

Response of Crops to Climate Change across Huzhu County of Qinghai Province*

Ruiling Huang^{1,2}, Huakun Zhou^{2#}, Zehua Liu¹, Weixin Xu³, Zhanlan Lei¹, Xinquan Zhao²

¹Qinghai Normal University, Xining

²Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining

³Qinghai Meteorological Bureau, Xining

Email: akhuang001@163.com, #qzhzhk1974@yahoo.com.cn

Received: May 13th, 2012; revised: May 23rd, 2012; accepted: Jun. 5th, 2012

Abstract: Phenological change of spring wheat and rape is studied and its response to temperature and precipitation is analyzed in this paper taking Huzhu County, one of eastern agriculture areas of Qinghai Province, as example. The results show that: 1) The average temperature has a clear upward tendency in the past fifty years in accordance with the Tibetan Plateau and global warming. The annual precipitation, mostly occurring during June to August each year and amounting to 54% of the total, is rarely steady; 2) Influence of climate change on crops are different during each developing stage: seeding time is 1 d ahead of schedule, vegetative growth is less affected while the ripening stage obviously is brought forward around 2 - 4 d, the whole growth period presents a shortening trend under global warming background; 3) Temperature during June to August is the chief climate factor on moving forward the whole growing season, phenological period of wheat and rape has negative correlation with temperature during June to August but a positive one with monthly total precipitation, correlation coefficients are -0.49, -0.23 and 0.29, 0.28, respectively; 4) Phenology of crops growing in plateau areas is affected by regional conditions.

Keywords: Wheat; Rape; Phenology; Climate Change; Response

青海省互助县农作物物候对气候变化的响应*

黄瑞灵^{1,2}, 周华坤^{2#}, 刘泽华¹, 徐维新³, 雷占兰¹, 赵新全²

¹青海师范大学, 西宁

²中国科学院西北高原生物研究所, 西宁

³青海省气象局, 西宁

Email: akhuang001@163.com, #qzhzhk1974@yahoo.com.cn

收稿日期: 2012年5月13日; 修回日期: 2012年5月23日; 录用日期: 2012年6月5日

摘要: 以青海省东部农业区互助县为例, 分析了春小麦、油菜生育期物候变化规律及其对气温、降水变化的响应。结果表明: 1) 青海互助县近 50 年来平均气温呈明显上升趋势, 与青藏高原和全球气候变暖趋势一致。年降水量很不稳定。每年以 6~8 月雨水较多, 降水量约占全年降水量的 54%; 2) 气候变化对青海互助县农作物(小麦、油菜)物候现象生育期的影响是不同的。各发育阶段对气候变化的响应差异明显, 气候变化使小麦、油菜的播种期略有提前 1 d, 营养生长期基本不变, 生殖生长期明显提前 2~4 d。在全球气候变暖的前提下, 整个生长季呈现出缩短趋势; 3) 6~8 月气温是影响小麦、油菜的整个生育期提前的主要气候因子, 小麦、油菜物候期与 6~8 月气温呈负相关, 相关系数为 -0.49 和 -0.23, 与月降水量呈正相关, 相关系数为 0.29 和 0.28; 4) 高原作物自然物候现象存在着明显的地域性。

*基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)课题(2009CB421102); 国家自然科学基金项目(41030105, 31172247); 中科院知识创新工程重要方向项目课题(KSCX2-YW-Z-1020-02); 中科院战略性先导科技专项子课题(XDA05070202); 国家科技支撑课题专题(2011BAC09B06-02, 2009BAC61B02-01)。

#通讯作者。

关键词: 小麦; 油菜; 物候; 气候变化; 响应

1. 引言

在气候变暖背景下, 中国西部的环境也发生了明显变化^[1], 其中西北(陕、甘、宁、新)变暖的强度高于全国平均值^[2]。随着全球气候的变暖, 作为植物对气候变化最明显和敏感的反应特征, 物候常被气候变化研究者作为一种重要的可靠的代用指标来指示气候变化, 因此物候是生态系统响应气候变化的感应器。由气候驱动的植物动态变化将影响到物种之间的相互作用并最终影响到生态系统的组成和结构, 生物多样性也将响应这种变化^[3,4]。物候现象不仅反映了当年、当地的气候和环境状态, 也反映了气候和环境变化在此前相当长一段时间的累加效应。植物物候实质上是研究植物生长发育与环境条件的关系, 它不但能直观地指示自然季节的变化, 还能表现出植物对自然环境变化的适应。几十年的研究证明, 植物物候对自然因素和人类活动所引起的环境变化将产生不同程度的反应, 有的植物花期物候由于环境因素的变化而提前, 有的则推迟^[5,6]。我国气候变化表现为非均衡性, 季节和地域差异较大, 植被对气候变化的响应也存在季节和地域差异^[7]。国内在气候变暖对农业生产和主要粮食作物的总体影响研究上, 已得出我国长江以北地区, 作物生长季开始的日期提前, 终止日期延后, 使潜在的生长期有所延长^[8]; 中纬度和高原地区主要粮食作物发育期缩短^[9]。西北地区的气候变化对全球气候变暖的响应更为敏感; 对气候变化的适应能力更加脆弱, 受气候变化的影响更加复杂。对于农业生产而言, 由于强烈依赖于气候生态条件, 其受气候变化的影响更加显著^[10]。因此有必要探讨本地植物物候尤其是作物物候对气候变化的响应关系, 有利于改进小麦和油菜的种植制度、充分利用气候资源来增强粮食安全, 为农业生产、农民增收提高经济效益等方面具有重要的理论和现实意义。

2. 研究区概况

互助土族自治县地处青藏高原, 位于青海省东北部, 海东地区北部。地处湟水谷地北侧和大通谷地西南侧山地、沟谷地, 湟水河自西向东流经境南, 大通河自西北向东南流经县境东部。由于境内地形复杂,

高差悬殊, 北高南低。热量资源水平分布不均衡, 垂直地带差异十分明显, 有海拔高度 4400 m 的高山草甸草地, 有海拔高度 2100 m 的山地干旱丘陵草坡。气温分布总的趋势是由北往南随着海拔高度的降低而增高。年均气温 3.4℃, 年降水量 400~600 毫米, 属于温带大陆性气候, 干旱少雨。

3. 资料来源与研究方法

青海互助县的主产有小麦、青稞、洋芋、油菜。本文研究的小麦和油菜在互助各地分布广泛, 是对季节反映明显的作物。文中所选作物生育期的物候资料均为 1994~2007 年, 并与同期气象资料进行对比分析。利用 EXCEL(2003)和 SPSS(17.0)分析农作物全生育期、各发育阶段、主要生育阶段与气温和降水的相关关系及变化趋势, 并对相关系数进行统计检验。

4. 结果与分析

4.1. 互助县 50a 气温、降水的变化趋势

由图 1(a)得知, 互助县近 50a 平均气温总的趋势是在波动中抬升, 其增温率为 0.43℃/10a(要明显高于全国同期增温率 0.11℃/10a), 平均气温为 3.4℃。1961~1970 年均气温最低, 为 1.48℃, 低于 50a 的平均值; 1971~1980 年均气温逐渐升高, 在 50a 平均值上下波动(年均气温为 3℃), 进入 80 年代后升幅明显, 2001~2010 年达到平均气温最高值 4.68℃。2001~2010 年的平均气温与 1961~1970 年的平均气温相比, 增高了 3.2℃, 明显高于全国水平和全球水平(王绍武和董光荣, 2002)^[1], 与全球气候逐渐变暖的事实是相一致的^[11]。由图 1(b)可见, 年降水量变化规律较稳定, 呈现弱下降趋势并存在阶段性。年均降水量为 522.56 mm。20 世纪 60 年代年降水量偏多, 为 594.48 mm。70~80 年代年均降水量偏少, 分别为 506.68 mm 和 500.01 mm。最低年均降水量出现在 90 年代, 为 492.6 mm, 主要是青海省暖季降水减少幅度较大, 而冷季有所增加。自 2000~2010 年降水量又呈现增多趋势。

4.2. 小麦、油菜全生育期的变化特征

我国南北自然气候条件差异很大, 作物生育期的

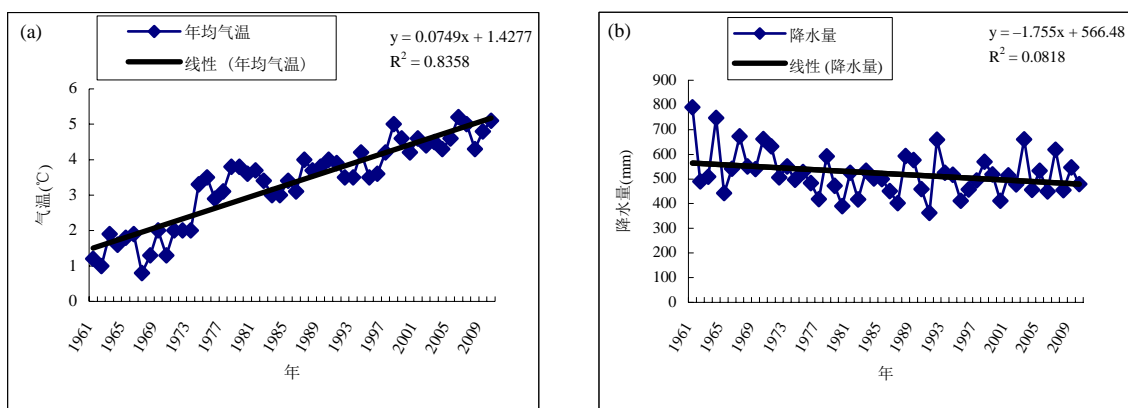


Figure 1. The change of annual average temperature and precipitation in researched area during 1961-2010
图 1. 研究区 1961-2010 年年均气温和年降水量的变化

长短也不尽相同。全生育期是指从播种至成熟整个动态时期的日数。图 2 为 14a 小麦、油菜全生育期及其年均气温和年降水量的变化趋势，研究区近 14a 年均气温在 3.5°C~5.2°C 间变化，气温上升趋势明显；年降水量在 410.8~660.9 mm 间变化，存在很大的波动性。最低年均气温和年降水量均出现在 1995 年，最高气温与最大降水量分别出现在 2006 年和 2003 年。对应 1994~2007 年小麦、油菜全生育期生长季日数，由图 2(a)可见，小麦最长生长季天数出现在 1995 年为 164 d，在波动中持续缩短，最短生长季天数出现在 2002 年为 139 d。最长生长季与最短生长季天数相差 35 d；油菜最长生长季天数出现在 1994 年为 162 d，最短生长季天数出现在 1996 年为 139 d，最长生长季与最短生长季相差 32 d。在统计的 14 年中，小麦、油菜平均生长季天数分别为 150 d 和 147 d，与 1994~2003 年小麦、油菜的平均生长季天数相比，由于气温升高，小麦和油菜的全生育期分别缩短了 4 d 和 2 d，说明温

度升高，促进了酶的活性，从而加快作物物候进程，且小麦物候期提前的变化速率明显大于油菜物候期的变化速率。大量研究表明^[12-15]，随着近年气温的升高，植物生长季延长、春季物候期提前、秋季物候期推迟成为一种全球趋势。在欧洲，许多物候现象发生了明显的变化，而我国类似的研究也证明了植物物候变化与气候变化具有良好的对应关系。通过分析，本文研究结果与文献报道不相符，因青海地形复杂而各地气象条件不同，使高原作物自然物候现象存在着明显的地域性。

4.3. 小麦、油菜各发育阶段的变化趋势及敏感物候期

对 1994~2007 年小麦、油菜各物候期资料进行统计分析并求得两种作物各物候期的多年变化的线性趋势线斜率，见表 1。表 1 中的负值表示物候期逐渐提前，正值表示物候逐渐延迟。结果表明：作物物候

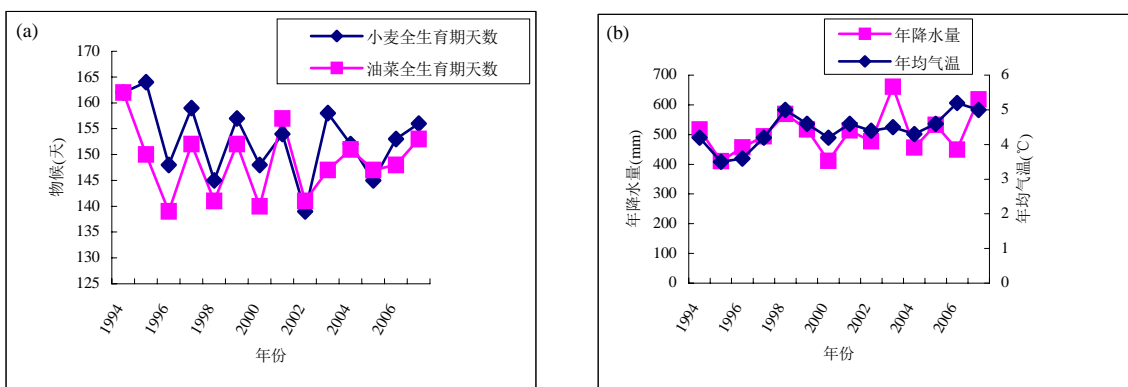


Figure 2. Variation trend of the whole stages of wheat, rape and its average annual temperature and precipitation
图 2. 小麦、油菜全生育期日数与年均气温、年降水量的变化趋势

Table 1. Each growth period and days of wheat and rape
表 1. 小麦、油菜各生育期及期间日数

小麦各生育阶段(月.日)	播种	出苗	三叶	分蘖	拔节	孕穗	抽穗	开花	乳熟	成熟
1994~2003 年	4.1	4.22	5.5	5.11	6. 6	6.21	7.3	7.10	8.7	9.2
期间日数(d)	-	21	13	6	26	15	12	7	28	26
1994~2007 年	3.31	4.22	5.5	5.11	6. 6	6.20	7.1	7.8	8.5	8.31
期间日数(d)	-	21	13	6	26	14	11	7	26	26
线性趋势线斜率	-0.2	0.19	-0.3	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.9	-0.8
油菜各生育阶段(月.日)	播种	出苗	五叶	现蕾	抽苔	开花	绿熟	成熟		
1994~2003 年	4.1	4.25	5.19	6.5	6.10	6.23	8.12	8.28		
期间日数(d)	-	24	24	17	5	13	50	16		
1994~2007 年	3.31	4.23	5.19	6.5	6.9	6.21	8.9	8.26		
期间日数(d)	-	23	26	17	4	12	49	7		
线性趋势线斜率	-0.2	-0.4	0.11	0.34	-0.2	-0.3	-0.9	-0.4		

与气温状况息息相关，特别在作物各生长发育的前期，各种物候期的开始日期与其前期气温之间有显著的相关性。两种作物的播种期的物候变化直线斜率均为负值，表明播种期提前，主要原因可能是春季气温逐年升高，使作物的播种受低温胁迫的可能性减小。小麦营养生长期基本不变，主要生育阶段(孕穗、抽穗、开花、乳熟、成熟)物候变化斜率全为负值，表明此生育阶段为敏感的物候期，季节物候期明显提前，期间日数缩短 5 d；油菜营养生长期基本不变，主要生育阶段(抽苔、开花、绿熟、成熟)明显提前，期间日数缩短 2 d，这主要是由于气温升高、降水量主要集中在 6 月~8 月，最终导致生育日数缩短。由图 3(a)可见，小麦主要生育期间隔日数以 0.9 dPa 的速率缩短，油菜主要生育期间隔日数以 0.7 dPa 的速率缩短。主要生育期是指从扬花期到收获期的日数，扬花期一般从 6 月开始，收获期一般在 8 月底收割。作物的主要生育期间隔日数缩短的原因从气象条件分析：播种期

略有提早，主要生育期与 6~8 月(图 3(b))气温、降水呈负相关，互助 6~8 月气温、降水呈增加趋势，主要生育阶段提前很明显，使播种期至收获期间隔日数缩短，这一结果与祁如英等人对青海 8 个站点的草本植物物候记录中互助县整个生长季日数缩短相一致^[16]。

4.4. 作物物候对气象因子的响应分析

作物物候期的变化与一定时间内气象条件密切相关。在影响植物物候期的气象因子中，主要分为温度、降水、日照三个影响因子，其中温度是其主要影响因子，特别是在个植物物候期的前期^[17]。在中纬度地区，植物的春季物候期主要受气温的高低影响^[18]。在英国锡利群岛，发现各种开花时间与气温之间相互关系是温度每升高 1℃，开花时间提前 2~10 d^[19]。文中采用年序列累积日数法，将物候现象出现的日期转换为距当年 1 月 1 日的实际日数，分别计算出小麦、油菜生长季长度物候期日数与月平均气温、月降水量

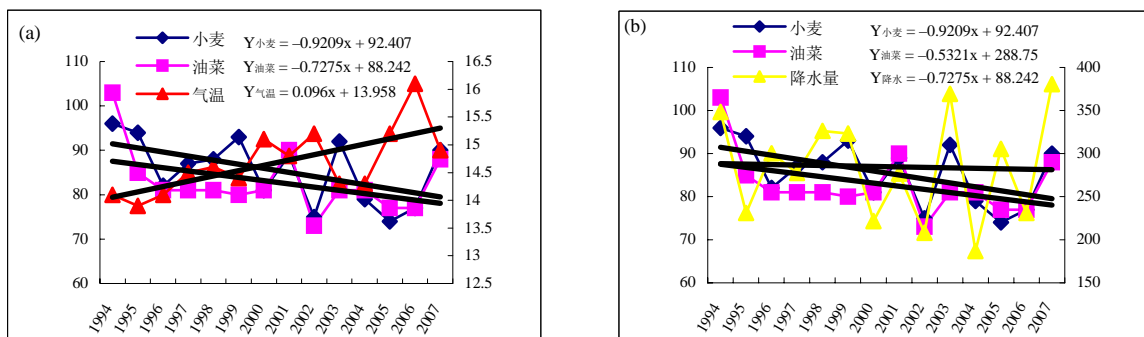


Figure 3. Change trend of main growth period of wheat and rape and variation of (June-August) month mean temperature and month precipitation
图 3. 小麦、油菜主要生育阶段变化趋势与其同期内(6~8)月均气温、月降水量变化

Table 2. The correlation between crops phenology and temperature and precipitation
表 2. 作物各物候期与相应气温、降水要素之间的相关关系

小麦	月份	相关系数		油菜	月份	相关系数	
		气温	降水量			气温	降水量
播种	3~4 月	0.036	0.184	播种	3~4 月	-0.199	0.09
出苗	4 月	0.021	-0.094	出苗	4 月	-0.085	0.187
三叶	4-5 月	-0.507**	-0.384*	五叶	5 月	-0.153	0.104
分蘖	5 月	-0.26*	-0.275	现蕾	5~6 月	-0.225*	0.17
拔节	6 月	-0.101	-0.387*	抽苔	6 月	-0.443*	0.065
孕穗	6 月	-0.191	-0.336*	开花	6 月	-0.325*	0.089
抽穗	6~7 月	-0.256*	-0.026	绿熟	7~8 月	-0.262*	0.116
开花	6~7 月	-0.342*	0.289	成熟	8~9 月	-0.109	0.458
乳熟	7~8 月	-0.333*	0.197				
成熟	8~9 月	-0.123	0.254				

注：*表示相关系数通过 0.05 水平的显著性检验，**表示相关系数通过 0.01 水平的显著性检验。

变化的相关系数，再利用 SPSS 软件对其相关系数的显著性检验结果进行统计分析。相关系数为负值表明气象要素值升高，相应物候期提前，反之则降低和退后。通过分析，小麦生长与气温和降水气象要素指标的相关性较好；油菜生长与温度之间的关系远比其与降水之间的关系密切，油菜各生长发育期与降水的相关系数未显示出明显的规律性。

由表 2 可以看出，作物物候期与平均气温关系密切。两种作物的主要生育阶段与 6~8 月平均气温呈负相关，相关系数均通过了 0.05 水平的显著性检验，说明 6~8 月气温越高，作物的主要生育阶段越提前。由表 2 还可以看出两种作物物候期与降水量的关系。比较而言，两种作物物候期与降水量的关系与上述分析不尽一致。在分析降水对小麦物候期的影响中，大家认识到在小麦全生育期中，不同时期的水分对物候期的响应是不一样的，一般说拔节抽穗期的水分影响最大，说明降水也是影响小麦作物生长的直接气象因子。因此小麦作物整个生长季日数缩短对气温与降水量响应较强。油菜的整个生长季日数与降水量呈正相关，相关系数均未通过 0.05 水平的显著性检验，说明油菜各物候期对降水量的响应微弱。因此，影响油菜各物候期的外部环境因子(气温、降水)中，气温是直接影响油菜整个生长季日数提前的主要气象因子。

5. 结果与讨论

1961 年以来，青海互助县气候变化呈现以下特征：气温变化总体为上升趋势，且抬升幅度大于其他

文献报道的数值。总体来说气候变化为气候变暖，符合全球气候变化的基本趋势。多年降水变化趋势波动性较大，存在明显的阶段性。根据研究表明，在气候变化背景下，作物生长季缩短。表现为春季物候期提前，秋季物候期明显提前。文中所研究的两种作物的播种期均提前了 1 d，小麦主要生育阶段提前了 5 d，油菜主要生育阶段提前了 2 d。其原因主要是气候变暖后温度与农作物各发育阶段所需的适宜环境温度匹配有关。另外，由于同期内有效降水少，所以物候期提前与降水量增加的关系并不明显，降水量对作物物候期影响弱。作物的物候不仅是作物自身的生理现象，而且也是对外部生境、气候、水文条件的综合反应。通过对物候资料和分析研究，掌握作物物候的变化规律，不仅能清楚地了解气候变化情况及其对作物物候的影响，而且对了解气候变化对生态系统的影响、寻找缓解气候变化的措施以及保护生态环境、预测、鉴定气候变化趋势等方面具有重要意义。本文仅对两种作物物候期对气候因子的响应进行了相关分析，但因其对气候响应有差别，鉴于物候的复杂性和高原气候多变的特征，物候期的变化与环境因子之间的关系有待于进一步研究。目前，我国物候研究取得了一定的成果，但在我国区域和国家物候监测网之间几乎没有或仅有有限的合作和交流，缺少资料综合的途径。为了有效监测、评估和预测气候引起的物候变化及其影响，必须加强学科之间及物候观测网之间的合作，利用已有的长期物候观测资料提出有关生态、农业和人类健康方面的科学决策。

参考文献 (References)

- [1] 王绍武, 董光荣. 中国西部环境特征及其演变, 中国西部环境演变评估(第1卷)[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [2] 丁一汇, 孙颖. 中国近50年和未来50年气候变化[A]. 陈邦柱, 秦大河. 气候变化与生态环境研讨会文集[C]. 北京: 气象出版社, 2002: 53-57.
- [3] 韩芳, 李兴华, 苗百领等. 气候变化对内蒙古小叶杨叶芽开放期的影响[J]. 气象, 2010, 36(1): 91-96.
- [4] S. L. Piao, J. Y. Fang and L. M. Zhou. Philippe cia is variations in satellite 2ed 2 rived phenology in China temperate vegetation. *Global Change Biology*, 2006, 12: 672-685.
- [5] W. Gian-Reto, E. Post, P. Convey, et al. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 2002, 416: 389-395.
- [6] A. H. Fitter, S. R. Fitter. Rapid changes in flowering time in British plants. *Science*, 2002, 296(5573): 1689-1691.
- [7] 张谋草, 赵满来, 张红妮等. 气候变化对陇东塬区冬小麦生长发育及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5): 232-235.
- [8] 林而达, 杨修. 气候变化对农业的影响评价及适应对策[M]. 北京: 气象出版社, 2002: 72-77.
- [9] 郑淑霞, 上官周平. 黄土高原植物对气候变化的生态响应[A]. 陈邦柱, 秦大河. 气候变化与生态环境研讨会文集[C]. 北京: 气象出版社, 2002: 394-398.
- [10] 韩永翔, 董安祥, 王卫东. 气候变暖对中国西北主要农作物的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(4): 39-42.
- [11] IPCC WGI. Third assessment report: Summary to policy-makers, 2001.
- [12] R. B. Myneni, C. D. Keeling, C. J. Tucker, et al. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature*, 1997, 386: 695-702.
- [13] C. J. Tucker, D. A. Slayback and J. E. Pinzon. Higher northern latitude photosynthetic and growing season trends from 1982 to 1999. *International Journal of Biometeorology*, 2001, 45: 184-190.
- [14] L. Zhou, C. J. Tucker, R. K. Kaufmann, et al. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999. *Journal of Geophysical Research*, 2001, 106(D17): 20069-20083.
- [15] 王宏, 李晓兵, 李霞等. 基于 NOAA NDVI 和 MSAVI 研究中国北方植被生长季变化[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 504-515.
- [16] 祁如英, 王启兰, 申红艳等. 青海草本植物物候期变化与气象条件影响分析[J]. 气象科技, 2006, 34(3): 306-310.
- [17] L. S. D. Richard, P. D. Spnao. Temperature date for phonological models. *International Journal of Biometeorology*, 2001, 45(4): 178-183.
- [18] F.-M. Chmielewsk, T. Rotzer. Response of tree phonology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 108(2): 101-112.
- [19] T. H. Sparks, E. P. Jeffree and C. E. Jeffree. An examination of the relationship between flowing time and temperature at the national scale using long-term phonological records from the UK. *Biometeorol*, 2000, 44: 82-87.