

# 农业干旱风险研究进展与发展趋势

王东芳<sup>1,2</sup>, 张飞<sup>1,2,3\*</sup>, 周梅<sup>1,2</sup>, 李瑞<sup>1,2</sup>, 李晓航<sup>1,2</sup> (1. 新疆大学资源与环境科学学院, 新疆乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830046; 3. 新疆大学智慧城市与环境建模普通高校重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830046)

**摘要** 随着农业旱灾对农业系统造成的损失日益加剧, 增大了对区域资源的压力, 造成一系列环境问题, 农业干旱风险分析逐渐成为近年一个新的研究领域; 这一研究不仅是农业旱灾风险管理的基础和前提, 也是农业干旱风险区划和灾前损失预评估的理论基础。目前, 针对农业干旱风险的研究大多是通过模拟特定干旱指标与作物生物量之间的关系, 对作物因旱损失进行微观风险评价, 因此在阅读大量文献的基础上, 分别对农业干旱、农业干旱风险的定义, 以及对基于降水指数的农业干旱风险的研究进展进行了综述。

**关键词** 农业干旱; 干旱风险; 降水指数

**中图分类号** S423 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)17-05455-04

## Research Status and Development Trend of Agricultural Drought Risk

**WANG Dong-fang, ZHANG Fei et al** (College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046; Key Laboratory of Oasis Ecology of Ministry of Education, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046; Key Laboratory of Smart City and Environmental Modeling, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046)

**Abstract** The loss aggravating of agricultural drought to agricultural system increased the pressure on regional resources, and resulted in a range of environmental problems, so the analysis of agricultural drought risk has become a new research focus in recent years. The analysis of agricultural drought risk is not only the prerequisite of drought risk management, but also the theoretical basis of risk division and of the damages. Today, study on agricultural drought risk is mostly by stimulated the relationship between the special drought index and crop biomass to make the micro assessment of crop losses due to drought. Based on literature reading, this paper will systematically explain the definition of agricultural drought, agricultural drought risk, and summarize the research progress of agricultural drought risk based on the precipitation index.

**Key words** Agricultural drought; Drought risk research; SPI

干旱作为一种慢性自然灾害, 在全球范围内频繁发生, 对社会生活和经济发展的影响之大、范围之广、持续之久、危害之深, 超出了其他任何自然灾害, 对人类赖以生存的粮食、水和生态环境造成了严重的威胁。在全球范围内干旱主要

发生在非洲中部、印度半岛、中亚以及我国(图1); 而在我国干旱区主要分布于西南与西北地区, 尤其以新疆、云南和贵州等省分布面积最广。

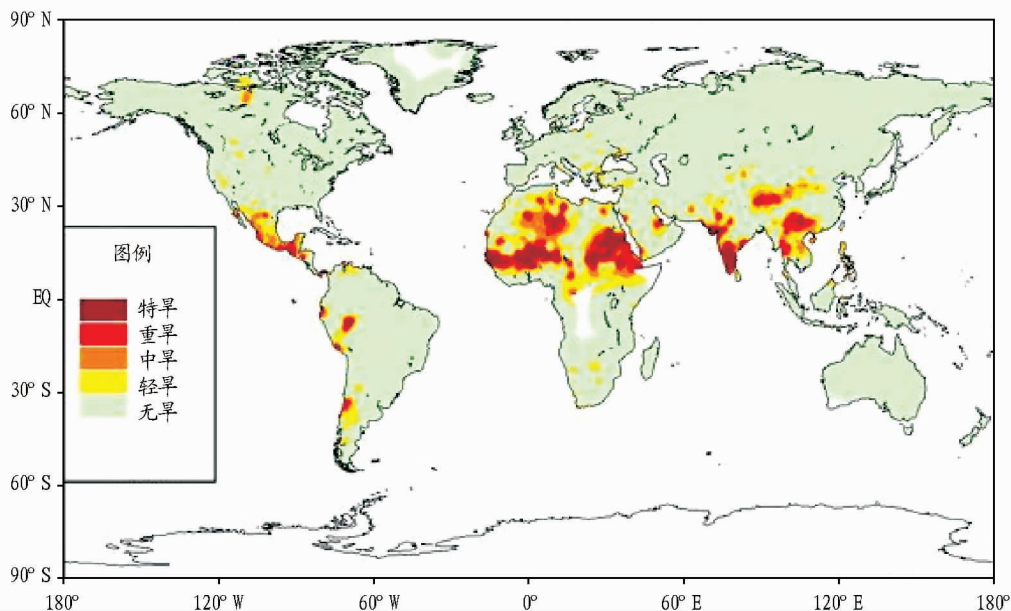


图1 世界干旱区分布

据测算, 全球因干旱造成的经济损失远远超过了其他自然灾害, 每年高达 60 亿 ~ 80 亿美元<sup>[1]</sup>; 并且由于全球人口数量的增加导致需水量的增加和气候的变化和多样性导

致降水量的不确定性, 使得干旱有可能变得越来越严重<sup>[2-4]</sup>。在我国, 2013 年全国农作物因旱受灾  $1.12 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 、成灾  $6.93 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 、绝收 150.47 万  $\text{hm}^2$ , 造成粮食损失 2 064 万 t、经济作物损失 404 亿元, 直接经济损失 1 256 亿元<sup>[5]</sup>; 而处于内陆的新疆地区由于其特殊的地理位置和气候特点, 近年来旱灾的发生尤为严重(表 1)。根据

**基金项目** 新疆维吾尔自治区高校科研计划青年教师培育项目 (XJEDU2012S03)。

**作者简介** 王东芳(1989-), 女, 甘肃兰州人, 硕士研究生, 研究方向: 干旱区资源与环境遥感应用。\* 通讯作者。

**收稿日期** 2014-05-15

参数的不同、应用上的需要及确定的干旱因素,美国气象学会将干旱分为气象干旱、农业干旱、水文干旱和社会经济干旱四大类<sup>[6-7]</sup>。近年来农业干旱发生的频率和严重程度都在随着全球气候的变化和人类活动的加剧而升高,而我国干旱灾害也呈现出发生频率高、持续时间长、影响范围广的特点,1951~1990年40年间出现重大干旱事件8年,发生频率为20.0%;1991~2000年10年间出现重大干旱事件5年,发生频率为50.0%;而2001~2012年12年间出现重大干旱事件8年,发生频率达到66.7%<sup>[8]</sup>,由图2可以看出,干旱频繁发生给人民的生产和生活造成了严重损失。联合国政府间气候变化专业委员会(IPCC)的评估报告也指出,未来干旱风险呈不断加强趋势,这意味着农业干旱风险将对未来社会经济发展造成巨大的挑战<sup>[9-11]</sup>。



表1 新疆近年来干旱灾害情况

年份	发生地区	受灾情况
2004	南疆、东疆	受旱面积33.33多万hm <sup>2</sup> ,受灾人数10万余人,经济损失1.13亿元
2006	新疆北部	30年罕见,降水量不足10mm,损失达数亿元
2007	全疆范围	北疆较常年缺水5成,南疆较常年缺水9成
2008	全疆范围	受灾面积56.2万hm <sup>2</sup> ,221.02万人受灾,直接经济损失9.3亿元
2009	南疆地区	1~8月降水量连续偏少,平均降水量仅17.4mm,偏少近6成,塔里木河断流1100km
2011	新疆达坂城区	降水量较常年少8成,16.13万hm <sup>2</sup> 草场受灾



图2 农业干旱景观

风险分析作为研究具有不确定性系统的有效技术工具,20世纪中期被逐步引入了自然灾害这一研究领域<sup>[12]</sup>,最初国外有学者认为灾害风险包括“偶然发生的伤害或损失的暴露性”<sup>[13]</sup>;随后UNDHA将自然灾害风险定义为特定区域和时间段中特定灾害的期望损失(包括人员的伤亡,财产损失和对经济活动的干扰等),因此基于数学统计,风险就是灾害和脆弱性的产品<sup>[14]</sup>。农业旱灾作为一种渐发性灾害,影响因素除自然条件外,社会经济和人类活动也起着至关重要的作用,因此农业旱灾风险存在着多影响因素和较大的不确定性<sup>[15]</sup>。而且农业干旱灾害现象极其复杂,涉及的因素众多,有较高的不确定程度,因此将风险理论用于

农业干旱灾害研究,对农业干旱灾害应用风险量化、风险评估技术进行研究,对有效的干旱灾害管理具有重要的意义<sup>[16]</sup>。综上所述,针对于农业干旱风险的研究已变得非常迫切,干旱风险对农业的影响评估与风险区划分已逐步成为新的发展趋势,因此将对于农业干旱风险的研究进展做一综述。

## 1 农业干旱风险研究进展

**1.1 农业干旱的定义** 农业干旱是一种相对的状况,每一次干旱在空间范围、强度、持续时间上都不同,所以农业干旱到目前为止没有广泛接受的统一定义。表2综合介绍了不同时期、不同学者提出的农业干旱定义。

表2 国内外不同学者对于农业干旱的定义

时间	作者	定义
1965	Palmer W C <sup>[17-18]</sup>	一个地区一段时间内的湿度状况低于作物生长适宜湿度水平,从而对农业生产带来负面影响
1988	Nullet D等 <sup>[19]</sup>	根据实际蒸散和潜在蒸散的比率低于一定值的连续天数来定义农业干旱
2012	杨万春 <sup>[20]</sup>	指农业生产季节内因长期无雨或少雨,造成空气干燥、土壤缺水,农作物生长发育受抑,导致明显减产甚至无收的一种农业气象灾害
1994,2012	孙荣强 <sup>[21]</sup> 、张晓煜等 <sup>[22]</sup>	作物生长过程中因供水不足,阻碍作物正常生长而发生的水量供需不平衡现象
1999,2011	李远华 <sup>[23]</sup> 、何斌等 <sup>[24]</sup>	指农作物耗水大于吸水,体内水分过度亏缺而受损的现象
2010	陈晓楠等 <sup>[25]</sup>	在一定的自然、人为条件下,由于异常的水分亏缺而使农作物受损的现象
2012	张继权等 <sup>[16]</sup>	指由外界环境因素造成作物体内水分亏缺,影响作物正常生长发育,进而导致减产或失收的现象

由表2可以看出,不同学者由于研究角度不同和农业

干旱的研究涉及到不同的气象干旱特征(如降雨稀缺、土壤

水分的短缺)对农业的影响,因此对于农业干旱有不同定义。但可以发现虽然不同学者对农业干旱有不同的定义,但都认为水分是重要的影响因素;MUHAMMAD ASHRAF<sup>[26]</sup>也认为干旱的定义有很多,但水分的亏缺是农业干旱发生最大的一个影响因子。因此在实际研究与应用中,应根据研究和应用的需要选择不同的农业干旱定义。

**1.2 农业干旱风险的定义** “风险”的概念最早于19世纪末出现在西方经济领域中,由美国学者 J. Haynes 在他的著作《Risk as An Economic Factor》中提出,随后风险的概念被相继提出<sup>[27-28]</sup>。目前风险的概念已广泛应用于经济学、社会学、工程科学、环境科学和灾害学等领域,但对于农业干旱风险仍没有统一的定义,国内外学者基于不同的研究领域,对其定义也不同。KUNTSON 等<sup>[29]</sup>认为干旱风险是一种潜在的负面影响,是由干旱频度、危险强度及承载体脆弱性综合作用产生的;美国国家干旱减灾中心的主任 WILHITE 等<sup>[7]</sup>则将农业干旱风险定义为农业系统由于承灾体的脆弱性,在外部致灾因子影响下导致自身遭受干旱损失的可能性。国内学者史培军等<sup>[30]</sup>认为农业干旱风险是指区域农业发生旱灾,对农业生产、农民生活造成损失的可能性概率;唐明等<sup>[31]</sup>认为旱灾风险应当包含2层含义:第一层含义属于自然的范畴,是指干旱这种自然现象发生的可能性,即某些干旱强度指标的概率分布;第二层含义属于社会经济的范畴,则是指通过与孕灾环境和承灾体的相互作用后,干旱事件所导致损失(称之为旱灾损失)发生的可能性,即旱灾损失的概率分布。顾颖等<sup>[32]</sup>将农业干旱风险分析概括为农业干旱事件识别、旱灾可能损失估算和农业干旱风险评价这3个相互联系的主要技术环节。何斌等<sup>[24]</sup>的观点与 KUNTSON 等<sup>[29]</sup>基本一致,认为农业干旱风险是干旱危险强度、频度及与农业相关的社会、经济、环境脆弱性综合作用产生的潜在负面影响。姚玉璧等<sup>[8]</sup>将农业干旱灾害风险定义为干旱的发生和发展对社会、经济及自然环境系统造成影响和危害的可能性。综上,旱灾风险的定义基本都强调了旱灾发生的可能性和造成的可能性损失,而旱灾风险的本质取决于3个因素:干旱致灾因子的危险性、承灾体的暴露性和脆弱性,某个区域旱灾风险的大小是这3个因素综合作用的结果。

**1.3 基于降水指数的农业干旱风险研究进展** 20世纪中期,风险研究被引入农业干旱灾害这一研究领域;20世纪90年代末,国内出现了较系统的自然灾害风险概念,农业旱灾风险由此衍生出来<sup>[33]</sup>。目前,随着自然灾害风险理论与方法的不断发展,农业干旱风险研究也取得了长足的进步,对于农业干旱风险的研究从内容上逐渐由简单到复杂,从方法上也逐渐由单一的指标演化为多种指标的综合研究。但由于干旱自身的缓发性特点,且农业干旱灾害风险是由多因素综合作用产生的结果,任一影响因子的变化都会影响其干旱灾害风险的发生及强度,因此目前尚没有广泛认可的风险分析指数。国际上对于旱灾风险的研究多强调水分因素尤其是自然降水因素的影响,认为干旱是由于

自然降水不足或变率大而导致的结果,研究成果多是通过观测自然降水变异的观测统计资料进行的<sup>[34]</sup>。1994年,标准化降水指数(SPI指数)被广泛应用于美国的干旱风险监控;此后美国国家干旱减灾中心和西部区域气候中心还应用该指数监测美国各州的气候干旱分异水平<sup>[35]</sup>。

农业干旱风险基于降水指数的分析主要包括对降水距平、标准降雨指数(SPI)等的研究<sup>[36]</sup>。如张皓等<sup>[37]</sup>通过对以玉米为代表的农作物的月蒸发量、月需水量、降水量等参数进行分析,研究了通辽市发生农业干旱的可能性,并绘制了农业干旱风险图。刘兰芳等<sup>[38]</sup>则利用湖南省和衡阳盆地的降水量、蒸发量、水利化程度等9个指标,综合对这一区域的农业旱灾脆弱性进行了定量评价。曹永强等<sup>[39]</sup>利用降水短缺引起的致灾程度计算出了大连市2000~2007年的农业干旱风险指数,发现农业干旱风险的评价方法可以为区域农业干旱评价提供一种考虑多因素的综合方法。付丽娟等<sup>[40]</sup>用单位评价期内的降水距平百分率反映缺雨程度,用生态系统和作物不同季节的缺雨敏感度反映干旱影响的季节性差异,并以干旱持续期内单位时段旱灾风险的累加反映其累积效应,从而建立旱灾风险的识别指数,并应用此指数对60年来内蒙古的旱灾风险进行了初步评估,给出了各级旱灾发生的概率,并统计出各级旱灾对应的后果。刘少华等<sup>[11]</sup>采用泰森多边形法计算面积权重得到1961~2010年河南省的降水量和气温数据,并根据人工神经网络构建了农业干旱风险分析模型,并将其应用于河南省农业干旱风险分析。王连喜等<sup>[41]</sup>根据标准降水指数(SPI)结合灾害学系统理论,对宁夏农业干旱风险进行了评价及区划,发现宁夏地区的农业干旱风险在降水因子的影响下呈现出明显的南北差异。YAMOAH 等<sup>[42]</sup>通过对美国内布拉斯加州玉米产量和标准化降水量指数(SPI)进行统计分析,进而评价了这一地区玉米受农业干旱的风险。朱自玺等<sup>[43]</sup>应用降水负距平来表示冬小麦在不同生育时期的干旱强度指标,对华北地区冬小麦干旱风险进行了评估分区。杨小利等<sup>[44]</sup>应用小波分析方法,综合考虑水分亏缺率、持续时间、作物水分敏感度等几个因素,分析了陇东地区冬小麦、玉米生育期不同时段旱灾指数的多时间尺度特征。

## 2 农业干旱风险研究中存在的问题

虽然在农业干旱风险评估方法与分析方面专家学者们取得了许多卓有成效地研究成果,但总体来看,在农业干旱灾害风险评估研究方面还存在以下一些问题需要在今后的研究工作中加以关注。

(1)在农业干旱风险研究中,防灾减灾能力是风险分析和风险评价的一个重要环节,而在目前的自然灾害风险分析中,对于这方面的研究还很薄弱。目前对于农业干旱风险的研究主要是针对已经发生的农业干旱进行研究和验证,对干旱的预防和监测力度重视不够,往往是被动抗旱,以致造成更大的损失和影响。要改变这种被动抗旱状态,要做好农业干旱风险的评价和预测预警,变被动为主动,从而有效降低干旱风险<sup>[45]</sup>。

(2)对区域旱灾风险的评估方法,多基于旱灾常发区统计资料的概率进行统计分析和区域特性分析,而较少涉及旱灾发生频率较小地区的研究。对旱灾风险评估的方法研究多针对区域旱灾的发生风险评估,即区域旱灾发生的可能性程度,而较少涉及旱灾损失风险评估方法的研究,如社会经济及人类在面临一定程度旱灾时的损失风险评估方法和模型研究等。

(3)目前,不同地区、不同部门采取各自的农业干旱评估指标,农业干旱评估指标没有统一的标准。如何使研究结果具有时间和空间的可比性,又能结合研究区的生态气候特点和干旱发生规律,建立符合当地实际的评估模型,是今后研究中有待解决的问题。

### 3 农业干旱风险研究展望

**3.1 加强农业干旱风险的预警、预报** 研究农业干旱风险的最终目的不是评估灾害而是获得决策方案,而是希望能以最小的经济代价换得最大的安全保障。因此研究农业干旱风险应在为决策者提供丰富信息的基础上结合灾害学,建立适合研究区的农业干旱灾害风险管理体系,并通过对于旱发生机理和风险管理内涵的解析,从现代干旱气候灾害风险管理的目标入手,建立面向适应区的干旱灾害风险评估机制,为农业干旱的发生提供预警、预报。

**3.2 农业干旱风险的研究应针对不同的农业区建立不同的研究模型** 不同的地域有不同的地形地貌、气候气象、土壤水质、植被生物等,影响一个地区农业发展的因素也不同,因此应该根据区域的不同建立不同的干旱风险研究模型。由于农业干旱包括了多层面的内容,一些气象指标和水文指标也被应用于农业干旱风险的研究。如对于雨养农业和灌溉农业而言,指标的选取也有一定的区别:雨养农业指单纯依靠天然降水为水源的农业生产,因此雨养农业干旱风险评价的主要指标是降水量指标,有些水文指标如地下水、地表径流等则不适用;灌溉农业除天然降雨外,还要利用地下水、地表径流和水库等水源进行补充灌溉,因此这些水文指标也是重要的评价指标之一。此外,土壤含水率等直接涉及作物生长的指标在农业干旱评价中也需考虑,因此在研究一个地区农业干旱风险时应综合考虑当地的各种自然因素和人文因素,建立不同的研究模型和方法。

**3.3 农业干旱灾害风险与信息技术结合是未来研究的必要手段** 随着遥感技术和计算机技术的发展,数据监测的精度和广度也随之增加,因此将高新技术手段加入农业干旱监测和管理中将会使农业干旱管理和预警达到更好的效果,从而减少旱灾损失。因此在进行农业干旱风险研究时可以利用GIS、RS、GPS等先进技术,提高农业干旱风险研究的正确性、直观性。如可以利用遥感技术结合GIS将不同的干旱致灾因子以栅格图层的形式在空间上进行叠加表达,通过GIS属性数据库操作和运算,获得区域灾害风险分级空间分布图。干旱风险图常被用于进行干旱风险区划,是抗旱预案的一项重要内容,能较好地旱灾进行空间关系的描述和空间实体表达,并能直观反映不同干旱等级的受旱范围、受旱面积、旱

情发展态势以及干旱造成的损失,为抗旱决策提供必要的依据,是指导抗旱工作的重要手段。

### 4 结论与讨论

农业旱灾风险分析是从系统层面出发的综合研究,是提高农业应对风险能力、保证农业系统可持续发展必要和迫切的要求。总体上,近年来研究学者们对于农业干旱灾害风险的研究以定性理论与理论分析为主,定量化的农业旱灾风险评估体系相对较少;而且对农业干旱风险采用的定量方法在实际干旱分析中取得了良好效果,不过在结果的准确性与可靠性上仍有提升空间;因此在以后的研究进程中,更加注意农业干旱风险的评估需要深入认识农业干旱影响的机理和过程,突出农业干旱风险研究在实际工作中的应用。

### 参考文献

- [1] 李芬,于文金,张建新,等.干旱灾害评估研究进展[J].地理科学进展,2011,30(7):891-898.
- [2] FONTAINE M M,STEINEMANN A C. Assessing vulnerability to natural hazards: impact-based method and application to drought in Washington state[J]. Hazards Review,2009,10(1):11-18.
- [3] MISHRA A K,SINGH V P. A review of drought modeling[J]. Journal of Hydrology,2011,403(1/2):157-175.
- [4] HUNGSOO KIM,JONGYONG PARK. Assessment of drought hazard,vulnerability,and risk:A case study for administrative districts in South Korea[J]. Journal of Hydro-environment Research,2013,1:1-8.
- [6] American Meteorological Society. Meteorological drought—Policy statement[J]. Bulletin of American Meteorological Society,1997,78:847-849.
- [7] WILHITE D A,HAYES M J,KNUTSON C,et al. Planning for drought: Moving from crisis to risk management[J]. JAWRA Journal of the American Water Resources Association,2000,36(4):697-710.
- [8] 张志彤.关于2013年防汛抗旱工作的报告[J].中国防汛抗旱,2014,24(1):7-11.
- [8] 姚玉璧,张强,李耀辉,等.干旱灾害风险评估技术及其科学问题与展望[J].资源科学,2013,35(9):1884-1897.
- [9] IPCC. Climate change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability of climate change, working group II report[R]. London: Cambridge University Press, 2001.
- [10] IPCC. Climate change 2007: Impacts adaptation and vulnerability, working group II report[R]. New York: Cambridge University Press, 2007.
- [11] 刘少华,翁白莎,李传哲,等.农业干旱风险分析基本模式及应用[J].水电资源科学,2013,31(4):5-7.
- [12] 任鲁川.区域自然灾害风险分析研究进展[J].地球科学进展,1999,14(3):242-246.
- [13] MORGAN M G,HENRION M. Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis[M]. London: Cambridge University Press,1990:332.
- [14] DHA,UN. Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management[M]. Geneva: United Nations Department of Humanitarian Affairs,1992.
- [15] 赵文双,高彦蕊,黄定华,等.农业旱灾风险分析研究进展[J].水科学与工程技术,2007(6):1-4.
- [16] 张继权,严登华,王春已,等.辽西北地区农业干旱灾害风险评价与风险区划研究[J].防灾减灾工程学报,2012,32(3):300-305.
- [17] PALMER W C. Meteorological drought US[R]. Weather Bureau Research Paper,1965:45-58.
- [18] PALMER W C. Keeping track of crop moisture conditions,nationwide:The new crop moisture index[J]. Weather Wise,1968,21(4):156-161.
- [19] NULLET D,GIAMBELLUCA T W. Risk analysis of seasonal agricultural drought on low Pacific islands[J]. Agricultural and Forest Meteorology,1988,42(2):229-239.
- [20] 杨万春.近30年曲江农业干旱特征分析[J].广东气象,2012,34(2):49-52.
- [21] 孙荣强.干旱定义及其指标评述[J].灾害学,1994,9(1):17-21.
- [22] 张晓煜,杨晓光,李茂松,等.农业干旱预警研究现状及发展趋势[J].干旱区资源与环境,2011,25(11):18-22.



究结果相反,可能跟物种耐受的 NAA 浓度高低不同有关。NAA 和 6-BA 处理均能使地径相对生长率增大,对苗高相对生长的影响是先促进后抑制,这跟生长素极性性有关,即高浓度表现为抑制顶端优势,低浓度表现为促进生长。与张福平等<sup>[6]</sup>研究得出 5 mg/L 的 NAA 缩短跳舞草种子发芽时间并提高了种子发芽率和发芽势,陈兵等<sup>[7]</sup>研究 NAA 对红花木莲的苗高、地径、生物量等生长作用的结果表现相似。

柳杉幼苗叶片叶绿素 a、叶绿素 b 以及总含量在 NAA 100 mg/L 处理下最高,且随 NAA 处理浓度的增加先增大后减小,随 6-BA 处理浓度增加呈下降趋势;叶绿素 a/b 下降。处理叶绿素含量总体水平均高于对照组。这与樊吉尤等<sup>[1]</sup>用 60 mg/L 的 NAA 处理麻疯树苗木,叶绿素含量比 CK 均有显著增加结论类似,即生长调节剂有利于光合色素稳定及其生成,缓解降解,增强光合作用。在 NAA 浓度为 100 mg/L 和 150 mg/L 时柳杉叶片可溶性蛋白质、可溶性糖(蔗糖、果糖等)及游离脯氨酸含量积累均出现较高值,而 6-BA 的处理对指标无显著影响。董倩等<sup>[8]</sup>研究类似生长调节剂对黄连木幼苗的光合色素和抗冷性和于晶等<sup>[9]</sup>研究外源 6-BA 对东农冬麦 1 号抗寒性的影响中均发现生长调节剂能促进植物有机渗透调节物积累,增强抗逆性。

(上接第 5458 页)

- [23] 李远华. 节水灌溉理论与技术[M]. 武汉:武汉水利电力大学出版社, 1999.
- [24] 何斌, 武建军, 吕爱峰. 农业干旱风险研究进展[J]. 地理科学进展, 2010, 29(5): 111 - 114.
- [25] 陈晓楠, 冯丽云, 段春青, 等. 农业干旱灾害风险管理体系探讨[J]. 华北水利水电学院学报, 2010, 31(4): 29 - 32.
- [26] MUHAMMAD ASHRAF, JAYANT KUMAR ROURAY. Perception and understanding of drought and coping strategies of farming households in north-west Balochistan[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2013, 5: 49 - 60.
- [27] RESCHER N. Risk: A Philosophical Introduction to the Theory of Risk Evaluation and Management[M]. Washington, DC: University Press of America, 1983.
- [28] BANKS E. Catastrophic Risk Analysis and Management[M]. Wiley Finance, 2005.
- [29] KNUTSON C, HAYES M, PHILLIPS T. How to Reduce Drought Risk[R]. Wisconsin, Nebraska: Western Drought Coordination Council, 1998: 26 - 33.
- [30] 史培军. 再论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(4): 6 - 17.
- [31] 唐明. 旱灾风险分析的理论探讨[J]. 中国防汛抗旱, 2008(1): 38 - 40.
- [32] 顾颖, 刘静楠, 薛丽. 农业干旱预警中风险分析技术的应用研究[J]. 水利水电技术, 2007, 38(4): 61 - 64.
- [33] 王丽娜, 苏静, 郑晓东, 等. 我国农业干旱风险研究进展简述[J]. 水科学与工程, 2011(2): 3 - 6.
- [34] 贾慧聪, 王静爱. 国内外不同尺度的旱灾风险评价研究进展[J]. 自然

## 4 结论

该文研究了不同浓度 NAA 和 6-BA 对越冬柳杉苗生长生理的影响, 得出采用 100 ~ 150 mg/L NAA 叶面喷施越冬柳杉苗, 对于越冬柳杉苗根系发达, 增强光合作用, 有机渗透调节物质积累等生长及抗冷生理最有利, 对越冬柳杉优良苗的管护生产及提高造林成活率有参考意义。

## 参考文献

- [1] 樊吉尤, 滕继超, 王凌晖, 等. 植物生长调节剂对麻疯树苗木生长和生理特性的影响[J]. 广东农业科学, 2011(13): 29 - 32.
- [2] 唐萍, 韩存存. 两种植物生长调节剂对杜仲幼苗生长的影响[J]. 北方园艺, 2012(22): 157 - 159.
- [3] 杨敏文. 快速测定植物叶片叶绿素含量方法的探讨[J]. 光谱实验室, 2002, 19(4): 478 - 481.
- [4] 张立军, 樊金娟. 植物生理学实验教程[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2007.
- [5] 邹婷, 张彝, 陈晶磊, 等. 黄花蒿发根的生长及部分代谢成分的特征研究[J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(7): 108 - 113.
- [6] 张福平. 植物生长调节剂对跳舞草种子发芽与幼苗生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(12): 2644 - 2645, 2647.
- [7] 陈兵, 吴敏坤, 凌晖, 等. 植物生长调节剂对红花木莲幼苗生长的影响[J]. 广西林业科学, 2013, 42(2): 133 - 137.
- [8] 董倩. 生长调节剂对黄连木生长及生理特性的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2012.
- [9] 于晶, 王兴, 苍晶, 等. 外源 6-BA 对寒地冬小麦东农冬麦 1 号抗寒性的影响[J]. 作物杂志, 2012(2): 71 - 75.
- 灾害学报, 2011, 20(2): 132 - 140.
- [35] SMITH D I, HUTCHINSON M F, MCARTHUR R J. Australian climatic and agricultural drought: Payments and policy [J]. Drought Network News, 1993, 5(3): 11 - 12.
- [36] MCKEE T B, DOESKEN N J, KLEIST J. The relationship of drought frequency and duration to time scales [C]//Proc. 8th Conference on Applied Climatology. Boston, MA: American Meteorological Society, 1993: 179 - 184.
- [37] 张皓, 孙凤军, 李红艳, 等. 内蒙古通辽市农业干旱风险图研究[J]. 水利规划与设计, 2011, 6(2): 59 - 62.
- [38] 刘兰芳, 刘盛和, 刘沛林, 等. 湖南省农业旱灾脆弱性综合分析与定量评价[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(4): 78 - 83.
- [39] 曹永强, 李香云, 马静, 等. 基于可变模糊算法的大连市农业干旱风险评价[J]. 资源科学, 2011, 33(5): 983 - 988.
- [40] 付丽娟, 宫春宁, 德勒格日玛. 内蒙古地区干旱风险评估[J]. 内蒙古气象, 2012(2): 11 - 15.
- [41] 王连喜, 耿秀华, 孟丹, 等. 基于 GIS 的宁夏农业干旱风险评价与区划[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(5): 213 - 220.
- [42] YAMOAH A C F, WALTERSD T, SHAPIRO C A, et al. Standardized precipitation index and nitrogen rate effects on crop yields and risk distribution in maize [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2000, 8(1/2): 113 - 120.
- [43] 朱自玺, 刘荣花, 方文松, 等. 华北地区冬小麦干旱评估指标研究[J]. 自然灾害学报, 2003, 2(1): 145 - 150.
- [44] 杨小利, 杨兴国. 陇东主要农作物旱灾综合评估指数的多时间尺度分析[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(2): 17 - 20, 27.
- [45] 刘琳, 杨志勇, 徐宗学. 辽宁省农业干旱灾害风险评价及分区[J]. 水电能源科技, 2013, 31(1): 1 - 4.