

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

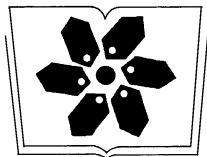
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第2期 Vol.34 No.2 **2014**

中国生态学学会
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 34 卷 第 2 期 2014 年 1 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 连续免耕对不同质地稻田土壤理化性质的影响 龚冬琴, 吕 军 (239)
- 下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局 孙才志, 闫晓露, 钟敬秋 (247)
- 完全水淹环境中光照和溶氧对喜旱莲子草表型可塑性的影响 许建平, 张小萍, 曾 波, 等 (258)
- 赤潮过程中“藻-菌”关系研究进展 周 进, 陈国福, 朱小山, 等 (269)
- 盐湖微微型浮游植物多样性研究进展 王家利, 王 芳 (282)
- 臭氧胁迫对植物主要生理功能的影响 列淦文, 叶龙华, 薛 立 (294)
- 啮齿动物分子系统地理学研究进展 刘 铸, 徐艳春, 戎 可, 等 (307)
- 生态系统服务制图研究进展 张立伟, 傅伯杰 (316)

个体与基础生态

- NaCl 胁迫下沙枣幼苗生长和阳离子吸收、运输与分配特性 刘正祥, 张华新, 杨秀艳, 等 (326)
- 不同生境吉首蒲儿根叶片形态和叶绿素荧光特征的比较 向 芬, 周 强, 田向荣, 等 (337)
- 小麦 LAI-2000 观测值对辐亮度变化的响应 王 龔, 田庆久, 孙绍杰, 等 (345)
- K^+ 、 Cr^{6+} 对网纹藤壶幼虫发育和存活的影响 胡煜峰, 严 涛, 曹文浩, 等 (353)
- 马铃薯甲虫成虫田间扩散规律 李 超, 彭 赫, 程登发, 等 (359)

种群、群落和生态系统

- 莱州湾及黄河口水域鱼类群落结构的季节变化 孙鹏飞, 单秀娟, 吴 强, 等 (367)
- 黄海中南部不同断面鱼类群落结构及其多样性 单秀娟, 陈云龙, 戴芳群, 等 (377)
- 苏南地区湖泊群的富营养化状态比较及指标阈值判定分析 陈小华, 李小平, 王菲菲, 等 (390)
- 盐城淤泥质潮滩湿地潮沟发育及其对米草扩张的影响 侯明行, 刘红玉, 张华兵 (400)
- 江苏省农作物最大光能利用率时空特征及影响因子 康婷婷, 高 苹, 居为民, 等 (410)
- 1961—2010 年潜在干旱对我国夏玉米产量影响的模拟分析 曹 阳, 杨 婕, 熊 伟, 等 (421)
- 黑龙江省 20 世纪森林变化及对氧气释放量的影响 张丽娟, 姜春艳, 马 骏, 等 (430)
- 松嫩草原不同演替阶段大型土壤动物功能类群特征 李晓强, 殷秀琴, 孙立娜 (442)
- 小兴安岭 6 种森林类型土壤微生物量的季节变化特征 刘 纯, 刘延坤, 金光泽 (451)

景观、区域和全球生态

- 黄淮海地区干旱变化特征及其对气候变化的响应 徐建文, 居 辉, 刘 勤, 等 (460)

我国西南地区风速变化及其影响因素 张志斌,杨 莹,张小平,等 (471)

青海湖流域矮嵩草草甸土壤有机碳密度分布特征 曹生奎,陈克龙,曹广超,等 (482)

基于生命周期评价的上海市水稻生产的碳足迹 曹黎明,李茂柏,王新其,等 (491)

研究简报

荒漠草原区柠条固沙人工林地表草本植被季节变化特征 刘任涛,柴永青,徐 坤,等 (500)

跨地带土壤置换实验研究 靳英华,许嘉巍,秦丽杰 (509)

SWAT 模型对景观格局变化的敏感性分析——以丹江口库区老灌河流域为例
..... 魏 冲,宋 轩,陈 杰 (517)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 288 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-01



封面图说: 高原盐湖——中国是世界上盐湖分布比较稠密的国家,主要分布在高寒的青藏高原以及干旱半干旱地区的新疆、内蒙古一带。尽管盐湖生态环境极端恶劣,但它们依然是陆地特别是高原生态系统中十分重要的组成部分。微微型浮游植物通常是指粒径在 0.2—3 μm 之间的光合自养型浮游生物。微微型浮游植物不仅是海洋生态系统中生物量 and 生产力的最重要贡献者,也是盐湖生态系统最重要的组成部分。研究显示,水体矿化度是影响微微型浮游植物平面分布及群落结构组成的重要因子,光照、营养成分和温度等也会影响盐湖水体中微微型浮游植物平面分布及群落结构组成(详见 P282)。

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

DOI: 10.5846/stxb201301240148

徐建文, 居辉, 刘勤, 杨建莹. 黄淮海地区干旱变化特征及其对气候变化的响应. 生态学报, 2014, 34(2): 460-470.
Xu J W, Ju H, Liu Q, Yang J Y. Variation of drought and regional response to climate change in Huang-Huai-Hai Plain. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(2): 460-470.

黄淮海地区干旱变化特征及其对气候变化的响应

徐建文^{1,2}, 居辉^{1,2}, 刘勤^{1,3,*}, 杨建莹^{1,3}
(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所作物高效用水与抗灾减损国家工程实验室, 北京 100081;
2. 农业部农业环境重点实验室, 北京 100081; 3. 农业部旱作节水农业重点实验室, 北京 100081)

摘要: 为了探究气候变化背景下黄淮海地区的干旱特征, 基于黄淮海平原 34 个气象站点的 1961—2012 年气象数据, 使用相对湿润指数探讨分析了近 50 年黄淮海地区冬小麦生长季及 4 个季节干旱的时空变化及其对气候变化的响应。结果表明: (1) 在整个分析期内 (1961—2011) 冬小麦生长季干旱减轻, 但是在近 20 年干旱有了加重的趋势, 且干旱加重的趋势是一种突变现象。(2) 黄淮海地区 1961 年以来, 春季、冬季以及冬小麦生长季内均表现为不同程度的干旱, 干旱频率都达到 90% 以上, 其中春、冬两季最为干旱, 3 个时段整个黄淮海中部地区都为高频干旱区域, 且 4 个季节及冬小麦生长季干旱程度与干旱频率的区域分布均表现为由南向北递增的趋势。(3) 黄淮海地区的干旱特征对降水、太阳辐射和相对湿度这 3 个气候要素的变化最为敏感。
关键词: 相对湿度; 干旱; 季节; 冬小麦; 气候变化; 黄淮海

Variation of drought and regional response to climate change in Huang-Huai-Hai Plain

XU Jianwen^{1,2}, JU Hui^{1,2}, LIU Qin^{1,3,*}, YANG Jianying^{1,3}
1 State Key Engineering Laboratory of Crops Efficient Water Use and Drought Mitigation, Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081, China
2 Key Laboratory of Agricultural Environment, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China
3 Key Laboratory of Dryland Agriculture, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China

Abstract: It is widely recognized that the frequency and intensity of extreme weather events and climate disasters have strongly increased with global warming. The area of influence of climate disasters has also increased, which has had adverse effects on sustainable social and economic development. Drought is a recurring natural phenomenon, and is associated with a deficit of water resources over a large geographic area and long duration. Drought is attracting increased attention from scholars, with a focus on its intensity, duration and areal extent in northern China within the context of global change. Investigation of the variation of drought and regional response to climate change is very important to agricultural production, and can provide a reference for developing appropriate measures to reduce droughts on the Huang-Huai-Hai (3H) Plain. At present, relevant research is more inclined to study meteorological drought itself, without consideration of drought characteristics in different phases in crop-growing seasons and the climate background of global change. In this paper, we determine drought characteristics in all four seasons and the winter wheat growing season on the 3H Plain, together with the effects of climate change. Based on data of 34 meteorological stations from 1961 to 2011, a relative moisture index was calculated to investigate the spatial pattern and temporal variability of drought characteristics on the 3H Plain. The results

基金项目: 国家 973 项目资助项目 (2012CB955904); 国家“十二五”科技支撑计划资助项目 (2012BAD09B01); 2012 基本科研业务费资助项目 (BSRF201105)

收稿日期: 2013-01-24; 修订日期: 2013-11-05
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuqin02@caas.cn

show varying degrees of drought in spring, winter and the winter wheat growing season. Drought frequency exceeded 90% over the past 50 years on the plain, with spring and winter the driest seasons. There were high-frequency drought areas in central and northern parts of the plain during spring, winter and the winter wheat growing season. The regional distribution of drought intensity and frequency showed an increasing tendency from south to north. A wet trend was detected on the plain in the winter wheat growing season over the last 50 years. However, the relative moisture index changed since 1978. That is to say, the index had an increasing trend from 1961 to 1980 when the plain was wetter; the index decreased from 1980 to 2011 when it was drier. Overall, although drought eased over the entire analysis period, a serious drought tendency has emerged over the last 20 years. In addition, temporal variability of the relative moisture index was significantly correlated with precipitation, solar radiation and relative humidity. This indicates that drought characteristics of the plain were more sensitive to these three climate variables. This has received increased attention in recent years with respect to addressing climate change. The results of our study indicate an arid trend, with increase of temperature in spring and summer on the 3H Plain. Therefore, relevant agencies should create an early warning system of extreme weather events and natural disasters, toward improvement of future regional agricultural scientific management and decision support systems in agricultural production. These agencies should also adapt to climate change by selecting strongly drought-resistant crop varieties and by adjusting cultivation methods and management measures, especially irrigation measures aimed at spring drought on the 3H Plain.

Key Words: relative moisture; drought; season; winter wheat; climate change; Huang-Huai-Hai Plain

全球变暖已经成为一个不争的事实,与之相关的科学研究成为近年来的热点。IPCC 第四次评估报告^[1]指出,最近 100 年(1906—2005 年)全球地表温度上升了 0.74(0.56—0.92)℃,比 2001 年第三次评估报告的 100a(1901—2000 年)上升 0.6(0.4—0.8)℃有所提高。IPCC 报告以及我国气候变化预估分析均表明,气候变化将会造成极端气候事件及气候灾害的频率和强度明显增强,气候灾害影响的区域增多,进而对社会经济可持续发展造成不利影响。长期以来,全球旱涝灾害频繁发生,对人类社会造成了重大的经济损失,严重威胁着社会、经济和环境的可持续发展。我国气象灾害平均每年造成的经济损失占全部自然灾害损失的 70%以上,而旱灾是我国当前最主要的农业气象灾害,平均每年旱灾的受灾面积高达 2200 万 hm²,占各种灾害受灾面积的 40%以上,粮食损失约 120 亿 kg^[2-3]。由于干旱灾害发生频率高、持续时间长、影响范围广、后延影响大,对环境及农业的危害也非常大,是世界上影响最广、造成农业经济损失最大的自然灾害之一^[4-5]。

近年来,许多学者使用不同的干旱指标对黄淮海地区的干湿状况从不同的角度进行了分析^[6-7],结果表明,黄淮海地区 2000 年以来偏干旱的区域面积较 20 世纪 60 年代有所增大,与此同时,极端情况相

对较少;研究区域内有相当大面积的区域呈现偏干趋势,且干湿区域间的差异有更加显著的趋势,即半干旱区干燥度指数逐渐增大,而半湿润和湿润区的干燥度指数趋向减小。另外,马柱国等人^[8-9]对我国北方地区 1951—2000 年的干湿状况分析指出近年来华北极端干旱频率显著增加,而极端湿润发生的频率相对减少,且我国北方主要农业区干旱面积呈扩大趋势,特别是华北等地干旱面积扩大迅速形势严峻。这些研究很好的揭示了干旱的发展规律,但是研究更多偏向于气象干旱,未考虑农作物生长的阶段性干旱特征,且未能结合全球变化的气候背景。利用气象资料计算得到的相对湿润度指数综合考虑了降水和下垫面的蒸发情况,适用于作物生长季节旬以上尺度的干旱监测和评估^[10-13]。因此,本文以温度、降水等气象数据为基础,使用相对湿润度指数归纳分析了冬小麦生长季及 4 个季节黄淮海平原干旱的时空变化特征,并且分析干旱特征与气候要素的关系,探究该地区干旱对气候变化的响应。

1 材料与方法

1.1 研究区域状况

黄淮海平原属半干旱、半湿润地区,热量资源可满足喜凉、喜温作物一年两熟的要求,该区主要栽种

方式是冬小麦—夏玉米。年降水量 500—900 mm, 季节分配不均,集中在夏季,7—8 月的降水量约占全年的 45%—65%。秋、冬、春三季均为水分亏缺的干旱期,小麦生长期缺水达 150—200 mm,全年水分支出大于收入,亏缺的水分约 400 mm。黄淮海地区冬小麦一般在上年 10 月份播种,当年 6 月份收获,整个生育期正值降水量相对稀少时期,生育期间的降水量在 125—250 mm 之间,占年降水量的 25%—29%,自然降水不能满足冬小麦生长的需要,因此冬小麦旱灾频发,一般年份冬春雨雪少,由于冬春气候干燥,积雪不多,所以春季温度上升极快,作物生长

发育较迅速。春季干旱是该区小麦生产的一大威胁^[14-16]。

1.2 资料选取

从黄淮海平原及周边筛选出 61 个(其中黄淮海平原 35 个站点,周边 26 个站点)具有 1961—2011 年完整观测序列的气象站点作为分析对象,各站近 50 年逐日降水量(mm)、平均气温(℃)、最低气温(℃)、最高气温(℃)、日照时数(h)、风速(m/s)和平均相对湿度(%)等气象数据以及经度、纬度和海拔高度(m)等地理数据由中国气象局提供。研究区域及所选气象站点分布见图 1。

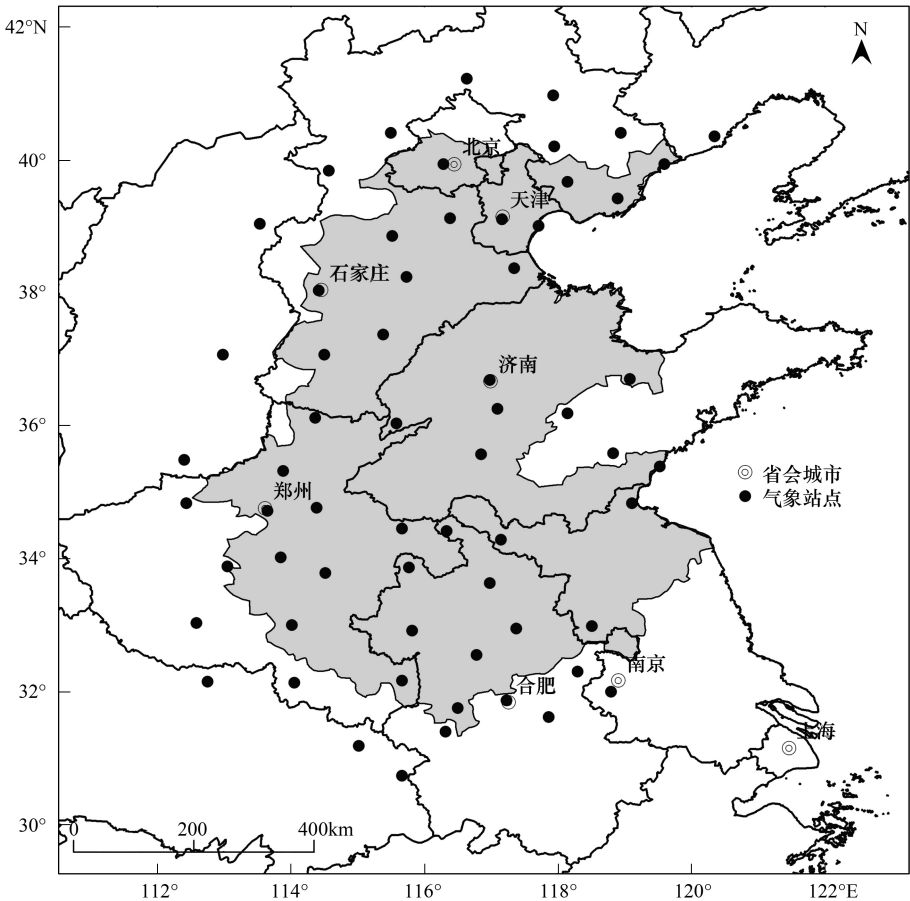


图 1 黄淮海平原气象站点分布图
Fig.1 The location of meteorological stations in Huang-Huai-Hai Plain

1.3 研究方法

1.3.1 干旱指标的计算

干旱指标选用《气象干旱等级》标准中所提供的相对湿度指数(划分等级见表 1),其计算公式如下:

$$M = \frac{P - PE}{PE} \tag{1}$$

式中, P 为某时段降水量(mm), PE 为某时段的可能蒸散量(mm),本文采用 FAO 推荐的 Penman-Monteith^[17]方法计算,计算公式如下:

$$PE = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \tag{2}$$

式中, R_n 为作物表面净辐射量($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); G 为土壤热通量($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); Δ 为饱和水汽压与温度关系曲线的斜率($\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}$); γ 为湿度计常数($\text{kPa}/^\circ\text{C}$); T 为空气平均温度($^\circ\text{C}$); U_2 为在地面以上 2 m 高处的风速(m/s); e_s 为空气饱和水汽压(kPa); e_a 为空气实际水压(kPa)。

表 1 相对湿度气象干旱等级划分表
Table 1 The Meteorological drought classification of relative moist index

等级 Level	类型 Type	相对湿度 Relative moist index
1	无旱	$-0.40 < M$
2	轻旱	$-0.65 < M \leq -0.40$
3	中旱	$-0.80 < M \leq -0.65$
4	重旱	$-0.95 < M \leq -0.80$
5	特旱	$M \leq -0.95$

本文分别分析春、夏、秋、冬四个季节和冬小麦生长季内相对湿度和气候要素的年际变化与区域变化,其中 3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12—翌年 2 月为冬季,10—翌年 6 月为冬小麦生长季。

1.3.2 Mann-Kendall 突变检验法

对于具有 n 个样本量的时间序列 x ,构造一秩序列:

$$s_k = \sum_{i=1}^k r_i, \quad (k = 2, 3, \cdots, n)$$

其中

$$r_i = \begin{cases} +1, & x_i > x_j \\ 0, & x_i \leq x_j \end{cases} \quad (j = 1, 2, \cdots, i)$$

在时间序列随即独立的假定下,定义统计量:

$$UF_k = \frac{[s_k - E(s_k)]}{\sqrt{\text{var}(s_k)}} \quad (k = 1, 2, \cdots, n)$$

式中, $UF_1=0$, $E(s_k)$, $Var(s_k)$ 是累计数 s_k 的均值和方差,在 $x_1, x_2, \cdots, x_n$ 相互独立,且有相同连续分布时,它们可由下式算出:

$$E(s_k) = \frac{n(n+1)}{4}$$

$$Var(s_k) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72}$$

式中, UF_i 为标准正态分布,它是按时间序列 x 顺序 $x_1, x_2, \cdots, x_n$ 计算出的统计量序列,给定显著水平 α ,若 $|UF_i| > U_\alpha$,则表明序列存在明显的趋势变化。按时间序列 x 逆序 $x_n, x_{n-1}, \cdots, x_1$,再重复上述过程,同时使 $UB_k = -UF_k, k = n, n-1, \cdots, 1, UB=0$ 。

如果 UF_k 和 UB_k 两条曲线出现交点,且交点在临界线之间,那么交点对应的时刻便是突变开始的时间。超过临界线的范围确定为出现突变的时间区域^[18]。

2 结果与分析

2.1 相对湿润度的变化特征

2.1.1 相对湿润度的年际变化特征

从黄淮海地区近 50 年的相对湿润度的年际变化(表 2)可以看出,春季,冬季,以及冬小麦生长季内表现为不同程度的干旱,相对湿度均小于-0.4,其中春季及冬小麦生长季内表现为轻旱,冬季表现为中旱;在夏季,无干旱发生,且春季和冬季都有极端干旱发生。春、夏季以及整个生长季都有变湿的趋势,秋季有变干的趋势,但是相对湿润度的变化趋势都不显著;冬季的相对湿润度呈极显著增加,表现为变湿的趋势。

表 2 相对湿度基本特征及年际变化趋势
Table 2 The characteristic and trend of variation of relative moist index

	平均值 Mean	最大值 Maximum	最小值 Minimum	变化趋势 Slope/10a
春季 Spring	-0.63	-0.10	-0.92	0.003
夏季 Summer	0.09	0.52	-0.40	0.013
秋季 Autumn	-0.36	0.36	-0.82	-0.007
冬季 Winter	-0.72	0.00	-0.99	0.058**
生长季 Growing season	-0.57	-0.26	-0.76	0.018

2.1.2 4 个季节相对湿润度的区域变化

从相对湿润度的区域变化(图 2)可以看出黄淮海地区的四季干旱特征总体表现为春季和冬季较干

旱,而且干湿状况的分布均表现为由南向北干旱程度递增的趋势。春季,河北东南部及北京、天津西南部地区为重旱地区;天津东北部、唐山、河北西南部、

河南黄河以北及山东兖州以北为中旱区域;在郑州与兖州一带至淮河流域之间的区域表现为轻旱特征;夏季,整个黄淮海地区都表现为湿润的特征。秋季,在整个黄淮海区域的黄河以北地区均表现为轻旱的特征,其余为湿润地区。冬季为黄淮海地区干旱程度最为严重的季节,北京西南部小部分地区出现特旱,而且整个黄河以北区域及济南至泰山一带

都表现为重旱的特征,受旱面积达到整个黄淮海区域的一半左右;另外,山东南部及河南开封至西华一带呈中旱的特征;江苏与安徽的淮河以北及河南的驻马店至商丘一带表现为轻旱的特征。由图中可以看出,干旱的分布由南向北呈带状的分布,这主要也与黄淮海流域水系的纬向分布有关,且黄河以北的地区干旱较为严重,淮河以南基本为无旱区域。

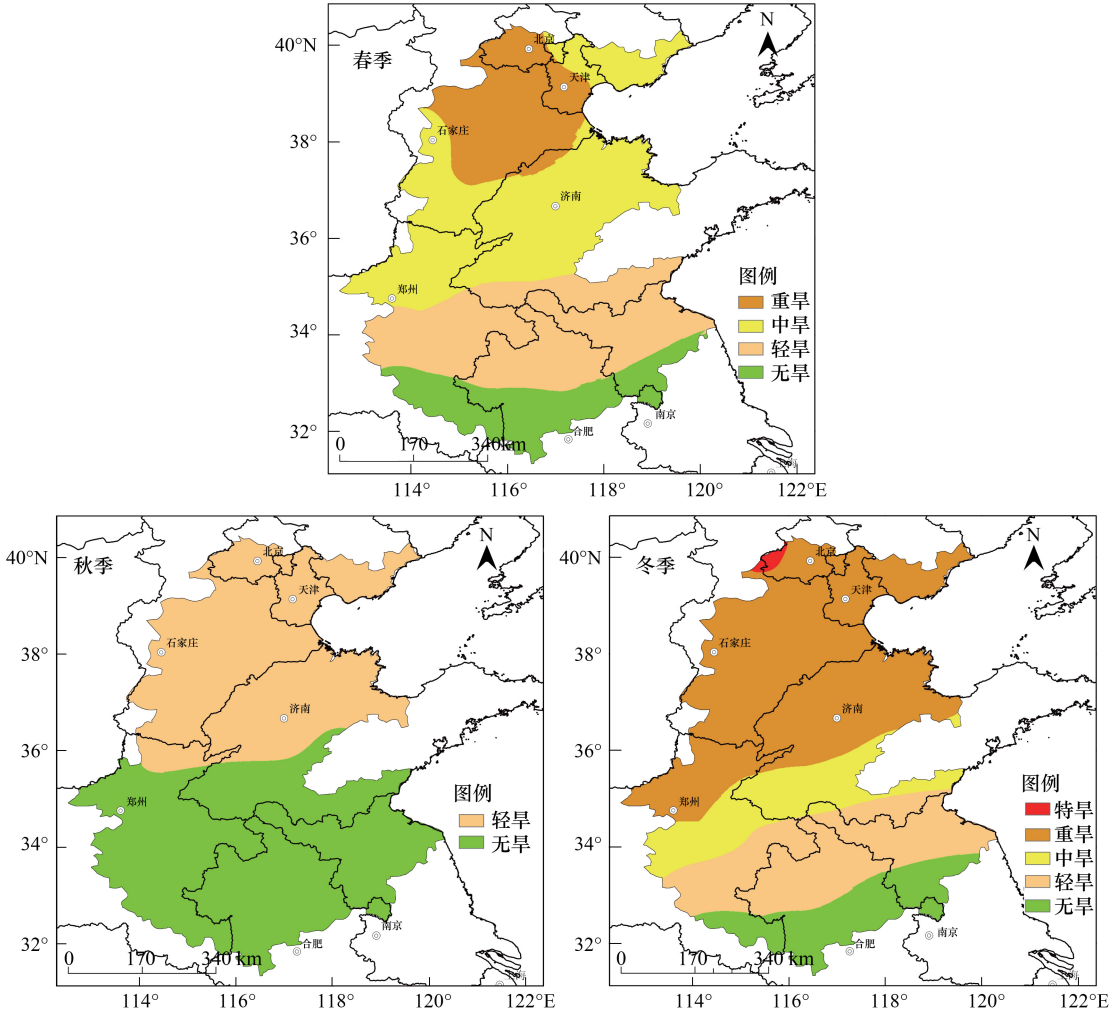


图 2 春季、秋季、冬季相对湿度度的区域变化
Fig.2 The region variability of relative moist index in Spring, Autumn and Winter

2.2 冬小麦生长季内相对湿度度的变化特征

2.2.1 冬小麦生长季内相对湿度度的年际变化

由图 3(a)可以看出,从 1961 到 2011 年黄淮海地区在冬小麦生长季内的相对湿度度除个别年份外均小于-0.4,即表现为干旱的特征,且从相对湿度度的 5a 滑动平均可以看出,近 50 年该地区有变湿的趋势,但是趋势不明显。为了把握近 50 年冬小麦生长季内干旱变化规律,对相对湿度度的年际变化做 MK 突变检验(图 3b),结果发现,在上下两条±1.96

($\alpha=0.05$) 的置信线内,1961—2011 年黄淮海地区相对湿度度的 UF 与 UB 两条曲线在 1978 年相交,即 1978 年为突变开始的年份,1989 年往后 UF 曲线趋势超过了 1.96($\alpha=0.05$) 的信度线,即 1989—2011 年为出现突变的时间区域。因此,分别将 1961—1988 年和 1989—2011 年两个时段作趋势分析(图 3c),由图可知,在 1961—1988 年,相对湿度度呈现增加的趋势,也就是干旱减弱的趋势。而在 1989—2011 年,相对湿度度呈明显减小的趋势,即出现干旱加重

的趋势。总之,虽然在整个分析期内冬小麦生长季 加重的趋势为一种突变现象。
干旱减轻,但是在近 20 年干旱出现了加重,且干旱

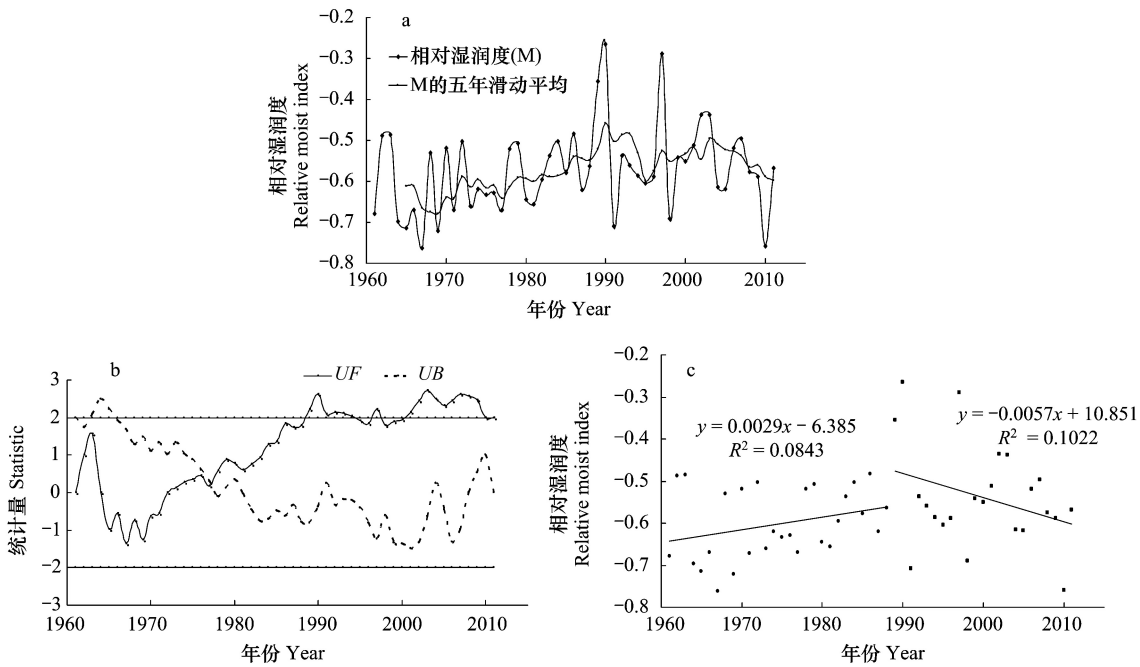


图 3 冬小麦生长季内相对湿润度的年际变化
Fig.3 The annual variation of relative moist index in winter wheat growing season

2.2.2 冬小麦生长季内相对湿润度的区域变化

从图 4(a)中可以看出,黄淮海地区冬小麦生长季内的干湿特征的空间分布也呈现从南向北逐渐变干的趋势。其中,除秦皇岛以外,整个黄河以北地区均为中旱地区;山东中南部、河南中东部与江苏和安徽的西北小部分区域,表现为轻旱的特征;其余区域无干旱发生。从图 4(b)为相对湿润度的线性趋势

分布,从图中可以看出,黄淮海地区除个别站点外相对湿润度均有增加的趋势,且趋势的分布从河南向西南方向及东北方向均有增加趋势,即河南省变湿的趋势最弱,而京津唐地区及安徽、江苏北部变湿的趋势较大,北京、保定、塘沽、黄骅、济南及西华和商丘的相对湿润度有显著增加的趋势。

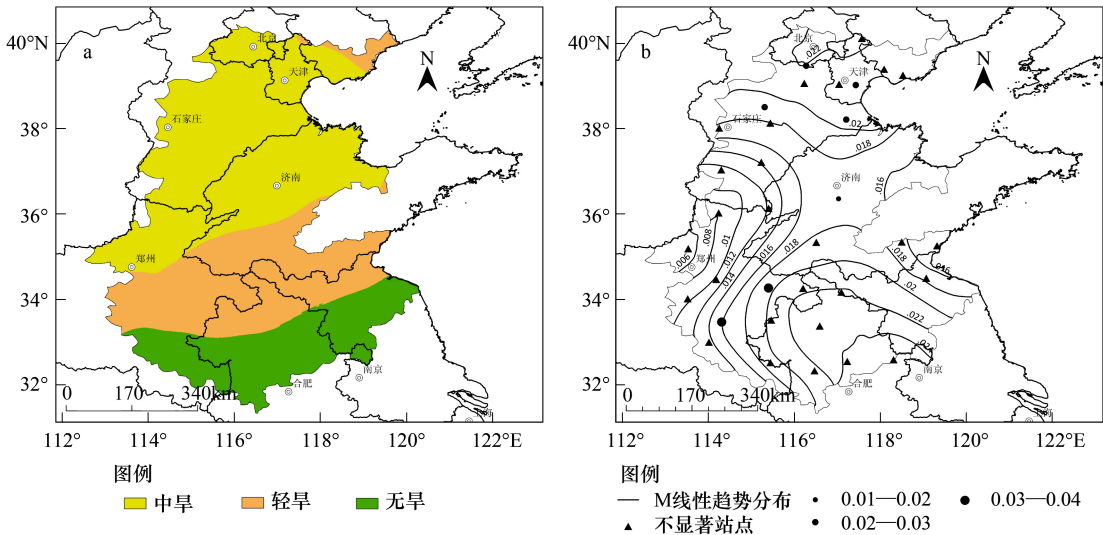


图 4 冬小麦生长季内相对湿润度的区域变化
Fig.4 The region variability of relative moist index in winter wheat growing season

2.3 干旱频率

2.3.1 不同程度干旱的发生频率

黄淮海地区降水主要集中在夏季,春、冬两季降水较少,所以从 1961 年到 2011 年这 50 年间,4 个季节及冬小麦生长季的干旱发生的频率差别很大(图 5)。在春季,无旱的年份只有 10%,轻旱和中旱的年份分别占到了 36%和 40%,其中 2007—2010 年这 4a 持续发生轻旱,中旱持续时间最长的则为 1992—1996 年连续 5a;重旱发生的年份也占到了 14%,分别为 1962、1965、1968、1978、1981 年及 2000—2001 年,这与中国气象灾害大典所记载的重大干旱灾害事件中黄淮海地区春旱的年份基本相符^[2]。夏季,基本无干旱年份。在秋季,无旱的年份占到了一半,轻旱和中旱的年份分别占 38%和 8%,其中 1978—1982 年持续 5a 发生轻旱,重旱发生的年份只有 4%,分别为 1966 年和 1998 年;冬季,由于降水较少,干旱发生的频率也最大,无旱的年份只占 10%,轻旱和中旱的频率分别为 16%和 28%,重旱的频率高达 40%,其中 1969—1973 年连续 5a 都为重旱年份,在 1962、1967 和 1976 这 3 个年份,都发生了特级干旱;在整个冬小麦生长季,无旱的频率只有 6%,轻旱和中旱的频率分别为 68%和 26%,其中轻旱从 1999—2009 年持续了 11a 之久,1964—1967 年这 4a 则持续表现为中等干旱。

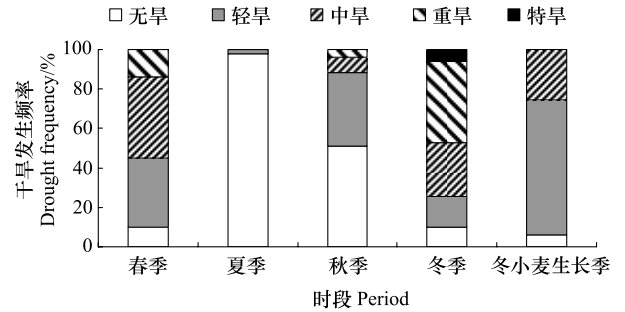


图 5 四个季节及冬小麦生长季内不同程度干旱的发生频率
Fig.5 The frequency of different drought in four seasons and winter wheat growing season

2.3.2 干旱频率的区域分布

图 6 为 1961—2010 年黄淮海地区干旱发生频率的区域分布,从图中可以看出,干旱频率的区域分布与干旱强度的区域分布有相似的规律,从南到北干旱发生的频率逐渐递增,且春季和冬季高频干旱发生的区域面积最大,天津、河北、山东及河南北部干旱发生的频率都达到 80%以上,其余区域受旱频

率也基本都达到了 50%以上,仅安徽中部小片区域频率在 40%以下;夏季,只有北京、河北及河南中北部地区的干旱发生频率在 20%—40%,其余地区都在 20%以下;秋季,干旱频率高于 80%的区域主要为北京西部、天津南部及河北东部地区,干旱程度明显低于春冬两季,另外,干旱频率为 60%—80%的区域只要分布在京津唐、河北南部及山东北部,河南东南部及安徽、江苏大部分区域的受旱频率都在 40%以下。从整个冬小麦生长季的干旱频率分布来看,低频的区域面积要大于春冬两季,安徽的中北部、河南驻马店以南及江苏西部小部分区域的干旱频率都低于 40%,但是,高频的区域仅次于春冬两季,天津、河北、河南中北部及山东的大部分区域的干旱频率都达到了 80%—100%,另外,商丘、日照以南,驻马店、淮安以北区域的干旱频率也达到了 40%—80%。

2.4 干旱特征对气候变化的响应

从表 3 中可以看出,近 50 年来,4 个季节与冬小麦生长季内日平均温度都有增加的趋势,这与近些年来气候变暖的事实相符,除夏季外日平均温度增加的趋势都通过了 $\alpha<0.01$ 的显著性检验,其中冬季的日平均温度增幅达 $0.420\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。4 个季节和冬小麦生长季内的太阳辐射量、平均相对湿度和风速都表现出了减小的趋势,太阳辐射量和风速在 4 个季节和冬小麦生长季的变化趋势都通过了 $\alpha<0.01$ 的显著性检验,其中太阳辐射量在夏季的减幅达 $-0.728\text{ MJ m}^{-2}\text{ d}^{-1}\text{ }10\text{ a}^{-1}$,风速在春季、冬季及冬小麦生长季的减幅都达到 $-0.200\text{ m s}^{-1}\text{ }10\text{ a}^{-1}$ 以上; RH 在冬小麦生长季减小的趋势通过了 $\alpha<0.05$ 的显著性检验,减幅为 $-0.687\%/10\text{ a}$ 。降水量的变化表现为夏秋两季减少,春季、冬季和冬小麦生长季内的降水量呈增加的趋势,其中冬季的变化趋势通过了 $\alpha<0.01$ 的显著性检验,为 $5.538\text{ mm}/10\text{ a}$ 。

从 4 个季节和冬小麦生长季内的相对湿度与相应时段各气候要素之间的相对系数来看,相对湿润度的年际变化与降水量、太阳辐射与平均相对湿度这 3 个气候要素的相关性最大,其中与 4 个季节和冬小麦生长季的降水量的相关系数都达到了 0.97 以上,且都通过了 $\alpha<0.01$ 的显著性检验。另外,从表中可以看出相对湿润度与温度、辐射和风速都呈负相关,与相应时段太阳辐射量的相关性表现为春季和冬季较高,达到了 -0.588 和 -0.554 ,夏、秋季和

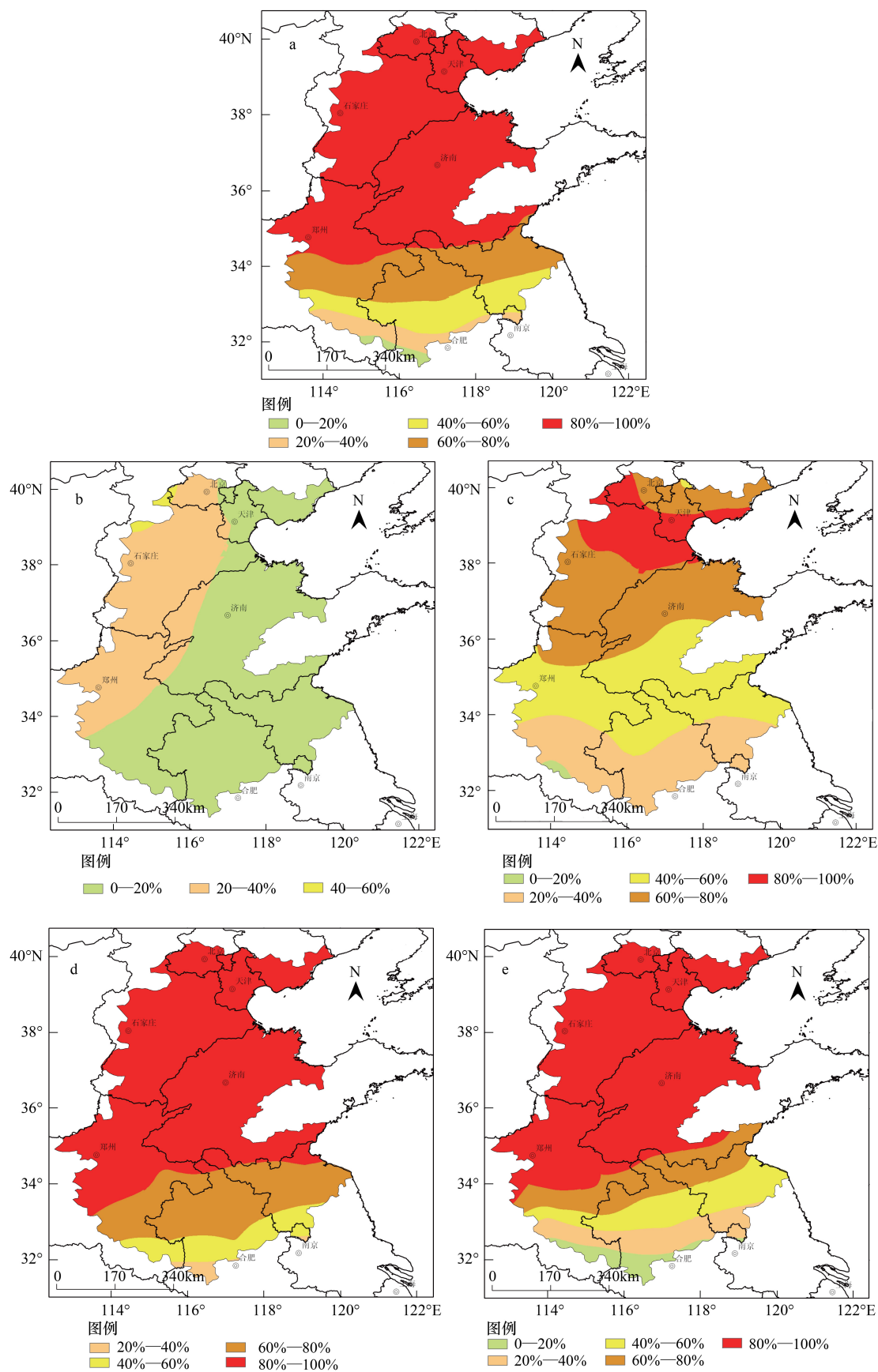


Fig.6 The region variability of drought frequency in four seasons(a,b,c,d,) and winter wheat growing season(e)

生长季次之,相关性都通过了 $\alpha<0.01$ 的显著性检验;与平均相对湿度的相关性则呈现出从春季到冬季再到冬小麦生长季逐渐递减的规律,其中春季的相关系数最大,达到 0.674,生长季的最小,为 0.468;相关性也都通过了 $\alpha<0.01$ 的显著性检验。另外,相对湿度度的变化与相应时段的平均风速也表现出一定的相关性,其中和冬季的相关系数通过了 $\alpha<0.01$ 的显著性检验,达到了-0.244,与冬小麦生长季的相关系数通过了 $\alpha<0.05$ 的显著性检验,为-0.209;与平均温度的相关系数在春季和夏季通过了 $\alpha<0.05$

的显著性检验,相关系数分别为-0.287 和-0.391,由此可知黄淮海平原在春、夏两季将会随着温度的升高呈干旱化的趋势。通过以上分析可知,在全球气候变暖的这样一个气候变化的背景下,黄淮海地区的平均温度有升高的趋势,太阳辐射、平均相对湿度与风速则有降低的趋势;相对湿润度的年际变化与降水、太阳辐射和相对湿度的变化极显著相关,即黄淮海地区的干旱的特征对这 3 个气候要素的变化最为敏感,其次,风速在冬季和冬小麦生长季也与相对湿度表现出显著的相关性。

表 3 黄淮海平原季节干旱和冬小麦生长季干旱对气候变化的响应						
Table 3 The response of drought in seasons and winter wheat growing season to climate change						
		温度 Tmean /℃	太阳辐射量 Rs /(MJ·m ⁻² ·d ⁻¹)	相对湿度 RH /%	风速 Fs /(m/s)	降雨量 P /mm
气候要素的年际变化趋势 Annual variation tendency of climatic factors(/10a)	春季	0.315 **	-0.172 *	-0.831	-0.205 **	1.721
	夏季	0.063	-0.728 **	-0.239	-0.140 **	-6.815
	秋季	0.224 **	-0.296 **	-0.852	-0.157 **	-2.219
	冬季	0.420 **	-0.269 **	-0.479	-0.206 **	5.538 **
	生长季	0.329 **	-0.286 **	-0.687 *	-0.204 **	9.596
M 与气候要素的相关系数 Correlation coefficient of M with climatic factors	春季	-0.287 *	-0.588 **	0.674 **	-0.198	0.985 **
	夏季	-0.391 *	-0.383 **	0.589 **	-0.176	0.979 **
	秋季	-0.176	-0.488 **	0.575 **	-0.147	0.987 **
	冬季	0.165	-0.554 **	0.512 **	-0.244 **	0.983 **
	生长季	-0.100	-0.441 **	0.468 **	-0.209 *	0.976 **

3 结论与讨论

(1)1961—2011 年冬小麦生长季内黄淮海地区有干旱缓解的趋势。在 1961—1988 年,相对湿度呈现增加的趋势,也就是干旱减弱的趋势。而在 1989—2011 年,相对湿度呈明显减小的趋势,即出现干旱加重的趋势。总之,虽然在整个分析期内冬小麦生长季干旱减轻,但是在近 20 年干旱出现了加重,且干旱加重的趋势为一种突变现象。

(2)黄淮海地区 1961 年以来,春季、冬季以及冬小麦生长季内均表现为不同程度的干旱,干旱频率都达到 90% 以上,其中春、冬两季最为干旱,3 个时段整个黄淮海中北部地区都为高频干旱区域,且四个季节及冬小麦生长季干旱程度及干旱频率的区域分布均表现为由南向北递增的趋势。

(3)相对湿润度的年际变化与降水、太阳辐射和相对湿度的变化极显著相关,即黄淮海地区的干旱

的特征对这三个气候要素的变化最为敏感。

本研究所采用的相对湿润度指数真实客观的反应了干旱的发生强度,干旱的季节和区域分布结果与历史记载的黄淮海平原干旱的发生规律与特征基本相符,其中春旱最为严重,河北、河南与山东等地多以春旱为主,山东与河南秋旱频率也较高^[19-21],研究结果能够从气象干旱的角度为黄淮海平原的农业生产提供一定的抗旱依据,对于冬小麦生产来说,研究并未考虑当地土壤墒情、灌溉、耕作、社会经济等因素,结果所反映的干旱特征在冬小麦生产过程中并不能代表实际的农业干旱情况,尤其是冬季的干旱,由于冬季麦苗需水量不大,叶面积小进而蒸发量小,再加上黄淮海平原大部分麦区都有浇冻水的习惯,所以即使文章得出的结论为冬季的气象干旱非常严重,但实际生产中只要冻水浇的适时适量,土壤底墒良好,小麦根扎的好,就能够抗御一定程度的干旱^[22]。因此,想要进一步识别冬小麦生长过程中的

干旱特征,应从农业干旱的角度入手,在计算相对湿度指数时将作物参考蒸散量订正为冬小麦实际蒸散量^[10],则能更好的反应冬小麦生产中的干旱状况。另外,黄淮海平原降水以及蒸散在空间上的不平衡性^[23],导致黄淮海平原干旱特征南北差异明显。一些学者^[7,9]的研究结果表明,黄淮海地区有相当大的区域呈现偏干旱趋势,这与本文该区域近 50 年来在冬小麦生长季内有变湿的趋势有所差别,主要原因是由于黄淮海地区 50 年来降水在减少^[24],且该地区的降水主要集中在 7—8 月^[15],而本文得出的结果是在冬小麦生长季内降水有增加的趋势,所以夏秋两季降水减少导致全年的干旱特征有增加的趋势,而冬小麦生长季的干旱特征则表现为减弱的趋势。研究表明相对湿度与风速也表现出一定的相关性,这主要是由于风速会影响下垫面的蒸发,从而导致相对湿度度的变化。另外,应对气候变化已越来越受到重视^[25],且气候变化的影响具有明显的季节性和区域差异性^[26],文中结论表明黄淮海平原在春、夏两季随着温度的升高有干旱化的趋势。因此,在未来的农业生产中,不但要建立极端天气气候事件与自然灾害的早期预警系统,完善区域性农业科学管理与生产决策支撑体系,也应通过选择抗旱性较强的品种及调整耕种方式和管理措施,尤其是针对黄淮海平原春季干旱的灌溉设施等对策来适应气候变化^[27-29]。

References:

[1] IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

[2] Wen K G, Ding Y H. China Meteorological Disaster Ceremony (Comprehensive Coils). Beijing: Meteorological Press, 2008.

[3] Wang C Y. Research Progress of Major Agro-meteorological Disasters. Beijing: Meteorological Press, 2007: 1-29.

[4] Zheng C Y. Review on global natural catastrophes. Natural Disaster Reduction in China, 2000, 10(1): 14-19.

[5] Deng Z Y, Zhang Q, Yin X Z, Zhang C J, Xin J W, Liu D X, Pu J Y, Dong A X. Response of drought damage to arid climate change. Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, 9(1): 114-118.

[6] Li S, Lü H Q, Zhang Y H, Han L J, Yang F Y, Wu C. Spatial-temporal distribution characteristics of dryness/wetness over Huanghuaihai region from 1961 to 2006. Meteorological Science

and Technology, 2008, 6(5): 601-605.

[7] Wu J J, Liu X C, Lü A F, Zhao L, Liu M. Analysis of the temporal and spatial layout of drought in the Huang-Huai-Hai region. China Population Resources and Environment, 2011, 21(2): 100-105.

[8] Ma Z G, Fu C B. Trend of surface humid index in the arid area of northern China. Acta Meteorologica Sinica, 2001, 9(6): 737-746.

[9] Wang Z W, Zhai P M. Climate change in drought over northern China during 1950—2000. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(S1): 61-68.

[10] Feng J S, Wang J Y, Wang X T, Xue X P, Chen Y C, Li H Y, Fan L J. The application of relative humidity index to agricultural drought monitoring. Journal of Applied Meteorological Science, 2011, 22(6): 766-772.

[11] Guo J, Wu J K, Li Y H, Wang C L, Jing Y S. Climate dryness/wetness status and its variation characteristics in Guangdong province. Chinese Journal of Agrometeorology, 2008, 29(2): 157-161.

[12] Rong Y S, Xue W L. Analysis of climate change nearly 50 years in northern China // Fifth Yangtze River Meteorological Science and Technology Forum. Shanghai, 2008: 646-650.

[13] Ma J Y, Xu Y L, Pan J. Drought tendency based on standardized precipitation index (SPI) and relative moisture index Over Northeast China from May to September during 1961—2009. Journal of Meteorology and Environment, 2012, 28(3): 90-95.

[14] Jin S B. Wheat Ecological Theory and Applications. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1992.

[15] Huo Z G, Li S K. Climate Resources of China. Science Popularization Press, 1993.

[16] Chi Z P. Spatial and temporal distributions and climate change of summer precipitation in Shandong province. Plateau Meteorology, 2009, 28(1): 220-226.

[17] Allen P G, Pereira L S, Raes D, Smith M. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United, 1998: 152-223.

[18] Wei F Y. Diagnosis and Prediction of Modern Climate Statistic. 2nd ed. Beijing: China Meteorological Press, 2007.

[19] Wen K G, Zang J S. China Meteorological Disaster Ceremony (Hebei Coils). Beijing: Meteorological Press, 2008.

[20] Wen K G, Pang T H. China Meteorological Disaster Ceremony (Henan Coils). Beijing: Meteorological Press, 2005.

[21] Wen K G, Wang J G, Sun D Q. China Meteorological Disaster Ceremony (Shandong Coils). Beijing: Meteorological Press, 2006.

[22] Zheng D W. Anti-drought based on scientific principles-A case study on combating drought and protecting wheat in 2009. Journal of Catastrophology, 2010, 25(1): 7-12.

[23] Yu Q H, Zhang Q Z, Jiang D D, Huo L, Liu Y Y. Comparative analysis of precipitation variation in Northern and Southern shores of the Meng-lan reach of the Yellow river. *He'nan Science*, 2011, 29(9): 1070-1072.

[24] Yang X L, Song Z W, Wang H, Shi Q H, Chen F, Chu Q Q. Spatio-temporal variations of winter wheat water requirement and climatic causes in Huang-Huai-Hai Farming Region. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(3): 356-362.

[25] Lin E D, Wu S H, Dai X S, Liu H B, Liu C Z, Gao Q X, Li C X, Bao M Z. Updated understanding of climate change impacts. *Advances in Climate Change Research*, 2007, 3(3): 125-131.

[26] Liu H, Li X B, Fischer G, Sun L X. Study on the impacts of climate change on China's agriculture. *Climatic Change*, 2004, 65(1/2): 125-148.

[27] Dhungana E, Eskridge K M, Weiss A, Baenziger P S. Designing crop technology for a future climate: An example using response surface methodology and the CERES-Wheat model. *Agricultural Systems*, 2006, 87(1): 63-79.

[28] Ge Q S, Qu J S, Zeng J J, Fang X Q. Review on international strategies and trends for adaptation to climate change. *Advances in Climate Change Research*, 2009, 5(6): 369-375.

[29] Liu Y S, Liu Y, Guo L Y. Impact of climatic change on agricultural production and response strategies in China. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(4): 905-910.

[9] 王志伟, 翟盘茂. 中国北方近 50 年干旱变化特征. *地理学报*, 2003, 58(增刊): 61-68.

[10] 冯建设, 王建源, 王新堂, 薛晓萍, 陈艳春, 李鸿怡, 范里驹. 相对湿度指数在农业干旱监测业务中的应用. *应用气象学报*, 2011, 22(6): 766-772.

[11] 郭晶, 吴举开, 李远辉, 王春林, 景元书. 广东省气候干湿状况及其变化特征. *中国农业气象*, 2008, 29(2): 157-161.

[12] 荣艳淑, 薛文亮. 华北地区近 50 年气候变化的再分析 // 第五届长三角气象科技论坛. 上海, 2008: 646-650.

[13] 马建勇, 许吟隆, 潘婕. 基于册与相对湿度指数的 1961—2009 年东北地区 5-9 月干旱趋势分析. *气象与环境学报*, 2012, 28(3): 90-95.

[14] 金善宝. 小麦生态理论与应用. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1992.

[15] 霍治国, 李世奎. 中国气候资源. 北京: 科学普及出版社, 1993.

[16] 迟竹萍. 近 45 年山东夏季降水时空分布及变化趋势分析. *高原气象*. 2009, 28(1): 220-226.

[18] 魏风英. 现代气候统计诊断与预测技术 (第二版). 北京: 气象出版社, 2007.

[19] 温克刚, 臧建升. 中国气象灾害大典·河北卷. 北京: 气象出版社, 2008.

[20] 温克刚, 庞天荷. 中国气象灾害大典·河南卷. 北京: 气象出版社, 2005.

[21] 温克刚, 王建国, 孙典卿. 中国气象灾害大典·山东卷. 北京: 气象出版社, 2006.

[22] 郑大玮. 论科学抗旱——以 2009 年的抗旱保麦为例. *灾害学*, 2010, 25(1): 7-12.

[23] 喻谦花, 张青珍, 姜东东, 霍雷, 刘莹莹. 黄河孟——兰段南北两岸降水变化对比分析. *河南科学*, 2011. 29(9): 1070-1072.

[24] 杨晓琳, 宋振伟, 王宏, 石全红, 陈阜, 褚庆全. 黄淮海农作区冬小麦需水量时空变化特征及气候影响因素分析. *中国生态农业学报*, 2012, 20(3): 356-362.

[25] 林而达, 吴绍洪, 戴晓苏, 刘洪滨, 刘春蓁, 高庆先, 李从先, 包满珠. 气候变化影响的最新认知. *气候变化研究进展*, 2007, 3(3): 125-131.

[28] 葛全胜, 曲建升, 曾晶晶, 方修琦. 国际气候变化适应战略与态势分析. *气候变化研究进展*, 2009, 5(6): 369-375.

[29] 刘彦随, 刘玉, 郭丽英. 气候变化对中国农业生产的影响及应对策略. *中国生态农业学报*, 2010, 18(4): 905-910.

参考文献:

[2] 温克刚, 丁一汇. 中国气象灾害大典·综合卷. 北京: 气象出版社, 2008.

[3] 王春乙. 重大农业气象灾害研究进展. 北京: 气象出版社, 2007.

[4] 郑远长. 全球自然灾害概述. *中国减灾*, 2000, 10(1): 14-19.

[5] 邓振镛, 张强, 尹宪志, 张存杰, 辛吉武, 刘德祥, 蒲金涌, 董安祥. 干旱灾害对干旱气候变化的响应. *冰川冻土*, 2007, 29(1): 114-118.

[6] 李森, 吕厚荃, 张艳红, 韩丽娟, 杨霏云, 吴超. 黄淮海地区 1961—2006 年干湿状况时空变化. *气象科技*, 2008, 36(5): 601-605.

[7] 武建军, 刘晓晨, 吕爱峰, 赵林, 刘明. 黄淮海地区干湿状况的时空分异研究. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(2): 100-105.

[8] 马柱国, 符淙斌. 中国北方干旱区地表湿润状况的趋势分析. *气象学报*, 2001, 59(6): 737-746.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34 ,No.2 Jan. ,2014 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

Effects of soil texture on variations of paddy soil physical and chemical properties under continuous no tillage GONG Dongqin,LÜ Jun (239)

Evaluation of the landscape patterns vulnerability and analysis of spatial correlation patterns in the lower reaches of Liaohe River Plain SUN Caizhi, YAN Xiaolu,ZHONG Jingqiu (247)

Effects of light and dissolved oxygen on the phenotypic plasticity of *Alternanthera philoxeroides* in submergence conditions XU Jianping, ZHANG Xiaoping, ZENG Bo, et al (258)

A review of the relationship between algae and bacteria in harmful algal blooms ZHOU Jin, CHEN Guofu,ZHU Xiaoshan, et al (269)

Biodiversity and research progress on picophytoplankton in saline lakes WANG Jiali, WANG Fang (282)

Effects of ozone stress on major plant physiological functions LIE Ganwen, YE Longhua, XUE Li (294)

The current progress in rodents molecular phylogeography LIU Zhu, XU Yanchun, RONG Ke, et al (307)

The progress in ecosystem services mapping: a review ZHANG Liwei, FU Bojie (316)

Autecology & Fundamentals

Growth, and cationic absorption, transportation and allocation of *Elaeagnus angustifolia* seedlings under NaCl stress LIU Zhengxiang, ZHANG Huaxin, YANG Xiuyan, et al (326)

Leaf morphology and PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of *Sinosenecio jishouensis* in Different Habitats XIANG Fen, ZHOU Qiang,TIAN Xiangrong, et al (337)

Response of change of wheat LAI measured with LAI-2000 to the radiance WANG Yan, TIAN Qingjiu, SUN Shaojie, et al (345)

Effects of K⁺ and Cr⁶⁺ on larval development and survival rate of the acorn barnacle *Balanus reticulatus* HU Yufeng, YAN Tao, CAO Wenhao, et al (353)

Diffusion of colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, adults in field LI Chao, PENG He, CHENG Dengfa, et al (359)

Population, Community and Ecosystem

Seasonal variations in fish community structure in the Laizhou Bay and the Yellow River Estuary SUN Pengfei, SHAN Xiujuan, WU Qiang, et al (367)

Variations in fish community structure and diversity in the sections of the central and southern Yellow Sea SHAN Xiujuan, CHEN Yunlong, DAI Fangqun, et al (377)

Research on the difference in eutrophication state and indicator threshold value determination among lakes in the Southern Jiangsu Province, China CHEN Xiaohua, LI Xiaoping, WANG Feifei,et al (390)

Effecton of tidal creek system on the expansion of the invasive *Spartina* in the coastal wetland of Yancheng HOU Minghang, LIU Hongyu, ZHANG Huabing (400)

The spatial and temporal variations of maximum light use efficiency and possible driving factors of Croplands in Jiangsu Province KANG Tingting, GAO Ping, JU Weimin, et al (410)

Simulation of summer maize yield influenced by potential drought in China during 1961—2010 CAO Yang, YANG Jie, XIONG Wei,et al (421)

Forest change and its impact on the quantity of oxygen release in Heilongjiang Province during the Past Century ZHANG Lijuan,JIANG Chunyan,MA Jun,et al (430)

Soil macro-faunal guild characteristics at different successional stages in the Songnen grassland of China	LI Xiaoqiang, YIN Xiuqin, SUN Lina (442)
Seasonal dynamics of soil microbial biomass in six forest types in Xiaoxing'an Mountains, China	LIU Chun, LIU Yankun, JIN Guangze (451)
Landscape, Regional and Global Ecology	
Variation of drought and regional response to climate change in Huang-Huai-Hai Plain	XU Jianwen, JU Hui, LIU Qin, et al (460)
Wind speed changes and its influencing factors in Southwestern China	ZHANG Zhibin, YANG Ying, ZHANG Xiaoping, et al (471)
Characteristics of soil carbon density distribution of the <i>Kobresia humilis</i> meadow in the Qinghai Lake basin	CAO Shengkui, CHEN Kelong, CAO Guangchao, et al (482)
Life cycle assessment of carbon footprint for rice production in Shanghai	CAO Liming, LI Maobai, WANG Xinqi, et al (491)
Research Notes	
Seasonal changes of ground vegetation characteristics under artificial <i>Caragana intermedia</i> plantations with age in desert steppe	LIU Rentao, CHAI Yongqing, XU Kun, et al (500)
The experimental study on trans-regional soil replacement	JIN Yinghua, XU Jiawei, QIN Lijie (509)
Sensitivity analysis of swat model on changes of landscape pattern: a case study from Lao Guanhe Watershed in Danjiangkou Reservoir Area	WEI Chong, SONG Xuan, CHEN Jie (517)

《生态学报》2014 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,探索生态学奥秘,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,280 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

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 34 卷 第 2 期 (2014 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 2 (January, 2014)

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

主 编 王如松

主 管 中国科学技术协会

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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂

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

订 购 全国各地邮局

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

广告经营 京海工商广字第 8013 号

许 可 证

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

Editor-in-chief WANG Rusong

Supervised by China Association for Science and Technology

Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China

