

近20年华北地区土壤水储量变化趋势 及水分管理与调配对策

赵秀兰^{1,2} 延晓冬¹

1 中国科学院大气物理研究所东亚区域气候-环境重点实验室, 全球变化东亚区域研究中心, 北京 100029

2 国家气象中心, 北京 100081

摘要 从35个台站土壤湿度实测资料出发, 探讨了近20年华北地区土壤水储量变化趋势及时空特征。结果表明: 全区年平均0~50 cm土壤水储量总体呈减少趋势, 但区域差异明显。土壤变干最显著的两个中心区域分别为京津塘地区和山西西部, 次显著中心为内蒙古东部。在0~50 cm深度范围内, 从地表面开始, 随深度增加, 土壤水储量的减少幅度逐渐增加, 且季节特征明显, 即春秋减少幅度大于夏冬季。各分区土壤水储量的变化趋势呈现出显著的年代际特征, 就0~50 cm土壤水储量而言, 各分区存在一个共同特点: 1995~2002年均呈明显的波动下降变化趋势。土壤变干的趋势, 对华北地区农业和生态具有一定的不利影响, 因此结合区域实际提出相应的水分管理与调配措施。

关键词 华北地区 土壤水储量 水分管理与调配

文章编号 1006-9585 (2006) 03-0371-09 **中图分类号** P463 **文献标识码** A

The Trend of Soil Moisture Storage in the Last 20 Years and its Countermeasures of Water Management and Regulation over North China

ZHAO Xiu-Lan^{1,2} and YAN Xiao-Dong¹

1 Key Laboratory of Regional Climate-Environment for East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences; START Regional Center for Temperate East Asia, Beijing 100029

2 National Meteorological Center, Beijing 100081

Abstract The soil moisture data from 35 stations are employed to investigate the linear trend of soil moisture storage over North China in the last 20 years and its temporal and spatial features. The results show that the whole trends of annual mean soil moisture storage averaged by different soil layers from soil surface to top 50 cm is decreasing generally, but the geographical differences over the region are evident. Moreover, the most remarked centers of soil dryness are in the Jingjintang Region and in the western of Shanxi Province, respectively. From soil surface to top 50 cm, the decreasing extent of annual mean soil moisture storage for the region increases with vertical soil depth. The decreasing trend in spring and autumn are more evident than in summer and winter. The interdecadal variations of soil moisture storage for the different divisions show the different notable characteristics, but the common among them is the decrease over the period from 1995 to 2002. By combing the local and regional ecological and climatic features, it is discussed further that the disadvantageous influences of soil dryness on agriculture and eco-

收稿日期 2006-04-11 收到, 2006-04-25 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 和国家自然科学基金资助项目 30571079

作者简介 赵秀兰, 女, 1968 年出生, 博士, 副研究员, 主要从事全球变化、农业气象及作物品质生理等领域的研究工作。

E-mail: zhaoxl@tea.ac.cn

gy in North China as well as the corresponding measures of water management and regulation.

Key words North China, soil moisture storage, water management and regulation

1 引言

土壤水与大气水、地表水、植物(水)、地下水一起组成相互作用的全球陆地水循环系统。土壤水文过程是土壤-植物-大气(SPAC)系统各因子之间相互作用的关键^[1~7]。关于土壤水的研究,不仅应侧重于水循环中水文模型与气候模式所涉及的物理机制^[1,2],土壤水与植被生长发育的相互影响^[4~9],土壤湿度与气候因子变化相互关系^[10~16]等系列问题,土壤水大尺度时空变化特征问题更需要深入探讨。近几十年来,在全球变化的背景下,华北地区气候及生态发生明显变化,主要表现在气温升高,降水、大气水汽含量、地表径流量、水资源总量减少,以及生态环境问题的出现等方面^[17~21]。在此背景下,该区域大尺度土壤水储量的时空变化特征则成为迫切需要研究的问题。本文试图探讨自有实测资料以来,近20年华北地区土壤水储量的变化趋势及特点,试图为区域气候及生态环境变化提供相应的证据,同时也为南水北调背景下华北地区农业需水的近期和远景进行预测,以及为农业生产和生态建设中水资源管理和调配提供相应依据。

2 资料和方法

选用华北地区35站的土壤湿度和土壤容重实测资料(图1)。资料来自国家气象信息中心和国家气象中心,长度为1981~2002年,选择观测连续的站点(其中24站超过13年,8站超过9年,3个站为7年)。资料包括历年逐旬土壤重量含水率和逐年土壤容重数据,土壤层次为0~10、10~20、20~30、30~40、40~50 cm,观测均选在测站固定地段,测定方法依据土壤水分观测规范^[22]。

为便于与作物耗水量、降水量及蒸散量进行比较,特选用土壤水储量表示土壤湿度。土壤水储量即为某一土层内所有水分形成水层的厚度(mm)^[23,24],用公式表示为

$$S = 0.1 WRH, \quad (1)$$

式中, S 为某一厚度层的土壤水储量(单位:mm), R 为土壤容重(单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$), H 为土层厚度(单位:cm), W 为某一厚度层的土壤重量含水率(单位:%)。

依据公式(1)计算各站点0~10、10~20、20~30、30~40、40~50 cm等5个土壤层次的逐旬土壤水储量,进一步计算0~20、0~30、40~50、0~50 cm厚度土层的土壤水储量的月、季及年平均值。本文侧重于0~50 cm土层的研究,主要原因在于0~50 cm土壤水储量的变化对作物生长的影响较为显著。0~20 cm或0~30 cm的耕作层土壤水分(表墒)增墒机率最多,失墒也最容易,对农作物生长具有特殊的意义,在播种与出苗期间,表墒状况尤为关键;而40~50 cm土层(底墒层)则是作物根系分布最密集及作物经常大量吸收水分的土层^[25]。

依据国家行政区划^[26],结合该区域地理与气候特点,确定本研究华北地区范围,包括河北、山西、天津、北京及内蒙古中部(东北界为余曼旗—巴林左旗—东乌珠穆旗沿线,西界为准噶尔旗—包头—乌特拉中旗沿线,西北界为与蒙古国接壤的国界),经纬度区间为(35~44°N, 110~120°E)。为便于研究华北地区土壤水储量变化趋势的地域差异与特征,依据行政区划将全区细划分为5个子区(图1)。将全区各站点土壤水储量依不同深度和季节平均后再进行标准化(转化为10 cm土壤水储量平均值),并进行序列的线性趋势拟合,得到相应斜率值即为线性趋势系数(表1)。

3 土壤水储量变化趋势

3.1 总体变化趋势及年代际变化特征

全区0~50 cm之内各深度层次的年平均土壤水储量均呈减少趋势。就0~50 cm土层平均而言,多数分区呈减少趋势且幅度较大,而少数则呈增加趋势且幅度相对较小,总体平均呈减少趋势(表1和图2)。

近20年各分区土壤水储量存在着显著的年代际变化特征。以下就年平均0~50 cm土壤水储量

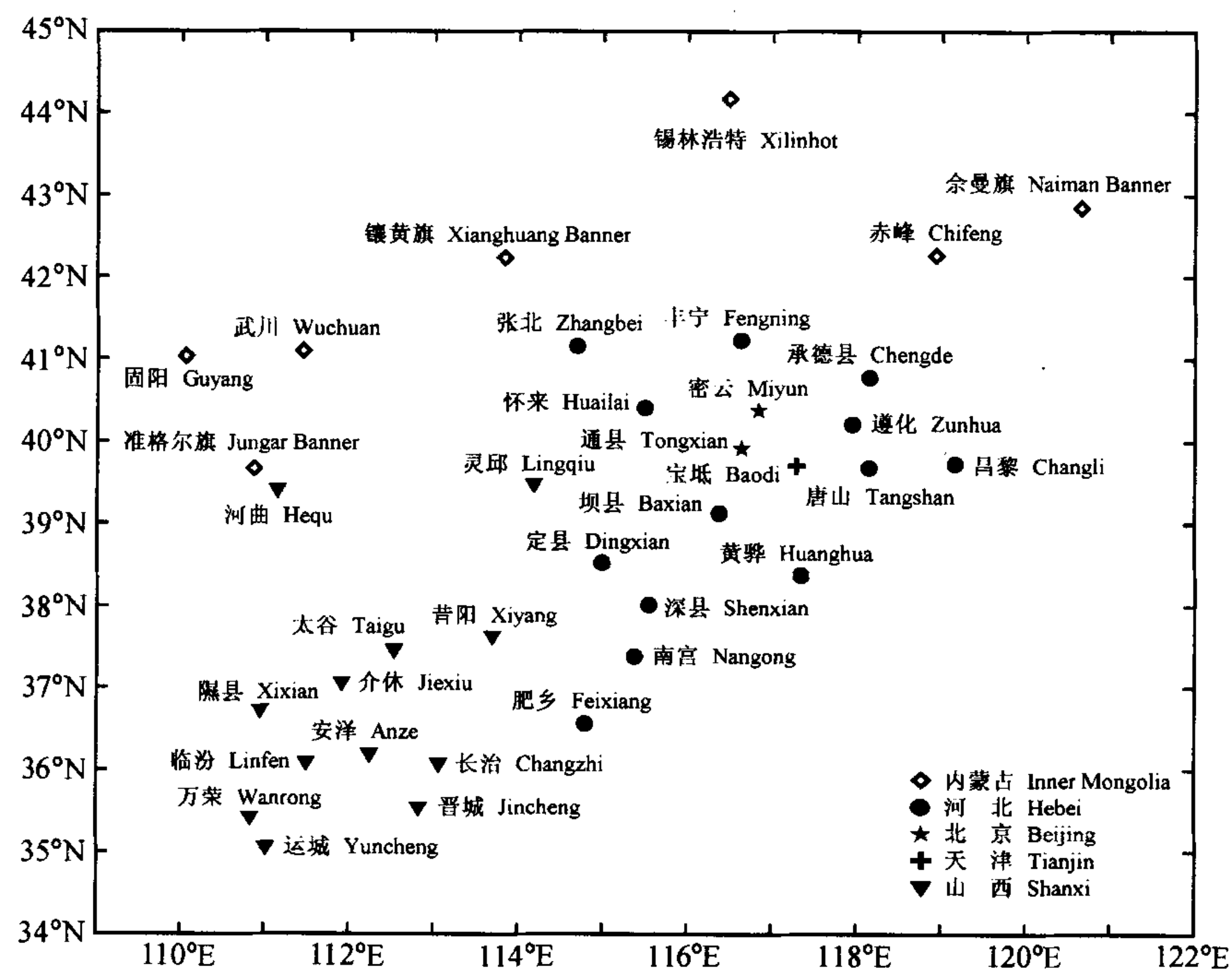


图 1 华北地区土壤湿度观测站点分布
Fig. 1 The spatial distribution of observation stations of soil moisture over North China

表 1 全区平均土壤水分储量变化线性趋势系数
Table 1 The linear trend coefficients of soil moisture storage in different seasons and depths for the region

深度 Depth/cm	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	全年 All-year
0~20	-0.133	-0.001	-0.045	0.009 *	-0.075
0~30	-0.129	-0.006	-0.049	0.001 *	-0.078
40~50	-0.087	-0.056	-0.118	-0.028	-0.109
0~50	-0.109	-0.017	-0.048	-0.007	-0.066

* 表示趋势系数为正
* Shows the positive trend coefficient

的变化进行详细说明。从图 3 可以看出，天津和山西在 20 世纪 80 和 90 年代均呈显著的波动下降变化；北京在 80 年代呈显著的上升变化，而 90 年代以来则呈明显波动下降；内蒙古和河北均为 90 年代前 5 年为明显上升变化，而自 1995 年以后则呈下降变化。各分区存在一个共同特点：1995~2002 年的 8 年时间里，各分区变化趋势较为一致，即呈明显的波动下降。

不同季节土壤水储量的年代际变化呈现出明显的各分区地理差异（表 2）。从各季节和年平均状况来看，90 年代相比 80 年代，天津市土壤水储量下降的幅度为 3 个地区（北京、天津和山西）中最大，其中年平均下降 3.9 mm。山西和北京年

平均下降幅度较为接近（0.4 mm），但四季有明显差异。北京春夏季为下降趋势，秋冬季节则呈上升趋势；而山西春秋季节下降较为明显，夏冬季则为上升趋势。

3.2 区域变化特征

尽管全区各层土壤水储量呈减少的变化趋势，但区域地理差异明显。从全区的角度来看，各土层土壤变干最显著的两个中心区域均分别为京津塘地区和山西西部的河曲至介休一带，较为显著的中心为内蒙古区域，而河北的西南部以及山西东部的土壤变干趋势最弱（图 2）。就 0~50 cm 土层平均而言，依据各分区平均来看，天津土壤水储量减少幅度最大，远远超出其他分区的变化幅度；其次为内蒙古区域，再次为北京和山西，河北减少幅度最小（表 3 和图 3）。

全区土壤水储量变化趋势的空间地理分布因土壤层次而存在差异。相比于 0~20 cm 而言，40~50 cm 土壤水储量呈减少趋势的区域面积增加，趋势幅度的变化依各分区不同，即山西与内蒙趋势幅度减小，京津与河北区域趋势幅度则增加；而与此同时，呈增加趋势的区域面积缩小，趋势幅度变化不大（图 2）。

季节不同，全区土壤水储量变化趋势的空间

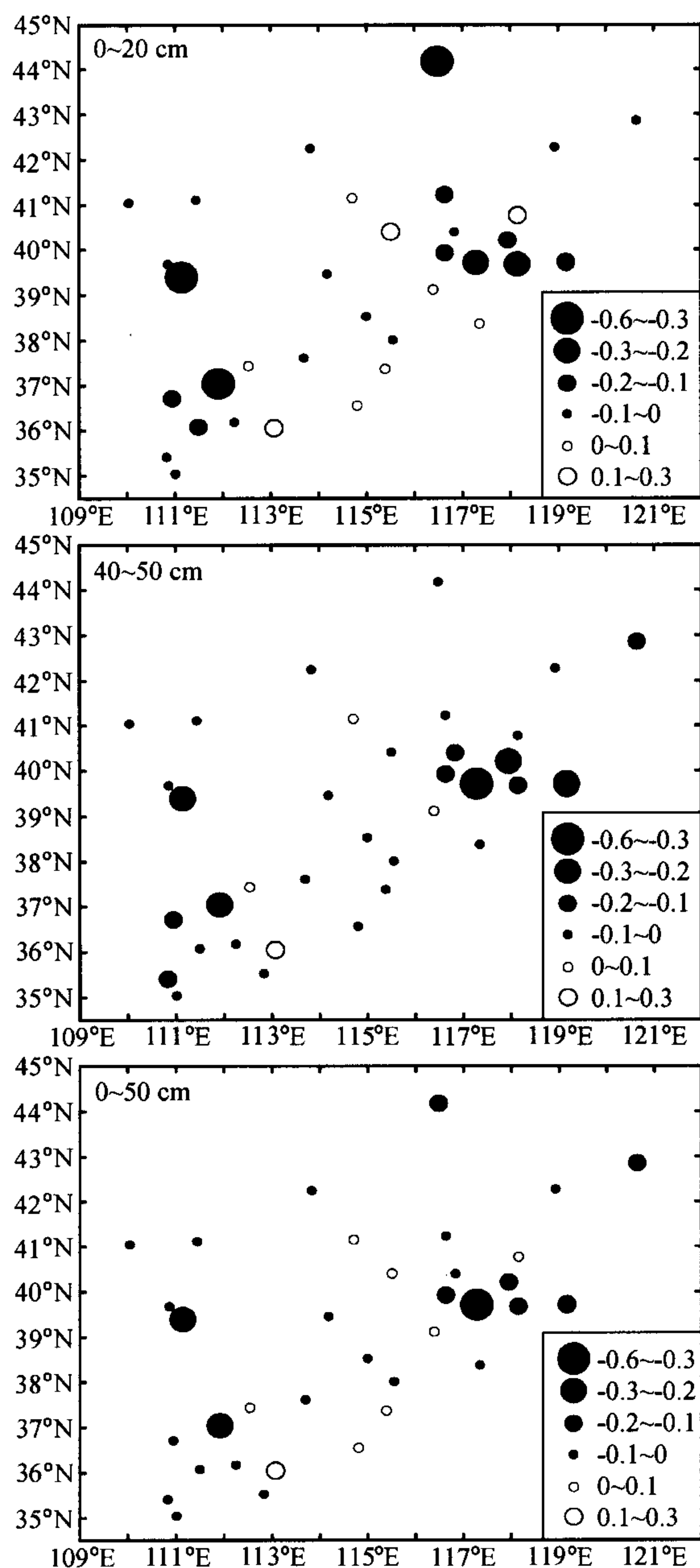


图2 不同深度年平均土壤水储量变化线性趋势系数空间分布
Fig. 2 The spatial distribution of the linear trend coefficients over the region of annual mean soil water storage in different depths

分布也存在差异。由图4可以看出,春季呈减少趋势的区域面积较大,变干显著中心为山西西南部、京津与河北东部、内蒙北部锡林浩特地区;夏季相比于春季而言,呈减少趋势区域面积缩小,变干中心则转变为山西西北部和天津,内蒙古区域变干相对较弱,与此同时,呈弱变湿的区域范围相对增加,分布区域由以全区北部分布为主转

移至中南部区域分布;秋季变干区域总面积与夏季接近,但变干中心转移为京津塘区域和内蒙古区域东北部,山西除河曲地区外,其他大部分区域均转变为弱变湿区域;对于冬季来说,其最大特征就是变湿区域面积最大,占到全区的大部,仅剩山西西部、京津塘及内蒙余曼旗等小范围区域仍为弱变干区域。由此可以看出,依春、夏、秋、冬四季顺序,土壤变干区域面积在缩小,变干幅度也在减小。

3.3 随土壤深度变化特点

就全区年平均土壤水储量变化趋势而言,在0~50 cm深度范围内,从地表面开始,随深度增加,土壤水储量的减少程度逐渐增加。这可以从0~20 cm、0~30 cm、40~50 cm趋势系数逐渐增大反映出来(表1)。尽管如此,土壤水储量随深度变化却依不同季节存在显著差异。春季,土壤表层变干较为严重,随深度增加,呈减少趋势幅度逐渐减小,尤其40~50 cm土层减小比较明显;夏季,表层几乎没有变干趋势,而深层则变干趋势较为明显;秋季的趋势幅度依然由表层至深层逐渐增大;冬季则只有40~50 cm土层具有较弱的变干趋势,而30 cm以上土层几乎没有明显的干湿变化趋势(表1)。

3.4 季节变化特征

虽然全区0~50 cm土壤水储量年平均值为减少趋势,但却呈现出明显的季节特征。春季减少最显著,秋季次之,夏季趋势幅度小于秋季,冬季则最小(表1和图4)。土壤水储量变化趋势的幅度,依不同土壤层次随季节发生动态变化。浅层(0~20 cm)的趋势幅度春季最大,秋季次之,而夏季与冬季趋势系数近似为0,即可以认为全区冬季与夏季浅层土壤水储量近20年几乎无明显变化趋势;就深层(40~50 cm)而言,秋季变干最明显,春季次之,夏季变干仅次于春季,而冬季变干相对最弱(表1)。就不同分区而言,土壤变干随季节的动态变化也不同(表1和图3),例如,天津各季节变干趋势幅度由大到小依次为秋季、春季、夏季和冬季;北京则依次为春季、秋季和夏季,冬季却为变湿趋势;内蒙古则为秋季变干趋势最大,夏季与冬季次之,春季变干最弱,可以认为几乎无干湿变化趋势;就山西来说,春季变干最明显,冬季次之,夏季最弱,秋季则呈明

表 2 各分区平均 0~50 cm 土壤水分储量变化线性趋势系数
Table2 The linear trend coefficients of 0—50 cm soil moisture storage in different seasons for the divisions

分区	Division	分区代号	Symbol	春季	Spring	夏季	Summer	秋季	Autumn	冬季	Winter	全年	All-year
北京	Beijing	B		—0.160		—0.025		—0.065		0.045		—0.070	
河北	Hebei	H		—0.071		0.033 *		—0.075		0.042 *		—0.041	
内蒙古	Nei Mongol	N		—0.006		—0.059		—0.134		—0.057		—0.084	
山西	Shanxi	S		—0.181		—0.016		0.048 *		—0.049		—0.062	
天津	Tianjin	T		—0.370		—0.360		—0.440		—0.120		—0.360	

* 表示趋势系数为正。
* Shows the positive trend coefficient.

表 3 20 世纪 90 年代相对于 80 年代 0~50 cm 土壤水储量减少的幅度
Table 3 The extent of decrease of 0—50 cm soil moisture storage in 1990s comparing with 1980s (mm)

分区	Division	分区代号	Symbol	春季	Spring	夏季	Summer	秋季	Autumn	冬季	Winter	全年	All-year
北京	Beijing	B		—0.4		—1.7		0.0		0.3		—0.4	
山西	Shanxi	S		—1.4		1.2		—2.1		0.7		—0.4	
天津	Tianjin	T		—4.4		—3.1		—5.8		—3.8		—3.9	
平均	Average			—2.0		—1.1		—2.6		—0.9		—1.6	

显变湿趋势；河北春秋两季变干显著，冬夏两季变湿相对较为明显。

4 土壤水储量变化对农业和生态的可能影响

土壤变干必然会使华北地区作物的自然生长需水受到影响，雨养农业区面积缩小，半干旱区和灌溉区域面积扩大，灌溉需水量增加。底墒层（40~50 cm）比表墒层（0~30 cm）变干更明显，说明作为土壤水的重要储备层的基墒层（50~100 cm）和深墒层（100~200 cm）^[25] 向上的毛管上升水的输送量减少，同时反映出 50 cm 以下深墒层土壤水储量很有可能存在明显的减少趋势。底墒层相比于表墒层而言，作物根系分布量较多，底墒层变干带给作物的不利影响会更大。春秋两季土壤变干显著，易使春播和秋播作物播种与出苗受到严重影响，继而影响农作物后续生长；且秋季土壤变干也容易加重冬春季的土壤变干幅度。

土壤中水分储量的减少对该地区生态环境的影响也不可忽视。土壤变干直接影响该地区森林和牧草等植被的生长，使湿地面积缩小，地下水位下降，部分地区土壤沙漠化倾向严重，尤其对于位于农牧交错带地区，由于自然条件不稳定性和生态环境脆弱性，土壤干旱只会加速该区域生态环境的恶化。

5 土壤水管理调配措施

为降低土壤变干对华北地区农业和生态的不利影响，须采取有效的土壤水管理措施。1) 农业生产中应注意改良土壤质地，增施有机肥料，增大土壤有效贮水库容。2) 加强农田基本建设，平整土地，减少径流，充分蓄积降水。3) 采用地面覆盖，减少地表蒸发，促进土壤蓄水保墒。4) 合理耕作，秋蓄春保相结合，即秋天深翻地或耙地，疏松土壤，将秋雨和冬雪蓄入土壤深层，使春季得到水分的供应；春季采取耙耱保墒和镇压提墒措施。5) 实行深松土壤以利于土壤的蓄水保墒。6) 发展节水灌溉技术，植树造林种草，调整农业结构，种植需水量少的作物品种和树种等。生产中因地制宜，采用综合措施，有力调控土壤墒情，以利农业生产和生态建设。

在地表水的利用与灌溉水的调配过程中，尤其在南水北调背景下，依据华北地区土壤水储量的变化趋势及特点，合理、高效、节约地利用有限水资源成为一个非常重要的课题。就华北地区土壤水变化的区域差异特征而言，在水分调配中应侧重于土壤水两大变干中心：京津塘与山西西部，其次考虑内蒙东部，并兼顾其他区域。依据华北地区土壤水储量变化随季节的变化特征，建议在深层土壤变干较严重的春季与秋季增加灌溉

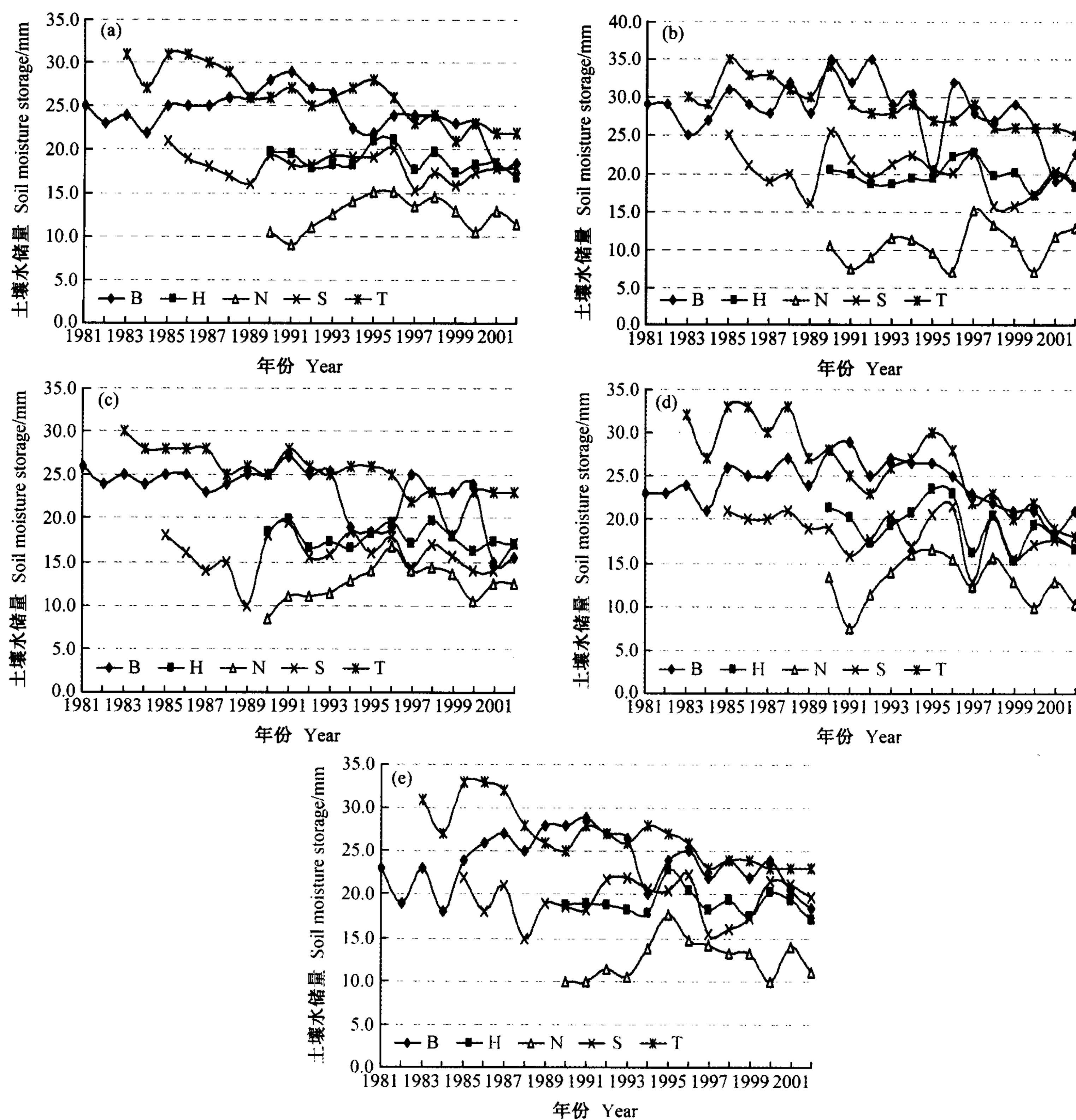


图3 近20年各分区0~50 cm土壤水储量变化趋势:(a)年平均;(b)春季;(c)夏季;(d)秋季;(e)冬季。B、H、N、S、T依次代表北京、河北、内蒙古、山西、天津

Fig. 3 The trends of soil moisture storage in (a) annual mean, (b) spring, (c) summer, (d) autumn and (e) winter in 0—50 cm depth over the divisions in recent 20 years. B, H, N, S, T denotes Beijing, Hebei, Nei Mongol, Shanxi, Tianjin, respectively

量,而在夏、冬土壤变干不严重的季节尽量节水蓄水;春季水分调配重点满足于天津,其次为北京和山西;秋季重点满足于天津,其次为内蒙古、河北和北京;夏季则依次侧重于天津、内蒙古和北京;冬季则依次调水于天津、内蒙古、山西和北京,同时减少调出量和增加蓄水量。当然,上述建议必须依据因地因时制宜,结合当年气候特

点、水文状况及农业生产实际,全区综合规划和运筹。

6 结论

近20年华北地区年平均土壤水储量总体呈减少趋势,但区域差异明显,且区域差异的地理分

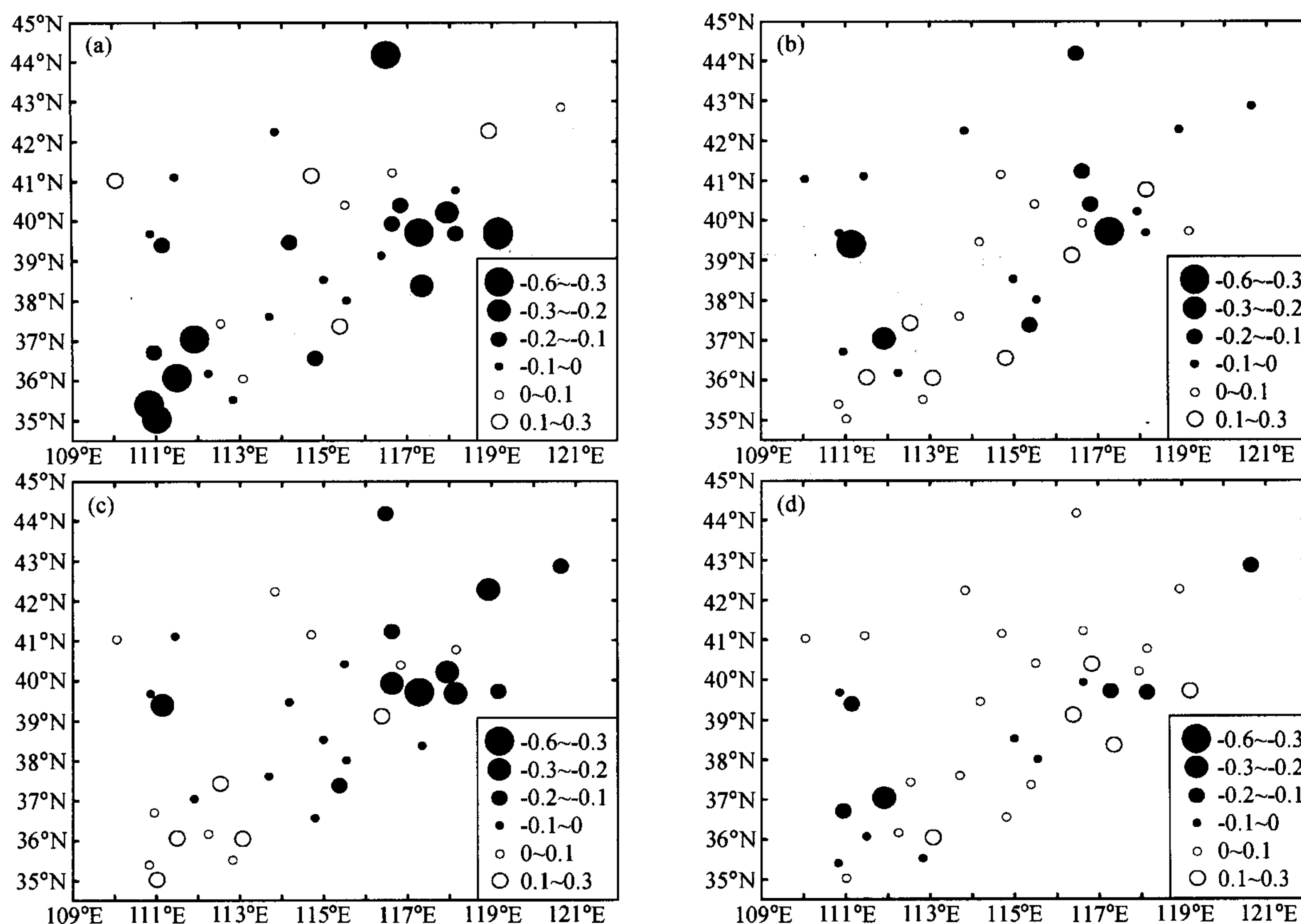


图 4 0~50 cm 土壤水储量变化趋势的季节差异与分布特征：(a) 春季；(b) 夏季；(c) 秋季；(d) 冬季

Fig. 4 The seasonal differences and distribution characteristics of the trends of soil moisture storage in (a) spring, (b) summer, (c) autumn, and (d) winter in 0—50 cm depth over the region

布依不同土层深度随季节发生动态变化。土壤变干最显著的两个中心区域分别为京津塘地区和山西西部，次显著中心区域为内蒙古东部，而河北西部与山西东部的土壤变干趋势最弱。在 0~50 cm 深度范围内，从地表面开始，随深度增加，土壤水储量的减少程度逐渐增加。春季土壤水储量减少最显著，秋季趋势幅度则明显小于春季，夏季仅次于秋季，冬季的趋势幅度最小。

各分区土壤水储量的变化呈现出显著的年代际特征。就 0~50 cm 土壤水储量而言，天津和山西在 20 世纪 80 年代和 90 年代均呈显著的波动下降变化；北京在 80 年代呈显著上升而 90 年代以来呈明显波动下降；内蒙古和河北则为 90 年代前 5 年为明显上升而 1995 年以后呈明显下降变化。各分区存在一个共同特点：1995~2002 年的 8 年时间里，全区各分区变化趋势较为一致，即呈明显的波动下降。

土壤变干的趋势，对区域农业和生态具有一

定的不利影响，结合区域实际采取有效的水管理调配措施。

参考文献 (References)

- [1] 刘苏峡, 刘昌明. 90 年代水文研究的进展和趋势. 水科学进展, 1997, 8 (4): 365~369
Liu Suxia, Liu Changming. Challenges of hydrology since 1990s. *Advance in Water Science* (in Chinese). 1997, 8 (4): 365~369
- [2] 沈大军, 刘昌明. 水文水资源系统对气候变化的响应. 地理研究, 1998, 17 (4): 435~443
Shen Dajun, Liu Changming. Hydrological and water resources responses to climatic change—a review. *Geographical Research* (in Chinese), 1998, 17 (4): 435~443
- [3] 刘昌明, 王会肖. 土壤—作物—大气界面水分过程与节水调控. 北京: 科学出版社, 1999. 50~102
Liu Changming, Wang Huixiao. *The Water Proceedings and Saving-Water Regulations Between Soil, Crop and Atmosphere* (in Chinese), Beijing: Science Press, 1999. 50~102
- [4] 由懋正, 王会肖. 农田土壤水资源评价. 北京: 气象出版

- 社, 1996. 79~98
- You Maozheng, Wang Huixiao. *Evaluation of Water Resources in Farm Soil* (in Chinese). Beijing: China Meteorology Press, 1996. 79~98
- [5] 陈晓远, 罗远培. 土壤水分变动对冬小麦干物质分配及产量的影响. 中国农业大学学报, 2001, 6 (1): 96~103
- Chen Xiaoyuan, Luo Yuanpei. Effect of fluctuated soil water condition on dry matter allocation and grain yield in winter wheat. *Journal of China Agricultural University* (in Chinese), 2001, 6 (1): 96~103
- [6] 安顺青, 刘庚山, 吕厚荃, 等. 冬小麦底墒供水特征研究. 应用气象学报, 2000, 11 (增刊): 119~127
- An Shunqing, Liu Gengshan, Lü Houquan, et al. Features of water supply from deeper soil moisture of winter wheat. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 2000, 11 (Suppl.): 119~127
- [7] 杨兴国, 柯晓新, 张旭东, 等. 甘肃河东雨养农业区土壤水分变化规律的研究. 应用气象学报, 2000, 11 (12): 205~212
- Yang Xingguo, Ke Xiaoxin, Zhang Xudong, et al. Study on soil water resources in rain-fed agricultural region of Gansu province. *Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 2000, 11 (12): 205~212
- [8] 冯广龙, 刘昌明. 人工控制土壤水分剖面调控根系分布的研究. 地理学报, 1997, 52 (5): 461~469
- Feng Guanglong, Liu Changming. Studies on the control of soil water profile and root distribution. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 1997, 52 (5): 461~469
- [9] 李运生, 王菱, 刘士平, 等. 土壤-根系界面水分调控措施对冬小麦根系和产量的影响. 生态学报, 2002, 22 (10): 1680~1687
- Li Yunsheng, Wang Ling, Liu Shiping, et al. The influence of different amounts of water supplied at different depths in soil-root interface on root distribution and yield of winter wheat. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese), 2002, 22 (10): 1680~1687
- [10] Jacobson M Z. Effect of soil moisture on temperature, winds, and pollutant concentrations in Los Angeles. *J. Appl. Meteor.* 1999, 38 (5): 607~616
- [11] Yu Z B, Carlson T N, Barron E J, et al. On evaluating the spatial-temporal variation of soil moisture in the Susquehanna River Basin. *Water Resour. Res.*, 2001, 37 (5): 1313~1326
- [12] Dimeyer P A. Using a global soil wetness dataset to improve seasonal climate simulation. *J. Climate*, 2001, 1 (16): 2900~2922
- [13] Eltahir E A. Soil moisture rainfall feedback mechanism: 1. Theory and observations. *Water Resour. Res.*, 1998, 34 (4): 765~776
- [14] Wu W R, Celler M A, Dickinson R E. The response of soil moisture to long-term variability of precipitation. *Journal of Hydrometeorology*, 2002, 3 (5): 604~613
- [15] 杨梅学, 姚檀栋, 何元庆, 等. 藏北高原地气之间的水分循环. 地理科学, 2002, 22 (1): 29~33
- Yang Meixue, Yao Tandong, He Yuanqing, et al. The water cycles between land surface and atmosphere in northern part of Tibetan Plateau. *Scientia Geographica Sinica* (in Chinese), 2002, 22 (1): 29~33
- [16] 孙力, 安刚, 高枳亭, 等. 中国东北地区地表水资源与气候变化关系的研究. 地理科学, 2004, 24 (1): 42~49
- Sun Li, An Gang, Gao Zongting, et al. Relationship between climate variation and surface water resources in Northern China. *Scientia Geographica Sinica* (in Chinese), 2004, 24 (1): 42~49
- [17] 王遵亲, 丁一汇, 何金海, 等. 近 50 年来中国气候变化的再分析. 气象学报, 2004, 62 (2): 228~236
- Wang Zunya, Ding Yihui, He Jinhai, et al. An updating analysis of the climate changing in China in recent 50 years. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2004, 62 (2): 228~236
- [18] 张庆云. 1880 年以来华北降水及水资源的变化. 高原气象, 1999, 18 (4): 486~495
- Zhang Qingyun. The variations of the precipitation of water resources in North China since 1880. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, 18 (4): 486~495
- [19] 曹丽青, 余锦华, 葛朝霞. 华北地区大气水分气候变化及其对水资源的影响. 河海大学学报 (自然科学版), 2004, 32 (5): 504~507
- Cao Liqing, Yu Jinhua, Ge Zhaoxia. Variation of atmospheric water vapor with climate and its impact on water Resources of North China. *Journal of Hohai University* (Natural Sciences) (in Chinese), 2004, 32 (5): 504~507
- [20] 夏军. 华北地区水循环与水资源安全: 问题与挑战. 地理科学进展. 2002, 21 (6): 517~526
- Xia Jun. A Perspective on hydrological base of water security problem and its application study in North China. *Progress in Geography* (in Chinese), 2002, 21 (6): 517~526
- [21] 刘春蓁. 中国水资源响应全球气候变化的对策建议. 中国水利, 2000, (2): 1~3
- Liu Chunzhen. The response of water resources in China to the global climate change and its countermeasures. *China Water Conservancy* (in Chinese), 2000, (2): 1~3
- [22] 中国气象局. 农业气象观测规范 (土壤水分分册). 北京: 气象出版社, 1993. 11~160
- China Meteorological Administration. *Specifications for Agrometeorology Observation* (Soil Moisture) (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1993. 11~160
- [23] 华孟, 王坚. 土壤物理学. 北京: 北京农业大学出版社, 1993. 39~43
- Hua Meng, Wang Jian. *Soil Physics* (in Chinese). Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1993. 39~43
- [24] Hanks R J, Ashcroft G L. *Applied Soil Physics* (Soil Water and Temperature Applications). Berlin Heidelberg

- berg: Springer, 1980. 1~25
- [25] 中国农业气象百科全书编委会. 中国农业百科全书 (农业气象卷). 北京: 农业出版社, 1986. 28~300
The Commission of China Agrometeorology Encyclopedia.
The China Agricultural Encyclopedia (Agrometeorology)
- (in Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1986. 28~300
- [26] 张武冰, 傅马利. 中国地图集. 北京: 中国地图出版社, 1999. 1~25
Zhang Wubing, Fu Mali. *China Atlas* (in Chinese). Beijing: China Map Publishing House, 1999. 1~25