璐, 毛树春*

(中国农业科学院棉花研究所, 棉花生物学国家重点实验室, 安阳 455000)

摘要:采用灰色关联度分析法和逐步回归分析法, 分析了麦棉两熟种植棉花生育期间主要气候因子与籽棉产量的关系。灰色关联度分析法结果表明, 黄淮海棉区棉花产量在年度间的差异主要受积温的影响, 4—10 月份 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温与籽棉产量的关联系数 0.4463; 其次为日照时数, 关联系数 0.4052, 第三是降雨量, 关联系数 0.3133。在棉花生长的 4—10 月期间, 以 8 月、9 月的日照时数和 8 月份 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 的积温对产量的影响最大, 关联系数分别达到 0.7201、0.7116 和 0.7042。逐步回归分析法结果同样表明, 积温是影响产量的主要因子, 且为正效应; 而降水量对产量的影响为负效应; 得出的回归方程 ($P=0.0007598, R^2=0.7477$) 可试用于黄淮棉区两熟籽棉产量的预测和预报。

关键词:麦棉两熟; 籽棉产量; 气候因子

Analysis of key climatic factors influencing on seed cotton yield in cotton-wheat double cropping

HAN Yingchun, WAN Guoping, FAN Zhengyi, LI Yabing, FENG Lu, MAO Shuchun*

Cotton Research Institute, Ministry of Agriculture/State Key Laboratory of Cotton Biology, Anyang 455000, China

Abstract: The gray relational grade and stepwise regression analysis were conducted to analyze the relationship between seed cotton yield and major climate factors, including accumulated temperature, rainfall and sunshine hours, in cotton-wheat double cropping system in Huanghuaihai cotton region from 1993 to 2010. The results indicated that the yield variations among different years were mainly influenced by accumulated temperature above 20°C , and followed by sunshine hours and rainfall from April to October, with the correlation coefficients of 0.4463, 0.4052 and 0.3133, respectively. During the growing season, the yield was mainly affected by sunshine hours in August, sunshine hours in September and accumulated temperature above 20°C in August. The correlation coefficients were 0.7201, 0.7116 and 0.7042, respectively. The stepwise regression analysis also showed that the accumulated temperature was the key factor positively affected the yield. In contrast, rainfall showed a negative effect. The regressive equation ($P=0.0007598, R^2=0.7477$) can be applied to predict the seed cotton yield of cotton-wheat double cropping system in Huanghuaihai cotton region.

Key Words: cotton-wheat double cropping; seed cotton yield; climatic factor

麦棉两熟种植是提高植棉整体效益, 充分利用自然资源, 达到高产多收的一种种植方式。20 世纪 50 年代至 80 年代从起步走向发展, 90 年代发展达到高峰^[1], 1992 年黄河流域棉区两熟种植面积达 218.8 万 hm^2 , 占本流域棉田的 60.5%。然而麦棉两熟种植棉花产量年际间波动很大, 陆绪华等 1987 年报道两熟套种皮棉

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项资助 (SJA0908)

收稿日期: 2012-03-08; 修订日期: 2012-08-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hyccky@163.com

产量 964.5 kg/hm^2 (约相当于籽棉 2473.5 kg/hm^2)^[2]; 李绍虞等 1987 年报道山东省麦棉两熟籽棉产量 3900.0 kg/hm^2 ^[3]; 梁理民等 1994 年报道陕西省棉麦两熟棉花籽棉产量 2428.5 kg/hm^2 ^[4]。中国农业科学院棉花研究所 1993—2010 年连续 18a 定点定位试验结果麦棉套作条件下籽棉产量平均 2660.2 kg/hm^2 , 变化范围在 $1282.5—3583.5 \text{ kg/hm}^2$, 变异系数达到 25.17% (表 1)。究其原因, 笔者认为棉花生育期间, 气候因子的变化是棉花产量年际间波动的主要控制因子。

有关气候因子对棉花产量影响的研究有许多报道^[5-7], 但其研究方法多采用相关分析方法进行, 由于这些方法受信息量不完全及数学模型的制约, 难以取得满意的结果。1982 年邓聚龙教授创建了灰色系统理论^[8], 对信息不完全系统(灰色系统)提供了有效的分析手段。近年来, 灰色系统理论得到广泛应用。逐步回归方法是一种能自动地从大量可供选择的变量中选择那些对建立回归方程比较重要的变量的方法, 采用从包含全部变量的回归方程中逐次剔除不显著的因子的方法选择“最优”的回归方程^[7,9-18]。本研究应用灰色关联分析法和逐步回归分析方法, 就黄淮海棉区安阳试验区 1993—2010 年麦棉两熟种植 18 年来棉花籽棉产量和相应气象资料进行关联度分析, 寻求影响两熟种植棉花籽棉产量的关键气象因子, 建立两熟籽棉产量与关键气象因子的回归模型, 提出相应的技术措施, 为麦棉两熟可持续发展提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与品种

气象资料由河南省安阳市气象局提供。以 1993—2010 年棉花生长季节 4—10 月份的 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温、 $\geq 15^\circ\text{C}$ 积温、 $\geq 20^\circ\text{C}$ 积温、降水量和日照时数为主要气候因子, 以中国农业科学院棉花研究所试验地 1993—2010 年麦棉两熟种植棉花平均籽棉单产为相关因子, 进行灰色关联分析和多元逐步回归分析。棉花品种选用该棉区主要推广品种。麦棉两熟配置方式为标准 4-2 式(带宽 1.4m, 种 4 行小麦, 2 行棉花)和 3-2 式(带宽 1.4m, 种 3 行小麦, 2 行棉花), 均采用垄作, 地膜覆盖。

1.2 数据处理

利用 Excel 对气象资料和试验田产量进行整理。按灰色系统理论要求^[7-8,14-16], 将 1993—2010 年籽棉产量、棉花全生育期 4—10 月 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温、 $\geq 15^\circ\text{C}$ 积温、 $\geq 20^\circ\text{C}$ 积温、降水量和日照时数视为一个整体, 构建一个灰色系统。麦棉两熟籽棉产量为母序列 $Y_{(i)}$, $i=1, 2, \dots, 18$; 全生育期 4—10 月 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温(X_{1i})、 $\geq 15^\circ\text{C}$ 积温(X_{2i})、 $\geq 20^\circ\text{C}$ 积温(X_{3i})、降水量(X_{4i})、日照时数(X_{5i})、每月 $\geq 20^\circ\text{C}$ 积温($M_{1i}—M_{7i}$)、降水量($M_{8i}—M_{14i}$)、日照时数($M_{15i}—M_{21i}$)等气候因子为子序列, 数据无量纲的标准化变换采用均值化变换, $Y_{(i)} = Y_i / \bar{Y}_i$; $X_{ji} = X_{ji} / \bar{X}_{ji}$ ($j=1, 2, \dots, 5$); $M_{ki} = M_{ki} / \bar{M}_{ki}$ ($k=1, 2, \dots, 2, 1$)。即先分别求出各个序列的平均值, 再利用平均值去除对应各序列中的各个原始数据, 得出均值化序列, 采用“DPS 数据处理系统”软件^[13]计算各参数与产量的灰色关联度。以麦棉两熟籽棉产量为因变量(表 1), 棉花全生育期气候因子为自变量, 采用“DPS 数据处理系统”软件^[13]进行逐步回归分析。

2 结果与分析

2.1 两熟棉花籽棉产量与气候因子的灰色关联分析

2.1.1 棉花全生育期气候因子与产量的关联度

由棉花籽棉产量与全生育期气候因子的关联序可以看出(表 2), 棉花生长季节 4—10 月积温是影响棉花产量的主导气候因子, $\geq 20^\circ\text{C}$ 积温、 $\geq 15^\circ\text{C}$ 积温、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温等气候因子与棉花籽棉产量的关联系数分别为 0.4513、0.4442 和 0.4309; 其次为日照时数, 与籽棉产量的关联系数为 0.4099; 降水量对籽棉产量的影响最小, 关联系数为 0.3060。

1993—2010 年中以 1996 年棉花籽棉产量最低(表 1), 仅 1282.5 kg/hm^2 , 较 1993—2010 年平均产量减低 1377.7 kg/hm^2 , 减幅达到 51.8%。该年度 4—10 月 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温、 $\geq 15^\circ\text{C}$ 积温、 $\geq 20^\circ\text{C}$ 积温和日照时数较 18a 平均分别减少 $119.4^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 、 $136.4^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 、 $254.9^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 和 184.9h, 而降水量则增加 142.8mm。1994 年籽棉产量 3583.5 kg/hm^2 , 产量最高, 较 18 年平均产量增幅 34.7%。该年度 4—10 月 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温、 $\geq 15^\circ\text{C}$ 积温、 $\geq 20^\circ\text{C}$

积温和日照时数较 18 年平均分别增加 112.3℃·d、187.3℃·d、213.6℃·d 和 254.0h,而降水量则增加 172.4mm。籽棉产量最高和最低的 1994、1996 年,降水量均较平均值是增加的,气候因子的区别只在于棉花生长的 4—10 月份期间,1994 年的积温和日照时数增加,1996 年积温和日照时数减少;其日照时数除 6 月份与 1996 年和 18 年平均值持平外,其余月份均明显增设。说明决定产量高低的主要气候因子是日照时数和积温,而降水量对产量的影响较小;低温、光照少,降水多的年景产量低,高温、光照充足的年景,降水多产量也会增高。这和关联度分析结果一致,表明利用灰色关联度分析法进行棉花生育期主要气候因子与年际间产量的关系分析是可行的,得出的结论可靠,和生产实际情况相吻合。

表 1 1993—2010 年 4—10 月份主要气候因子与籽棉产量

Table 1 Key climatic factors in the total growing period of cotton from April to October and seed cotton yield of cotton-wheat double cropping system in 1993—2010

年份 Year	≥10℃ 积温 Accumulated temperature of ≥10℃ /(℃·d)	≥15℃ 积温 Accumulated temperature of ≥15℃ /(℃·d)	≥20℃ 积温 Accumulated temperature of ≥20℃ /(℃·d)	降水量 Rainfall/mm	日照时数 Sunshine hours /h	籽棉产量 Seed cotton /(kg/hm ²)
1993	4332.0	3977.4	3059.7	432.9	1352.5	1953.0
1994	4627.1	4358.6	3497.2	639.8	1450.0	3583.5
1995	4419.3	3967.3	3045.4	411.2	1319.8	1464.0
1996	4395.4	4034.9	3028.7	610.2	1011.1	1282.5
1997	4548.7	4221.8	3189.9	199.7	1435.3	2908.5
1998	4675.0	4408.3	3657.9	630.2	1075.3	3102.0
1999	4590.2	4332.8	3271.3	403.6	1015.3	3448.5
2000	4574.9	4199.3	3469.7	922.9	1147.5	2466.0
2001	4659.0	4338.8	3518.5	431.7	1115.4	3202.5
2002	4449.4	4128.4	3258.2	290.0	1096.0	3201.0
2003	4374.0	3937.0	3057.6	484.8	828.3	1878.0
2004	4395.4	3974.7	3104.9	455.3	1283.4	2382.0
2005	4611.5	4297.1	3331.2	411.6	1366.6	3262.5
2006	4616.3	4342.8	3371.0	276.5	1123.8	2934.0
2007	4466.1	3961.9	3299.5	337.8	1144.4	3174.0
2008	4477.5	4119.5	3221.9	486.4	1131.5	2608.5
2009	4520.9	4387.3	3213.3	598.3	1328.8	2523.0
2010	4534.0	4095.5	3508.2	390.0	1303.7	2509.5
平均 Average	4511.7	4167.4	3268.5	486.5	1192.0	2660.2
CV/%	2.33	4.05	5.77	35.85	13.98	25.17

表 2 1993—2010 年棉花生育期(4—10 月)气候因子与两熟棉花籽棉产量的关联分析

Table2 Analysis on the grey relational grade about climatic elements of cotton growth period (from April to October) and seed cotton yield in 1993—2010

项 目 Item	≥10℃ 积温 Accumulated temperature of ≥10℃ /(℃·d)	≥15℃ 积温 Accumulated temperature of ≥15℃ /(℃·d)	≥20℃ 积温 Accumulated temperature of ≥20℃ /(℃·d)	降水量 Rainfall/mm	日照时数 Sunshine hours/h
关联度 Grey relational coefficient	0.4309	0.4442	0.4513	0.3060	0.4099
关联序 Gradation of grey relational coefficient	$X_3 > X_2 > X_1 > X_5 > X_4$				

2.1.2 棉花不同生育期气候因子与产量的关联度

麦棉两熟籽棉产量与棉花不同生育期4—10月份每月气候因子关联序为 $M_{19} > M_{20} > M_5 > M_4 > M_3 > M_{16} > M_2 > M_6 > M_{15} > M_{17} > M_{18} > M_{21} > M_{10} > M_{11} > M_1 > M_8 > M_{13} > M_9 > M_{12} > M_7 > M_{14}$ (表3)。在21个因子中,关联序中前3位为8月、9月日照时数和8月份 $\geq 20^\circ\text{C}$ 积温,表明棉花生育期内各月气候因子以日照时数和积温对产量影响最大,降水量对棉花产量的影响较小。这和棉花全生育期4—10月各气候因子与棉花产量的关联分析结果一致。

棉花不同生育期日照时数与产量的关联度(表3)。两熟种植棉花籽棉产量与棉花不同生育期的日照时数关联度最大。其中以花铃期8月份的日照时数关联度最大,其次为9月、第三是5月;4月、6月、7月和10月的日照时数和产量的关联度也较高。表明棉花盛花结铃期8月份的日照时数高低是制约产量的最主要因素,苗期(5月份)和吐絮期(9月份)日照时数的高低对产量的作用次之,吐絮后期(10月)的日照时数对产量的影响最弱。因此黄淮海棉区麦棉两熟套作棉花前期采取重施基肥,促进生长;中期采取重施花铃肥,科学灌水、化调;后期如遇低温阴雨,采取推株并垄、去老叶、科学化控,增加透光率是行之有效的增产措施。

表3 棉花不同生育期气候因子与两熟棉花籽棉产量的关联分析(1993—2010年)

Table 3 Analysis on the grey relational grade about climatic elements in different cotton growth period and seed cotton yield in 1993—2010

	生育期 Growth period						
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
$\geq 20^\circ\text{C}$ 积温 Temperature	0.47440	0.66911	0.69016	0.69635	0.70416	0.66893	0.37357
降水量 Sunshine	0.45099	0.42312	0.54139	0.48115	0.40373	0.44058	0.36433
日照时数 Rainfall	0.64858	0.68396	0.64353	0.63454	0.72010	0.71156	0.59425

棉花不同生育期 $\geq 20^\circ\text{C}$ 积温与产量的关联度(表3)。积温是影响两熟种植棉花产量的重要气候因子。其中以棉花盛花结铃期8月份 $\geq 20^\circ\text{C}$ 积温与产量的关联度最大,其次为7月,第三为9月;6月、5月 $\geq 20^\circ\text{C}$ 积温与产量的关联度也较高。表明积温对产棉花产量的影响最高的时期在开花结铃的7—8月份;在棉花生长的整个生育期间,5—9月积温的高低对棉花的产量影响最大。5—9月份是棉花产量形成的关键时期,此阶段温度高有利于棉株前期生长、中期蕾、花、铃的发育和后期的吐絮高产,如果前中期特别是花铃期的积温低,就会延缓生育进程,贪青晚熟,造成减产。在栽培措施上前期采取地膜覆盖增加地温,中后期科学施肥和化学调控,控制合理株型,构建通风透光适宜的群体是高产的关键措施。

棉花不同生育期降水量与产量的关联度(表3)。降水量对两熟种植棉花产量影响小于日照时数和积温,两熟种植棉花产量和棉花生育期内各月降水量关联度均较小。其中以6月降水量的关联度最大,其次为7月,第三为4月、9月和5月。表明降水量主要是通过其对现蕾、开花、结铃的6—7月份的棉花生长情况的影响来制约棉花产量的提高。6—7月降雨量增加,影响棉花现蕾、开花和结铃,脱落率提高,导致减产。后期9月棉花吐絮期降水增多,田间湿度增加,不仅影响棉花正常吐絮,而且烂铃增加,从而导致减产。因此,麦棉两熟种植在6月上旬麦收后,应及时灭茬,中耕结合施蕾肥,促进棉花早发棵,搭好丰产架子;棉花吐絮期及时摘收吐絮棉铃,去无效果枝、打老叶以改善棉田通风透光条件,降低田间湿度,可有效防止烂铃,提高棉花产量。

2.2 主要气候因子与籽棉产量的多元逐步回归分析

2.2.1 棉花全生育期气候因子与产量的多元逐步回归分析

以麦棉两熟籽棉产量为因变量(表1),全生育期积温选用与籽棉产量关联度最高的 $\geq 20^\circ\text{C}$ 积温(X_3),以及降水量(X_4)和日照时数(X_5)等3个气候因子,共54个自变量,进行逐步回归分析。在3个气候影响因子中,筛选出对建立回归方程比较重要的变量,建立“最优”的回归方程:

$$Y = -5805.52119 + 2.7040824572X_3 - 1.5008364122X_4 + 0.23567189240X_5$$

方程的 $P=0.005168$, $R^2=0.5867$, Durbin-Watson=2.1,表明通过逐步回归建立的方程可以试用于黄淮棉区两熟籽棉产量的预测预报。

通径分析可以有效地评判各种影响因子效应,确定不同因子对结果的影响程度,因此对各气象关键因子与两熟棉花籽棉产量进行通径分析(表5),决定系数 R^2 达0.5867,表明它们是影响两熟棉花籽棉产量的主要气象因子,对籽棉产量影响最大的是 $\geq 20^\circ\text{C}$ 积温,为正效应;其次是降水量,为负效应;第三是日照时数,为正效应。表明积温是决定产量的主要因素,且为正效应,这和灰色关联分析结果一致。

表4 回归方程的相关参数

Table 4 The correlative parameter of regressive equation

变量 Variable	回归系数 Regressive coefficient	回归系数 P 值 P value of regressive coefficient	方程 P 值 P value of regressive equation	R^2	Durbin-Watson 统计量 Durbin-Watson value
X_3	2.7040825	0.000784647	0.005168	0.5867	2.1
X_4	-1.500836	0.056056935			
X_5	0.2356719	0.740513397			

表5 入选方程各气象因子的直接通径系数

Table 5 Direct path coefficients of each climatic elements

气象因子 Climatic elements	X_3	X_4	X_5	R^2
直接通径系数 Direct path coefficient	0.7626	-0.3742	0.05869	0.5867

2.2.2 棉花不同生育期气候因子与产量的多元逐步回归分析

麦棉两熟籽棉产量与棉花生育期4—10月每月 $\geq 20^\circ\text{C}$ 积温(M_1-M_7)及降水量(M_8-M_{14})等252个自变量逐步回归分析,建立“最优”回归方程:

$$Y = -6407.38127 + 10.779309138M_4 + 8.412503403M_9 + 7.058092973M_{10} - 5.458101094M_{12}$$

表6 回归方程的相关参数

Table 6 The correlative parameter of regressive equation

变量 Variable	回归系数 Regressive coefficient	回归系数 P 值 P value of regressive coefficient	方程 P 值 P value of regressive equation	R^2	Durbin-Watson 统计量 Durbin-Watson value
M_4	10.7793090	0.0070568	0.0007598	0.7477	3.0998
M_9	8.4125034	0.0330676			
M_{10}	7.0580930	0.0203180			
M_{12}	-5.4581010	0.0035845			

入选方程的变量为7月 $\geq 20^\circ\text{C}$ 积温(M_4),5月、6月和8月降水量(M_9 、 M_{10} 和 M_{12}),各因子 P 值均小于0.03(表6),建立方程的 $P=0.0007598$, $R^2=0.7477$,Durbin-Watson=3.0998,方程可以试用于黄淮棉区两熟籽棉产量的预测预报。

通径分析决定系数 R^2 达0.7477(表7),表明入选因子是影响两熟棉花籽棉产量的主要气象因子。对籽棉产量影响最大的是 M_{12} ,即8月份降水量,为负效应,降水越多产量越低;其次为 M_4 ,即7月份 $\geq 20^\circ\text{C}$ 积温,为正效应,积温越多产量越高;第三是 M_9 和 M_{10} ,即5月和6月降水量,为正效应。

表7 入选方程各气象因子的直接通径系数

Table 7 Direct path coefficients of each climatic elements

气象因子 Climatic elements	M_4	M_9	M_{10}	M_{12}	R^2
直接通径系数 Direct path coefficient	0.4591	0.3690	0.3819	-0.5453	0.7477

3 讨论

在灰色关联分析中,将众多因子视为灰色系统,各因子的重要性以关联度排序表示,关联度大,表示该参

考指标重要,克服了以往对因子进行评判的主观性和粗放性,能够充分揭示各因子对产量影响的重要性^[12]。而逐步回归方法可以从大量可供选择的变量中选择对建立回归方程比较重要的变量,建立“最优”回归方程,将各因子对产量的影响进行量化分析^[13]。本研究将两种分析方法相结合,明确和量化了棉花生育期间主要气候因子对两熟籽棉产量的影响。

灰色关联分析结果表明,棉花全生育期间对籽棉产量影响最大的是积温,且表现为: $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温 $>\geq 15^{\circ}\text{C}$ 积温 $>\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温,其关联度分别为 0.4513、0.4442 和 0.4309;但积温对产量的影响主要表现在前中期的 8 月、7 月、6 月和 5 月,吐絮期积温对产量的影响作用弱于日照时数;棉花盛花结铃期的 8 月份 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温对产量影响最大,这和王保民等^[18]的研究结论一致。影响两熟棉花籽棉产量的另一主要气候因子是日照时数,关联度 0.4099;在棉花的不同生育时期以棉花盛花结铃期 8 月和吐絮期 9 月的日照时数对产量影响最大,这和陈金湘等^[5]、张旺峰等^[19]的研究结论一致。降水量与产量的关联度最小,而陈金湘等^[5]研究表明,降雨日对湖南棉花皮棉单产影响较大,这可能是由于黄淮海棉区虽然降水多集中在 7—8 月份,但持续时间不长,不同于长江流域棉区的梅雨季节,因而对棉花产量的影响较小造成的。

逐步回归分析结果同样表明,影响两熟棉花籽棉产量的主要气候因子是积温,且为正效应,即棉花生长期间,积温越高产量越高;棉花全生育期间降水总量对产量的影响是负效应,即降水量越大,产量越低;日照时数对产量的影响也为正效应。进一步利用 4—10 月逐月降水量与产量进行逐步回归分析结果表明,8 月份降水量为负效应,其值越大产量越低,而 5 月、6 月降水量为正效应,其值越大产量越高。推测其原因,8 月份棉花处于盛花结铃期,是黄淮地区降水量集中时期,也是黄萎病发病旺盛时期,相关研究表明^[20],8 月上旬的空气相对湿度、降水量是影响黄萎病指的主成分,降水量较大、空气相对湿度超过 82% 可导致黄萎病的严重发生,从而影响产量。而 5 月和 6 月份属于黄淮地区干旱少雨时期,1993—2010 年 18a 间 5 月平均降水量为 35.7mm,6 月份平均降水量 60.8mm,两个月合计降水量占 4—10 月棉花全生育期降水量的 20.6%,而此时正是棉花营养生长旺盛时期,缺水易导致棉株营养生长不良,不利于搭建丰产株型,因此 5 月、6 月份降水量对产量为正效应。

总之,麦棉两熟种植棉花在管理上,棉花生长前期可采用育苗移栽、地膜覆盖等促进早发的栽培措施,5 月、6 月重视田间灌溉补水,充分利用光热资源,促进搭建丰产株型;中后期采取去空枝、打老叶,防止田间荫蔽,降低空气湿度等措施,对促进棉花早发、早熟、提高产量十分有利。

References:

- [1] Mao S C. Studies on the Sustainable Development of Cotton in China. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1999.
- [2] Lu X H. Summarize on cotton wheat double cropping system in Huanghuaihai Plain. China Cotton, 1987, 14(3): 2-3.
- [3] Li S Y, Liu B Z, Xu F Z. Development status quo and direction on cotton-wheat double cropping. China Cotton, 1990, 17(5): 30-30.
- [4] Liang L M, Wang Z X, Zhao J Y. Compare on economic benefit in different planting pattern of cotton-wheat double cropping. China Cotton, 1994, 21(7): 21-21.
- [5] Chen J X, Li M R, Liu H H, Li W X. Grey relational analysis of climatic element effects on cotton yield and fiber grade. Acta Gossypii Sinica, 1996, 8(2): 88-91.
- [6] Han H J. Effects of climatic-ecologic factors on cotton yield and Fibre quality. Scientia Agricultura Sinica, 1991, 24(5): 23-29.
- [7] Liu S F, Shi K Q. Collection of Science Thesis on Grey System. Kaifeng: Henan University Press, 1993: 155-372.
- [8] Deng J L. A Course in Grey System Theory. Wuhan Huazhong Science and Engineering University Press, 1990: 33-84.
- [9] Bi S D, Zou Y D, Chen G C, Meng Q L, Wang G M. Grey system analysis on dominant natural enemies influencing Aphis gossypii population. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(3): 417-420.
- [10] Wang T X, Li W M. Grey relational analysis of key factor on cotton yield of Xinjiang. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(2): 4807-4809.
- [11] Liu Y H, Shi J A, Jia Z K. Grey connection analysis of alfalfa yield and climate factors. Pratacultural Science, 2009, 26(8): 101-106.
- [12] Wang Z H, Wu X S, Chang X P, Li R Z, Jing X L. Chlorophyll content and chlorophyll fluorescence kinetics parameters of flag leaf and their gray relational grade with yield in wheat. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(2): 217-227.

- [13] Tang Q Y. DPS Data Processing System. Beijing: Science Press, 2010: 665-673, 1060-1084.
- [14] Zhang B Y, Xu X X, Liu W Z, Du F. Grey relational analysis of soil moisture under different land uses in the Loess Hilly region. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(1): 361-366.
- [15] Yang Y H, Chen Y N, Li W H. Soil properties and their impacts on changes in species diversity in the lower reaches of Tarim River, Xinjiang, Chain. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 602-610.
- [16] Ji T H, Zhang C J, Xie H M, Yang Z, Guo J W, Meng L M, Ma W. A comparative study on yield index of wheat varieties drought resistance. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(1): 103-106.
- [17] Wang S Q, Hu Y G, She K J, Zhou L L, Meng F L. Gray relational grade analysis of agronomical and physic-biochemical traits related to drought tolerance in wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(11): 2452-2459.
- [18] Wang B M, He Z P, Xu Y J, Liu S P, Gan J J, Shi S P, Dai K P, Duan Y T. Relational grade analysis of grey system for agronomic traits and climatic factors to the total lint yield of cotton (*G. hirsutum* L.). *Acta Gossypii Sinica*, 1997, 9(3): 163-167.
- [19] Zhang W F, Gou L, Wang Z L, Li S K, Yu S L, Cao L P, Li W M. Changes of cotton single boll weight at different eco-region and correlation with meteorological factor. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(7): 872-877.
- [20] Qi J S, Ma C, Li H M, Yao S R. Analyses on correlation between meteorological factors and cotton *Verticillium* Wilt in Mid-South of Hebei Province. *Acta Gossypii Sinica*, 1998, 10(5): 263-267.

参考文献:

- [1] 毛树春. 中国棉花可持续发展研究. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [2] 陆绪华. 黄淮海平原麦棉两熟制概述. *中国棉花*, 1987, 14(3): 2-3.
- [3] 李绍虞, 刘宝站, 胥丰召. 麦棉两熟的现状及发展趋向. *中国棉花*, 1990, 17(5): 30-30.
- [4] 梁理民, 王增信, 赵景耀. 麦棉两熟种植方式经济效益比较. *中国棉花*, 1994, 21(7): 21-21.
- [5] 陈金湘, 李曼瑞, 刘海荷, 李万新. 气象因子对棉花产量和品级影响的灰色关联分析. *棉花学报*, 1996, 8(2): 88-91.
- [6] 韩慧君. 气候生态因素对棉花产量与纤维品质的影响. *中国农业科学*, 1991, 24(5): 23-29.
- [7] 刘思峰, 史开泉. 灰色系统学术论文集. 开封: 河南大学出版社, 1993: 155-372.
- [8] 邓聚龙. 灰色系统理论教程. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990: 33-84.
- [9] 毕守东, 邹运鼎, 陈高潮, 孟庆雷, 王公明. 影响棉蚜种群数量的优势种天敌的灰色系统分析. *应用生态学报*, 2000, 11(3): 417-420.
- [10] 王太祥, 李万明. 影响新疆兵团棉花生产主要因素的灰色关联动态分析. *安徽农业科学*, 2008, 36(2): 4807-4809.
- [11] 刘玉华, 史纪安, 贾志宽. 气候因子与苜蓿草产量的灰色关联度分析. *草业科学*, 2009, 26(8): 101-106.
- [12] 王正航, 王仙山, 吕小平, 李润植, 景蕊莲. 小麦旗叶叶绿素含量及荧光动力学参数与产量的灰色关联度分析. *作物学报*, 2010, 36(2): 217-227.
- [13] 唐启义. DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社, 2010: 665-673, 1060-1084.
- [14] 张北赢, 徐学选, 刘文兆, 杜峰. 黄土丘陵区不同土地利用的土壤水分灰色关联度. *生态学报*, 2008, 28(1): 361-366.
- [15] 杨玉海, 陈亚宁, 李卫红. 新疆塔里木河下游土壤特性及其对物种多样性的影响. *生态学报*, 2008, 28(2): 602-610.
- [16] 冀天会, 张灿军, 谢惠民, 杨子光, 郭军伟, 孟丽梅, 马雯. 小麦品种抗旱性鉴定产量指标的比较研究. *中国农学通报*, 2006, 22(1): 103-106.
- [17] 王仕强, 胡银岗, 余奎军, 周琳璘, 孟凡磊. 小麦抗旱相关农艺性状和生理生化性状的灰色关联度分析. *中国农业科学*, 2007, 40(11): 2452-2459.
- [18] 王保民, 何钟佩, 徐原嘉, 刘生平, 甘建军, 史少甫, 代开平, 段银庭. 影响棉花产量因素的灰色关联分析. *棉花学报*, 1997, 9(3): 163-167.
- [19] 张旺峰, 勾玲, 王振林, 李少昆, 余松烈, 曹连莆, 李伟明. 不同生态棉区棉花单铃重的变化及与气象因子关系的研究. *中国农业科学*, 2002, 35(7): 872-877.
- [20] 齐俊生, 马存, 李红梅, 姚树然. 冀中南棉区棉花黄萎病发生与气象因子关系分析. *棉花学报*, 1998, 10(5): 263-267.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 10 May, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Special Topics in Soil and Water Conservation of County Changting, Fujian Province

- Spatiotemporal dynamics of the bare soil cover in the Hetian basinal area of County Changting, China, during the past 35 years XU Hanqiu (2946)
- Analysis of fractional vegetation cover change and its impact on thermal environment in the Hetian basinal area of County Changting, Fujian Province, China XU Hanqiu, HE Hui, HUANG Shaolin (2954)
- Dynamic of soil organic carbon pool after restoration of *Pinus massoniana* in eroded red soil area HE Shengjia, XIE Jinsheng, ZENG Hongda, et al (2964)
- RUSLE-based quantitative study on the soil erosion of the Hetian basin area in County Changting, Fujian Province, China YANG Ranran, XU Hanqiu, LIN Na, et al (2974)
- Land use changes in a reddish soil erosion region of Southern China: Hetian Basin, County Changting LIN Na, XU Hanqiu, HE Hui (2983)
- Remote-sensing estimate of the carbon storage of subtropical *Pinus massoniana* forest in the Hetian Basin of County Changting, China HUANG Shaolin, XU Hanqiu, LIN Na, et al (2992)
- Mutation of soil fertility quality in the red eroded area of southern China: A case study in Changting County, Fujian Province CHEN Zhiqiang, CHEN Zhibiao (3002)

Frontiers and Comprehensive Review

- The temperature dependence of soil organic matter decomposition and CO₂ efflux: a review SHEN Zhengtao, SHI Bin, WANG Baojun, et al (3011)
- Progress and prospects on cyanobacteria bloom-forming mechanism in lakes MA Jianrong, DENG Jianming, QIN Boqiang, et al (3020)

Autecology & Fundamentals

- Characteristics of concentrations and carbon isotope compositions of dissolved inorganic carbon in soil water under varying vegetations in karst watershed LIANG Xuan, WANG Zhijun, YUAN Daoxian, et al (3031)
- The traits of diapause development of overwinter eggs in *Rammeacris kiangsu* Tsai (Orthoptera: Arcypteridae) ZHU Daohong, CHEN Yanyan, ZHAO Qin (3039)
- Analysis of gamete compatibility between *Crassostrea hongkongensis* and *C. gigas* ZHANG Yuehuan, WANG Zhaoping, YAN Xiwu, et al (3047)

Population, Community and Ecosystem

- Avifaunal community structure and species diversity in the Mt. Qomolangma National Nature Reserve, Tibet, China WANG Bin, PENG Boyong, LI Jingjing, et al (3056)
- Impact of logging on carbon density of broadleaved-Korean pine mixed forests on Changbai Mountains QI Lin, YU Dapao, ZHOU Wangming, et al (3065)
- Community structure and species diversity of fish assemblage in the coastal waters of Jiaozhou Bay XU Binduo, ZENG Huihui, XUE Ying, et al (3074)
- Assessment of heavy metal contamination in the soil-plant system of the *Suaeda salsa* wetland in the Yellow River Estuary WANG Yaoping, BAI Junhong, XIAO Rong, et al (3083)
- The effects of different original state on grassland community restoration succession YANG Chen, WANG Wei, WANG Shiping, et al (3092)
- Effects of fertilization gradients on plant community structure and soil characteristics in alpine meadow WANG Changting, WANG Genxu, LIU Wei, et al (3103)
- Pattern-controlling mechanics of different age classes of *Stellera chamaejasme* population in degraded alpine grassland GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang (3114)

- Soil organic carbon pool at the western side of the sygera mountains, southeast Tibet, China MA Heping, GUO Qiqiang, LIU Heman, et al (3122)
- Correlation between foliar $\delta^{13}\text{C}$ and foliar trait factors of dominant species in *Castanopsis carlessii* forests in Lingshishan National Forest Park WANG Yingzi (3129)
- Influences of artificial *Kandelia obovata* mangrove forest rehabilitation on the macrobenthos in Ximen Island HUANG Li, CHEN Shaobo, CHOU Jianbiao, et al (3138)
- Responses of soil microbial properties in soil profile to typical vegetation pattern and slope in karst-cluster depression area FENG Shuzhen, SU Yirong, QIN Xinmin, et al (3148)
- Correlation among vegetation characteristics, temperature and moisture of alpine meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau XU Manhou, XUE Xian (3158)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- The temporal and spatial variation of the value of ecosystem services of the Naoli River Basin ecosystem during the last 60 years ZHAO Liang, LIU Jiping, TIAN Xuezhi (3169)
- Sensitivity analysis of climate control in the Daisyworld model based on system dynamics CHEN Haibin, TANG Haiping (3177)
- Resource and Industrial Ecology**
- Analysis of key climatic factors influencing on seed cotton yield in cotton-wheat double cropping HAN Yingchun, WAN Guoping, FAN Zhengyi, et al (3185)
- The effect of low-covered sand-fixing forest belts on restoration of the soil and vegetation JIANG Lina, YANG Wenbin, LU Qi, et al (3192)
- Dissolution rate under soil in karst areas and the influencing factors of different land use patterns LAN Jiacheng, FU Wali, PENG Jingtao, et al (3205)
- Measuring external benefits of agricultural land preservation: an application of choice experiment in Wuhan, China CHEN Zhu, JU Dengping, ZHANG Anlu (3213)
- Research Notes**
- Effect of temperature and feeding frequency on asexual reproduction and polyp growth of the scyphozoan *Cyanea nozakii* Kishinouye SUN Ming, DONG Jing, CHAI Yu, LI Yulong (3222)
- The research on *Buteo hemilasius* nest-site selection on the west bank of Dalai Lake in Dalai Lake Natural Reserve ZHANG Honghai, WANG Ming, CHEN Lei, et al (3233)
- Estimating rodent density using infrared-triggered camera technology ZHANG Shusheng, BAO Yixin, WANG Yanni, et al (3241)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 高玉葆

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 10 期 (2013 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 10 (May, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元