

基于 MODIS 的我国北方农牧交错带植被生长特征^{* 1}

何 勇 董文杰 严晓瑜

(国家气候中心, 北京 100081)

摘 要

基于 2000—2006 年(2004 年缺)6 年 MODIS 每 8 d 的总生产力资料以及我国农业气象观测站点牧草的物候观测资料,定量分析了我国北方农牧交错带植被以及牧草生长特征。结果表明:我国北方农牧交错带植被的年均 GPP(Gross Primary Productivity, 总初级生产力)从 2000—2006 年呈现出波动性的变化特征,年平均值为 $234.45 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ 。对该地区植被的 GPP 与同期气候要素的分析显示,气温是影响该地区植被生长的主要气候因素,降水其次。对牧草物候期的 GPP 分析表明,不同地区牧草的物候期对应的 GPP 值不同;牧草在开花期时 GPP 最大,在出苗期和黄枯期时 GPP 相对较小,但是同一地区牧草的出苗期和黄枯期 GPP 值相差不大。

关键词: 北方农牧交错带;GPP;气候;牧草;物候

引 言

我国北方农牧交错带北起大兴安岭西麓的呼伦贝尔,向西南延伸经内蒙古东南、河北北部、山西北部至内蒙古鄂尔多斯、陕西北部从半干旱向干旱区过渡的广阔地带,是一个生态脆弱、环境敏感地带。关于我国北方农牧交错带最早的研究可以追溯到西汉司马迁的《史记·货殖列传》中对中原农业文化区和北方草原游牧文化区之间的界线确定的;20 世纪 50 年代以来,赵松乔^[1]最早提出并开展了农牧交错带的研究,之后相关工作主要涉及农牧交错带概念以及范围的界定,同时对该地区农牧业生产方式以及自然地理条件进行了详尽调查^[2]。20 世纪 70—80 年代,对该地区的研究主要集中在荒漠化、草地退化以及水土流失等生态问题,并探索和明确农牧交错带合理而有效的发展方向^[3];20 世纪 90 年代以来,在全球变化研究背景下,农牧交错带作为我国一条生态脆弱带和重要的生态屏障带,对该地区生态环境演变以及可持续发展方式研究是该区域研究主题^[4-7]。开展我国北方农牧交错带陆地生态系统研究,对于该地区生态系统建设以及社会经济的可持续发展具有重要意义。目前对该地区生态系统的

研究大都集中在定点观测以及利用卫星遥感资料对大范围地区的生态系统进行研究与分析。蒋卫国等^[7]基于 NDVI 资料分析指出 1989—1999 年北方农牧交错带的生态环境背景从东南向西北逐渐变差,而生态环境严重变化的区域主要集中在晋、陕、蒙、宁、甘交界处、科尔沁沙地以及青海海东地区。陈海等^[8]利用 NOAA 的 NDVI 资料分析观察到 1991—2000 年我国北方农牧交错带植被覆盖度总体成减少的趋势。

上述研究主要利用了美国 NOAA 的 NDVI 资料分析该地区的植被分布以及生长特征,探讨其与气候的关系。2000 年以来,美国 NASA 提供了 MODIS 对地观测业务产品,其中包括了近乎实时的全球每 8 d、分辨率为 1 km 的 GPP 的产品(MOD17A2)^[9]。GPP 是植物将光能转化为生物量的总转化能量,其不仅可以反映植被生长状况,也可以反映陆地生态系统与大气之间的碳交换过程,是全球变化以及碳循环研究的一个重要内容。MOD17A2 产品已经对全球各种植被类型^[10-11]以及热带地区的植被^[12]等进行了验证,是监测全球以及区域陆地植被生长状况的一种较好资料;在我国,MODIS 的植被生产力资料已经被用来监测南水北调地区植被生长状况以及青藏高原植被特征的相关

* 科技部国际合作项目“区域气候变化的监测、模拟和影响研究”(2005DFA20940)及中国气象局 2007 年气候变化专项“未来 30 年气候变化对我国北方农牧交错带生态系统的影响及其对策研究”(CCSF2007-8)共同资助。

2008-02-18 收到,2008-06-23 收到再改稿。

研究工作中^[13-14]。

本文选取了 MOD17A2 数据来讨论我国农牧交错带陆地植被生长的特征及其与气候的关系,同时结合农业气象站点牧草的物候观测资料,定量讨论该地区牧草生长特征。

1 研究范围与数据

我国北方农牧交错带区域的划分有很多种方法,一般都认为其大致沿北方 400 mm 降水等值线的走向,分布于我国东北、华北等地。由于各种划分方法不同,导致了北方农牧交错带的分布范围也有所差异。综合已有的研究结论,本文以我国 1971—2000 年平均降水量分布为基础,选取 250~500 mm 等值线范围内的黑龙江、内蒙古、辽宁、吉林、河北、陕西、山西、宁夏等地作为我国北方农牧交错带的范围(图 1),区域的总面积约 $131 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。研究中所用的 MODIS 资料为 2000—2006 年(2004 年缺)6 年的 GPP 数据,该资料的分辨率为 1 km,正弦投影,时间分辨率为 8 d。为了数据处理上的方便,利用

NOAA 提供的 MRT(MODIS Reprojection Tool, MODIS 投影转换工具)软件将 GPP 数据转换成 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 经纬度投影的网格数据;农业气象站点物候观测资料来自于国家气候信息中心。研究中的植被分类来源于美国马里兰大学 GLCF(The Global Land Cover Facility, 全球土地利用数据库)提供的空间分辨率为 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 的经纬度投影的亚欧地区的植被分类图。

2 我国北方农牧交错带 GPP 特征

我国北方农牧交错带植被分布图显示(图 1),该区主要的地表植被为草地,占区域总面积的 28.9%,其次为农田和灌丛,分别为 19.9%和 16%;常绿针叶林、落叶针叶林、落叶阔叶林以及混交林等森林植被主要分布在该地区的内蒙古东北部以及黑龙江北部等地区。

2000—2006 年每 8 d 农牧交错带平均 GPP 变化曲线分析表明(图 2),该地区陆地植被的 GPP 生长表现出显著的年际变化规律, GPP 最大值一般出

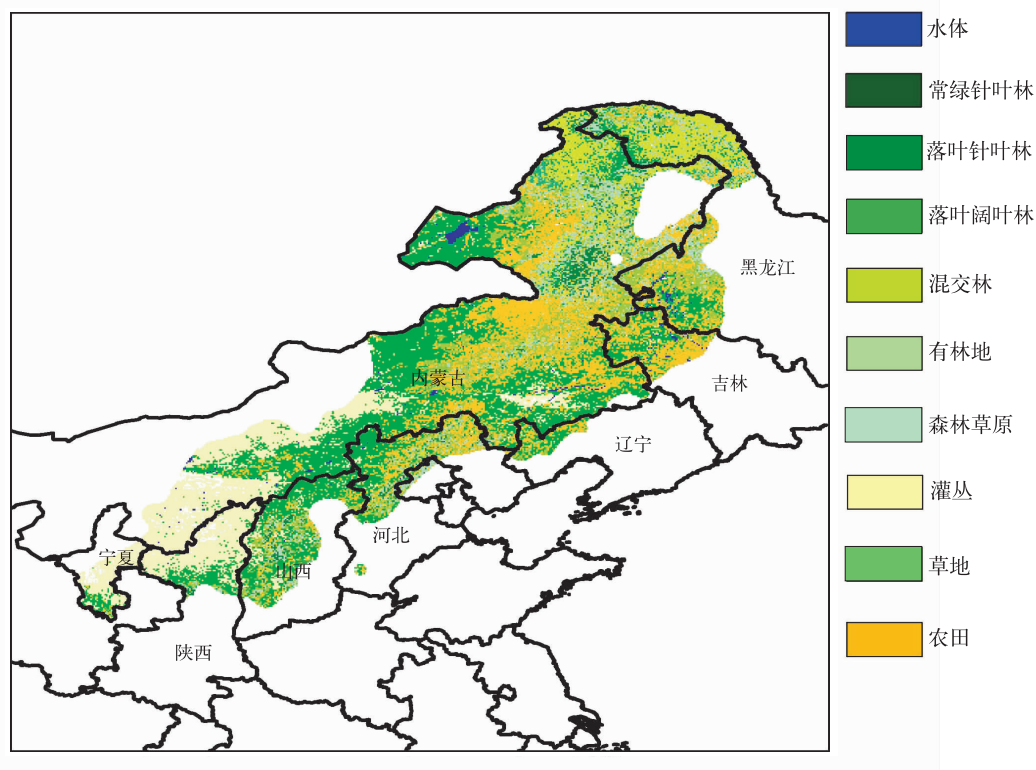


图 1 我国北方农牧交错带植被分布图(资料来源于 GLCF)

Fig. 1 The vegetation distribution in the farming-pastoral zone over the north parts of China(data from GLCF)

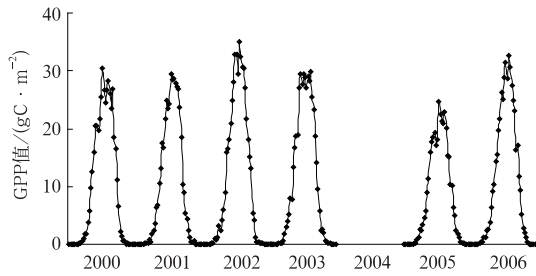


图2 2000—2006年我国北方农牧交错带每8 d GPP变化曲线

Fig. 2 The GPP of every 8 days variation in the farming-pastoral zone over the north parts of China from 2000 to 2006

现在每年夏季的7月,最小值出现在冬季的2月。对于每年的最大值,2002年最大($35.0 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$),2005年最小($24.7 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$);而每年的最小值可以达到0。图2显示,2000—2006年,北方农牧交错带植被2002年的长势最好,2005年的长势最差。

对该地区陆地植被年均GPP(将1年内每8 d的GPP累加获得每年的GPP)的变化特征显示,该地区植被的GPP变化范围在 $0 \sim 835.4 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间,年均均为 $234.45 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ 。我国北方农牧交错带东北部的陆地植被GPP较大,一般在 $300 \sim 500 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间,部分地区还高于 $500 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ 。而中部以及西南部的GPP一般在 $100 \sim 300 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间,部分地区小于 $100 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$,只是在其东南边缘的GPP稍大,在 $300 \sim 500 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间。这主要与该地区的植被分布有关,在农牧交错带东北部(内蒙古、黑龙江等地)分布着我国的针叶林以及混交林等森林,GPP较大;而在其中部及西南部,植被种类主要是一些灌丛和草原,GPP相对较小。

已有研究表明,气温、降水、太阳辐射等气候因素以及土地利用的变化、 CO_2 的施肥效应等对全球不同地区的陆地植被生长产生不同的影响。Nemani等^[15]对全球地表植被的生长与气候因子(水分、气温、辐射)的关系分析表明,水分对于全球植被生长的影响超过了40%,而气温以及辐射的影响作用分别为33%和27%,1982—1999年全球净初级生产力增长的80%来自热带及北半球高纬度地区。方精云等认为1982—1999年我国平均年NDVI增加了7.4%的主要驱动因子就是由于气温上升、夏季降水量的增加以及农业活动的加强^[16];李月臣等对我国北方植被平均NDVI与气候关系的分析显示,北方植被在1982—1999年的平均NDVI生长季

增加了11.69%,植被变化与气温相关性显著而与降水量无显著相关,气温的升高引起生长期提前以及生长期延长是植被增加的一个重要因素^[17];温刚等人的研究显示,我国东部地区植被生长的各个阶段都同步响应于温度的季节变化,而滞后于降水的变化^[18]。上述研究表明气候变化(气温、降水)对于植被的生长有着重要的影响,尤其是在植被的生长季节。本研究中,为了更好地反映气候对植被生长的影响,分析了我国北方农牧交错带MODIS的2000—2006年(2004年缺)与同期的的气候资料进行相关分析(气温、降水),讨论我国北方农牧交错带植被的生长与气候的关系。

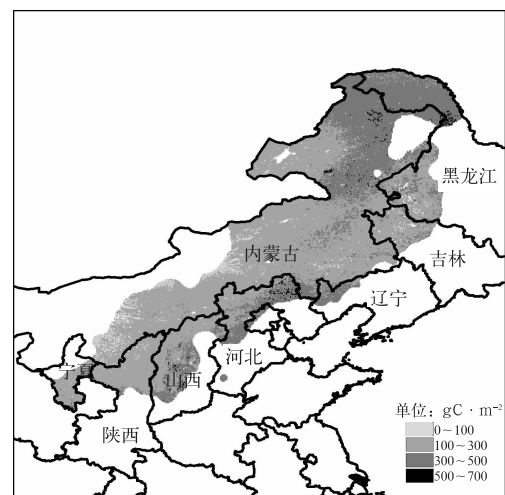


图3 我国北方农牧交错带植被年均GPP分布特征

Fig. 3 The annual averaged GPP distribution in the farming-pastoral zone over the north parts of China

本研究选取了我国北方农牧交错带内98个气象台站的逐日气温和降水量观测资料。由于气象观测台站每8 d的降水量的变率较大,如果与GPP进行相关性分析将产生较大的误差,故本研究中将逐日气温以及降水量资料转化为每16 d的资料,同时将相邻的每8 d的GPP资料累加获得对应16 d的GPP资料。研究中选取了每16 d的GPP大于0的资料进行分析,这与GPP反映的是植被生长的特征是一致的。我国北方农牧交错带每16 d植被GPP与对应时期的气温和降水量的相关性分析显示,该地区植被的GPP与气温的相关系数为0.74,与降水量的相关系数为0.26,相关分析通过了95%的信度检验。本文的相关性分析结果显示,影响我国北方农牧交错带

植被生长的主要因素是气温,降水对植被生长也有较重要影响,研究结论与其他研究结论相似^[19]。

基于我国北方农牧交错带地表植被中草原为整个地区植被主要成分特点,本文选取了中国气象局农业气象观测站中牧草物候观测资料,对该地区实际观测的牧草的物候生长特征与卫星遥感反演的植被生长进行对比验证。本研究获得了该区域内蒙古锡林浩特、额尔古纳右旗以及宁夏盐池 3 个农业气象观测站牧草物候观测资料,包括牧草出苗、开花以及黄枯 3 个生长阶段的初始日期;同时获得了对应于这 3 个站点的每 8 d GPP 自 2000—2006 年的变化曲线(图 3)。与图 1 类似,图 3 中,3 个站点的植被 GPP 都呈现出年际波动性变化特征,但是 3 个站点的 GPP 年际变化的值不相同,其中额尔古纳右旗 GPP 值明显高于其他两个站,表明 3 个站的牧草 GPP 都具有显著的区域特征。本文将 3 个站点的

牧草的物候资料在对应的 GPP 曲线上插值,获得了相应物候时期的 GPP 值,同时将每个站 2000—2006 年各个相同物候期的 GPP 值进行平均(表 1)。表 1 显示,锡林浩特站点的牧草出苗期要早于额尔古纳右旗和盐池站,额尔古纳右旗的开花期最早,其次为盐池和锡林浩特站;对于黄枯期,额尔古纳右旗最早,锡林浩特和盐池站稍后。植物的出苗、开花以及黄枯等生长阶段与周围环境的光热水条件紧密相关,而这些条件又与植物所处的经纬度有关。在我国,植物基本上是自南向北、自东向西逐渐进入生长阶段的。从 3 个站点的 GPP 的值中提取出对应物候时期的 GPP 值,本研究观察到,牧草开花期的 GPP 最高,在 $10 \sim 30 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间,其次为出苗期和黄枯期,一般都小于 $10 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$,但是从这 3 个站的牧草黄枯期与出苗期的 GPP 来看,两者相差不大。

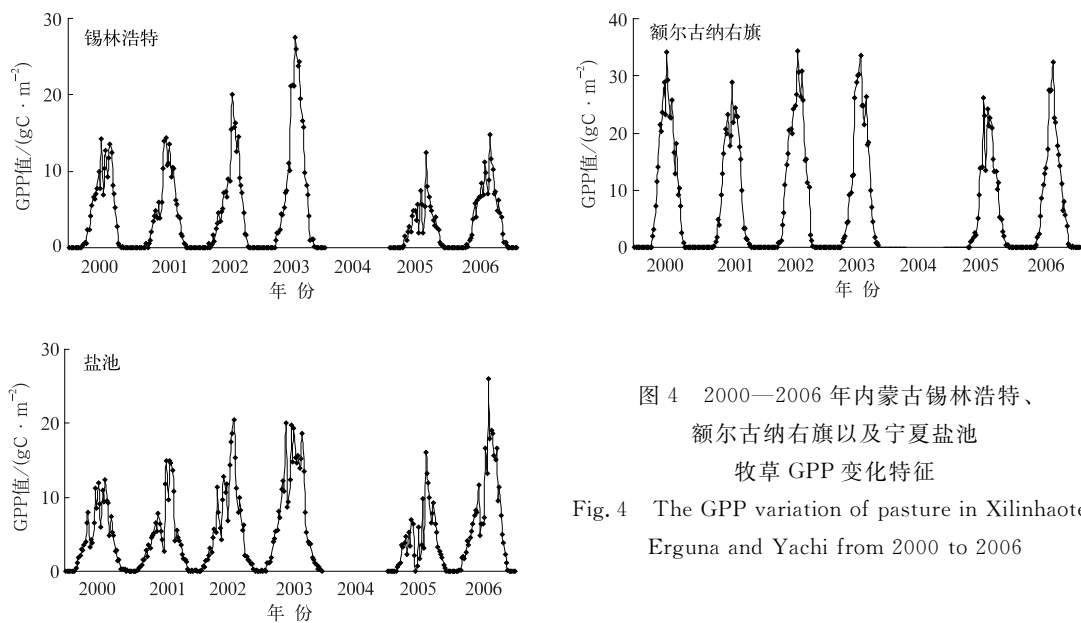


图 4 2000—2006 年内蒙古锡林浩特、额尔古纳右旗以及宁夏盐池牧草 GPP 变化特征

Fig. 4 The GPP variation of pasture in Xilinhaote, Erguna and Yachi from 2000 to 2006

表 1 2000—2006 年内蒙古锡林浩特、额尔古纳右旗以及宁夏盐池牧草站平均物候特征

Table 1 The average pasture phenology in Xilinhaote, Erguna and Yachi from 2000 to 2006

站名	纬度	经度	物候期	最早发生日期	GPP 值/($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2}$)
锡林浩特	43.9°N	116.0°E	出苗	第 103 天	2.6
			开花	第 219 天	13.4
			黄枯	第 275 天	3.0
额尔古纳右旗	50.2°N	120.1°E	出苗	第 120 天	5.7
			开花	第 194 天	27.1
			黄枯	第 264 天	6.6
盐池	37.7°N	107.4°E	出苗	第 121 天	7.2
			开花	第 219 天	13.1
			黄枯	第 277 天	5.8

3 小结

本文基于 MODIS 的 GPP 资料以及农业气象观测站点牧草的物候资料,定量分析了我国北方农牧交错带植被 GPP 分布以及牧草物候生长期的特征。结果表明:研究区域植被的 GPP 值基本呈现出东北高,西南小的分布趋势。该地区植被的年平均 GPP 值为 $234.45 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$,表现出显著的年际变化规律。结合 3 个牧草观测站的物候资料及其对应的 GPP 分析表明,不同区域牧草 GPP 的年际变化规律也不相同,牧草在开花时期的 GPP 最大,而在出苗和黄枯期的 GPP 较小,但是两者相差不大。由于本文中选取的农业气象站点中数目较少,因此还无法给出大范围的牧草以及其他植物物候期与对应 GPP 的定量关系,这些问题将是今后研究的重点。

参考文献

- [1] 赵松乔. 察北、察盟及锡盟一个农牧过渡区经济地理调查. 地理学报, 1953, 19(1): 43-60.
- [2] 周立三, 吴传钧. 甘青农牧交错地区农业区划初步研究. 北京: 科学出版社, 1958.
- [3] 李世奎. 我国农业气候资源和农业气候区划. 北京: 科学出版社, 1988.
- [4] 张兰生, 方修琦, 任国玉, 等. 我国北方农牧交错带的环境演变. 地学前缘, 1997, 4(1): 127-136.
- [5] 周广胜. 气候变化对生态脆弱地区农牧业生产力影响机制与模拟. 资源科学, 1999, 21(5): 46-52.
- [6] 赵哈林, 周瑞莲, 张铜会, 等. 我国北方农牧交错带的草地植被类型、特征及其生态问题. 中国草地, 2003, 25(3): 1-8.
- [7] 蒋卫国, 陈云浩, 李京, 等. 我国北方农牧交错带生态环境的空间演变格局. 自然资源学报, 2005, 20(6): 871-878.
- [8] 陈海, 康慕谊, 范一大. 北方农牧交错带植被覆盖的动态变化及其与气候因子关系. 地理与地理信息科学, 2004, 20(5): 54-57.
- [9] <http://modis-land.gsfc.nasa.gov/>.
- [10] Turner D P, Ritts W D, Cohen W B, et al. Scaling gross primary production (GPP) over boreal and deciduous forest landscapes in support of MODIS GPP product validation. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 88: 256-270.
- [11] Turner D P, Ritts W D, Cohen W B, et al. Evaluation of MODIS NPP and GPP products across multiple biomes. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 102: 282-292.
- [12] Gebremicheal M, Barros A P. Evaluation of MODIS gross primary productivity (GPP) in tropical monsoon regions. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 100: 150-166.
- [13] 何勇, 董文杰, 郭晓寅, 等. 我国南水北调东线地区陆地植被 NPP 变化特征. 气候变化研究进展, 2006, 2(5): 246-249.
- [14] 郭晓寅, 何勇, 沈永平, 等. 基于 MODIS 资料的 2000—2004 年江河源区陆地植被净初级生产力分析. 冰川冻土, 2006, 28(4): 512-518.
- [15] Nemani R R, Keeling C D, Hashimoto H, et al. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. *Science*, 2003, 300: 1560-1563.
- [16] 方精云, 朴世龙, 贺金生, 等. 近 20 年来我国植被活动在增强. 中国科学(C辑), 2003, 33(6): 554-565.
- [17] 李月臣, 宫鹏, 刘春霞, 等. 北方 13 省 1982—1999 年植被变化及其与气候因子的关系. 资源科学, 2006, 28(2): 109-117.
- [18] 温刚, 符淙斌. 我国东部季风区植被物候季节变化对气候响应的大尺度特征: 多年平均结果. 大气科学, 2000, 24(5): 676-682.
- [19] 何勇, 董文杰, 郭晓寅, 等. 基于 MODIS 的我国陆地植被生长及其与气候的关系. 生态学报, 2007, 27(12): 5086-5092.

Characteristics of Vegetation Growth in the Farming-pastoral Zone over the North Parts of China Based on MODIS Data

He Yong Dong Wenjie Yan Xiaoyu

(National Climate Center, Beijing 100081)

Abstract

The farming-pastoral zone in the north parts of China lies in the west of Northeast China, the north of North China and the west of Northeast China, the total area is about 1.3 million km². It is an important ecological vulnerable zone in China, and sensitive to the climate change. The research relative to the vegetation ecosystem in this area is important to the ecological construction and sustainable development. The NDVI of NOAA/AVHRR remote sensing data are usually used to reconstruct the ecological condition in recent studies in this area, and the MODIS and SPOT remote sensing data are less used. The MOD17A2 data from 2000 to 2006 with 2004 missing, the Gross Primary Productivity (GPP) of the land product from NASA of USA are used to assess the vegetation growth and its relationship with the climate in the farming-pastoral zone over the north parts of China because of their high spatial resolution. The highest GPP value of every 8 days in the studied area appears in June and the lowest in February, and the annual GPP changes from 0 to 835.4 gC · m⁻² with the average of 234.45 gC · m⁻². Generally the GPP which is higher than 300 gC · m⁻² distributes in the northeastern area and the forest area. The low GPP, which is lower than 300 gC · m⁻², appears in the middle and southwestern area, the grassland and shrub area. The correlation analysis between the GPP of every 16 days and the climate factor, temperature and precipitation at the same time shows that temperature is the main factor affecting the vegetation growth in farming-pastoral zone over the north parts of China, also, precipitation plays an important role. The phenological data of pasture, the emergence date, flowering date and withering data, from three agro-meteorological observation stations, Xilinhaote, Erguna and Yanchi from 2000 to 2006 and its corresponding GPP values are used to make assessment quantitatively on the growth stages of pasture. The GPP of every 8 days in the three stations from 2000 to 2006 shows the annual variation from 2000 to 2006, similar to the variation of the whole farming-pastoral zone over the north parts. The GPP values of the three stations are different, the GPP in Erguna is the highest which shows the regional vegetation growth characteristic in the farming-pastoral zone over the north parts of China. For the average phenological condition of the three stations, the GPP value at the start of flowering stage is the highest, ranging from 10 to 30 gC · m⁻², and the GPP values of the emergence stage and withering stage are similar of less than 10 gC · m⁻². For the same phenological stage the GPP value is different at different observation stations. Based on the results the MOD17A2 is a useful tool to the vegetation growth research in the farming-pastoral zone over the north parts of China.

Key words: farming-pastoral zone over the north parts of China; GPP; climate; pasture; phenology