

黑龙江省气候变化趋势对自然植被第一性净生产力的影响

高永刚¹, 温秀卿¹, 顾红¹, 姬菊芝²

(1 黑龙江省气象科学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2 黑龙江省哈尔滨市气象局, 黑龙江 哈尔滨 150026)

[摘 要] 自然植被第一性净生产力(Net primary productivity, NPP)可能是对气候变化反应最为敏感的生态环境因素之一, 研究气候变化对 NPP 的影响可为保护及合理利用自然植被资源提供理论依据。本研究利用黑龙江省 1961~2003 年逐日气象资料, 采用 NPP 综合研究模型和气候变化趋势分析的数学方法, 研究了黑龙江省近 43 年来气候和自然植被 NPP 及其变化趋势的时空特征。结果表明, 黑龙江省近 43 年来年平均气温和年降水量总体上呈增加趋势, 年平均气温变率和年降水量变化趋势百分率 10 年分别为 0.38 °C 和 0.49 %; 日平均辐射量总体呈下降趋势, 日平均辐射量变化趋势百分率 10 年为 -0.86 %, 各地气候要素(年平均气温、年降水量、日平均辐射量)及变化趋势存在空间差异。自然植被 NPP 在时间变化上呈增加趋势, NPP 的平均变率 10 年为 0.077 t/hm²; 自然植被 NPP 及其变化趋势存在空间差异。黑龙江省中、东部湿润且热量较好地区, 自然植被 NPP 值较高; 西部干旱地区和北部大兴安岭寒温带热量资源匮乏地区, 自然植被 NPP 值较低。气候要素及其变化趋势的空间差异对自然植被 NPP 及其变化趋势的空间差异具有重要影响, 自然植被 NPP 的时间分布特征与黑龙江省年平均气温、年降水量的时间分布特征基本一致; 在黑龙江省近 43 年来气温趋势增高的背景下, 自然植被 NPP 变率的空间变化与年降水量变化趋势百分率的空间变化基本一致, 限制黑龙江省自然植被 NPP 的主要原因是水分供应相对不足, 在黑龙江省西部地区松嫩平原表现特别明显。自然植被 NPP 的变率与年平均气温变率、年降水量变化趋势百分率呈正相关, 与日平均辐射量变化趋势百分率呈负相关。

[关键词] 黑龙江省; 自然植被 NPP; 气候变化

[中图分类号] S718

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)06-0171-08

Impact of climate change trend on natural vegetation net primary productivity in Heilongjiang Province

GAO Yong-gang¹, WEN Xiu-qing¹, GU Hong¹, JI Ju-zhi²

(1 Heilongjiang Province Institute of Meteorological Sciences, Harbin, Heilongjiang 150030, China; 2. Harbin Meteorological Bureau of Heilongjiang Province, Harbin, Heilongjiang 150026, China)

Abstract : Natural vegetation net primary productivity (NPP) is likely to be one of the most sensitive ecological environment factors for climate change feedback, the study of climate change impact on NPP may provide theory gist for protecting and intelligently using natural vegetation resources. With daily meteorological data of Heilongjiang Province from 1961 to 2003, based on natural vegetation NPP synthetical model and mathematical analysis of the climatic change trend, the time and spacial distribution characteristics of the climate and natural vegetation NPP and their change trend were studied in Heilongjiang Province from 1961 to 2003. The results show that, the yearly average air temperature and yearly rainfall respectively tend

†收稿日期] 2006-04-18

[基金项目] 中国气象局沈阳大气环境研究所项目“近 50 年来黑龙江省生态环境变化趋势及影响研究”(200503)

[作者简介] 高永刚(1967-), 男, 黑龙江汤原人, 副研究员, 硕士, 主要从事农业和林业气象研究。

to increase as a whole in Heilongjiang Province from 1961 to 2003 ,yearly average air temperature change rate and yearly rainfall change trend percent are respectively 0.38 °C and 0.49 % for ten years ,daily average radiation shows lowering trend as a whole ,the change trend percent of daily average radiation is - 0.86 % for ten years ,the spacial differences of every area climate factors (yearly average air temperature ,yearly rainfall and daily average radiation) and their change trends are different. The natural vegetation NPP shows increasing trend in time change ,the average change rate is 0.077 t/hm² for ten years ;the spatial differences of natural vegetation NPP and its change trend are different. Middle and eastern regions of Heilongjiang Province have wet and good temperature resource ,the natural vegetation NPP is higher ,west drought regions are lack of rainfall ,north Daxinganling cold temperature zone region is lack of temperature resource ,and their natural vegetation NPP are lower. The spacial differences of climate factors and its change trend have important impact on the spacial differences of natural vegetation NPP and its change trend ,their time change characteristics are basically accordant between natural vegetation NPP and yearly average air temperature and yearly rainfall. Under the background of air temperature warming trend in Heilongjiang Province from 1961 to 2003 ,their spacial change characteristics are basically accordant between natural vegetation NPP change rate and yearly rainfall change trend percent ,the main limited factor to natural vegetation NPP is relative water shortage in Heilongjiang Province ,and western Songnen plain of Heilongjiang Province is specially severe. The change rates of natural vegetation NPP have positive correlation with yearly average air temperature change rate and yearly rainfall change trend percent ,and they show negative correlation with daily average radiation change trend percent.

Key words : Heilongjiang Povince ;natural vegetation NPP ;climate change

近百年来,在全球气候变暖和我国东北地区变暖较明显的背景下^[1-3],黑龙江省气候变化较为显著^[4-5]。自然植被第一性净生产力(Net primary productivity,NPP)可能是对气候变化反应最为敏感的生态环境因素之一。自然植被 NPP 是指绿色植物单位时间和单位面积上积累的有机干物质,即光合作用合成的生物量与呼吸消耗量之差,它反映了植物群落在自然环境条件下的生产能力。自然植被 NPP 的分布规律不仅对我国土地人口承载能力估算、农业区划等具有重要的参考价值,而且为更好地保护、利用和开发我国广阔的森林、草场资源提供了理论依据。国内外学者在自然植被 NPP 的模型研究方面取得了重要研究成果^[6-10]。由于黑龙江省区域面积较大、地形复杂、自然植被丰富,各地气候条件差异较大,特别是近几十年来气候条件的变化对自然植被 NPP 将产生一定程度的影响。目前,对黑龙江省自然植被 NPP 的分布规律,及近几十年来气候变化对自然植被 NPP 影响的研究报道还较少。因此,本试验利用 1961~2003 年逐日气象资料,研究了黑龙江省近 43 年来气候和自然植被 NPP 及其变化趋势的时空特征,旨在为黑龙江省自然资源的可持续利用和发展,以及保护和改善区域生态环境提供参考依据。

1 资料来源

研究区域为黑龙江省,区域面积 45.6 万 km²,包括 81 个气象观测站点。气象数据来源于黑龙江省气象科学研究所整编的黑龙省 1961~2003 年逐日网格气象资料,网格格距为(50 km × 50 km)^[11]。气象要素包括平均气温、平均最高气温、平均最低气温、日降水量、相对湿度、日照时数、水汽压、气压及采用 Supit 公式^[12]计算的地面日辐射量。

2 研究方法

2.1 自然植被 NPP 的计算

20 世纪 80 年代以来,国内一些学者开始采用国际上流行的自然植被 NPP 估算模型(Miami 模型、Thorntwaite Memorial 模型和 Chikugo 模型)对中国自然植被的气候生产潜力及其对未来气候变化的反应进行模拟研究^[13-15],并开始探讨建立更为完善的自然植被 NPP 模型^[6-7]。1998 年,周广胜等^[8]基于 Chikugo 模型相似的推导过程,根据植物的生理生态学特点及联系能量平衡和水量平衡方程的实际蒸散模型,以及在国际生物计划(IBP)期间获得的世界各地的 23 组森林、草地及荒漠等自然植被资料和相应的气候资料,提出了自然植被 NPP 的

综合模型,并与其他模型的适用性进行比较研究表明,Chikugo 模型、北京模型与综合模型均能较好地反应森林 NPP 状况,但对于干旱半干旱地区,北京模型与综合模型能较好地反应自然植被的 NPP,而 Chikugo 模型的计算值偏小。因此,本研究采用自然植被 NPP 的综合模型^[8]:

$$NPP = RDI \cdot \left[\frac{rR_n(r^2 + R_n^2 + rR_n)}{(R_n + r)(R_n^2 + r^2)} \right] \cdot \exp[-(9.87 + 6.25RDI)^{0.5}], \quad (1)$$

式中: NPP 为每年自然植被 NPP (t/hm^2); RDI 为辐射干燥度,是辐射能量的年净收入与蒸发的年降水量所需能量的比值,表示气候干燥程度; r 为年降水量(mm); R_n 为净辐射量(J/hm^2),代表热量或温度因子,是植被生态过程强度的度量。其中, RDI、 R_n 和 I 的计算公式分别为:

$$RDI = \frac{R_n}{L \cdot r}, \quad (2)$$

$$R_n = R_a(1 - V) - I, \quad (3)$$

$$I = (0.39 \times T_a^4 - 0.05 \times \delta \times e_a^{0.5}) \cdot (0.10 + 0.9 \times \frac{n}{N}) \cdot (\delta \times \frac{S}{4.18}). \quad (4)$$

式中: L 为水蒸发潜热, $L = (2500 - 2.4 \times T) \times 10^3 \text{ J/kg}$, T 为年平均气温($^{\circ}\text{C}$); R_a 为总辐射量(J/hm^2); V 为地表发射率,通常取 0.2; I 为长波有效辐射量(J/hm^2); T_a 为年平均气温的绝对温标(K); e_a 为年平均水汽压(hPa); n/N 为日照百分率; δ 为斯蒂芬-玻耳兹曼常数, $\delta = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$; S 为太阳常数, $S = 1353.73 \text{ W}/\text{m}^2$ ^[9,16]。

2.2 自然植被 NPP 及气候要素变化趋势的计算

以各地年份为自变量,各地各年自然植被 NPP 为因变量,利用一次线性方程 $y(t) = a_0 + a_1 t$ 可定量描述各地自然植被 NPP 随时间的变化趋势,其中 $a_1 = dy(t)/dt$,为 NPP 的稳定倾向率,即: NPP 的年平均变化趋势。稳定倾向率 a_1 可采用最小二乘法求解^[17],即:

$$a_1 = \frac{[\sum X_i Y_i - (\sum X_i \sum Y_i)/m]}{[\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2/m]}. \quad (5)$$

式中: Y_i 为各地 1961~2003 年计算的 NPP 因变量; X_i 为各地 1961~2003 年份自变量(即: 1961, 1962, ..., 2003); m 是各地样本数,取值为 43。在实际各地 NPP 的趋势分析中,通常以 10 年为步长分析各地 43 年稳定倾向率的变化情况,即: $10 a_1 (\text{t}/\text{hm}^2)$ 。

同样,可计算各地年平均气温($^{\circ}\text{C}$)、年降水量(mm)、日平均辐射量(kJ/m^2)等气候因素的 10 年

变化趋势量(变率)。气候变化分析中,气温变化趋势通常以 10 年的气温变率为单位,降水量和辐射量变化趋势通常以 10 年的变化量与平均值比值的百分数为单位(变化趋势百分率),进而可计算各地年降水量、日平均辐射量变化趋势百分率,即:

$$P_C/\% = \frac{\Delta C}{\bar{C}} \times 100\%. \quad (6)$$

式中: P_C 为各地各气候要素(年降水量、日平均辐射量)变化趋势百分率, ΔC 为各地各气候要素 10 年的变化趋势量, $\bar{C}$ 为各地各气候要素 1961~2003 年的平均值。

3 黑龙江省气候变化特征分析

3.1 黑龙江省气候变化的时间特征

黑龙江省近 43 年来年平均气温距平、年降水量距平、日平均辐射量距平时间变化特征见图 1~3。由图 1 可见,黑龙江省年平均气温总体呈增高趋势,与全国气温变化趋势相似。黑龙江省近 43 年来年平均气温距平为 2.6°C 。趋势计算结果表明,黑龙江省年平均气温 10 年变率为 0.38°C ,显著高于全国年平均气温变率(10 年变率为 $0.06^{\circ}\text{C}^{[1]}$)。20 世纪 60~80 年代后期,黑龙江省气温整体较低,且长达 27 年,其中 1975 和 1982 年年平均气温较高,分别高出平均气温 1.01°C 和 0.83°C 。黑龙江省年平均气温显著升温始于 1988 年,较全国年平均气温显著升高^[18]时间晚了 2 年,其后气温在此高位波动。20 世纪 90 年代是近 43 年来最温暖时期之一。

由图 2 可见,黑龙江省近 43 年来年降水量出现较大波动,总体上呈小幅增加趋势。黑龙江省近 43 年来年降水量的平均值为 514.5 mm 。趋势计算结果表明,年降水量 10 年变率为 2.5 mm ,年降水量变化趋势百分率 10 年为 0.49% 。60 年代初期降水量偏高,60 年代中后期降水量下降,到 70 年代前半期降水量重新增加,但 70 年代后半期降水量明显下降,且一直持续到 1980 年,1981 年后开始有波动回升,直到 1997 之后又呈明显下降趋势,至 2003 年又出现缓慢回升迹象。

由图 3 可见,黑龙江省近 43 年来日平均辐射量总体呈下降趋势,其中 20 世纪 80 年代前处于正距平,80 年代后处于负距平,表明 80 年代前辐射条件较好。黑龙江省近 43 年来日平均辐射量的平均值为 $13249 \text{ J}/\text{m}^2$ 。趋势计算结果表明,日平均辐射量的 10 年变率为 -114.1 J ,日平均辐射量变化趋势百分率 10 年为 -0.86% 。

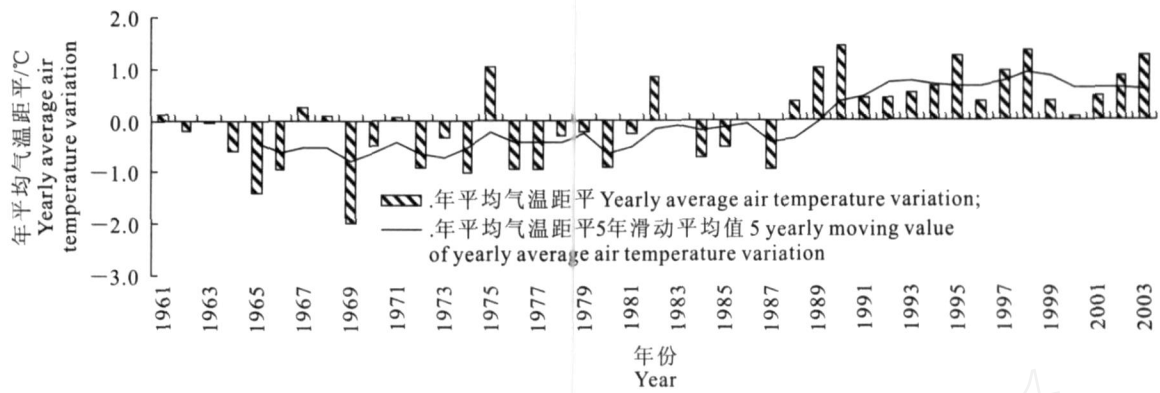


图 1 黑龙江省近 43 年来年平均气温的时间变化特征

Fig. 1 Time change characteristic of yearly average air temperature in Heilongjiang Province from 1961 to 2003

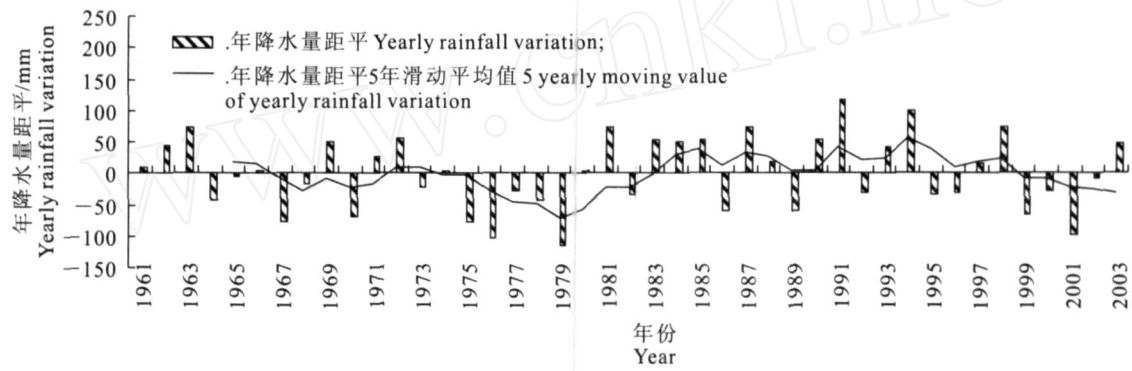


图 2 黑龙江省近 43 年来年降水量的时间变化特征

Fig. 2 Time change characteristic of yearly rainfall in Heilongjiang Province from 1961 to 2003

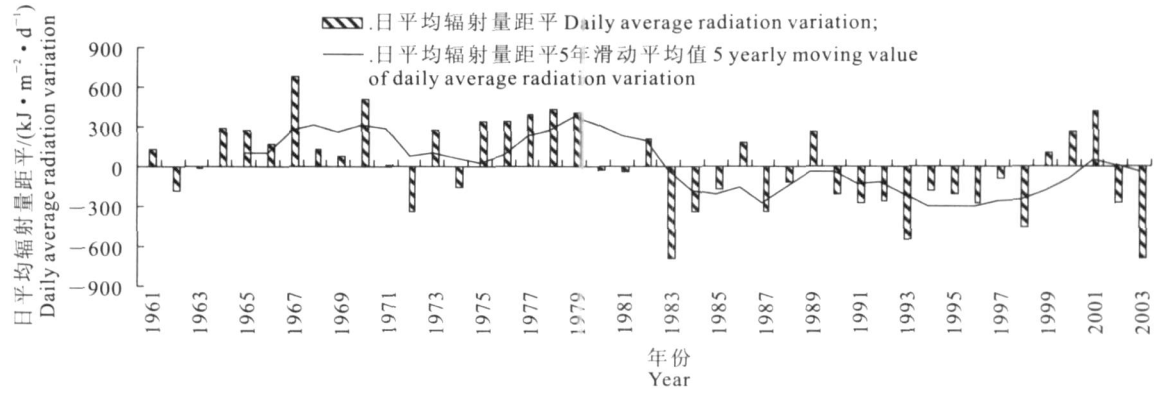


图 3 黑龙江省近 43 年来日平均辐射量的时间变化特征

Fig. 3 Time change characteristic of daily average radiation in Heilongjiang Province from 1961 to 2003

3.2 黑龙江省气候变化的空间特征

在全球气候变暖的背景下,尽管黑龙江省气候条件也相应地发生了变化,但由于黑龙江省处于中高纬度地区,并且区域面积较大、地形复杂,因此黑龙江省各地气候条件的变化也不尽相同,各有其特点。黑龙江省近 43 年来年平均气温变率、年降水量和日平均辐射量变化趋势百分率的空间分布见图 4~6。

由图 1 和图 4 可见,黑龙江省各地年平均气温的变化呈增高趋势,统计结果表明,年平均气温变率平均增幅 10 年为 0.38 °C,最低为 0.16 °C,最高为 0.73 °C。但各地年平均气温增温幅度存在空间差异,年平均气温增幅最显著的区域为大兴安岭地区东南部和黑河地区,10 年增幅为 0.58~0.73 °C;大兴安岭地区北部(漠河县)年平均气温增幅较小,10 年增幅为 0.16~0.34 °C。三江平原地区年平均气

温 10 年增幅为 0.34~0.42 °C,其中三江平原东部靠近乌苏里江边缘地区(抚远县、饶河县)年平均气温增幅较小,10 年为 0.16~0.34 °C。松嫩平原地区西部年平均气温增幅较大,10 年为 0.50~0.58 °C,其中松嫩平原的齐齐哈尔地区南部、大庆地区西南部年平均气温 10 年增幅为 0.42~0.50 °C。松嫩

平原的东南部、绥化地区北部、佳木斯地区北部和南部、牡丹江地区西部年平均气温 10 年增幅为 0.42~0.50 °C。小兴安岭伊春地区北部(小兴安岭北坡)、鸡西地区南部年平均气温 10 年增幅为 0.16~0.34 °C;伊春地区中部和南部、佳木斯地区西部、牡丹江地区南部年平均气温 10 年增幅为 0.34~0.42 °C。

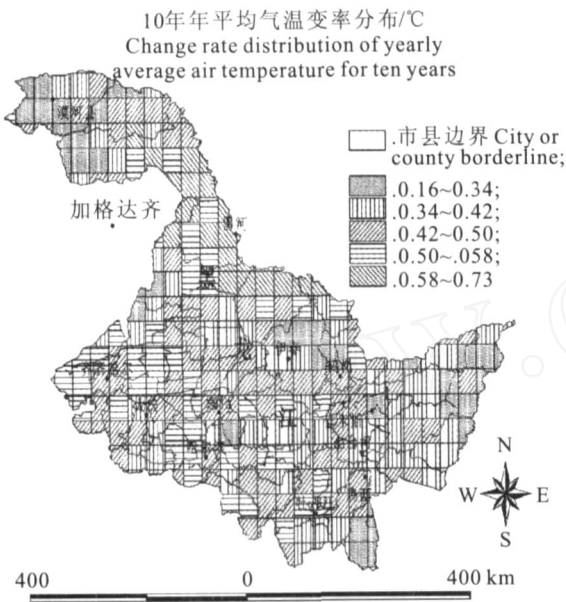


图 4 黑龙江省近 43 年来年平均气温变率的空间分布
Fig. 4 Spatial distributions characteristic of yearly average air temperature change rate in Heilongjiang Province from 1961 to 2003

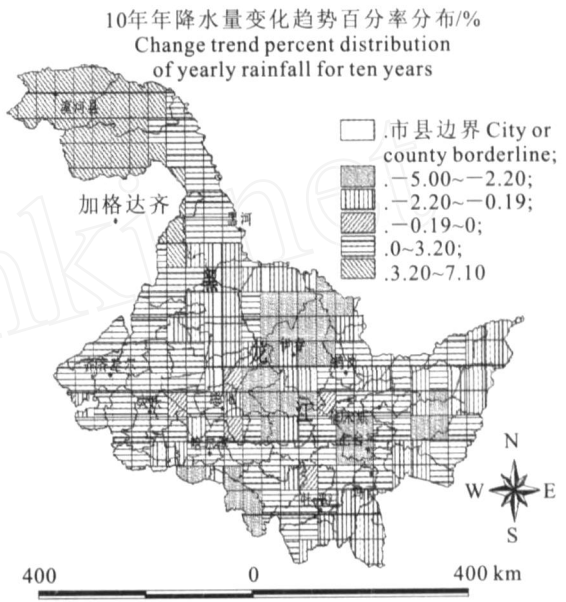


图 5 黑龙江省近 43 年来年降水量变化趋势百分率的空间分布
Fig. 5 Spatial distributions characteristic of yearly rainfall change trend percent in Heilongjiang Province from 1961 to 2003

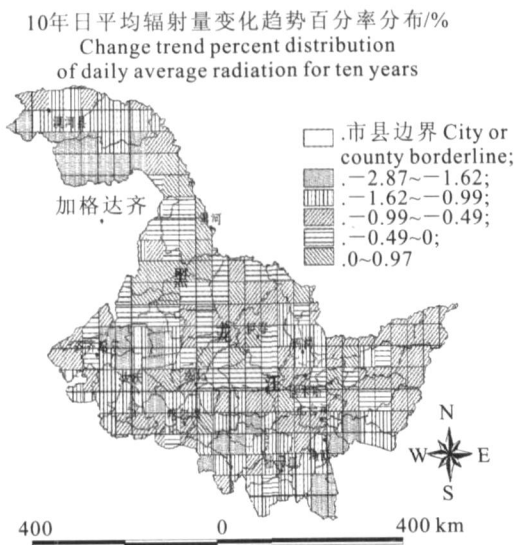


图 6 黑龙江省近 43 年来日平均辐射量变化趋势百分率的空间分布

Fig. 6 Spatial distributions characteristic of daily average radiation change trend percent in Heilongjiang Province from 1961 to 2003

由图 5 可见,大兴安岭地区、松嫩平原地区、三江平原地区北部、哈尔滨地区东部和牡丹江大部分地区均是年降水量趋势增加的区域,其他区域基本是年降水量趋势减少的区域。在趋势增加的区域中,大兴安岭地区北部增加幅度最大,10 年为 3.20%~7.10%;大兴安岭地区东南部、松嫩平原地区、三江平原地区北部、哈尔滨地区东部和牡丹江大部分地区增加幅度次之,10 年为 0%~3.20%。在趋势减少的区域中,伊春地区、哈尔滨地区南部和东南部、七台河市是年降水量趋势减少最显著区域,10 年为 -5.00%~-2.20%;黑河地区东南部、三江平原地区东部、牡丹江地区东南部年降水量趋势减少幅度次之,10 年为 -2.20%~0%。

由图 3 和图 6 可见,黑龙江省日平均辐射量变化趋势基本上呈减少趋势,其中日平均辐射量减少幅度最显著区域在黑龙江省北部的大兴安岭地区,齐齐哈尔、大庆、绥化、牡丹江、鸡西一线以南区域,其日平均辐射量减少幅度 10 年为 -2.87%~

- 0.99 %;黑龙江省北部黑河地区日平均辐射量有增加趋势,其增幅 10 年为 0 %~0.97 %;其他地区日平均辐射量减少幅度 10 年为 - 1.62 %~- 0.49 %。

4 黑龙江省气候变化对自然植被 NPP 的影响

4.1 黑龙江省自然植被 NPP 的时间特征

由图 7 可知,黑龙江省近 43 年来自然植被 NPP 总体上呈增加趋势。趋势计算结果表明,黑龙江省自然植被 NPP 的平均变率 10 年为 0.077

t/hm²。不同年代自然植被 NPP 的变化特点有一定差异,其中 20 世纪 80 年代前 NPP 基本上呈减小趋势;1979~1994 年 NPP 呈增加趋势;1994 年后 NPP 总体上又呈下降趋势。由此可知,自然植被 NPP 的时间分布特征与黑龙江省年平均气温、年降水量的时间分布特征基本一致。

4.2 黑龙江省自然植被 NPP 的空间特征

黑龙江省区域辽阔、地形复杂,各地气候差异比较显著,特别是近 43 年来黑龙江省气温、降水量、辐射量等气候条件发生了显著变化^[4-5],黑龙江省各地自然植被 NPP 也相应发生了变化。黑龙江省近 43 年来自然植被 NPP 及其变率的空间分布特征见图 8。

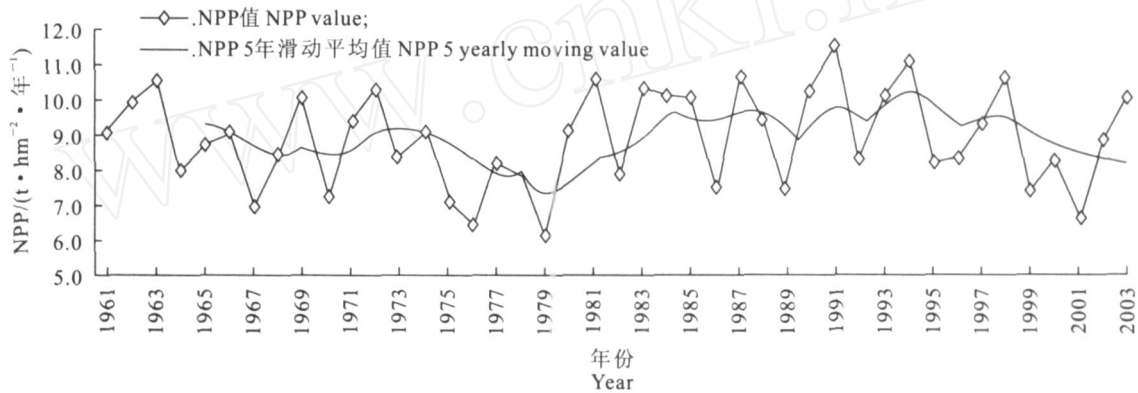


图 7 黑龙江省近 43 年来自然植被 NPP 的时间变化特征

Fig. 7 Time change characteristic of natural vegetation NPP in Heilongjiang Province from 1961 to 2003

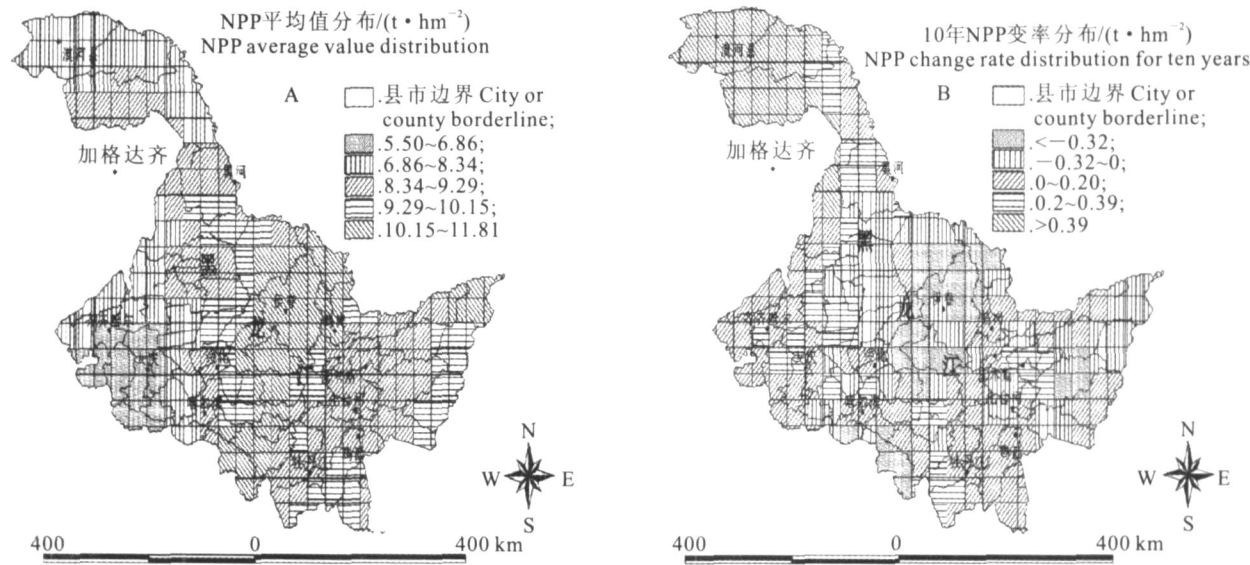


图 8 黑龙江省近 43 年来自然植被 NPP 及其变率的空间分布特征

A. NPP 平均值的空间分布;B. NPP 变率的空间分布

Fig. 8 Spatial distributions characteristic of natural vegetation NPP and its recent change rate in Heilongjiang Province from 1961 to 2003

A. Spatial distributions characteristic of NPP average value;B. Spatial distributions characteristic of NPP change rate

4.2.1 黑龙江省自然植被 NPP 平均值的空间分布特征 由黑龙江省自然植被 NPP 平均值的空间分布(图 8-A)可见,从整体来看,黑龙江省自然植被 NPP 基本上呈带状分布,黑龙江中部、东部雨热条件好,有利于自然植被的生长,NPP 值较高;黑龙江省北部(大兴安岭、黑河地区北部)气温和辐射量较差,热量不足是其主要限制因子,尽管降水量条件较好,但 NPP 值相对较低;黑龙江省西部的松嫩平原等区域,虽然热量条件好,但该区域降水量条件差,干旱成为自然植被生长的限制因子,该区域 NPP 值最低。

不同地区自然植被 NPP 的差异较大,其中黑龙江省自然植被 NPP 高值区域,主要分布于伊春地区、鹤岗地区西部、绥化地区东部和哈尔滨地区东部所形成的南北向较大带状区域内,该区域 NPP 每年为 $10.15 \sim 11.81 \text{ t/hm}^2$,伊春地区和鹤岗地区西部的 NPP 值高是年降水量丰沛所致,绥化地区东部和哈尔滨地区东部的 NPP 值高是年平均气温高和年降水量较多所致。自然植被 NPP 次高值区域,主要分布于黑河地区东部、绥化地区北部和西南部、三江平原东部边缘的饶河县和虎林市、鸡西地区南部,该区域 NPP 每年为 $9.29 \sim 10.15 \text{ t/hm}^2$,该 NPP 次高值区域是年平均气温较高和年降水量较多所致。自然植被 NPP 较高值区域,主要分布于三江平原、七台河地区、牡丹江地区所形成的西北-东南向大的带状区域内,以及松嫩平原东北部、黑河地区西部,该区域 NPP 每年为 $8.34 \sim 9.29 \text{ t/hm}^2$,黑河地区西部 NPP 值较高是年降水量较多所致,而其他 NPP 较高值区域的 NPP 值较高是年平均气温相对较高和年降水量相对较多所致。在大兴安岭地区、松嫩平原东部和北部地区 NPP 较低,每年为 $6.86 \sim 8.34 \text{ t/hm}^2$,大兴安岭地区 NPP 值较低是年平均气温低和辐射量较差所致,松嫩平原东部和北部地区 NPP 值较低是年降水量较少所致。松嫩平原的西南部,即齐齐哈尔南部、大庆地区,NPP 值最低,每年为 $5.50 \sim 6.86 \text{ t/hm}^2$,该区域 NPP 值最低是年降水量最少导致干旱所致。

4.2.2 黑龙江省自然植被 NPP 变化趋势的空间分布特征 由黑龙江省近 43 年来自然植被 NPP 变率的空间分布(图 8-B)可见,从整体来看,在黑龙江省近 43 年气温趋势增高的背景下,自然植被 NPP 变率的空间变化与年降水量变化趋势百分率的空间变化基本一致,限制黑龙江省自然植被 NPP 的主要原因是水分供应相对不足。黑龙江省伊春地区、绥化

地区北部、黑河地区南部、三江平原东部边缘(抚远县、饶河县)、七台河地区是自然植被 NPP 变化趋势降低的区域,其他区域自然植被 NPP 变化基本上呈增加趋势。

在自然植被 NPP 变化趋势降低的区域中,伊春地区自然植被 NPP 趋势减少幅度最大,10 年的减少幅度大于 -0.32 t/hm^2 ;绥化地区北部、黑河地区南部、三江平原东部边缘(抚远县、饶河县)、七台河地区自然植被 NPP 趋势减少幅度次之,10 年为 $-0.32 \sim 0 \text{ t/hm}^2$ 。从气候条件分析来看,上述地区自然植被 NPP 趋势减少主要是由年降水量趋势减少造成的(图 5)。

在自然植被 NPP 变化趋势增加的区域中,大兴安岭地区自然植被 NPP 增加的幅度最大,10 年增幅大于 0.39 t/hm^2 ,这可能是由于该区域年平均气温较低,而气温条件是该区域自然植被 NPP 的主要限制因子,随气温趋势增高 NPP 呈增加趋势。黑河地区北部、大庆地区东北部、牡丹江地区南部是自然植被 NPP 趋势增加值较高区域,自然植被 NPP 增加幅度 10 年为 $0.20 \sim 0.39 \text{ t/hm}^2$,这是该区域降水量趋势增加、气温趋势增高所致。三江平原地区、鹤岗地区、鸡西地区、牡丹江地区(南部除外)、松嫩平原西部的齐齐哈尔地区、大庆地区南部等区域是自然植被 NPP 趋势增加相对较低区域,该区域 NPP 增加幅度 10 年为 $0 \sim 0.20 \text{ t/hm}^2$,其中黑龙江省东部的三江平原地区、鹤岗地区、鸡西地区、牡丹江地区(南部除外)NPP 的增加主要是年平均气温、年降水量趋势增加所致;黑龙江省西部的齐齐哈尔地区、大庆地区南部 NPP 的增加,主要是降水量趋势增加所致,该区域降水量不足是其主要限制因子。

4.2.3 黑龙江省气候变化趋势对自然植被 NPP 变化趋势的影响 为定量分析黑龙江省近 43 年来气候变率与自然植被 NPP 变率的关系,以各地自然植被 NPP 的 10 年变率(Y)为因变量,以各地气候变化趋势因素(10 年的年平均气温变率(X_1)、10 年的年降水量变化趋势百分率(X_2)、10 年的日平均辐射量变化趋势百分率(X_3))为自变量,建立多元线性回归方程。

$$Y = 0.0681X_1 + 0.1119X_2 - 0.0263X_3 - 0.0486, \quad (7)$$

$$(n = 285, R = 0.9946^{**}, \text{标准误差}$$

$$SR = 0.03108)$$

从式(7)可见,黑龙江省近 43 年来气候变率与自然植被 NPP 的变率具有极显著的相关性,自然植

被 NPP 的变率与年平均气温变率、年降水量变化趋势百分率呈正相关,与日平均辐射量变化趋势百分率呈负相关。需要说明的是,在 NPP 变率与年平均气温变率、年降水量变化趋势百分率、日平均辐射量变化趋势百分率 3 变量的多元回归分析中,由于年平均气温与日平均辐射量均是与热量相关的指标,两者存在一定的正相关性,且多元回归分析是在黑龙江省整体水平上进行的,尽管辐射量变化趋势百分率在湿润地区可能会与 NPP 变率出现正相关,而多元回归分析的结果使年平均气温的作用体现更明显,导致式(7)中 NPP 变率与日平均辐射量变化趋势百分率呈负相关,但式(7)能较好地反映年平均气温变率与年降水量变化趋势百分率对 NPP 变率的作用效果。

利用式(7)可以计算,当年平均气温变率每 10 年增高 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,自然植被 NPP 的 10 年增加量为 $0.034\ 05\ \text{t}/\text{hm}^2$;当年降水量变化趋势百分率每 10 年增加 0.5% 时,自然植被 NPP 的 10 年增加量为 $0.056\ 00\ \text{t}/\text{hm}^2$;当日平均辐射量变化趋势百分率每 10 年增加 0.5% 时,自然植被 NPP 的 10 年减少量为 $0.013\ 05\ \text{t}/\text{hm}^2$ 。

5 结 论

1) 黑龙江省近 43 年来年平均气温和年降水量总体上呈增加趋势,年平均气温变率和年降水量变化趋势百分率 10 年分别为 $0.38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 0.49% ;日平均辐射量总体呈下降趋势,日平均辐射量变化趋势百分率 10 年为 -0.86% 。但在气候变化趋势的总体背景下,各地气候要素(年平均气温、年降水量、日平均辐射量)及变化趋势存在空间上的差异。

2) 黑龙江省近 43 年来自然植被 NPP 总体上呈增加趋势,自然植被 NPP 的平均变率 10 年为 $0.077\ \text{t}/\text{hm}^2$ 。气候要素及其变化趋势在空间上的差异对自然植被 NPP 及其变化趋势的空间分布特点具有重要影响。黑龙江省中、东部湿润且热量较好地区,自然植被 NPP 值较高;西部干旱地区和北部大兴安岭寒温带热量资源匮乏地区,自然植被 NPP 值较低。在黑龙江省近 43 年气温趋势增高的背景下,自然植被 NPP 变率的空间变化与年降水量变化趋势百分率的空间变化基本一致,表明限制黑龙江省自然植被 NPP 的主要原因是水分供应相对不足,在黑

龙江省西部地区松嫩平原表现特别明显。

3) 气候要素的变化趋势与自然植被 NPP 的变化趋势具有极显著的相关性。自然植被 NPP 的变率与年平均气温变率、年降水量变化趋势百分率呈正相关,与日平均辐射量变化趋势百分率呈负相关。

[参考文献]

- [1] 王绍武. 近百年来气候变化与变率的诊断研究[J]. 气象学报, 1994, 52(3): 261-273.
- [2] 陈隆勋, 朱文琴, 王 文, 等. 中国近 45 年来气候变化的研究[J]. 气象学报, 1998, 56(3): 257-271.
- [3] 王绍武, 董光荣. 中国西部环境特征及其演变[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 248-250.
- [4] 刘玉莲, 吴洪宝. 用 SSA-MEM 分析黑龙江省近 45 年气温变化[J]. 黑龙江气象, 2004(1): 16-19.
- [5] 国世友, 邹立尧, 吴 琼. 近百年来黑龙江省气候变化特征[J]. 黑龙江气象, 2003(4): 8-11.
- [6] 朱志辉. 自然植被净第一性生产力估计模型[J]. 科学通报, 1993, 38(15): 1422-1426.
- [7] 周广胜, 张新时. 自然植被净第一性生产力模型初探[J]. 植物生态学报, 1995, 19(3): 193-200.
- [8] 周广胜, 郑元润, 罗天祥, 等. 自然植被净第一性生产力模型及应用[J]. 林业科学, 1998, 34(5): 2-11.
- [9] 李 晶, 任志远. 陕北黄土高原土地利用变化对第一性生产生态服务功能价值的影响[J]. 生态学杂志, 2005, 24(9): 1029-1033.
- [10] Uchijima Z, Seino H. Agroclimate evaluation of net primary productivity of natural vegetation. (1) chikugo model for evaluation primary productivity[J]. Journal of Agricultural Meteorology, 1985, 40: 343-352.
- [11] 李秀芬, 王育光, 季生太, 等. 作物长势监测系统(CGMS)在黑龙江省的应用[J]. 中国农业气象, 2005, 26(3): 155-157.
- [12] Supit I, Kappel, van R R. A simple method to estimate global radiation[J]. Solar Energy, 1998, 63(3): 147-160.
- [13] 贺庆棠. 中国植物的可能生产力——农业和林业的气候产量[J]. 北京林业大学学报, 1986(2): 84-97.
- [14] 张宪洲, 张新时. 我国自然植被净第一性生产力的估算与分布[J]. 自然资源, 1992(1): 15-21.
- [15] 张新时, 杨奠安, 倪文革. 植被的 PE(可能蒸散)指标与植被气候分类(三)几种主要方法与 PEP 程序介绍[J]. 植物生态学报与地植物学学报, 1993, 17(2): 97-107.
- [16] 李金昌. 生态价值论[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1999: 112-115.
- [17] 爱华计算机工作室. 最小二乘法原理[EB/OL]. (2005-01-15) [2006-04-18]. <http://www.eaihua.com/ahrjyl.htm>.
- [18] 杨建平, 丁永建, 沈永平, 等. 近 40a 来江河源区生态环境变化的气候特征分析[J]. 冰川冻土, 2004, 26(1): 7-16.