中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国60年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第31卷 第3期
Vol.31 No.3
2011

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 3 期　　2011 年 2 月　(半月刊)

目　　次

景观生态学原理在城市土地利用分类中的应用…… 李伟峰,欧阳志云,肖　燚 (593)
中国特有濒危植物夏蜡梅的交配系统 …… 赵宏波,周莉花,郝日明,等 (602)
昆仑山北坡不同海拔塔里木沙拐枣的光合生理生态特性 …… 朱军涛,李向义,张希明,等 (611)
天山云杉天然林不同林层的空间格局和空间关联性…… 李明辉,何风华,潘存德 (620)
大气 CO_2 浓度升高对 B 型烟粉虱大小、酶活及其寄主的选择性影响 …… 王学霞,王国红,戈　峰 (629)
桃小食心虫越冬幼虫过冷却能力及体内生化物质动态 …… 王　鹏,凌　飞,于　毅,等 (638)
象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究 …… 廖一波,寿　鹿,曾江宁,等 (646)
北部湾宝刀鱼的摄食生态 …… 颜云榕,杨厚超,卢伙胜,等 (654)
黄河三角洲自然保护区东方白鹳的巢址利用 …… 段玉宝,田秀华,朱书玉,等 (666)
贺兰山野化牦牛冬春季食性 …… 姚志诚,刘振生,王兆锭,等 (673)
杉木生长及土壤特性对土壤呼吸速率的影响 …… 王　丹,王　兵,戴　伟,等 (680)
中国干旱半干旱区潜在植被演替 …… 李　飞,赵　军,赵传燕,等 (689)
夜间增温和施肥对川西亚高山针叶林两种树苗根际效应的影响 …… 卫云燕,尹华军, 刘　庆,等 (698)
洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征…… 鲁　静,周虹霞,田广宇,等 (709)
杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应…… 安玉艳,梁宗锁,郝文芳 (716)
柠条细根的空间分布特征及其季节动态 …… 史建伟,王孟本,陈建文,等 (726)
NaCl 和 Na_2SO_4 胁迫下两种刺槐叶肉细胞叶绿体超微结构 …… 孟凡娟,庞洪影,王建中,等 (734)
设施番茄果实生长与环境因子的关系 …… 程智慧,陈学进,赖琳玲,等 (742)
嫁接茄子根系分泌物变化及其对黄萎菌的影响 …… 周宝利,刘　娜,叶雪凌,等 (749)
华北地区冬小麦干旱风险区划 …… 吴东丽,王春乙,薛红喜,等 (760)
干旱胁迫条件下冷型小麦灌浆结实期的农田热量平衡…… 严菊芳,张嵩午,刘党校 (770)
秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响…… 高　飞,贾志宽,路文涛,等 (777)
盐胁迫下不同基因型冬小麦渗透及离子的毒害效应 …… 徐　猛,马巧荣,张继涛,等 (784)
阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氮及相关微生物的影响…… 母　容,潘开文,王进闯,等 (793)
岷江上游油松与云杉人工林土壤微生物生物量及其影响因素…… 江元明,庞学勇,包维楷 (801)
荒漠沙蒿根围 AM 真菌和 DSE 的空间分布 …… 贺学礼,王银银,赵丽莉,等 (812)
百菌清对落叶松人工防护林土壤微生物群落的影响 …… 邵元元,王志英,邹　莉,等 (819)
居住区植物绿量与其气温调控效应的关系 …… 李英汉,王俊坚,李贵才,等 (830)
近 33 年白洋淀景观动态变化…… 庄长伟,欧阳志云,徐卫华,等 (839)
舟山群岛旅游交通生态足迹评估 …… 肖建红,于庆东,刘　康,等 (849)
^{15}N 交叉标记有机与无机肥料氮的转化与残留 …… 彭佩钦,仇少君,侯红波,等 (858)
沉积物老化过程中 DOC 含量变化对菲吸附-解吸的影响 …… 焦立新,孟　伟,郑丙辉,等 (866)
湖南石门、冷水江、浏阳 3 个矿区的苎麻重金属含量及累积特征 …… 佘　玮,揭雨成,邢虎成,等 (874)

问题讨论

近 55a 来河西走廊荒漠绿洲区季节变化特征及其对胡杨年生长期的影响 …… 刘普幸,张克新 (882)
利用 HYSPLIT 模型分析麦蚜远距离迁飞前向轨迹 …… 郁振兴,武予清,蒋月丽,等 (889)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ￥70.00 * 1510 * 35 * 2011-02

生 态 学 报 2011,31(3):0760—0769
Acta Ecologica Sinica

华北地区冬小麦干旱风险区划

吴东丽[1,2], 王春乙[2,*], 薛红喜[1], 张雪芬[1]
(1. 中国气象局气象探测中心, 北京 100081; 2. 中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要:灾害风险评估与区划是是实现灾害应急管理向风险管理转变的关键。综合考虑了影响灾害风险大小的自然属性和社会属性,从多角度选取了干旱灾害强度、基于冬小麦干旱指数的干旱频率、基于灾损的干旱频率、灾年减产率变异系数、区域农业经济发展水平、抗灾性能指数等6个风险评估指标。通过引入CCA排序方法,揭示了不同风险评估指标之间的相关关系以及评估指标与相对气象产量的关系;并以确定的风险评估指标和相对气象产量之间的关系为基础,构建了不考虑抗灾和考虑抗灾2种风险指数。对比两种风险指数分析结果,表明在抗灾和不抗灾2种条件下,华北地区冬小麦干旱风险格局发生了明显改变。说明在当前农业生产水平下,人类的减灾抗灾和风险管理水平对冬小麦生产起着至关重要的作用。最后,以模糊聚类分析为手段,以考虑抗灾能力的风险指数和灾年减产率为分类标准进行聚类,实现了华北地区冬小麦干旱风险综合区划。

关键词:风险评估;风险区划;CCA排序;华北地区

The drought risk zoning of winter wheat in North China

WU Dongli[1,2], WANG Chunyi[2,*], XUE Hongxi[1], ZHANG Xuefen[1]
1 *Meteorological Observation Centre, China Meteorological Administration, Beijing* 100081, *China*
2 *Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing* 100081, *China*

Abstract: With its wheat production accounting for about 60 percent of the national total, North China is one of the most important grain-producing areas in China. The wheat production in this region directly determines the import and export of wheat of China and is potentially associated with the overall development of agriculture in China. However, suffering the longest and the most severe drought almost every year due to the interannual variability of monsoon climate, this region possesses the largest drought-hit area in China. Therefore, drought risk classification over this region is of particular significance. Generally, disaster risk assessment and zoning play a key role in risk management and disaster emergency response. In North China, drought is one of the most serious agro-meteorological disasters that constrain the winter wheat yield. Considering both natural and social attributes of the natural disaster risk, six indices are selected for the risk assessment in this research. They include the intensity of drought, the frequency of drought occurrences based on wheat drought index anomaly, the frequency of drought occurrences based on yield losses, disaster variation coefficient of yield losses, regional agricultural production level of winter wheat, and the index of disaster resistance. It is well known that in multivariate analysis, ordination is a complementary method in data clustering and is used mainly in exploratory data analysis. By using the most common Canonical Correspondence Analysis (CCA) ordination method, it is found that there are relationships between different risk assessment indices and they are correlated with the relative meteorological yields. Based on the findings, two risk indices are constructed for two situations with and without defensive responses to drought. Comparison results obtained from these two indices indicate that both the temporal and spatial distributions of the drought risk with defensive responses to drought is quite different from that without defensive responses to drought in the North China Plains, suggesting that the level of the disaster mitigation and risk management plays a great role in the winter wheat production under the current farming practice conditions. Finally, an integrated regionalization for the drought risk of the

基金项目:国家自然科学基金项目(30771248);国家"十一五"科技支撑计划重点项目(2006BAD04B09)
收稿日期:2009-12-28; **修订日期**:2010-07-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wcy@cms1924.org

winter wheat in the North China Plains is successfully carried out using the fuzzy clustering method through the analysis of the decreasing rate of the crop yields in the famine year and risk indices involving disaster resistance as the clustering standards.

Key Words: risk assessment; risk zoning; CCA ordination; North China

为有效管理冬小麦干旱灾害风险,减小损失,必须进行干旱灾害风险评估与区划[1-4]。华北平原是我国重要的小麦生产基地,种植面积和产量均占全国总量的 1/2 左右,该区最严重的农业气象灾害是干旱,近年来,随着全球气候变暖,干旱发生的频率和危害程度呈上升的趋势,成为该区小麦产量稳定上升的重要限制因素[5],因此,正确、客观地评估干旱对冬小麦的影响,精确、有效地区划冬小麦干旱风险,具有较大的理论与实践意义,风险区划是农业保险的基础,为制定防灾、减灾对策提供科学依据,为推进农业气象服务提供科学思路。目前,对华北地区冬小麦干旱的评估大多数比较重视干旱灾害事件发生可能性,或以灾害的实际发生概率为基础,没有考虑在人为抗灾减灾作用下,干旱风险的变化,致使风险评估模型不能准确反应农业气象灾害风险形成机理和影响因素,不能真实反映干旱对冬小麦的综合影响[6-10]。本文综合考虑形成气象灾害风险的四个要素,即致灾因子风险分析、承灾体易损性、灾情损失评估、防灾减灾能力[11]等方面,选取 6 个评估指标[12-13],并进一步揭示不同评估指标之间的相关性,以此为基础构建了不考虑抗灾能力和考虑抗灾能力两种风险指数,最后进行综合风险评估和区划,旨在为华北地区冬小麦高产稳产和减灾提供科学依据,同时探索研究干旱灾害风险评估指标关系的方法和探讨考虑抗灾和不考虑抗灾的风险评估方法。

1　数据与方法

1.1　数据来源

本文所涉资料包括华北地区 5 省[14](市)56 个气象站点 1961—2006 年的降水和各站点经纬度及海拔资料,冬小麦发育期来自农业气象观测站,单产资料主要来自各县市统计年鉴等。在文中,站号对应的站点如表 1。

表 1　华北地区站号对应的气象站点

Table 1　Station numbers corresponds to the meteorological station sites in North China

站号 No.	站点 Station	站号 No.	站点 Station	站号 No.	站点 Station	站号 No.	站点 Station
1	北京	15	黄骅	29	信阳	43	淄博
2	天津	16	南宫	30	商丘	44	沂源
3	石家庄	17	安阳	31	固始	45	潍坊
4	邢台	18	新乡	32	德州	46	莱阳
5	遵化	19	卢氏	33	陵县	47	青岛
6	青龙	20	孟津	34	惠民	48	海阳
7	秦皇岛	21	栾川	35	东营	49	石岛
8	霸州	22	许昌	36	长岛	50	菏泽
9	唐山	23	开封	37	福山	51	定陶
10	乐亭	24	西峡	38	烟台	52	兖州
11	保定	25	南阳	39	莘县	53	费县
12	饶阳	26	宝丰	40	济南	54	莒县
13	沧州	27	西华	41	淄川	55	临沂
14	泊头	28	驻马店	42	泰安	56	日照

1.2　数据插值

风险指数值和风险区划值用反距离权重法进行空间插值。

1.3 灾害风险评价指数法

区域干旱灾害风险分析主要内容包括4个方面:致灾因子风险分析、承灾体易损性评价、灾情损失评估和防灾减灾能力[11]。在文中具体含义为:

致灾因子风险分析,指造成干旱灾害的程度,主要由干旱灾害强度决定。

承灾体易损性,指冬小麦可能受到干旱的影响,由干旱频次决定。

承灾体的脆弱性,指干旱对冬小麦所造成的损失程度,由灾年减产率、灾年减产率变异系数、区域农业经济水平决定。

防灾减灾能力,指冬小麦能够从干旱灾害中恢复的程度,指抗灾性能指数。

1.4 极差标准化

为了使数据处于0—1之间,对数据进行极差标准化,其表达式为:

$$I'_i = \frac{I_i - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \tag{1}$$

式中,I'_i为极差标准化后的数据,I_i为原始数据,$I_{\max}$和$I_{\min}$分别为每一列中的最大值和最小值。

1.5 典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA)

选取华北地区56个站点作为空间分析样本,对56个站点1962—2006年的相对气象产量和4个风险评估指标(*IYLDF*, integrated yield losses drought frequency; *DV*, disaster variation; *RD*, resisting disaster、*AL*, agriculture level)作极差标准化处理,分别建立为CCA排序分析用的站点与年份、站点与4个风险评估指标的数据矩阵。CCA排序计算结果由国际通用分析软件CANOCO4.5和作图软件CANODRAW4.5实现。

1.6 风险评估指标

1.6.1 干旱灾害强度

对于大田农业生产,最重要的因素还是降水量的多少,研究认为,在华北地区,充分供水条件下的冬小麦全生育期需水量约为470—520mm。在本研究中,定义其均值495mm为满足冬小麦生长的需水要求界限[15]。定义干旱强度为冬小麦生长季节的降水量与同期冬小麦需水量之比,其中华北平原不同地区的干旱灾害强度(*DI*, drought intensity)DI_j可以用以下公式计算:

$$DI_j = 1 - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{p_i}{495} \tag{2}$$

其中,n为总年份(1962—2006年),j为华北平原每个研究区域(56个站点),p为冬小麦全生育期的降水量。

1.6.2 基于冬小麦干旱指标的干旱频率

基于冬小麦干旱指标的干旱频率(*DFWI*, drought frequency based on wheat drought indices):表示在1962—2006年期间,不考虑抗灾条件下,干旱发生的可能性和频率。不同区域的*DFWI*用以下公式表达:

$$DFWI_j = CDN_j/n \tag{3}$$

其中,$DFWI_j$为基于干旱指标干旱发生频率,CDN_j为基于干旱指标干旱发生次数,j为华北平原每个研究区域(56个站点),n为总年份(1962—2006年),干旱发生频率越大,则干旱灾害发生的可能性越大,在文中,冬小麦干旱指标负距平>15%就表示发生干旱[16];冬小麦干旱指标负距平在15%—25%表示轻旱,负距平在25%—50%表示中旱,负距平>50%表示重旱[17],为揭示不同等级干旱灾害对冬小麦产量影响的差异,在农业上一般以减产10%以下为轻旱,10%—20%为中旱,>20%为重旱[18],以此减产率划分不同等级干旱的标准,确定了轻旱、中旱、重旱的权重系数分别为0.2、0.3和0.5,定义了综合干旱频率(*IDFWI*, integrated drought frequency wheat indices):

$$IDFWI_j = (0.2LDNWI_j + 0.3MDNWI_j + 0.5HDNWI_j)/n \tag{4}$$

式中,$IDFWI_j$为基于干旱指标干旱发生综合频率,$LDNWI_j$为基于干旱指标轻微干旱发生次数,$MDNWI_j$为基于干旱指标中等干旱发生次数,$HDNWI_j$为基于干旱指标严重干旱发生次数,j为华北平原每个研究区域(56

个站点),n 为总年份(1962—2006 年)。

1.6.3　基于灾损的干旱频率

YLDF(yield losses drought frequency):表示在 1962—2006 年期间冬小麦干旱实际发生的可能性和概率。*YLDF* 用以下公式表达:

$$YLDF_j = DN_j/n \tag{5}$$

式中,$YLDF_j$为干旱发生频率,DN_j为干旱发生次数,j 为华北平原每个研究区域(56 个站点),n 为总年份(1962—2006 年),干旱发生频率越大,则干旱灾害发生的可能性越大,在文中,减产 >5% 就表示发生干旱;在农业生产上,减产 5%—10% 表示轻旱,减产 >10%—20% 表示中旱,减产 >20% 表示重旱,为揭示不同等级干旱灾害对冬小麦产量影响的差异,在农业上一般以减产 10% 以下为轻旱,10%—20% 为中旱,>20% 为重旱[18],以此减产率划分不同等级干旱的标准,确定了轻旱、中旱、重旱的权重系数分别为 0.2、0.3 和 0.5,定义综合干旱频率(*IYLDF*, integrated yield losses drought frequency)表达式为:

$$IYLDF_j = (0.2LDN_j + 0.3MDN_j + 0.5HDN_j)/n \tag{6}$$

式中,$IYLDF_j$为干旱发生综合频率,LDN_j为轻微干旱发生次数,MDN_j为中等干旱发生次数,HDN_j为严重干旱发生次数,j 为华北平原每个研究区域(56 个站点),n 为总年份(1962—2006 年)。

1.6.4　灾年减产率变异系数

灾年减产率变异系数(*DV*)表示减产率的幅度偏离其平均值的程度。定义为:

$$DV = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2/(n-1)}}{\bar{x}} \tag{7}$$

式中,x_i为减产率(相对气象产量百分率为负值),当 $x_i \leqslant -5.0\%$,n 为成灾年份的年数时,$\bar{x}$ 为灾年平均减产率,得到灾年减产率变异系数(*DV*, disaster variation)。灾年减产率变异系数描述所有减产年份减产幅度,变异系数大,说明严重减产的年份和轻微减产的年份都比较多。

1.6.5　区域农业经济发展水平

从农业特别是种植业生产来讲,粮食生产(单产)的多少,基本标志着一个区域种植业生产的水平,即代表着一个区域的农业经济发展。因此,选取冬小麦生产水平作为区域农业经济水平(*AL*(Agriculture level)),计算公式如下:

$$AL = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Y_i}{SY_i}\right) \tag{8}$$

式中,*AL* 为华北平原不同区域冬小麦生产水平,Y_i为每一区域第 i 年单产,SY_i为 56 个县(市)第 i 年的单产之和,n 为总年份(1962—2006 年)。

1.6.6　抗灾性能指数

由于小麦是一个有机活体,在长期生长过程中对环境变化已具有适应性,因此当干旱发生后,若不是产量形成关键期,一般都有一定的恢复能力,特别是在人为参与抗灾情况下,恢复能力可能更大[19]。华北地区冬小麦单位面积产量从 1962 至 2006 年有明显上升的趋势,随着生产水平的提高,冬小麦产量逐年明显提高,正是反映了冬小麦综合抗灾能力的不断提高。已知趋势产量是一定历史时期生产力发展水平的反映,把各地的趋势产量作一元线性回归,定义线性回归方程的斜率为小麦抗灾性能指数(*RD*, resisting disaster)。

$$RD_j = \frac{RD'_j}{\sum_{j=1}^{n} RD'_j} \tag{9}$$

式中,RD_j为标准化后的抗灾性能指数,RD'_j 为第 j 区域的抗灾性能指数,m 为研究区域个数(56 个县(市))。

2 结果

2.1 华北地区冬小麦干旱风险评估模型

华北地区冬小麦干旱风险表示干旱对冬小麦生产的潜在威胁和直接危害[20]，利用灾害风险评价指数法和上述 6 个评估指标分别建立不考虑抗灾和考虑抗灾两种风险评估指数。

2.1.1 不考虑抗灾能力的干旱风险评估模型

选用基于冬小麦干旱指标距平干旱综合频率和干旱灾害强度，构建不考虑抗灾风险指数，其表达式为：

$$NIRDRI_j = IDFWI_j \cdot DI_j \quad (10)$$

式中，j 为华北平原每个研究区域(56 个站点)，($NIRDRI_j$, not including resisting disaster risk index)为不考虑抗灾风险指数，($IDFWI_j$, integrated drought frequency based on wheat drought indices)为基于冬小麦干旱指标干旱发生综合频率，(DI_j, drought intensity)为干旱灾害发生的强度。

图 1 为华北地区冬小麦不考虑抗灾能力的干旱风险空间分布格局，呈现出由东南向西北梯级式递增的趋势，连片性好，按风险高低分为 5 个等级：低值区(≤0.33)，较低值区(>0.35—0.50)，中值区(>0.50—0.67)，较高值区(>0.67—0.83)，高值区(>0.83)。低值区集中分布在豫南及豫西部分地区，主要包括沿河南省卢氏、栾川、西峡、南阳、驻马店市、信阳、固始一带，较低值区集中分布在豫西、豫中及山东半岛东部地区，中值区集中分布在豫中东部、鲁中及冀东北地区，山东沿黄一带是中值区和较高值区的分界线，较高值区集中分布在豫东北和鲁西北一带及冀东南和环渤海一带，高值区分布在冀西大部。总的来说，华北地区不考虑抗灾能力的干旱风险分布区域有如下特点：河南省由南向北，呈低—中—高的变化趋势，山东省由西向东，呈高—中—低的变化趋势，河北省西高东低。其区域分异性差异呈现出了纬度地带性和垂直地带性的特点，说明不考虑抗灾性时，华北地区的干旱主要取决于气候干旱，即由降水量的多少决定。

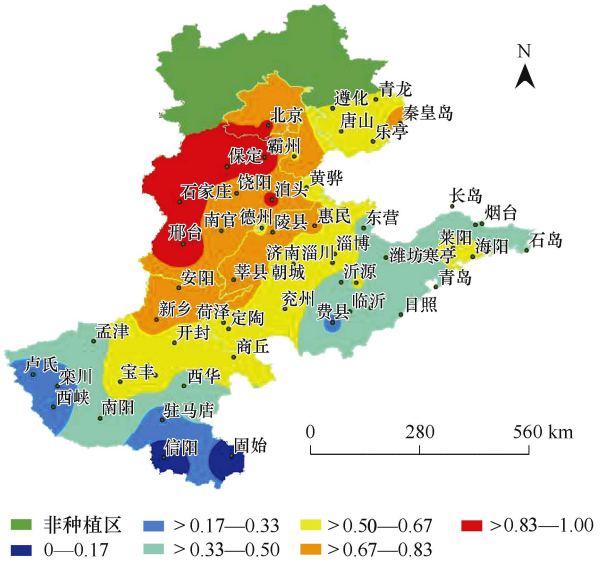

图 1 不考虑抗灾能力的风险指数分布

Fig. 1 Risk index distribution excluding disaster resisting capability

2.1.2 考虑抗灾能力的干旱风险评估模型

为揭示抗灾性能指数(RD)、区域农业经济发展水平(AL)、灾年减产率变异系数(DV)、基于灾损的干旱频率($YLDF$)4 个评估指标对相对气象产量的影响以及 4 个评估指标之间的相关性，本文探索性地引入 CCA 排序研究不同干旱风险评估指标对相对气象产量的影响及分析不同指标之间的相关性，图 2 是华北地区 56 个县(市)相对气象产量的 CCA 二维排序结果，该图直观地表示出各评估指标对站点分布的影响以及评估指标间的相互关系。RD 与第 1 轴的相关系数为 −0.6967(表 2)，呈极显著负相关，表明沿第 1 轴自左向右，抗灾性能逐渐降低，分布在第一轴最左边站号为 33(陵县)、34(惠民)、14(泊头)、12(饶阳)、23(开封)5 个站点的抗灾性能指数分别为 171、159、123、145、133，而最右边的 41(淄川)、21(栾川)、24(西峡)、37(福山)、38(烟台)5 个站点的抗灾性能指数分别为 70、56、57、75、81，进一步验证了第 1 轴指示抗灾性能指数变化趋势。$IYLDF$ 与第 2 轴的相关系数为 0.6281(表 1)，呈极显著正相关，表明沿第 2 轴自上到下，干旱发生频率由高到低，分布在图 2 最上方的站号为 15(黄骅)、6(青龙)、29(信阳)、39(莘县)、13(沧州)5 个站点发生干旱频率分别为 21、17、18、22、17 次，最下方的 10(乐亭)、52(兖州)、42(泰安)、43(淄博)、3(石家庄)5 个站点发生频率分别为 10、11、13、12、10 次，验证了第 2 轴指示干旱发生频次变化趋势。

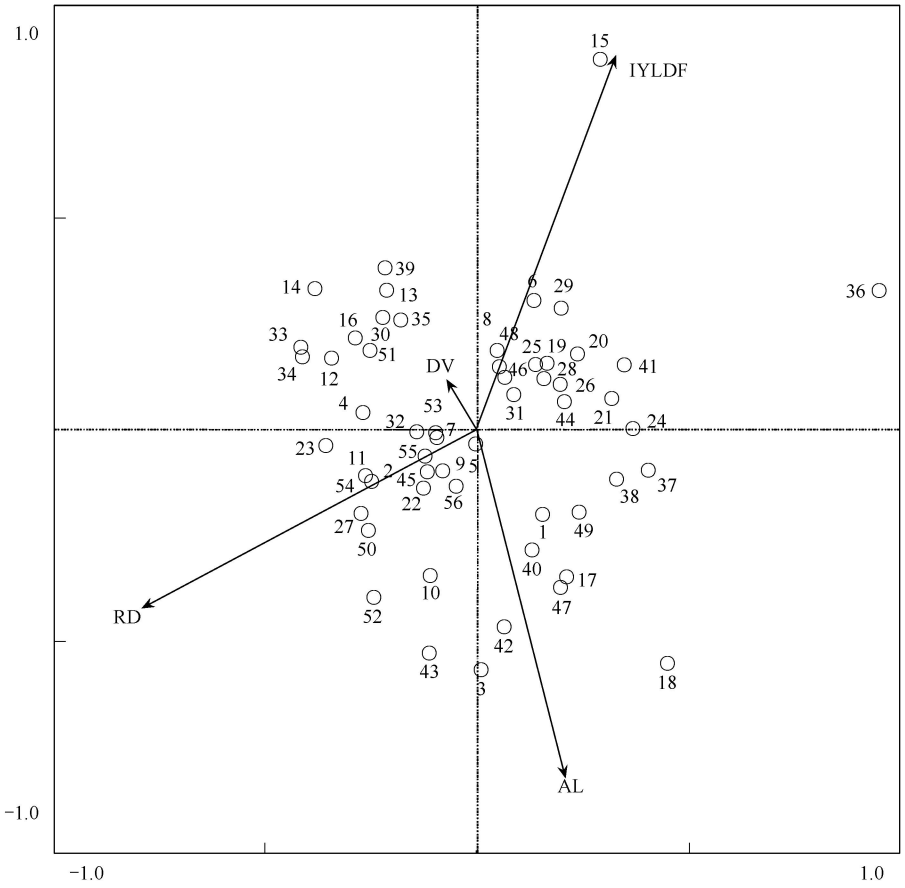

图 2　华北地区 56 个县(市)相对气象产量的 CCA 二维排序

Fig. 2　CCA ordination of relative meteorological yield of 56 counties in North China

站点用○表示,风险评估指标用带有指向箭头的矢量线段表示;箭头所处的象限表示风险评估指标与排序轴的正负相关性,箭头连线的长度表示该指标与站点分布间相关程度的大小,连线越长,表明相关性越大;箭头连线和排序轴的夹角表示该指标与排序轴的相关性大小,夹角越小,相关性越高;各箭头连线之间的夹角表示各评估指标之间的相关性,夹角越小,相关性越高

表 2　华北地区站点 CCA 排序前两轴与评估指标的相关系数

Table 2　Correlation coefficient between two axes of CCA and assessment indices in North China

排序轴 The axis of CCA ordination	*IYLDF*	*DV*	*RD*	*AL*
CCA1	0.2890	-0.0626	-0.6967	0.1838
CCA2	0.6281	0.0847	-0.2983	-0.5848

IYLDF, integrated yield losses drought frequency, 定义为:综合干旱频率;*DV*, disaster variation, 定义为:灾年减产率变异系数;*RD*, resisting disaster, 定义为:抗灾性能指数;*AL*, agriculture level, 定义为:区域农业经济水平

DV 箭头连线较短,说明该指标与相对气象产量的关系不是很紧密,而 *IYLDF*、*RD*、*AL* 箭头连线较长,说明这 3 个指标与相对气象产量有较大的相关性。*DV* 与 *IYLDF* 的夹角小于 90°,表明这两个指标之间呈正相关,即干旱发生的频率越高,灾年减产率也越大。*RD* 与 *IYLDF* 的夹角大于 90°,说明两者呈负相关,即抗灾性能指数越高,干旱发生频率越低。*AL* 与 *IYLDF* 的夹角大于 90°,说明区域农业生产水平越高,干旱发生频率越低。*RD* 与 *AL* 的夹角接近 90°,表明这二者影响较小。干旱发生频次与抗灾性能、区域生产水平呈负相关,符合大田农业生产的实际情况,将 CCA 排序引入灾害风险评估,为风险评估和风险区划提供了一种新的方法和思路。

由 CCA 排序图得到 *RD*、*AL* 与 *IYLDF* 的相关性都为负相关,表明 *RD*、*AL* 值越高,则 *IYLDF* 值越低,说明

一个区域的 *RD*、*AL* 值越高,面临的干旱风险越小,由于灾年减产率变异系数同前两轴的相关系数都较小,故构建风险指数时不选取该指标,据 CCA 排序结论,构建考虑抗灾能力风险指数,其表达式为:

$$IRDRI_j = IYLDF_j \cdot (1 - AL_j) \cdot (1 - RD_j) \quad (11)$$

式中,j 为华北平原每个研究区域(56 个站点),($IRDRI_j$, including resisting disaster risk index)为考虑抗灾风险指数,($IYLDF_j$, integrated yield losses drought frequency)为基于实际产量的干旱发生综合频率,(AL_j, agriculture level)为区域农业经济水平,(RD_j, resisting disaster)为抗灾性能指数。

图 3 是利用考虑抗灾能力的风险指数计算的华北地区冬小麦干旱风险指数空间分布格局,该值越大,风险水平越高。根据风险水平高低,将其划分为 5 个等级:低值区(≤0.17),较低值区(>0.17—0.33),中值区(>0.33—0.50),较高值区(>0.50—0.67),高值区(>0.67)。低值区零星地分布在石家庄、安阳、乐亭、菏泽、济南等地。较低值区成片性分布,分布在京、津、冀西、冀东北、豫北和鲁中南地区。中值区分布连片性好,集中分布在冀东、豫中西、以商丘为代表的豫东地区、鲁北、鲁东。较高值区呈插花性分布,零星地分布在南阳、信阳、莘县、青龙等地。高值区集中分布在环渤海的黄骅一带。

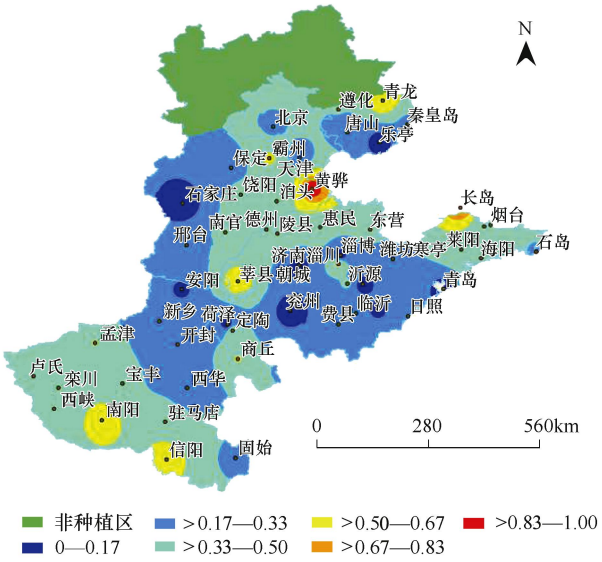

图 3 考虑抗灾能力的风险指数分布

Fig. 3 Distribution of including Resisting Disaster Risk Index

当考虑抗灾性时,华北地区冬小麦干旱风险区域分布发生了显著变化,石家庄、保定、邢台、安阳等地由不考虑抗灾的干旱高风险区转变为考虑抗灾条件下的干旱低风险区,这些区域是传统的冬小麦高产区,虽然自然降水不能满足冬小麦生长需水量,但是该区域地下水资源较丰富,而且排水条件较好,灌溉土壤无盐渍化威胁,土质适中,所以是抗灾条件下的低风险区;冀东南、豫北、鲁西等区域由不考虑抗灾的干旱较高风险区转变为考虑抗灾条件下的干旱中风险区;渤海湾的黄骅由不考虑抗灾的干旱中风险区转变为抗灾条件下干旱高风险区;豫西的卢氏、栾川、西峡等地由不考虑抗灾的干旱低风险区转变为抗灾条件下中风险区,这主要是因为豫西为丘陵地带,灌溉条件较差。

设置不考虑抗灾和考虑抗灾两种风险指数,计算结果表明干旱风险空间分布的区域差异性变化很明显,说明当前的农业生产不仅仅由气候和作物所决定,而是取决于气候、土壤、减灾措施和管理因素等因子的共同作用的结果。从气候而言,华北地区降水量不仅空间分布不均匀,且除南部平原降水年内分配比较均匀外,大部分地区年内分配不均匀,这对冬小麦的生长有不同程度的影响。另外,耕作管理措施的到位与否也是产量差异形成的重要原因之一[21-22]。

以华北地区干旱造成的冬小麦产量的损失数据为基础(表 3),对考虑抗灾能力风险指数和灾年减产率进行相关分析,计算结果得到两者的相关性为 0.5981,呈极显著性相关。因此,可以得出由干旱灾害所造成的冬小麦产量的损失程度与冬小麦的干旱灾害风险程度是一致的。因此,利用上述考虑抗灾能力的风险指数进行冬小麦干旱灾害风险程度评价是合理的。

2.2 华北地区冬小麦干旱风险区划

灾情和风险区划是进行区域灾害预防和减灾的科学基础。在文中,利用模糊聚类分析法对华北地区冬小麦干旱灾害风险进行了定量、客观评价和区划[12]。在模糊聚类分析中,以 56 个站点的每个站点作为一个客体,以考虑抗灾能力的风险指数和灾年减产率为分类标准进行聚类。经过比较分析,当 56 个站点被分成 5 类时,分类结果最接近实际情况。表 3 是被分为 5 类的结果,显示了五种类型的冬小麦干旱风险特征。由表 3

可见,对于冬小麦生产而言,干旱灾害的直接损失及潜在不利影响从第 5 类到第 1 类是逐渐减小的。第 5、4、3、2、1 类分别代表高风险、较高风险、中等风险、低风险、轻微风险。

表 3　华北地区 1962—2006 年冬小麦灾年平均减产率

Table 3　Average yield reduction of winter wheat in North China from 1962 to 2006

站号 No.	灾年平均减产率/% Average rate of reduction for yield in famine year	站号 No.	灾年平均减产率/% Average rate of reduction for yield in famine year	站号 No.	灾年平均减产率/% Average rate of reduction for yield in famine year	站号 No.	灾年平均减产率/% Average rate of reduction for yield in famine year
1	15.08	15	36.88	29	19.46	43	14.66
2	24.84	16	21.94	30	16.02	44	19.71
3	12.84	17	15.94	31	20.78	45	16.30
4	18.55	18	17.42	32	14.40	46	17.49
5	22.46	19	14.70	33	21.06	47	16.02
6	26.40	20	22.47	34	20.43	48	21.00
7	20.05	21	16.98	35	24.18	49	19.24
8	23.23	22	13.75	36	41.26	50	20.73
9	17.26	23	18.21	37	14.82	51	18.57
10	22.14	24	14.52	38	14.28	52	18.53
11	23.58	25	17.25	39	17.25	53	17.64
12	21.82	26	15.59	40	14.58	54	13.48
13	18.52	27	15.87	41	17.64	55	19.41
14	23.07	28	19.24	42	12.86	56	13.24

基于以上分析,将华北地区划分为 5 个冬小麦干旱灾害风险类型图,如图 4 所示,华北平原冬小麦干旱灾害风险分布格局呈南北风险高,中间风险低。轻微风险区,连片性较差,呈插花性分布。低风险区,连片性较好,集中分布在豫东、鲁西、冀西等地。低风险区与刘荣花[8]研究结果干旱低风险区包括豫南、豫西南、鲁东南沿海以及冀中南-豫北是基本一致的,以及与王素艳[7]研究结果中低风险区包括的北京市、河南中北部以及山东省基本一致。中等风险区主要在河南省呈带状分布,从南到北,沿孟津-宝丰-南阳-驻马店-信阳一带分布,还分布在冀、鲁接壤的沿线一带,例如豫南信阳地区虽然降水量较为充沛,但是小麦生产气候生态条件较差,常因多雨而影响播种,光照偏少,气温高且日较差小,呼吸作用强大,导致产量低。中风险区与刘荣花[8]研究结果所包括的豫中北和豫中南地区基本一致。较高风险区主要分布在环渤海的冀东南部和冀东北。高风险区主要集中分布在河北省环渤海的黄骅及山东省的长岛。高风险区与王素艳[7]研究结果高风险区包括的河北沧州和唐山地区是基本一致的,而天津市本研究认为属于较高风险区,而王素艳研究结果属于低风险区,这是由于所采用的不同风险指数而造成的。

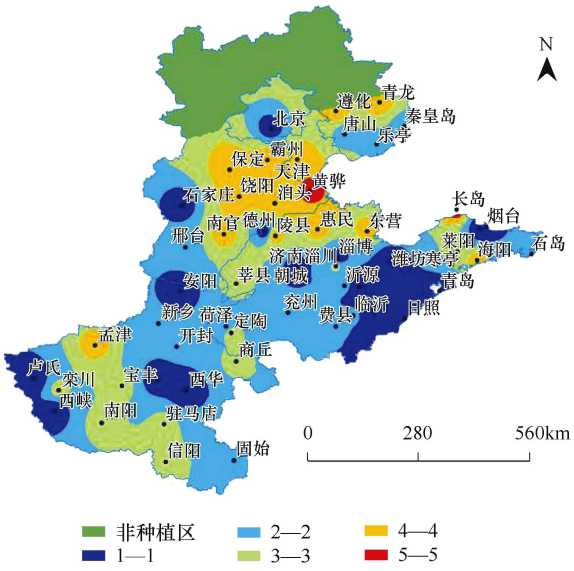

图 4　华北地区冬小麦干旱综合风险区划

Fig. 4　Integrated drought risk regionalization of winter wheat in North China

表 4 利用模糊聚类分析得到的冬小麦干旱灾害风险 5 种类型特征

Table 4 Characteristics of 5types of drought risk of winter wheat based on fuzzy clustering analysis

类型 Types	站号 No. of stations	减产率 Rate of reduction of yield			抗灾风险指数 Resisting disaster risk index		
		均值 Average	最大 Maximum	最小 Minimum	均值 Average	最大 Maximum	最小 Minimum
第 5 类 The fifth type	15,36	0.3907	0.4126	0.3688	0.1868	0.1932	0.1805
第 4 类 The fourth type	2,5,6,8,11,12,14,16,20,33,34,35,48	0.2281	0.2640	0.2043	0.1213	0.1526	0.0918
第 3 类 The third type	13,21,25,26,28,29,30,39,41,46,51,	0.1764	0.1946	0.1559	0.1333	0.1497	0.1192
第 2 类 The second type	4,7,9,10,18,23,31,44,49,50,52,53,55	0.1921	0.1941	0.1856	0.0964	0.1148	0.0781
第 1 类 The first type	1,3,17,19,22,24,27,32,37,38,40,42,43,45,47,54,56	0.1455	0.1630	0.1284	0.0976	0.1229	0.0698

3 结论

从灾害风险的自然属性和社会属性两个角度,引入 6 个风险评估指标,通过对华北地区冬小麦 6 个风险评估指标关系的分析,及对比研究抗灾和不抗灾 2 种条件下冬小麦干旱风险分布格局的变化,主要得到如下结论:

引入 CCA 排序方法探索评估指标对相对气象产量的影响以及评估指标之间的相关性,取得了较为理想的结果:第 1 轴指示抗灾性能指数变化趋势,第 2 轴指示干旱发生频次变化趋势。*IYLDF*、*RD*、*AL*3 个指标与相对气象产量有较大的相关性,*DV* 与 *IYLDF* 呈正相关,即干旱发生的频率越高,灾年减产率也越大。*RD* 与 *IYLDF* 两者呈负相关,即抗灾性能指数越高,干旱发生频率越低。*AL* 与 *IYLDF* 的夹角大于 90°,说明区域农业生产水平越高,干旱发生频率越低。*RD* 与 *AL* 的夹角接近 90°,表明这 2 个指标相互影响较小。

本文综合考虑自然灾害的自然属性和社会属性,为了比较人为减灾抗灾水平对冬小麦生产的影响作用和对比人类活动下冬小麦干旱风险的转变情况,设置了不考虑抗灾和考虑抗灾 2 种风险指数,结果表明,在抗灾和不抗灾 2 种条件下,华北地区冬小麦干旱风险格局发生了明显改变:不考虑抗灾能力的干旱风险空间分布格局连片性较好,呈由东南向西北梯级式递增的趋势,分布区域有如下特点:河南省由南向北,呈低—中—高的变化趋势,山东省由西向东,呈高—中—低的变化趋势,河北省西高东低。当考虑抗灾性时,华北地区冬小麦干旱风险区域分布发生了显著变化,石家庄、保定、邢台、安阳等地由不考虑抗灾的干旱高风险区转变为考虑抗灾条件下的干旱低风险区;冀东南、豫北、鲁西等区域由不考虑抗灾的干旱较高风险区转变为考虑抗灾条件下的干旱中风险区;渤海湾的黄骅由不考虑抗灾的干旱中风险区转变为抗灾条件下干旱高风险区;豫西的卢氏、栾川、西峡等地由不考虑抗灾的干旱低风险区转变为抗灾条件下中风险区。

采用模糊聚类分析方法,利用考虑抗灾能力的风险指数和灾年减产率为分类标准进行聚类,分类结果接近实际情况:华北平原冬小麦干旱灾害风险分布格局呈南北风险高,中间风险低。轻微风险区,连片性较差,呈插花性分布。低风险区,连片性较好,集中分布在豫东、鲁西、冀西等地。中等风险区主要在河南省呈带状分布,从南到北,沿孟津—宝丰—南阳—驻马店—信阳一带分布,还分布在冀、鲁接壤的沿线一带。较高风险区主要分布在环渤海的冀东南部和冀东北。高风险区主要集中分布在河北省环渤海的黄骅及山东省的长岛。

References:

[1] Shahid S, Behrawan H. Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. Natural Hazards, 2008, 46: 391-413.

[2] Shahid S, Chen X Y, Hazarika M K. Assessment aridity of Bangladesh using geographic information system. Gis Development, 2005: 9(12): 40-43.

[3] Wilhite D A. Drought as a natural hazard: concepts and definitions // Wilhite D Aed. Drought: a Global Assessment. Hazards and Disasters: a Series of Definitive Major Works. London: Routledge Publishers, 2000.

[4] Hu B B, Jiang Y X, Zhou J, Wang J, Xu S Y, Chen Z L. Assessment and zonation of land subsidence disaster risk in urban and suburb of

Tianjin. China Population, Resources and Environment, 2008, 18(4): 28-34.
[5] Liu R H, Zhu Z X, Fang W S, Wang Y H, Xu P P, Shi L K. Risk regionalization of yield loss by drought for winter wheat in North China Plain. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(9): 1068-1072.
[6] Wang S L, Lou X R. Preliminary study on the drought assessment of winter wheat in North China. Journal of Natural Disasters, 1997, 6(3): 63-68.
[7] Wang S Y, Huo Z G, Li S K, Lu Z G, Xue C Y. Risk regionalization of winter wheat loss caused by drought in North China. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(3): 267-274.
[8] Liu R H, Zhu Z X, Fang W S, Wang Y H. Preliminary study on drought zonation of winter wheat in North China Plain. Journal of Natural Disasters, 2003, 12(1): 140-144.
[9] Xue C Y, Huo Z G, Li S K, Ye C L. Risk assessment of drought and yield losses of winter wheat in the northern part of North China. Journal of Natural Disasters, 2003, 12(1): 131-139.
[10] Xue C Y, Huo Z G, Li S K, Zhuang L W, Wang S Y, Hou T T, Ye C L. Geographic distribution of winter wheat yield loss risk and its classification in North China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(4): 620-625.
[11] Huang C F. Risk Assessment of Natural Disaster-Theory & Practice. Beijing: Science Press, 2005: 10.
[12] Zhang J Q. Risk assessment of drought disaster in the maize-growing region of Songliao Plain, China. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2004, 102: 133-153.
[13] Zhang J Q, Li N. Quantitative Methods and Applications of Risk Assessment and Management on Main Meteorological Disasters. Beijing: Beijing Normal University Press, 2007: 227-242.
[14] Zhao J, Chen C K. Geography of China. Beijing: Higher Education Press, 1999.
[15] Li C Q, Li B G, Hong K Q. Trend of crop water requirement in recent 35 years in Hebei Province. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(2): 359-363.
[16] Wu D L, Wang C Y, Zhang X F, Xue H X. Study on the crop climate drought index of winter wheat in North China. Science & Technology Review, 2009, 27(7): 32-36.
[17] Wu D L. Study on the Risk Assessment of Drought for the Winter Wheat in North China. The Research Report of Postdoctor in National Climate Center, 2009:46.
[18] Zhu Z X, Liu R H, Fang W S, Wang Y H. Evaluation indices of drought of winter wheat in North China. Journal of Natural Disasters, 2003, 12(1): 145-150.
[19] Li S K. Risk Assessment and Strategies of Agricultural Disasters in China. Beijing: China Meteorological Press, 1999: 230-236.
[20] Hyman G, Fujisaka S, Jones P, Wood S, de Vicente C, Dixon J. Strategic approaches to targeting technology generation: Assessing the coincidence of poverty and drought-prone crop production. Agricultural Systems, 2008, 98: 50-61.
[21] Mo X G, Lin Z H, Liu S X. Spatial-temporal evolution and driving forces of winter wheat productivity in the Huang-Huai-Hai Region. Journal of Natural Resources, 2006.21(3): 449-456.
[22] Wu W B, Yang P, Tang J H, Zhou Q B, Shibasaki R. Spatio-temporal variations in the starting dates of growing season in China's cropland over the past 20 years. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1777-1786.

参考文献:

[4] 胡蓓蓓, 姜衍祥, 周俊, 王军, 许世远, 陈振楼. 天津市区及近郊区地面沉降灾害风险评估与区划. 中国人口资源与环境, 2008, 18(4): 28-34.
[5] 刘荣花, 朱自玺, 方文松, 王友贺, 许蓬蓬, 师丽魁. 华北平原冬小麦干旱灾损风险区划. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1068-1072.
[6] 王石立, 娄秀荣. 华北地区冬小麦干旱风险评估的初步研究. 自然灾害学报, 1997, 6(3): 63-68.
[7] 王素艳, 霍治国, 李世奎, 卢志光, 薛昌颖. 北方冬小麦干旱灾损风险区划. 作物学报, 2005, 31(3): 267-274.
[8] 刘荣花, 朱自玺, 方文松, 王友贺. 华北平原冬小麦干旱区划初探. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 140-144.
[9] 薛昌颖, 霍治国, 李世奎, 叶彩玲. 华北北部冬小麦干旱和产量灾损的风险评估. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 131-139.
[10] 薛昌颖, 霍治国, 李世奎, 庄立伟, 王素艳, 侯婷婷, 叶彩玲. 北方冬小麦产量灾损风险类型的地理分布. 应用生态学报, 2005, 16(4): 620-625.
[11] 黄崇福. 自然灾害风险评价理论与实践. 北京: 科学出版社, 2005: 10.
[13] 张继权和李宁. 主要气象灾害风险评价与管理的数量化方法及其应用. 北京: 北京师范大学出版社, 2007: 227-242.
[14] 赵济, 陈传康. 中国地理. 北京: 高等教育出版社, 1999.
[15] 李春强, 李保国, 洪克勤. 河北省近35年农作物需水量变化趋势分析. 中国生态农业学报, 2009, 17(2): 359-363.
[16] 吴东丽, 王春乙, 张雪芬, 薛红喜. 华北冬小麦作物气候干旱指数研究. 科技导报, 2009, 27(7): 32-36.
[17] 吴东丽. 华北地区冬小麦干旱风险评估研究. 国家气候中心博士后研究工作报告, 2009: 46.
[18] 朱自玺, 刘荣花, 方文松, 王友贺. 华北地区冬小麦干旱评估指标研究. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 145-150.
[19] 李世奎. 中国农业灾害风险评价与对策. 北京: 气象出版社, 1999: 230-236.
[21] 莫兴国, 林忠辉, 刘苏峡. 黄淮海地区冬小麦生产力时空变化及其驱动机制分析. 自然资源学报, 2006, 21(3): 449-456.
[22] 吴文斌, 杨鹏, 唐华俊, 周清波, Shibasaki Ryosuke. 过去20年中国耕地生长季起始期的时空变化. 生态学报, 2009, 29(4): 1777-1786.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 3 February, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Applying landscape ecological concepts in urban land use classification ····· LI Weifeng, OUYANG Zhiyun, XIAO Yi (593)
Mating system of *Sinocalycanthus chinensis* (Cheng et S. Y. Chang) Cheng et S. Y. Chang, an endangered, indigenous species in China ····· ZHAO Hongbo, ZHOU Lihua, HAO Riming, et al (602)
Photosynthetically and ecophysiological characteristics of *Calligonum roborowasikii* in different altitudes on the northern slope of Kunlun Mountain ····· ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (611)
Spatial distribution pattern of different strata and spatial assocations of different strata in the Schrenk Spruce Forest, northwest China ····· LI Minghui, HE Fenghua, PAN Cunde (620)
Effect of elevated CO_2 on the body size, enzyme activity and host selection behavior of *Bemisia tabaci* biotype B ····· WANG Xuexia, WANG Guohong, GE Feng (629)
The dynamics of super-cooling ability and biochemical substances in the overwintering *Carposina niponensi* Walsingham (Lepidoptera: Carposinidae) larvae ····· WANG Peng, LING Fei, YU Yi, et al (638)
A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay, China ····· LIAO Yibo, SHOU Lu, ZENG Jiangning, et al (646)
Feeding ecology of dorab wolf-herring, *Chirocentrus dorab* from the Beibu Gulf ····· YAN Yunrong, YANG Houchao, LU Huosheng, et al (654)
Make use of nest-site of oriental white stork in the Yellow River Estuary Nature Reserve ····· DUAN Yubao, TIAN Xiuhua, ZHU Shuyu, et al (666)
Winter and spring diet composition of feral yak in Helan Mountains, China ····· YAO Zhicheng, LIU Zhensheng, WANG Zhaoding, et al (673)
Effects of tree growth and soil properties on soil respiration rate in Chinese fir plantations ····· WANG Dan, WANG Bing, DAI Wei, et al (680)
Succession of potential vegetation in arid and semi-arid area of China ····· LI Fei, ZHAO Jun, ZHAO Chuanyan, ZHANG Xiaoqiang (689)
Responses on rhizosphere effect of two subalpine coniferous species to night-time warming and nitrogen fertilization in western Sichuan, China ····· WEI Yunyan, YIN Huajun, LIU Qing, et al (698)
Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin ····· LU Jing, ZHOU Hongxia, TIAN Guangyu, et al (709)
Growth and physiological responses of the *Periploca sepium* Bunge seedlings to drought stress ····· AN Yuyan, LIANG Zongsuo, HAO Wenfang (716)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a mature *Caragana korshinskii* plantation ····· SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (726)
The ultrastructure of chloroplast in mesophyll cell on two robinias under NaCl and Na_2SO_4 stress ····· MENG Fanjuan, PANG Hongying, WANG Jianzhong, et al (734)
Relationship between tomato fruit growth and environmental factors under protected facility cultivation ····· CHENG Zhihui, CHEN Xuejin, LAI Linling, et al (742)
Effect of grafting eggplant on root exudates and disease resistance under *Verticillium dahliae* stress ····· ZHOU Baoli, LIU Na, YE Xueling, et al (749)
The drought risk zoning of winter wheat in North China ····· WU Dongli, WANG Chunyi, XUE Hongxi, et al (760)
Heat balance of cold type wheat field at grain-filling stage under drought stress condition ····· YAN Jufang, ZHANG Songwu, LIU Dangxiao (770)
Effects of different straw returning treatments on soil water, maize growth and photosynthetic characteristics in the semi-arid area of Southern Ningxia ····· GAO Fei, JIA Zhikuan, LU Wentao, et al (777)
Osmotic and ionic stress effects of high NaCl concentration on seedlings of four wheat (*Tritium aestivum* L.) genotypes ····· XU Meng, MA Qiaorong, ZHANG Jitao, et al (784)
Effects of ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture on mineral nitrogen and relative microbial function groups in forest soils ····· MU Rong, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (793)
Soil microbial biomass and the influencing factors under *Pinus tabulaeformis* and *Picea asperata* plantations in the upper Min-jiang River ····· JIANG Yuanming, PANG Xueyong, BAO Weikai (801)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes in the rhizosphere of *Artemisia sphaerocephala* from Inner Mongolia desert ····· HE Xueli, WANG Yinyin, ZHAO Lili, et al (812)
Effect of chlorothalonil on soil microbial communities of *Larix* artificial shelter-forest ····· SHAO Yuanyuan, WANG Zhiying, ZOU Li, et al (819)
Research of the vegetation's cooling effect in city's residential quarter ····· LI Yinghan, WANG Junjian, LI Guicai, et al (830)
Landscape dynamics of Baiyangdian Lake from 1974 to 2007 ····· ZHUANG Changwei, OUYANG Zhiyun, XU Weihua, et al (839)
Evaluation of tourism transport ecological footprint in Zhoushan islands ····· XIAO Jianhong, YU Qingdong, LIU Kang, et al (849)
Nitrogen transformation and its residue in pot experiments amended with organic and inorganic ^{15}N cross labeled fertilizers ····· PENG Peiqin, QIU Shaojun, HOU Hongbo, et al (858)
Effects of dissolve organic carbon (DOC) contents on sorption and desorption of phenanthrene on sediments during ageing ····· JIAO Lixin, MENG Wei, ZHENG Binghui, et al (866)
Heavy metal concentrations and bioaccumulation of ramie (*Boehmeria nivea*) growing on 3 mining areas in Shimen, Lengshuijiang and Liuyang of Hunan Province ····· SHE Wei, JIE Yucheng, XING Hucheng, et al (874)

Discussion

Climate characteristic of seasonal variation and its influence on annual growth period of *populus euphratica Oliv* in Hexi Corridor in recent 55 years ····· LIU Puxing, ZHANG Kexin (882)
Forward trajectory analysis of wheat aphids during long-distance migration using HYSPLIT model ····· YU Zhenxing, WU Yuqing, JIANG Yueli, et al (889)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

（源于 2010 年版 CSTPCD 数据库）

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	**生态学报**	**11764**	1	**生态学报**	**1.812**
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次，**全国排名第 1**；影响因子 1.812，**全国排名第 14**；第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊；中国精品科技期刊

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 31 卷　第 3 期　（2011 年 2 月）

ACTA ECOLOGICA SINICA
（Semimonthly，Started in 1981）
Vol. 31　No. 3　2011

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　冯宗炜
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
广告经营许可证　京海工商广字第 8013 号

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 FENG Zong-Wei
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

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 70.00 元