

南水北调华北受水区植被与降水的关系研究

郭振海

中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

摘要 华北地区年际归一化植被指数 (NDVI) 的变化与降水的年际变化有相当强的正相关, 降水量增加会显著的改善植被覆盖。华北的 NDVI 变化显示了很强的季节变化特征, 6月是华北农作物种植和生长的关键时期, 但该月的需水量并不大, 农作物生长旺季在7~8月。北京、邢台和潍坊的7月份农作物增长最快, 月平均相对 NDVI 增长速度为 0.4, 8月的为 0.2, 因此, 在7~8月农作物生长需水量最大, 相当降水量接近 180 mm, 因此, 在调配农业用水时应充分考虑这些因子。

关键词 归一化植被指数 华北 干旱

文章编号 1006-9585 (2006) 03-0380-07 **中图分类号** P463 **文献标识码** A

The Relationship between the Vegetation Canopy and Rainfall over North China

GUO Zhen-Hai

*State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics,
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

Abstract There is a positive correlation between the variation of annual normal difference vegetation index (NDVI) and the annual rainfall, and increasing of rainfall will improve the vegetation canopy over north China. The variation of NDVI over north China is seasonal. June is the key phase of summer crops growing and the amount of needed water is not so much. During the summer, July is the fastest period of the crops growing over the fields of Beijing, Xingtai and Weifang. The mean relatively growing velocity of NDVI in July and August is 0.4 and 0.2, respectively. Therefore, the amount of needed water of crops growing in July and August is larger than other months, the equivalent rainfall is close to 180 mm. Discussion above should be considered during scheduling and distribution of water needed by crops growing.

Key words normal difference vegetation index, North China, drought over

1 引言

华北位于干旱和半干旱地区, 气候降水是工农业生产和居民生活用水的主要来源。近年来, 工农业等的飞速发展和上世纪末的持续干旱, 造成该地区水资源严重短缺。统计表明, 华北的水资源的供给每年有 $400 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的短缺。目前, 这

部分短缺大部分由抽取地下水来补充。这样掠夺性的抽取, 导致华北平原的深层地下蓄水层逐渐消耗和水源保留地层消失, 结果破坏了地下水安全网。华北平原是我国主要的小麦和玉米生产基地, 该地区生产了全国一半多的小麦和 1/3 以上的玉米, 气候降水是农作物生长所需水份的主要来源之一, 因此, 农作物的生长状况与气候降水的强度和降水模式有着密切的关系。华北平原也

收稿日期 2006-02-22 收到, 2006-04-02 收到修定稿

资助项目 中国科学院知识创新工程重要方向项目 KZCX3-SW-218 和 KZCX3-SW-221

作者简介 郭振海, 男, 1966 年出生, 博士, 副研究员, 主要从事大气边界层物理和陆面过程研究。E-mail: gzh@lasg.iap.ac.cn

是我国旱灾最频繁的地区之一，已有的研究表明，华北干旱有准 3、5、6 和 7 年的周期变化^[1]，干旱已经成为该地区农业减产的主要因素之一。

为了缓解华北地区水资源短缺的紧张局势，南水北调工程先后分西、中和东三线启动，主要解决我国西北、华北部分地区的严重干旱缺水，促进黄河流域的资源开发、经济持续快速发展以及生态环境的改善。因此而产生了许多问题，其中，水资源的最优调配和合理利用等是其中亟待解决的科学问题之一。毫无疑问，由于相对高的投入产出比（工业用水的产值是农业的 70 倍），受水区内工业用水在这场稀有资源的争夺中占有绝对优势，而农作物生态用水有很强的季节变化特征和规律，充分利用这些特征和规律，合理调配农业生态用水，不仅能产生较高的投入产出比，而且，可以有效地减少地下水的开采，保护该地区地下水安全网。因此，研究植被和降水量的关系以及植被生长的不同时期与用水的关系，对合理规划和分配水资源有重要的意义。

归一化植被指数 (NDVI) 是描述农作物生长状况的参数之一，该参数可以从 NOVA/AVHRR 得到。该参数的观测和计算原理利用了植被对可见及红外波段反射的差异，因此 NDVI 对植物的长势和生长量非常敏感，常用来描述植被生理状况，估测植被覆盖面积，植被光合作用的能力和叶面积指数，现存绿色生物量，植被生产力等。NOVA/AVHRR 的 NDVI 观测资料有着常规气象观测不可比拟的高空间分辨率和连续性等特点。利用这些特点已经进行了大量与气候变化相关的研究^[2~5]、沙漠化和干旱生态^[6~10]等领域的研究。

本文试图通过研究南水北调受水区的植被与降水的关系，以及植被的增长规律等，确定植被不同生长阶段用水的变化规律，为南水北调的最优调配理论研究和实际调配提供参考。

2 资料及研究区域

本研究所用的资料有 NDVI 和华北 19 个标准气象站的降水资料。空间分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ，资料年限是从 1982~2000 年共 19 年。降水资料取自华北 19 个标准气象站的观测资料，站点上的 NDVI 是利用与站点相邻格点上的 NDVI 加权平均

得到。在华北受水区选取北京、潍坊、邢台以及赤峰等站点作为不同地区的重点研究对象，北京代表京津唐地区，潍坊代表胶东半岛，邢台代表冀中平原和中原等地区。

3 华北受水区内降水和 NDVI 的年代际变化

为了研究华北受水区的植被生长和降水的关系，对 NOVA/AVHRR 的 NDVI 资料和降水资料进行了统计处理和分析。结果显示，所选 4 个地区的年际 NDVI 的变化与降水量的年际变化有明显的相关，尤其是在降水连续减少的年代里。

图 1 是北京年际降水和年际 NDVI 的关系，图中显示了 NDVI 与降水有较好的相关，基本上较大的降水量使得植被覆盖的生长力旺盛，相反，植被覆盖的生长能力就降低。1993~2000 年的 8 年间的年降水量减少趋势明显，从 1993 年的近 700 mm 降到 2000 年的不足 400 mm，这种趋势导致了 NDVI 从 4.0 到 2.8 的显著减小。而从降水量偏小（早年）的年份中也可以看出，NDVI 的数值也比相邻的降水量多的年份小。在这些较早的年份中，1999 年和 2000 年的降水量急剧减少，年降水量在 300 mm 上下，NDVI 的变化从 1998 年的 3.6 降低为 3.15 和 2.8，每年分别减少了 13% 和 11%，这种减少是非常显著的。而在降水量相对充足的年份里，植被覆盖也较好，例如 1985~1988 年 4 年间，年降水量大都接近 700 mm，NDVI 大都在 3.0~3.2 之间。

图 2、图 3 和图 4 分别是邢台、潍坊和赤峰等地区的年际降水和年际 NDVI 的关系。总体上来讲，这些地区的年际降水与 NDVI 的关系与北京地区相似，即早年的植被覆盖或农作物的长势明显不足，NDVI 显著地减小。从图 2 中可以看出，邢台地区在 1982~2000 年的 19 年间，1985、1994 和 1999 年的降水量比平均水平严重减少，降水量不足 300 mm，从该图上也可以看出 NDVI 显著减小。由此可见，中原地区降水是农作物生长的主要水分来源。图 3 显示，潍坊地区的降水相比北京和邢台比较充分，在 1982~2000 年期间，年降水均在 400 mm 以上，没有出现邢台等地区降水急剧减少的年份，但是，图中显示，潍坊地

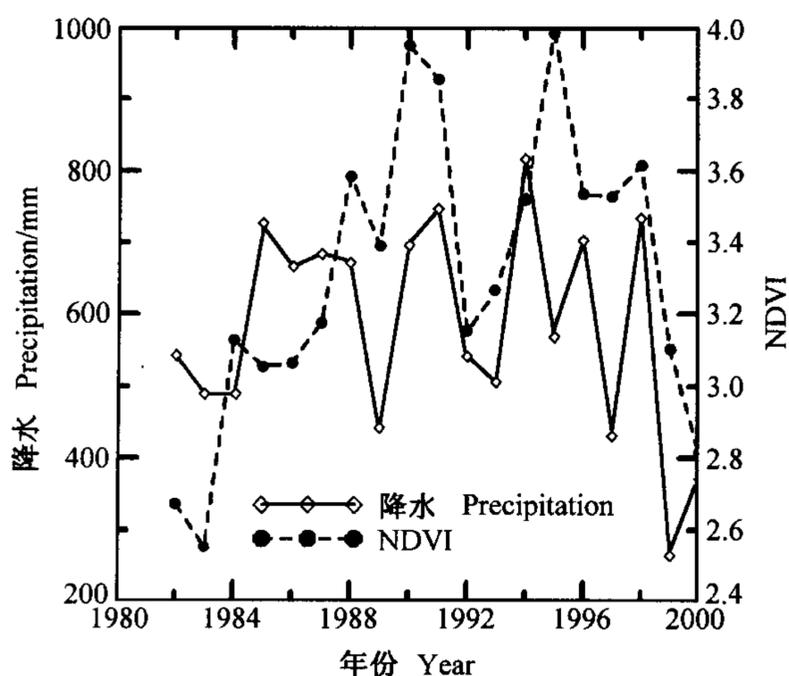


图1 北京地区年际降水变化与NDVI的年际变化

Fig. 1 The interannual variation of rainfall and NDVI in the region of Beijing

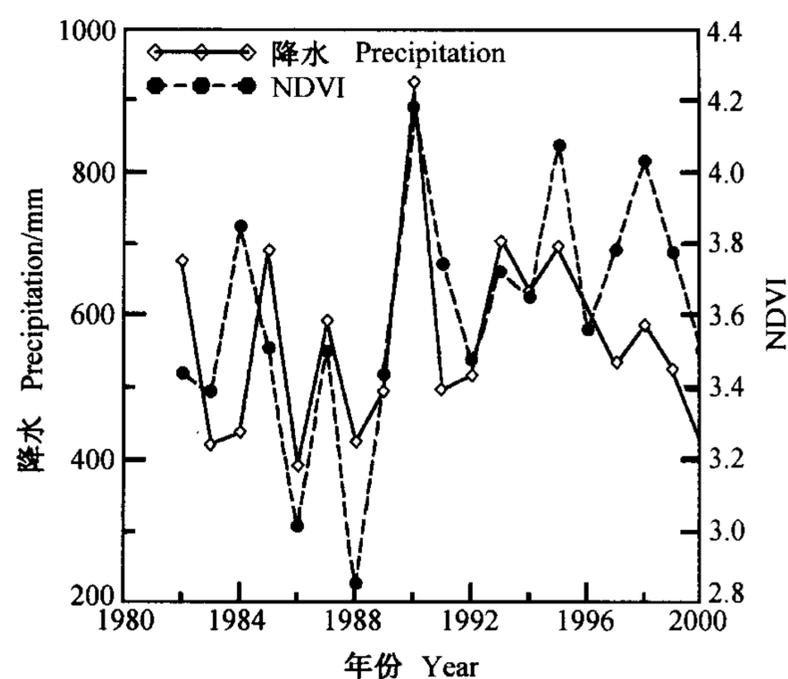


图3 潍坊地区年降水与NDVI的年际变化

Fig. 3 The interannual variation of rainfall and NDVI in the region of Weifang

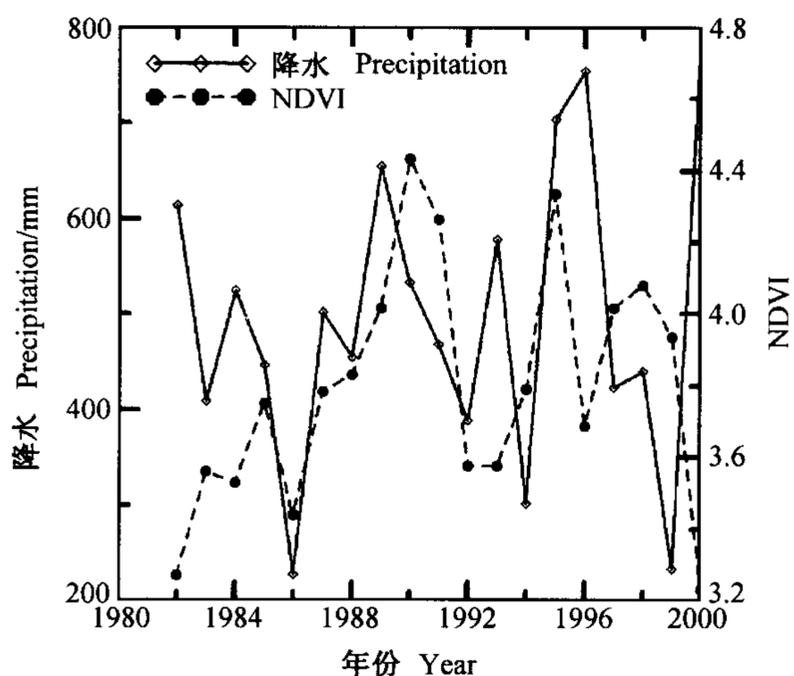


图2 邢台地区年降水与NDVI的年际变化

Fig. 2 The interannual variation of rainfall and NDVI in the region of Xingtai

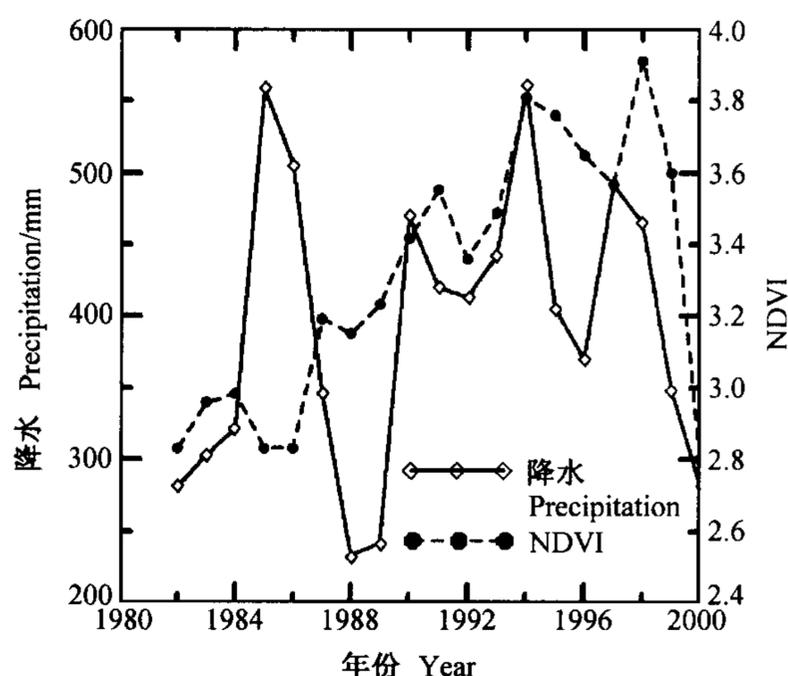


图4 赤峰地区年降水与NDVI的年际变化

Fig. 4 The interannual variation of rainfall and NDVI in the region of Chifeng

区年际NDVI的变化趋势与年际降水的变化趋势更加一致。

综上所述,在1982~2000年的19年时间里,4个站点的NDVI指数显示,植被覆盖的变化分为两个阶段,1982~1990年和1990~2000年,前一个的降水有逐渐增加的趋势,阶段的植被指数明显逐渐增加,而后一个阶段降水有减少的趋向,NDVI也相应的显著减少。这说明植被覆盖指数变化趋势与降水的变化的总体趋势一致。但是,特殊的年份也出现了相反的变化,即气候降水的增加,年平均NDVI减少,例如,邢台1982年和

赤峰的1984年等年份,这说明有其他因素影响植被覆盖的变化。NDVI的变化不仅仅与降水量有关,降水模式也是影响其变化的一个重要因子。未来,需要更进一步的研究该因子对NDVI变化的影响。

4 气候月平均降水和气候月平均NDVI

华北受水区的农作物的生长与季节有极大的关系,研究这种关系,能够了解农作物的生长规

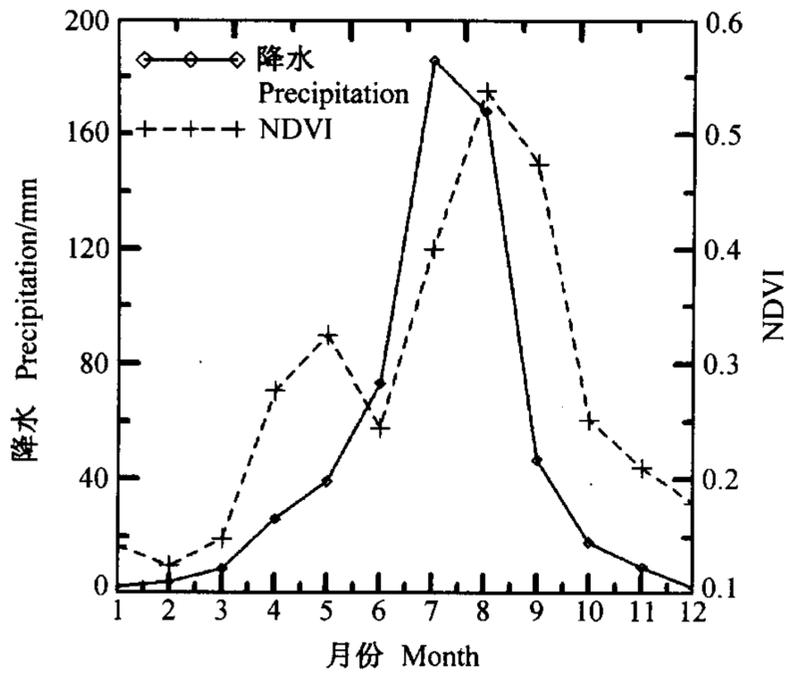


图5 北京地区气候月平均降水和气候月平均 NDVI
Fig. 5 The climatological monthly mean rainfall and NDVI in the region of Beijing

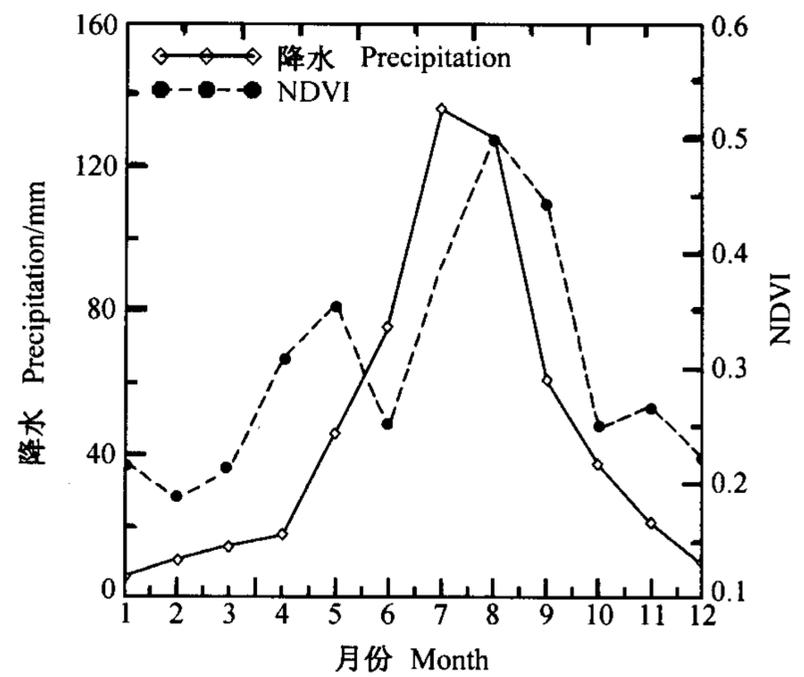


图7 潍坊地区气候月平均降水和气候月平均 NDVI 变化
Fig. 7 The climatological monthly mean rainfall and NDVI in the region of Weifang

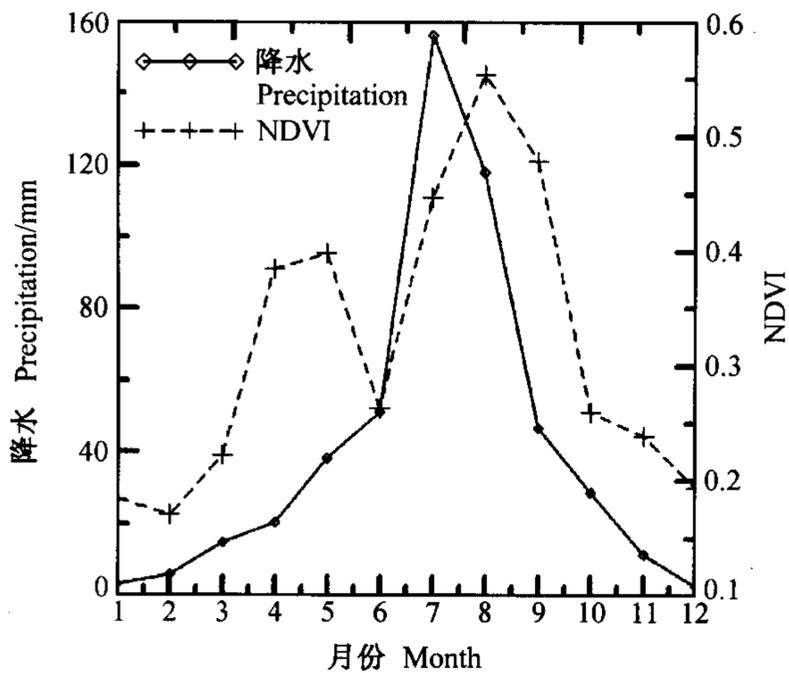


图6 邢台气候月平均降水和气候月平均 NDVI 变化
Fig. 6 The climatological monthly mean rainfall and NDVI in the region of Xingtai

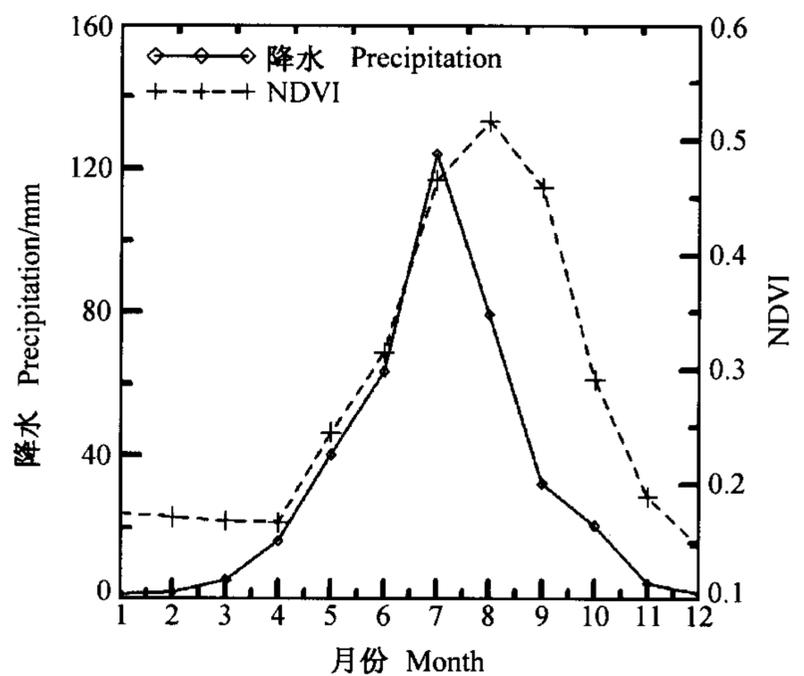


图8 赤峰地区气候月平均降水和气候月平均 NDVI 变化
Fig. 8 The climatological monthly mean rainfall and NDVI in the region of Chifeng

律，搞清农作物不同生长时期的所需水量和把握调配农作物灌溉用水的最佳时机。华北农作物一般为春秋两季，6月为夏收秋种季节，而9月则是秋收季节，北京、邢台和潍坊的 NDVI 的气候月平均变化可以显示这一点。

图5是北京地区气候月平均降水和气候月平均 NDVI 的变化关系，从图中可以看出，NDVI 的极大值出现在5月和8月，分别对应着春季和秋季农作物的生长旺季，所以这两个月份对农作物的生长是非常重要的两个时期，充分的降水对农作物来说是必要的。该地区的年内降水主要集

中在7月下旬和8月上旬，7月降水最多，达到了170 mm左右，大约是全年降水量的1/4。6、7和8(9)月分别代表着农作物的3个生长阶段，即种植期、生长期和成熟期。种植期和生长期中 NDVI 指数变化显著，从6月种植时的0.22增加到生长时的0.5，表明农作物生长旺盛，NDVI 在7月下旬和8月上旬达到最大值，农作物进入成熟期。从植被适应气候变化的角度来分析，降水的气候月平均是维持植被生长用水的最佳降水模式之一。图6和图7分别是邢台和潍坊地区的气候月平均降水和气候月平均 NDVI 的变化关系，这

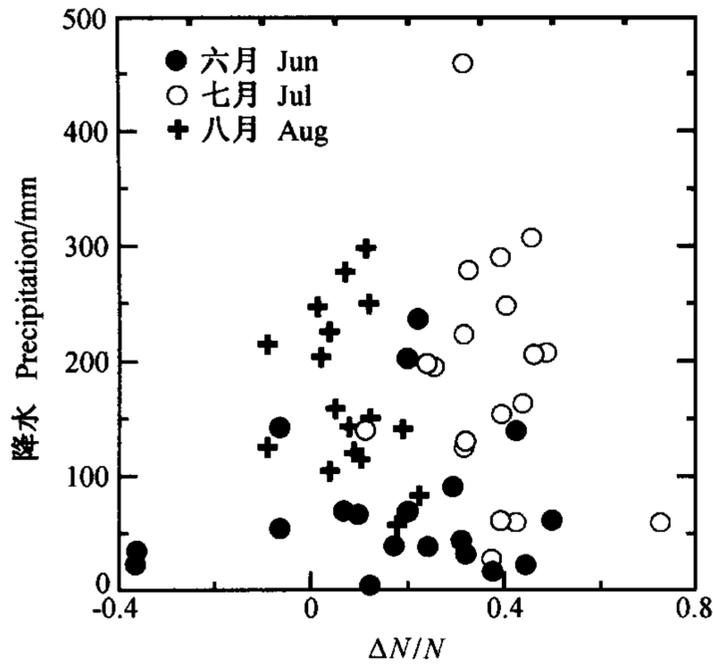


图 9 北京地区 6~8 月 NDVI 月平均相对增长速度与降水的关系

Fig. 9 The relationship between the monthly mean growth speed of NDVI and rainfall during the period from Jun. to Aug. in the region of Beijing

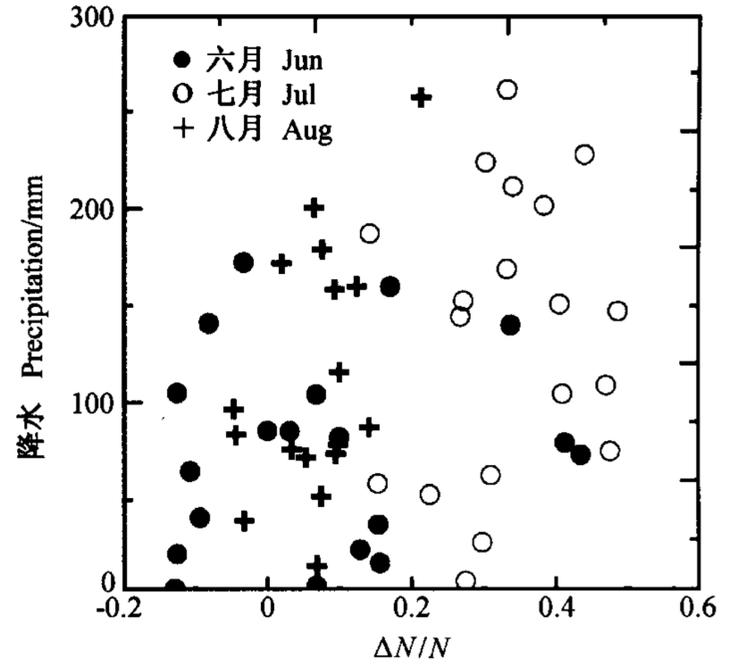


图 11 潍坊地区 6~8 月 NDVI 月平均相对增长速度与降水的关系

Fig. 11 The relationship between the monthly mean growth speed of NDVI and rainfall during the period from Jun. to Aug. in the region of Weifang

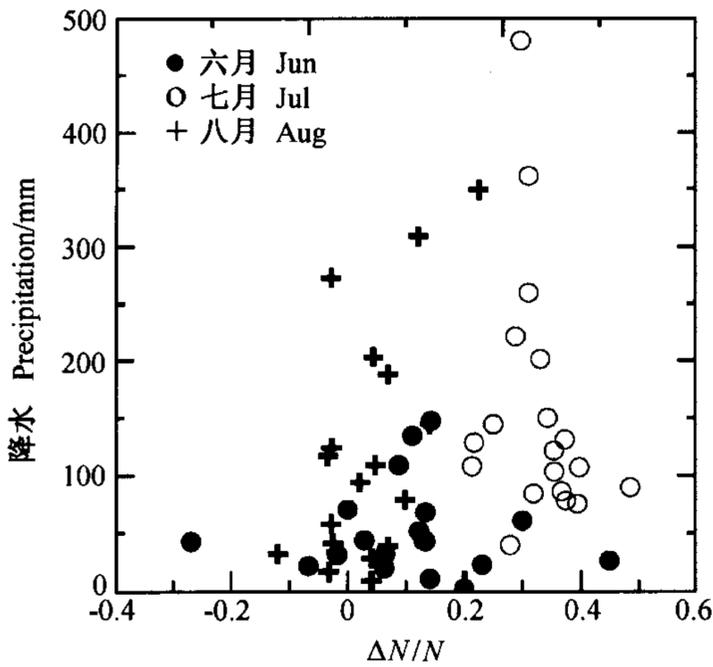


图 10 邢台地区 6~8 月 NDVI 月平均相对增长速度与降水的关系

Fig. 10 The relationship between the monthly mean growth speed of NDVI and rainfall during the period from Jun. to Aug. in the region of Xingtai

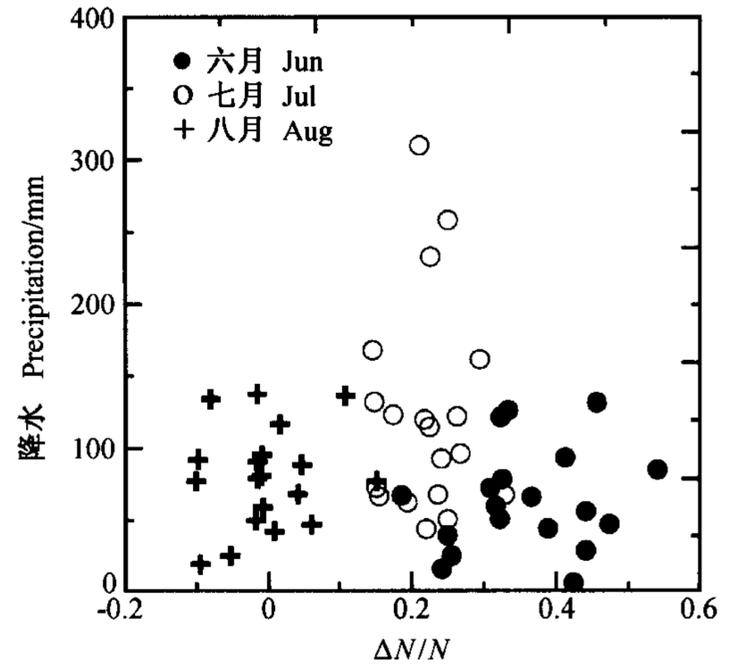


图 12 赤峰地区 6~8 月 NDVI 月平均相对增长速度与降水的关系

Fig. 12 The relationship between the monthly mean growth speed of NDVI and rainfall during the period from Jun. to Aug. in the region of Chifeng

两个地区的变化趋势与北京地区一致，这里不再赘述。图 8 是赤峰地区的气候月平均降水量和气候月平均 NDVI 的变化关系，该地区的降水主要集中在 7 月，NDVI 在 4~8 月的变化均比较显著。

由以上的分析可以看出，4、5 月和 7、8 月分别是春季和秋季农作物生长的旺季和关键时期，充足的水分供给对农作物正常生长是必要的，所

以，在水调配时应该充分考虑这一关键的时期。

5 NDVI 相对变化速度与降水的关系

动物种群或其他生命过程的自然增长有一定的规律，这种增长可以用一定的数学模型来描述。在一定的条件下，种群相对增长速率与种群大小无关，是一个正常数 r ，它代表种群自然增长的能

力，也称为自然增长率，于是种群增长规律的数学模型为

$$\frac{dN}{Ndt} = r,$$

其中， N 是种群数量，经过改进后，该模型的数学方程转变为著名的 Logistic 方程：

$$\frac{1}{N} \frac{dN}{dt} = r \left(1 - \frac{N}{\bar{N}}\right),$$

该模型已经成功地应用于动物种群增长，人口变化预测以及经济学等相关领域。其中， \bar{N} 种群在某一特定时期的平均增长速度，Logistic 方程的解为

$$N(t) = \frac{\bar{N}}{[1 + (\bar{N}/N_0 - 1)e^{-r(t-t_0)}]},$$

其中， N_0 是 t_0 时刻的动物种群数量，该模型可以预测动物种群的长势。

在本节中，上述理论应用于研究农作物的平均生长状况，用 NDVI 描述农作物的长势，所以，农作物月平均的相对增长速度表示为

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{N_m - N_{m-1}}{N_m},$$

其中 m 代表月份。

图 9 是北京地区 6~8 月 NDVI 月平均相对增长速度与降水的关系。图中显示，6 月是该地区夏收秋种的交错时期，农作物的增长较快，NDVI 的相对增长速度在 0.2 左右，降水量在 60 mm 左右。从平均相对增长速度的变化趋势来看，降水量的增加会显著地促进农作物的长势，因此，维持该时间段农作物的增长速度，并不需要太多灌溉用水的供给。7 月该地区进入雨季，降水模式发生变化，农作物生长也进入了旺盛的生长期，该月的 NDVI 相对增长速度维持在 0.4 左右，而正常年份的降水量均在 150 mm 以上，维持该月的农作物长势需要更多的灌溉用水，几乎是 6 月的 2 倍多。8 月农作物进入成熟期，农作物的 NDVI 指数几乎不变，该月的正常降水在 140 mm，因此，维持该月农作物需要的灌溉用水与 7 月差不多。图 10、图 11 和图 12 分别是邢台、潍坊和赤峰的 6~8 月 NDVI 月平均相对增长速度与降水的关系，与北京的趋势基本一致，秋季农作物的生长季节在 7~8 月，用水主要集中在在这段时间，在这两个月 NDVI 的相对月平均增长速度与

北京一致，是 0.4 左右。这 4 个地区的主要差别在 6 月，邢台和潍坊的降水量较小，NDVI 的相对增长速度变化比较大，在调配农业用水时应该考虑这种变化。

由以上的分析可知，在华北受水区内，7、8 月的植被月平均相对生长速度和降水量的关系一致，6 月的降水量在不同的地区有显著的区别，植被生长状况也不同。因此，在未来调配农业用水时应予充分的考虑。

6 结论和讨论

华北地区的年际 NDVI 的变化与降水的年际变化有很强的正相关，降水量增加，植被指数明显逐渐增加。华北的 NDVI 变化显示了很强的季节变化、6 月是华北农作物种植和生长的关键时期，但是该月的需水量并不大，农作物生长旺季在 7~8 月。北京、邢台和潍坊的 7 月农作物增长最快，月平均相对 NDVI 增长速度为 0.4，8 月的为 0.2，因此，在 7~8 月农作物生长需水量最大，相当降水量接近 180 mm。因此，在调配农业用水时应充分考虑这些因子。当然，NDVI 的变化不仅仅与降水量有关，降水模式也是影响其变化的一个重要因子。未来，需要更进一步的研究该因子对 NDVI 变化的影响。

参考文献 (References)

- [1] Srivastavs S K, Jayaraman V, Nageswara Rao P P, et al. Interlinkages of NOAA/AVHRR derived NDVI to seasonal precipitation and transpiration in dryland tropics. *Int. J. Remote Sens.*, 1997, **18**: 2931~2952
- [2] 张军, 葛剑平, 国庆喜. 中国东北地区主要植被类型 NDVI 变化与气候因子的关系. *生态学报*, 2001, **21**: 522~527
Zhang Jun, Ge Jianping, Guo Qingxi. The relation between the change of NDVI of the main vegetational types and the climatic factors in the northeast of China. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese), 2001, **21**: 522~527
- [3] Zhou L M, Tucker C J, Kaufmann R. K, et al. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999. *J. Geophys. Res.*, 2001, **106** (D17): 20069~20083
- [4] Myneni R B, Keeling C D, Asar G, et al. Interannual vari-

- ations in satellite-sensed vegetation index data from 1981 to 1991. *J. Geophys. Res.*, 1998, **103** (D6): 6145~6160
- [5] 杨广基. 华北地区的降水特征及其趋势估计. 高原气象, 1999, **18** (4): 668~677
Yang Guangji. The Characteristics of Rainfall and its tendency estimate over North China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, **18** (4): 668~677
- [6] Kerr Y H, Imberono J, Dedieu T, et al. NOAA/AVHRR and its uses for rainfall and evapotranspiration monitoring. *Int. J. Remote Sens.*, 1989, **10**: 847~854
- [7] Chong D L S, Mougin E, Gastellu-Etchegorry J P. Relating the global vegetation index to net primary productivity and actual evapotranspiration over Africa. *Int. J. Remote Sens.*, 1993, **14**: 1517~1546
- [8] Di Bella C M, Rebella C M, Paruelo J M. Evapotranspiration estimates using NOAA/AVHRR image in the Pampa region of Argentina. *Int. J. Remote Sens.*, 2000, **21** (4): 791~797
- [9] 孙睿, 刘昌明, 李小文. 利用积累 NDVI 估算黄河流域年蒸散量. 自然资源学报, 2003, **18**: 155~161
Sun Rui, Liu Changming, Li Xiaowen. Estimation of evapotranspiration in the Yellow River basin using integrated NDVI. *Journal of Natural Resources* (in Chinese), 2003, **18**: 155~161
- [10] 龚道溢, 史培军, 何学兆. 北半球春季植被 NDVI 对温度变化响应的区域差异. 地理学报, 2002, **57**: 505~514
Gong Daoyi, Shi Peijun, He Xuezhao. Spatial Features of the Coupling between Spring NDVI and Temperature over Northern Hemisphere. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 2002, **57**: 505~514