

# 内蒙古 50 余年降水量分布演变特征及趋势

刘泓志<sup>1,2</sup>, 肖长来<sup>1,2</sup>, 张岩祥<sup>1,2</sup>, 梁秀娟<sup>1,2</sup>

(1. 吉林大学 地下水资源与环境教育部重点实验室, 长春 130021; 2. 吉林大学 环境与资源学院, 长春 130021)

**摘 要:**为研究内蒙古自治区降水量随时间分布演变特征及趋势,利用内蒙古 50 个测站 1960—2011 年共 52 a 的年平均降水量,通过线性倾向估计、滑动平均、累积距平、谐波分析、Mann-Kendall 法、滑动  $t$  检验法等方法,按东、中、西部分区及全区平均,分析了降水量随时间的演变特征及趋势。结果表明:1) 52 a 来内蒙古降水量没有显著的变化趋势。但区域、东中部地区年降水量在 1998 年前 39 a 为显著上升趋势,之后 13 a 为下降趋势。2) 内蒙古全区的降水主要集中在夏季,占全年的 60%~70%。降水量从东到西逐渐减少,但季节分配规律相似。3) 内蒙古降水量年代际和年际分量都存在减少趋势,区域和东中部共经历了 3 个比较明显的年代际变化;西部存在 15 a 左右的旱涝交替周期。4) 内蒙古区域和东部地区平均降水量突变点在 1999 年,降水量由增加趋势变为减少趋势。中部和西部变化不显著,没有发生突变。

**关键词:**降水量; 演变特征; 趋势分析; 内蒙古

**中图分类号:** P467

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2015)02-0074-05

## Analysis on Temporal Characteristics and Trend of Precipitation over the Past 50 Years in Inner Mongolia

LIU Hongzhi<sup>1,2</sup>, XIAO Changlai<sup>1,2</sup>, ZHANG Yanxiang<sup>1,2</sup>, LIANG Xiujuan<sup>1,2</sup>

(1. Key Lab of Groundwater Resources and Environment, Ministry of Education, Jilin University,

Changchun 130021, China; 2. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130021, China)

**Abstract:** Annual precipitation data of Inner Mongolia from 46 meteorological stations through 1960 to 2011 were used to analyze the temporal distribution characteristics of precipitation. The trend of the precipitation was analyzed using linear trend calculation, moving average, cumulative anomaly, harmonic analysis, Mann-Kendall method, slide  $t$  test. The results showed that: 1) it was no significant for the trend of precipitation in 52 years in Inner Mongolia. Precipitations presented observably increasing trend before 1998, and declined after 13 years in east, central and regional area; 2) precipitation mainly concentrated in the summer, accounting for 60%~70%, precipitation gradually reduced from the east to the west, but followed the similar seasonal distribution rule; 3) interdecadal and interannual precipitations presented the decreasing trend, there were obvious interdecadal changes in eastern, central and regional areas, drought and flood alternative cycle was 15 years or so in the western area; 4) abrupt change year of average precipitation in east and regional area in Inner Mongolia was the year of 1999, the trend of precipitation shifted from increase to decrease. no abrupt change was found and no significant change was observed in the west, there was no abrupt change in the western and central areas.

**Keywords:** precipitation; evolution characteristic; trend analysis; Inner Mongolia

气候变化既被视为科学问题,又被视为环境和政治问题。近年来日益受到各国政府、社会和科学界的关注。内蒙古自治区地处东南季风影响的季风边缘区,是我国西北干旱区向东北湿润区和华北旱作农业区的过渡带<sup>[1]</sup>。内蒙古大部地区降水稀少,干旱缺水矛盾突出。全区降水变率大,保证率低,已成为制约内蒙古地区农牧业生产的主要因素之一<sup>[2]</sup>。因此,研

究分析内蒙古自治区的降水量时空分布特征和趋势变化尤为重要。高晶在<sup>[3]</sup>中分析了内蒙古夏季降水变化特征;格日勒等在<sup>[4]</sup>中分析了内蒙古中西部地区冬春两季的降水变化特征。由于内蒙古横跨经度很大,以上等人没有对内蒙古按照分区进行详细的降水量趋势分析。因此,本文利用内蒙古 1960—2011 年共 52 a,50 个观测站数据,根据分区结合多种统计

方法分析降水量随不同时间分布的特征及趋势。

## 1 研究区概况

内蒙古自治区(以下简称内蒙古)位于中国北部边疆,由东北向西南斜伸,经纬度东起东经  $126^{\circ}04'$ ,西至东经  $97^{\circ}12'$ ,横跨经度  $28^{\circ}52'$ ;南起北纬  $37^{\circ}24'$ ,北至北纬  $53^{\circ}23'$ ,全区总面积  $118.3$  万  $\text{km}^2$ ,占中国土地面积的  $12.3\%$ 。内蒙古自治区位于中纬度,地处欧亚大陆内部,大部分地区处在东亚季风的影响之下,属于温带大陆性季风气候区,全年太阳辐射量从东北向西南递增,降水量由东北向西南递减。年平均气温为  $0\sim 8^{\circ}\text{C}$ ,气温年差平均在  $34\sim 36^{\circ}\text{C}$ 。东北降水多,向西部递减。

## 2 数据收集与研究方法

为了研究内蒙古降水的分布特征和趋势变化,对研究区的 50 个气象站 1960—2011 年的降水量数据进行分析。本文主要采用的分析方法有线性倾向估计、滑动平均、累积距平、谐波分析、Mann-Kendall 法、滑动  $t$  检验法<sup>[5]</sup>等,具体内容见参考文献<sup>[5]</sup>,这里不再赘述。

## 3 内蒙古降水量演变特征

由于内蒙古横跨经度很大,因此必须进行分区研究。根据内蒙古地域分布特征,将全区分成东、中和西部 3 个区域。东部区域主要包括呼伦贝尔市、兴安盟、通辽市和赤峰市;中部区域包括锡林郭勒盟、乌兰察布市、呼和浩特市和包头市;西部区域包括鄂尔多斯市、巴彦淖尔市、乌海和阿拉善盟地区<sup>[2]</sup>。

### 3.1 长期变化趋势

对内蒙古 46 个观测站 1960—2011 年的年降水资料取标准化,分别得到内蒙古区域及其 50 站年平均标准化降水量,而后对其进行线性倾向估计,计算线性倾向率。同时进行滑动平均(11 a 滑动平均)和累积距平计算。计算结果见图 1。

根据滑动平均和累积距平线来看,区域与东、中部的变化趋势较一致,表现为 80 年代中期之前,波动较小,增加趋势较缓,80 年代中期到 1998 年之间,降水量为增加趋势,到 1998 年达到最大且变化幅度最大,1998 年后呈减少趋势。西部降水量虽有波动,但相对稳定,对区域降水量变化趋势贡献较小。

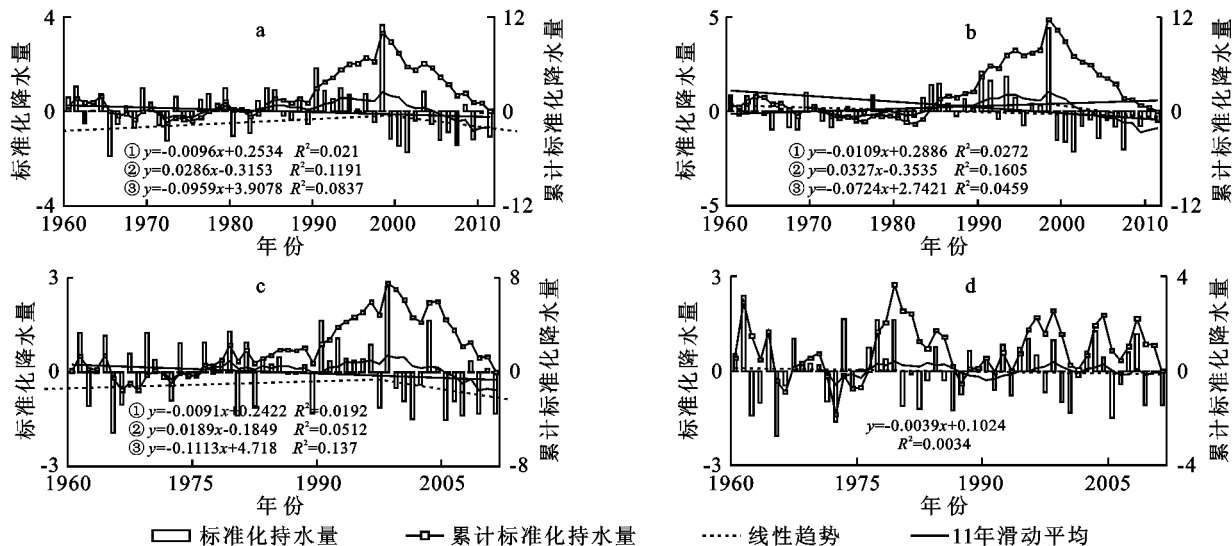


图1 内蒙古区域(a)、东部(b)、中部(c)和西部(d)地区降水量长期趋势分析

结合上述分析,内蒙古降水量趋势除西部外在 1998 年发生变化。因此,接下来按分区在不同时间尺度上进行线性倾向估计,并做显著性检验分析。

根据长期趋势分析图中线性倾向估计倾向值为负且显著性检验合格者,说明为减少趋势,正值反之。从单个站点,52 a 时间尺度来看,只有巴彦诺尔公站通过了信度为  $\alpha=0.05$  的显著性检验,其余均未通过,因此说明内蒙古降水量没有显著的变化趋势。从分区以及不同时间段来看(表 1,图 1),52 a 来,各个分区显著性检验都没通过信度  $\alpha=0.05$  的显著性检验,和单个站点得到的结果一致;从区域、东部、中部,在 1998 年作

分界点,1998 年前 39 a 降水量的线性倾向率均通过  $\alpha=0.05$  显著性检验,东部通过  $\alpha=0.01$  的显著性检验。说明此 39 a 来内蒙古区域、东部和中部降水量增加趋势明显。1998 年后 13 a,内蒙古区域、东部和中部降水量的线性倾向率虽未通过  $\alpha=0.05$  显著性检验,但从累积距平线看下降过程很明显,说明此 13 a 来内蒙古除西部区域外,降水量有减少趋势。

### 3.2 年内(季节)变化特征

图 2,3 给出了内蒙古区域以及东、中、西部地区降水的季节变化。1960—2011 年的区域、东、中和西部季节变化特征,以区域平均为例,东部、中部和西部

的分析同区域。

表 1 内蒙古各分区不同时间尺度线性倾向相关系数

分区	52 年	1998 年前	1998 以后
区域	0.15	0.35*	0.29
东部	0.16	0.40**	0.21
中部	0.14	0.37*	0.23
西部	0.06		

注:\*,\*\*表示通过信度  $\alpha$  为 0.01 和 0.05 的显著性检验。

全区年平均降水量为 295.3 mm,其中春季(3—5 月)平均为 40.0 mm,占全年的 13.6%;夏季(6—8 月)为 199.5 mm,占全年的 67.6%;秋季(9—11 月)为 49.2 mm,占全年的 16.7%;冬季(12—2 月)为 6.5 mm,占全年的 2.2%。

由图 2,3 可知,内蒙古区域的降水主要集中在夏季,占全年的 60%~70%之间,春秋两季所占比重相差无几,各占 15%左右,冬季的降水所占比重很少,只有 2.2%左右。从分区来看,降水量从东到西逐渐减少,从图 5 可以看出,各区多年平均各月降水量占全年的比例相近。东、中、西部降水量的季节分配规律相似。

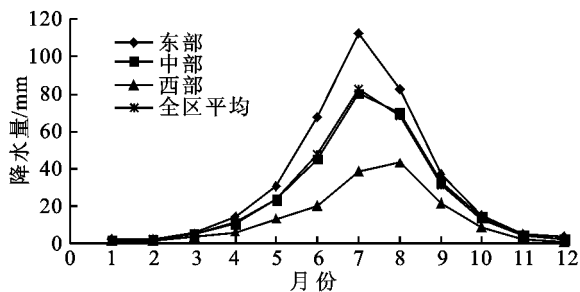


图 2 内蒙古分区多年平均逐月降水量

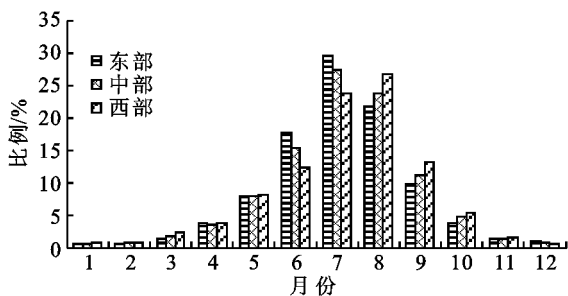


图 3 内蒙古分区多年平均逐月降水量占全年降水量比例

### 3.3 年际与年代际变化特征

本文用谐波分析方法对内蒙古降水量的标准化距平序列进行了分解。其中,内蒙古区域、东部、中部和西部的年代际分量和年际分量分别为 22.9%, 77.4%; 31.0%, 69.4%; 15.4%, 84.7%; 14.8%, 85.3%;可以看出内蒙古地区降水的年际变化更为明显。内蒙古降水量按分区以及全区平均的年代际分量和年际分量都存在减少趋势,但区域、东部和中部在 20 世纪 90 年代中期前为上升趋势,90 年代中期之后为下降趋势,西部变化趋势较稳定。

从内蒙古降水量年际分量图(图 4)可以看出内蒙古降水年际分量平稳波动。从内蒙古降水量年代际分量图(图 5)可以看出内蒙古降水量呈明显的年代际变化,分析表明区域、东部和中部 50 余年来共经历了 3 个比较明显的阶段。区域和东部地区在 20 世纪 70 年代中后期到 90 年代末期为多雨期,70 年代末期以前和 90 年代后期为少雨期;中部地区在 60 年代末期到 90 年代末期为多雨期,60 年代末期以前和 90 年代后期以后为少雨期。西部地区的降水量为 5 a 左右多雨期和 10 a 左右的少雨期交替出现,即有 15 a 左右的旱涝交替周期。

### 3.4 降水量突变特征

研究区域、东部以及中部地区在 2000 年左右降水量波动较大,为进一步确定突变的具体年份,对内蒙古区域、东中西地区降水量进行 Mann-Kendall 检验和滑动  $t$  检验。根据内蒙古各分区的降水量的 Mann-Kendall 检测曲线(图 6)上 UF 和 UB 曲线交点的位置,配合滑动  $t$  检验法对突变点进行信度水平检验,排除干扰点,判断突变的具体年份。

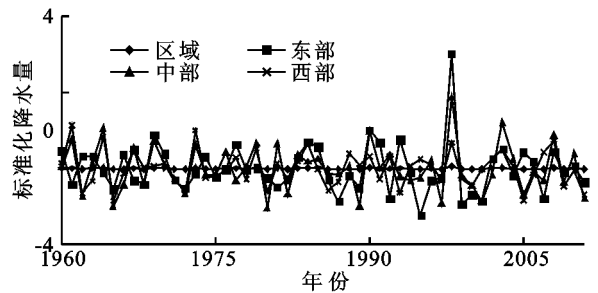


图 4 内蒙古降水量年际分量

M-K 检测中,如果  $UF^k > 0$ ,表明序列有上升的趋势;如果  $UF^k < 0$ ,则表明序列呈下降的趋势<sup>[6]</sup>。从图 6 中 UF 曲线可以看出,从 UF 正负变化趋势与图 1 中累计距平曲线和滑动平均线反映的变化规律较一致。

由图 6a1 中 UF 曲线可以看出,内蒙古区域降水量从 1960—1962 年、1978—1980 年、1984—2000 年为增加趋势,1962—1977,1981—1983,2001 年之后为减少趋势。从突变角度看,UB 线超过 0.05 临界线,UF 和 UB 线交点在临界线之间,结合滑动  $t$  平均(图 6a2),排除干扰点,1999 年为突变点,降水量趋势由增加转变为减少。

内蒙古东部、中部和西部降水量变化趋势和突变情况同内蒙古区域方法一致。得到结果为:东部降水量从 1984—2002 年为增加趋势,1960—1983 年,2003 年以后为减少趋势。中部降水量从 1960—1962 年,1976—2004 年为增加趋势,1963—1975 年,2005 年之后为减少趋势。东部和中部变化趋势较一致,而西部变化趋势有别于东、中部。从图 6d1 可以看出,

西部降水量减少增加趋势交替出现,1994 年之前交替时间较长,1994 年之后交替频率明显增加。东部突变点为 1999 年,降水量趋势由增加转变为减少。

中部降水量突变点(图 6c1)虽然符合突变点条件,但是经过滑动  $t$  平均检验(图 6c2)可知中部降水量没有突变点。西部亦没有突变点。

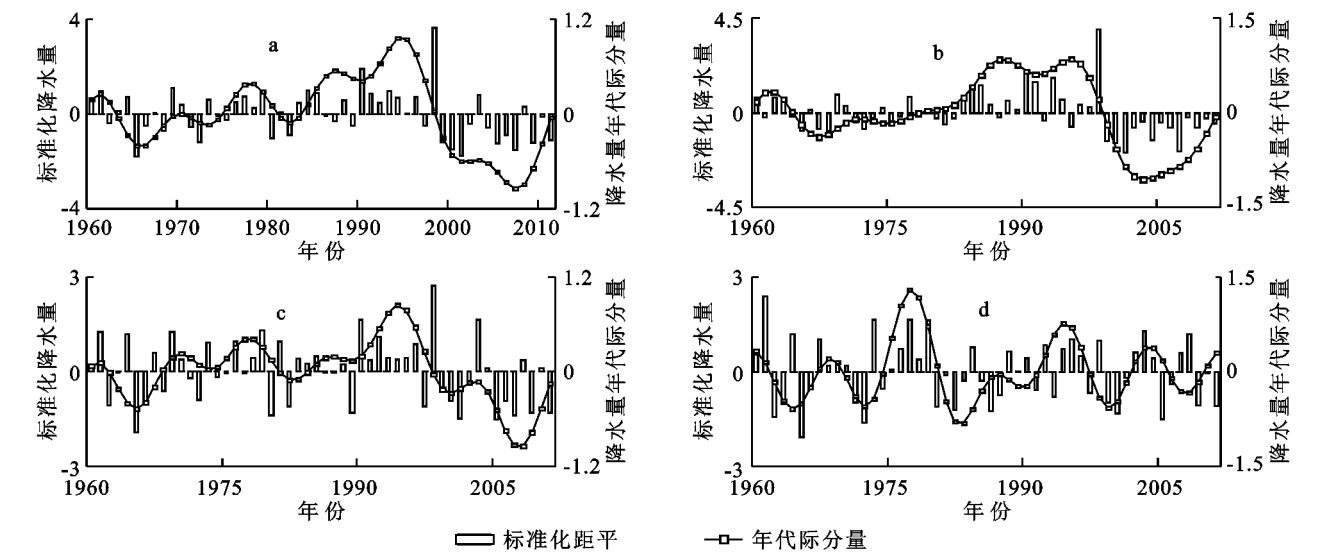
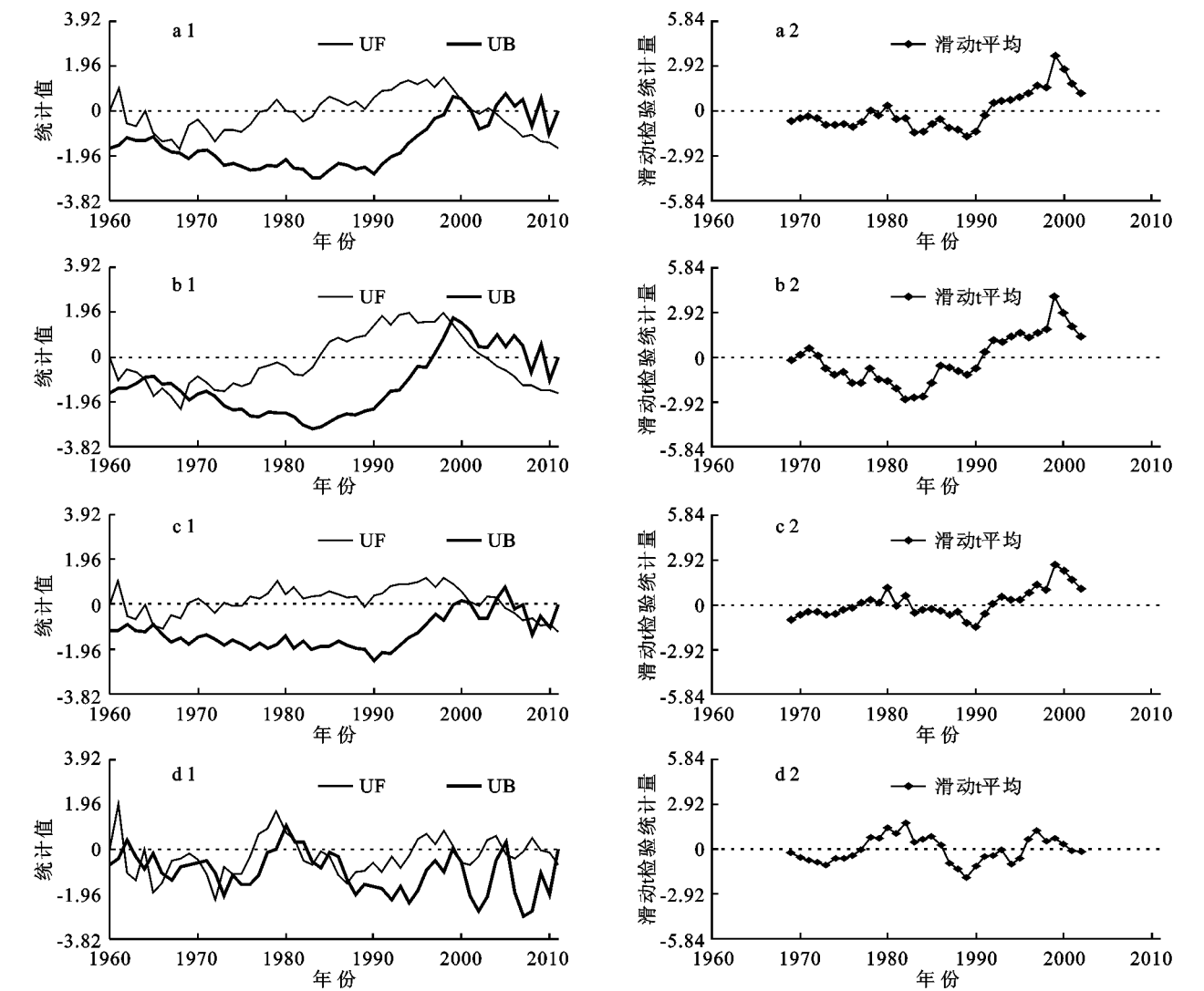


图 5 内蒙古区域(a)、东部(b)、中部(c)和西部(d)地区降水量年代际分量分析



(1 为 M-K 检验,2 为滑动  $t$  检验)

图 6 内蒙古区域(a)、东部(b)、中部(c)和西部(d)地区降水量突变分析

## 4 结论

1) 内蒙古区域降水量呈减少趋势,但没有显著的变化趋势。内蒙古区域、东部、中部,在1998年前39 a降水量有明显增加趋势;1998年后13 a,内蒙古区域、东部和中部降水量有减少趋势。

2) 内蒙古全区的降水主要集中在夏季,占全年的60%~70%之间,春秋两季所占比重相差无几,各占15%左右,冬季的降水所占比重很少,只有2.2%左右。从分区来看,降水量从东到西逐渐减少,各区多年平均各月降水量占全年的比例相近。东、中、西部降水量的季节分配规律相似。

3) 内蒙古降水量按分区以及全区平均的年代际分量和年际分量都存在减少趋势。区域、东部和中部50余年来共经历了3个比较明显的年代际变化。西部地区的降水量有15 a左右的旱涝交替周期。

4) 内蒙古区域和东部降水量突变点在1999年,

降水量趋势由增加转变为减少。东部和西部变化不显著,没有突变点。

### 参考文献:

- [1] 包刚,吴琼,包玉海.近30年内蒙古气温和降水量变化分析[J].内蒙古师范大学学报:自然科学版,2012,41(6):668-674.
  - [2] 兰玉坤.内蒙古地区近50年气候变化特征研究[D].北京:中国农业科学院,2007.
  - [3] 高晶.内蒙古夏季降水变化特征及其影响因子的研究[D].南京:南京信息工程大学,2013.
  - [4] 格日勒,吴向东,尹小玲,等.内蒙古中西部地区近45年冬,春季气温与降水量特征分析[J].内蒙古气象,2007(4):17-20.
  - [5] 魏凤英.现代气候统计诊断分析预测技术[M].北京:气候出版社,2007.
  - [6] 雷璐,孙春敏. Mann-Kendall 检验方法在增江径流趋势分析中的应用[J].中国科技信息,2012(19):39.
- ~~~~~
- (上接第73页)
- [8] 丁松,应学亮,吕丹,等.赣南飞播马尾松林林下植被盖度对土壤质量的影响[J].水土保持研究,2014,21(3):31-36.
  - [9] 陈龙池,汪思龙,陈楚莹.杉木人工林衰退机理探讨[J].应用生态学报,2004,15(10):1953-1957.
  - [10] 王祖华,李瑞霞,王晓杰,等.间伐对杉木人工林林下植被多样性及生物量的影响[J].生态环境学报,2010,19(12):2778-2782.
  - [11] Kaspar T C, Bland W L. Soil temperature and root growth[J]. Soil Science,1992,154(4):290-299.
  - [12] Lahti M, Aphalo P J, Finér L, et al. Effects of soil temperature on shoot and root growth and nutrient uptake of 5-year-old Norway spruce seedlings[J]. Tree physiology,2005,25(1):115-122.
  - [13] López B C, Sabate S, Gracia C A. Thinning effects on carbon allocation to fine roots in a *Quercus ilex* forest[J]. Tree physiology,2003,23(17):1217-1224.
  - [14] Tian D L, Yan W D, Fang X, et al. Influence of thinning on soil CO<sub>2</sub> efflux in Chinese fir plantations[J]. Pedosphere,2009,19(3):273-280.
  - [15] Jonsson J A, Sigurdsson B D. Effects of early thinning and fertilization on soil temperature and soil respiration in a poplar plantation[J]. Iceland Agric. Sci.,2010,23:97-109.
  - [16] 苏嫻,焦菊英,马祥华.黄土丘陵沟壑区主要群落地上生物量季节变化及其与土壤水分的关系[J].水土保持研究,2012,19(6):7-12.
  - [17] Vitousek P M, Porder S, Houlton B Z, et al. Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen-phosphorus interactions[J]. Ecological Applications,2010,20(1):5-15.
  - [18] Sigurdsson B D. Environmental control of carbon uptake and growth in a *Populus trichocarpa* plantation in Iceland[J]. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences,2001.
  - [19] 刘兴诏,周国逸,张德强,等.南亚热带森林不同演替阶段植物与土壤中N,P的化学计量特征[J].植物生态学报,2010,34(1):64-71.
  - [20] 葛晓改,黄志霖,程瑞梅,等.三峡库区马尾松人工林凋落物和根系输入对土壤理化性质的影响[J].应用生态学报,2012,23(12):3301-3308.
  - [21] Guo D, Xia M, Wei X, et al. Anatomical traits associated with absorption and mycorrhizal colonization are linked to root branch order in twenty-three Chinese temperate tree species[J]. New Phytologist, 2008,180(3):673-683.

物有机肥,随着其用量的增加,微生物量及脲酶活性也在增加。而本研究施入少量生物有机肥在四季小白菜的生长旺盛期也可促进土壤细菌的增殖和脲酶的活性。在此阶段,仅施  $BF_1$  生物有机肥的处理  $BF_5$  与对照相比,过氧化氢酶、蛋白酶、磷酸酶、脲酶、转化酶及细菌数量均有明显的增殖。表明仅施  $BF_1$  生物有机肥可在种植四季小白菜生育期后期也可改善土壤理化性质。而王延军等<sup>[19]</sup>认为生物有机肥与有机肥配施效果更好。本研究与张辉等<sup>[6]</sup>及陈波等<sup>[7]</sup>的研究结果相似,施用生物有机无机复合肥可提高土壤转化酶、脲酶、磷酸酶及土壤微生物数量,其中,张辉等<sup>[6]</sup>研究时生物有机无机复合肥的施用量为  $6\ 670\text{ kg/hm}^2$ ,与本研究生物有机肥施用量约  $5\ 250\text{ kg/hm}^2$  相近。但种植作物及选用测定的生长时期不同。

施肥 28 d 时,生物有机肥处理较化肥处理的土壤真菌数量、蛋白酶、过氧化氢酶、脲酶、磷酸酶活性基本恢复至对照水平,土壤生物有机肥仍抑制放线菌的增殖,激活了转化酶活性。可能由于小白菜生育末期,植物体较大,土壤中根系分泌物较多,产生一些转化酶可利用底物,刺激转化酶活性的增高。而对  $BF_1$  生物有机肥与 CK 处理对比,土壤酶活性恢复至对照水平。

土壤酶主要由微生物及植物根系的分泌作用,是土壤养分转化的重要标志,土壤转化酶、蛋白酶、脲酶、磷酸酶参与土壤 C 素、N 素及 P 素循环,而过氧化酶参与土壤物质与能量转化过程,表征土壤总的生物活性及肥力状况<sup>[16]</sup>。经相关性分析发现,过氧化氢酶与蛋白酶呈显著正相关关系,转化酶与脲酶、磷酸酶呈显著正相关关系,而转化酶、磷酸酶与过氧化氢酶、蛋白酶存在彼此消长的关系。而陈欢等<sup>[10]</sup>经长期定位施肥发现,过氧化氢酶与脲酶、转化酶呈显著正相关关系,而与磷酸酶呈消长关系。可能由于土壤类型(草甸黑钙土与砂姜黑土)、种植作物(四季小白菜和小麦、玉米)及肥料种类(生物有机肥和有机肥)不同,导致微生物参与的代谢途径不同所致。而我们以前研究也发现土壤放线菌数量与土壤脲酶呈现显著负相关关系<sup>[21]</sup>,可能与土壤类型有关。

综上所述,本研究在种植四季小白菜时施入少量生物有机肥( $5\ 250\text{ kg/hm}^2$ ),在施肥 7 d 时生物有机肥可促进土壤过氧化氢酶和脲酶活性,降低了土壤细菌数量,土壤蛋白酶及转化及磷酸酶活性因生物有机肥种类而异,施肥 14 d 时,生物有机肥可明显刺激细菌增殖,提高土壤蛋白酶、转化酶及磷酸酶的活性。施肥 21 d 时生物有机肥处理较施化肥处理仍可促进磷酸酶活性,而过氧化氢酶及蛋白酶活性已恢复至对照水平,仅施生物  $BF_1$  与不施肥处理相比,在 14 d 至

21 d 期间可明显提高土壤细菌数量,促进土壤蛋白酶、脲酶、转化酶及磷酸酶活性。施肥 28 d 时,施入少量生物有机肥处理较化肥处理的土壤过氧化氢酶、脲酶、蛋白酶、磷酸酶活性以及土壤真菌数量恢复至对照水平。此外,由国外引进的生物有机肥  $BF_1$  在不施化肥的情况下,可改善土壤微生态环境,因此在土壤肥力较好的土壤类型中适宜施用  $BF_1$  生物有机肥,有望达到土壤可持续利用的目的。

#### 参考文献:

- [1] 曹丹,宗良纲,肖峻,等.生物肥对有机黄瓜生长及土壤生物学特性的影响[J].应用生态学报,2010,21(10):2587-2592.
- [2] 万水霞,李帆,蒋光月,等.有机肥不同用量对土壤微生物以及甘蓝品质和产量的影响[J].中国土壤与肥料,2012(6):74-77.
- [3] 崔红艳,许维成,孙毓民,等.施用有机肥对土壤水分、胡麻产量和品质的影响[J].水土保持学报,2014,28(3):307-312.
- [4] 王飞,林诚,何春梅,等.不同有机肥对花生营养吸收、土壤酶活性及速效养分的影响[J].中国土壤与肥料,2011(2):57-61.
- [5] 赵青云,赵秋芳,王辉,等.施用不同有机肥对香草兰生长及土壤酶活性的影响[J].热带作物学报,2014,35(2):256-260.
- [6] 张辉,李维炯,倪永珍.生物有机无机复合肥对土壤微生物活性的影响[J].农村生态环境,2004,20(1):37-40.
- [7] 陈波,马海林,刘方春,等.生物有机肥对樱桃生长及根际土壤生物学特征的影响[J].水土保持学报,2013,27(2):267-281.
- [8] 丁文娟,曹群,赵兰凤,等.生物有机肥施用期对香蕉枯萎病及土壤微生物的影响[J].农业环境科学学报,2014,33(8):1575-1582.
- [9] 赵青云,王华,王辉,等.施用生物有机肥对可可苗期生长及土壤酶活性的影响[J].热带作物学报,2013,34(6):1024-1028.
- [10] 陈欢,李玮,张存岭,等.淮北砂姜黑土酶活性对长期不同施肥模式的响应[J].中国农业科学,2014,47(3):495-502.
- [11] 谷思玉,汪睿,耿泽铭,等.生物有机肥对盐渍土壤酶活性和腐殖质组分的影响[J].水土保持学报,2014,28(1):147-151.
- [12] 孙薇,钱勋,付青霞,等.生物有机肥对秦巴山区核桃园土壤微生物群落及酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(5):1224-1233.
- [13] 赵晶,孟庆峰,周连仁,等.长期施用有机肥对草甸碱土土壤酶活性及养分性的影响[J].中国土壤与肥料,2014(2):23-26,34.