

不同灌木林分枯落物层与土壤层水源涵养能力研究

曹云生^{1,2}, 赵艳玲^{1,3}

(1 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083; 2 北京市工程咨询公司, 北京 100083; 3 中国矿业大学(北京)土地复垦与生态重建研究所, 北京 100083)

摘 要:为探究不同灌木林分枯落物层水源涵养能力,选择了 3 种灌木林分作为研究对象,利用室内浸泡法与双环刀法分别对 3 种灌木林分枯落物层与土壤层水源涵养相关指标进行了测定。结果表明:(1) 枯落物层水源涵养 3 个重要因子蓄积量、最大持水量与有效拦蓄量由大到小排序是一致的,荆条>胡枝子>三裂绣线菊。(2) 在 0.25 h 枯落物持水量与持水速率大小排序为荆条>胡枝子>三裂绣线菊,枯落物层持水量与浸水时间具有较好的函数关系,关系式为 $Q=a \ln t+b$ ($R^2>0.97$),枯落物层持水速率与浸水时间进行函数拟合,具有较好的幂函数关系,表达式为 $V=Kt^n$ ($R^2>0.99$)。 (3) 土壤有效持水量大小排序为:荆条>三裂绣线菊>胡枝子;林分初渗速率、稳渗速率大小排序一致,荆条>三裂绣线菊>胡枝子;林分土壤入渗时间和入渗速率有较好的函数关系,表达式为 $y=a \cdot x^b$ ($R^2>0.94$)。枯落物层与土壤层水源涵养能力最强的为荆条灌木林分。

关键词:灌木; 枯落物层; 土壤层; 水源涵养

中图分类号:S715.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)06-0179-05

Study on Water Conservation Capacities of Litter Layer and Soil Layer in Different Shrub Forests

CAO Yunsheng^{1,2}, ZHAO Yanling^{1,3}

(1.College of Earth Science and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 2.Beijing Engineering Consulting Company, Beijing 100083, China; 3.Institute of Land Reclamation and Ecological Reconstruction, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract:In order to explore the water conservation capacity of litter layer in different shrub forests, three shrub stands were selected as research samples. The indoor soaking method and double-ring knife method were used to measure the relevant indicators of the water conservation of the litter layers and soil layers of three shrubs. The results showed that: (1) the three important factors, accumulation the maximum water holding capacity and the effective storage capacity of the litter layer, decreased in the order: *Vitex negundo* L. var. *heterophylla*>*Lespedeza bicolor*>*Spiraea trifida*; (2) the water holding capacity and water holding rate of 0.25 h decrease in the order: *Vitex negundo* L. var. *heterophylla*>*Lespedeza bicolor*>*Spiraea trifida*, and the water holding capacity of the litter layer has the function relationship with the water immersion time, the function is expressed as $Q=a \ln t+b$ ($R^2>0.97$), the relation between the water holding rate of the litter layer and the water immersion time can be described by the power function which is expressed as $V=Kt^n$ ($R^2>0.99$); (3) the soil effective water holding capacity decreases in the order: *Vitex negundo* L. var. *heterophylla*>*Spiraea trifida*>*Lespedeza bicolor*; the initial infiltration rate and steady infiltration rate of forest stands decrease in the sequence: *Vitex negundo* L. var. *heterophylla*>*Spiraea trifida*>*Lespedeza bicolor*; there is a good functional relationship between infiltration time and infiltration rate of soil in the stands, and the relationship is expressed as: $y=a \cdot x^b$ ($R^2>0.94$). The most abundant water source conservation abilities of the litter layer and the soil layer are observed in the *Vitex negundo* L. var. *heterophylla* shrub forest.

收稿日期:2019-01-15

修回日期:2019-02-20

资助项目:国家自然科学基金“基于森林空间结构的华北落叶松人工林种子萌发及幼苗成活机制研究”(31500523)

第一作者:曹云生(1985—),男,山东淄博人,博士,研究方向为生态环境工程与植被恢复技术。E-mail:cys888cys888@163.com

通信作者:赵艳玲(1976—),女,河北献县人,博士,教授,主要从事土地复垦与生态重建及 3S 技术应用研究。E-mail:zhaoyl7677@163.com

Keywords: shrub; litter layer; soil layer; water conservation

森林土壤是森林生态系统重要组成成分,土壤不仅能够影响林木的生长,而且能够影响森林生态系统水循环,而枯落物层则能够为森林中的微生物生存的能量来源,还可以截留降水,涵养水源,是森林生态系统中重要的一环^[1-3]。植被恢复作为治理水土流失的重要措施之一,通过增加植被的覆盖度能够有效减少土壤的流失,木兰围场地区水土保持研究以乔木林为主,针对灌木林分水源涵养能力研究相对较少,该地区森林覆盖率虽然很高,但是其境内以三大沙梁为主的地区沙化仍然很严重,这种地区种植乔木难以恢复,非常适合利用灌木进行防沙固土,从而遏制风沙地区进一步扩大,但是,因此探究灌木林分水源涵养能力是非常有必要的,是非常有意义的。

本文选择河北省木兰林管局的 3 种灌木林作为研究林分,并通过测定枯落物层与土壤层的持水指标,从而选择出水源涵养能力最强的灌木林分,以期为木兰围场地区生态环境建设、植被恢复与保护提供一定的科学指导依据^[4-6]。

1 研究区概况

研究区位于冀北山地木兰围场国有林场管理局(41°35′—42°37′N,116°48′—118°20′E),海拔为 750~1 829 m 年降水量为 400~500 mm。该地区土壤类型多以黄棕壤和黑棕壤为主。植被丰富比较丰富,乔

木华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii* Mayr)、云杉(*Picea asperata*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、山杨(*Populus davidiana*)、黑桦(*Betula dahurica*)、白桦(*Betula platyphylla*)、蒙古栎(*Quercus Mongolica*)等,灌木主要有荆条(*Vitex negundo* L. var. *heterophylla*)、三裂绣线菊(*Spiraea trilobata* L.)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、蒙古黄榆(*Ulmus macrocarpa* var. *mongolica*)等。

2016 年木兰围场国有林场管理局孟滦林场内选择了 6 块灌木丛林,大小为 10 m×10 m 的标准大样地,在样地选择时尽可能选择立地条件和密度相近的林分,海拔处于 900 m 左右,并调查基本情况^[7-9],其中盖度采用“对角样线法”来测定盖度,灌木的冠幅在对角线的占有率为其盖度(表 1)。

2 研究方法

2.1 枯落物层持水指标测定

枯落物一般采取现场测量与室内浸泡的方法进行测定,枯落物按照分解程度分为未分解层与半分解层,测量完厚度后要尽快并保持原状将枯落物带回实验室进行称重,采用室内浸泡法测量计算枯落物各项指标^[10-13]。

$$W=(0.85R_m-R_0)M \tag{1}$$

式中: W 为有效拦蓄量(t/hm^2); R_m 为最大持水率(%); R_0 为自然含水率(%); M 为枯落物储量(t/hm^2)。

表 1 标准地概况

灌木种类	土层厚度/cm	地径/mm	盖度/%	坡向	坡度/(°)	均高/m	土壤类型
荆条	32	23	60	半阳坡	31	1.76	棕壤
胡枝子	30	14	35	半阳坡	28	0.97	棕壤
三裂绣线菊	35	13	25	半阳坡	24	1.01	棕壤

2.2 土壤层持水指标测定

利用环刀法对土壤层的性质进行测定,在林分标准地中选取合适进行土壤剖面的挖取,由于选择的灌木林分根系分布主要集中在 0—30 cm,因此将土壤分为 3 层,深度分别为 0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm,采用双环刀的方法分别对土壤容重、土壤孔隙度、持水能力指标进行测定^[14-15]。

土壤持水量公式为

$$W=10000P \cdot h \tag{2}$$

式中: W 为土壤持水量(t/hm^2); P 为土壤孔隙度(%); h 为土壤厚度(m)。

3 结果与分析

3.1 枯落物层水源涵养功能

枯落物层水源涵养功能作为森林水文生态功能

中重要的指标,在改变林分土壤结构、保水固土和防止土壤孔隙堵塞等方面都有很重要影响。

3.1.1 枯落物层蓄积量和持水能力指标 3 种灌木林分枯落物厚度、蓄积量与持水 3 个指标见表 2。

由表 2 可以看出,枯落物层厚度变化范围为 23.5~43.1 mm,最厚的荆条枯落物为最薄的三裂绣线菊的 1.83 倍;枯落物蓄积量范围为 5.37~8.26 t/hm^2 ,其中蓄积量最大的灌木林分为荆条灌木丛,为 8.26 t/hm^2 ,蓄积量最小的灌木林分为三裂绣线菊灌丛,为 5.37 t/hm^2 。

3 种灌木林分枯落物层最大持水量为 10.02~19.38 t/hm^2 ,其中最大持水量最大的灌木林分为荆条,为 19.38 t/hm^2 ,三裂绣线菊最小,为 10.02 t/hm^2 ,大小排序为:荆条(19.38 t/hm^2)>胡枝子

(13.40 t/hm²)>三裂绣线菊(10.02 t/hm²);最大持水率、最大拦蓄率与有效拦蓄率三者大小排序一致,均为:荆条>三裂绣线菊>胡枝子,各因子变化规律不同是因为其影响因素不同并且较多所致,其中最大持水量与最大拦蓄量主要与林分枯落物层蓄积量有较大关系,而枯落物层拦蓄率影响因子有蓄积量

与自然含水率等,因此变化规律有所不同;有效拦蓄量变化范围为 7.53~13.56 t/hm²,其中荆条有效拦蓄量最大,为 13.56 t/hm²,三裂绣线菊最小,为 7.53 t/hm²,荆条为三裂绣线菊的 1.80 倍,大小排序为:荆条(13.56 t/hm²)>胡枝子(9.78 t/hm²)>三裂绣线菊(7.53 t/hm²)。

表 2 枯落物层厚度、蓄积量和持水指标

灌木种类	厚度/mm	蓄积量/(t·hm ⁻²)	自然含水率/%	最大持水量/(t·hm ⁻²)	最大持水率/%	最大拦蓄量/(t·hm ⁻²)	最大拦蓄率/%	有效拦蓄率/%	有效拦蓄量/(t·hm ⁻²)	有效拦蓄深/mm
荆条	43.1	8.26	35.24	19.38	234.62	16.47	199.38	164.19	13.56	1.36
胡枝子	35.1	7.21	22.29	13.40	185.85	11.79	163.56	135.69	9.78	0.98
三裂绣线菊	23.5	5.37	18.37	10.02	186.59	9.03	168.22	140.23	7.53	0.75

3.1.2 枯落物持水过程 枯落物层持水速率大小在一定程度上反映了持水能力,通过对 3 种灌木林分枯

落物持水量、持水速率与浸水时间的关系进行函数拟合,反映了林分枯落物持水的动态变化特征(图 1)。

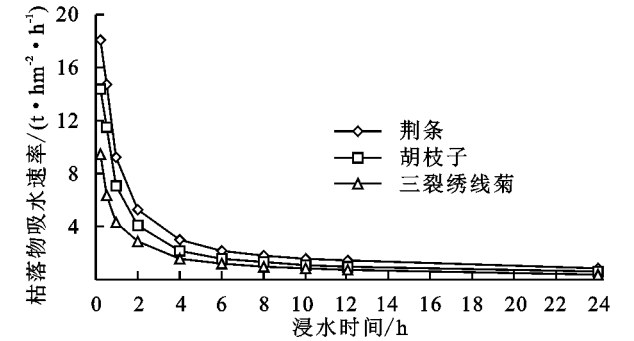
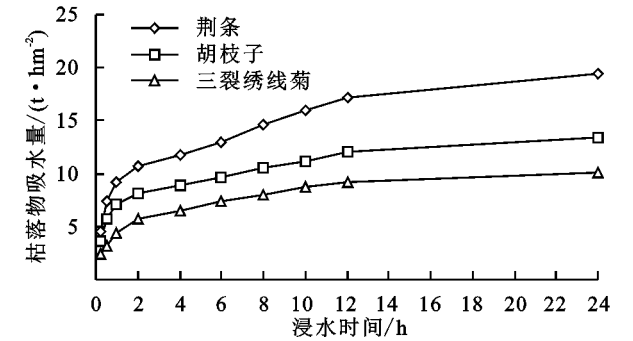


图 1 3 种灌木林分枯落物持水量、持水速率与浸水时间曲线

由图 1 可以看出,荆条枯落物吸水量在同一时间高于其他灌木林分,在 0.25 h 枯落物持水量大小排序为:荆条(4.51t/hm²)>胡枝子(3.59t/hm²)>三裂绣线菊(2.37 t/hm²);在 0.25 h 枯落物持水速率的大小排序为:荆条>胡枝子>三裂绣线菊。枯落物在最开始的持水速率非常高,主要是枯落物在开始阶段比较干燥,表面的水势较低吸水速度较快,随着时间的推移持水量增多和水势差减小,持水速率迅速变小,在 12 h 左右持水量慢慢趋于饱和,枯落物层持水速率也趋于平缓。

关系见表 3。枯落物持水量与浸水时间具有较好对数函数关系,关系式为:

$$Q=a\ln t+b \quad (R^2>0.97) \tag{3}$$

式中:Q 为枯落物持水量(t/hm²);t 为浸水时间;a,b 为待估参数。

持水速率与与浸水具有较好的幂函数关系,关系式为:

$$V=Kt^n \quad (R^2>0.99) \tag{4}$$

式中:V 为吸水速率[t/(hm²·h)];K 为方程系数;n 为指数。

枯落物层持水量、持水速率与浸水时间函数拟合

表 3 3 种灌木林分枯落物持水量、持水速率与浸水时间的拟合关系

灌木种类	持水量与浸水时间回归方程	R ²	持水速率与浸水时间回归方程	R ²
荆条	Q=3.0498ln t+8.746	0.9707	V=8.1184x ^{-0.71}	0.9928
胡枝子	Q=1.995ln t+6.6625	0.9805	V=6.2478x ^{-0.742}	0.9932
三裂绣线菊	Q=1.7407ln t+4.4756	0.9904	V=4.0837x ^{-0.68}	0.9954

3.2 土壤土水源涵养功能

3.2.1 土壤物理性质和持水指标 3 种灌木林分土壤物理性质和持水指标见表 4。

别,土壤容重最大的为胡枝子,最小的荆条,前者是后者的 1.15 倍,大小排序为:胡枝子(1.06 g/cm³)>三裂绣线菊(0.97 g/cm³)>荆条(0.92 g/cm³),土壤容重是衡量其物理结构、松紧度与通透性的指标之一。

由表 4 可知,3 种灌木林分土壤物理性质有一定差

表 4 3 种灌木林分土壤物理性质与持水指标

灌木种类	土层厚度/cm	土壤容重/ (g·cm ⁻³)	非毛管孔隙度/%	毛管孔隙度/%	总毛管孔隙度/%	有效持水量/ (t·hm ⁻²)	毛管持水量/ (t·hm ⁻²)	饱和持水量/ (t·hm ⁻²)
荆条	0—10	0.87	17.34	33.30	50.64	173.43	332.96	506.39
	10—20	0.93	10.23	35.69	45.92	102.32	356.90	459.22
	20—30	0.97	7.94	38.95	46.89	79.41	389.46	468.87
平均		0.92	11.84	35.98	47.82	118.39	359.77	478.16
胡枝子	0—10	0.97	12.36	30.66	43.02	123.64	306.57	430.21
	10—20	1.03	9.89	32.98	42.87	98.92	329.81	428.73
	20—30	1.17	8.30	34.57	42.86	82.96	345.67	428.63
平均		1.06	10.18	32.74	42.92	101.84	327.35	429.19
三裂绣线菊	0—10	0.89	13.89	30.25	44.14	138.91	302.45	441.36
	10—20	0.97	10.46	31.70	42.16	104.64	316.98	421.62
	20—30	1.06	8.98	33.98	42.96	89.76	339.82	429.58
平均		0.97	11.11	31.98	43.09	111.10	319.75	430.85

非毛管孔隙度是土壤有效持水量的重要影响指标,是水分和空气重要传输通道,直接反映出土壤持水能力强弱,与土壤有效持水量变化规律一致,在水分进入土壤后,非毛管孔隙能够贮存一定量的水分,能够起到保水固土的作用,土壤有效持水量最大的为荆条灌木林,最小的为胡枝子灌木林,大小排序为:荆条(118.39 t/hm²)>三裂绣线菊(111.10 t/hm²)>胡枝子(101.84 t/hm²);土壤毛管持水量最大的为荆条,最小的为三裂绣线菊,大小排序为:荆条(359.77 t/hm²)>胡枝子(327.35 t/hm²)>三裂绣线菊(319.75 t/hm²);荆条的饱和持水量是最大的,而胡枝子最小,大小排序为:荆条(478.16 t/hm²)>三裂绣线菊(430.85 t/hm²)>胡枝子(429.19 t/hm²),土壤饱和持水量在一定程度上反映了土壤贮藏水分的潜力。

3.2.2 土壤入渗性能 土壤层通过调节水分来体现其渗透性,土壤的渗透性能越强,则表示其能够拦蓄的地表径流越大,是反映林分土壤层水源涵养功能的重要指标之一。通过对土壤层入渗速率与入渗时间进行函数拟合,两者具有较好的函数关系,曲线见图 2,关系式见表 5。

由图 2、表 5 可知,3 种灌木林分初渗速率有差距,初渗速率最大的为荆条,最小的为胡枝子,前者为后者的 1.20 倍,大小排序为:荆条(22.15 mm/min)>三裂绣线菊(20.17 mm/min)>胡枝子(18.39 mm/min)。土壤刚开始入渗时,其速率较大,随后迅速减小,最后趋于稳定,3 种灌木林分中荆条的稳渗速率最大,最小的为胡枝子,由大到小为:荆条(1.50 mm/min)>三裂绣线菊(1.34 mm/min)>胡枝子(1.21 mm/min)。由林分土壤的初渗速率和稳渗时间能够看出,荆条灌木林分土壤入渗能力最强,而胡枝子灌

木林分最弱,在降雨过程中荆条灌木林分土壤层能够迅速将降水贮藏起来,相反,则会以地表径流的形式流失,并且会侵蚀土壤。

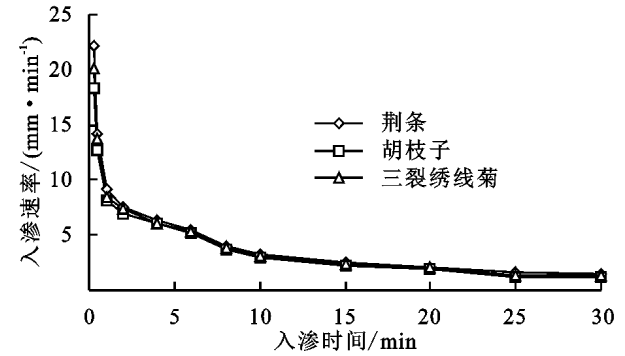


图 2 3 种灌木林分土壤入渗速率与入渗时间拟合曲线

表 5 入渗速率与入渗时间的回归方程

灌木种类	初渗速率/ (mm·min ⁻¹)	稳渗速率/ (mm·min ⁻¹)	稳渗时间/ min	回归方程	R ²
荆条	22.15	1.50	26	$y=10.812x^{-0.538}$	0.9704
胡枝子	18.39	1.21	23	$y=9.676x^{-0.542}$	0.9452
三裂绣线菊	20.17	1.34	25	$y=10.222x^{-0.541}$	0.9572

通过对林分土壤入渗时间和入渗速率的关系进行拟合,具有较好函数关系,表达式为:

$$y=a \cdot x^b \quad (R^2>0.94) \tag{5}$$

式中: y 为入渗速率(mm/min); x 为入渗时间(min); a 为系数; b 为指数。

4 结论

(1) 枯落物蓄积量主要由枯落物输入量与分解量决定,范围为 5.37~8.26 t/hm²,最大持水量变化范围为 10.02~19.38 t/hm²,有效拦蓄量变化范围为 7.53~13.56 t/hm²,三者大小排序一致为:荆条>胡枝子>三裂绣线菊,反映了荆条的持水潜力与真实拦蓄能力均为最强;在 0.25 h 枯落物持水量、持水速率

大小排序一致为:荆条>胡枝子>三裂绣线菊,反映出荆条枯落物吸水量在同一时间高于其他灌木林分,枯落物持水量与浸水时间具有较好的对数关系,表达式为: $Q=a\ln t+b$ ($R^2>0.97$),持水速率与浸水时间具有较好的幂函数关系,表达式为: $V=Kt^n$ ($R^2>0.99$)。

(2) 3 种灌木林分土壤有效持水量、土壤毛管持水量与饱和持水量最大的均为荆条灌木林,反映出土壤层水源涵养能力最强的为荆条灌木林分。

(3) 3 种灌木林分初渗速率大小排序为:荆条>三裂绣线菊>胡枝子,稳渗速率大小排序为:荆条>三裂绣线菊>胡枝子;林分土壤入渗时间和入渗速率有较好的函数关系,表达式为: $y=a \cdot x^b$ ($R^2>0.94$)。

参考文献:

[1] 喻阳华,李光容,皮发剑,等.赤水河上游主要森林类型水源涵养功能评价[J].水土保持学报,2015,29(2):150-156.

[2] 田超,杨新兵,李军,等.冀北山地阴坡枯落物层和土壤层水文效应研究[J].水土保持学报,2011,25(2):97-103.

[3] 杨振奇,秦富仓,李晓琴,等.砭砂岩区主要造林树种枯落物及林下土壤持水特性[J].水土保持学报,2017,31(3):118-122.

[4] 鲁绍伟,陈波,潘青华,等.北京松山 5 种天然纯林枯落物及土壤水文效应研究[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版,2013,34(3):65-70.

[5] 赵雨森,韩春华,张宏光,等.阿什河上游小流域主要林

分类型土壤水文功能研究[J].水土保持学报,2012,26(2):201-208.

[6] 吴强,楚聪颖,张鹏,等.滦河上游 7 种典型林分类型水土保持功能[J].水土保持学报,2015,29(5):41-44.

[7] 赵阳,余新晓,吴海龙,等.华北土石山区典型森林枯落物层和土壤层水文效应[J].水土保持学报,2011,25(6):149-150.

[8] 鲁绍伟,陈波,潘青华,等.北京山地 7 种人工纯林枯落物及土壤水文效应[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版,2013,34(5):53-59.

[9] 陈波,杨新兵,赵心苗,等.冀北山地 6 种天然纯林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持学报,2012,26(2):196-202.

[10] 王先棒,贺康宁,董喆,等.北川河流域典型林型水源涵养能力评价[J].中国水土保持科学,2017,15(5):94-102.

[11] 李晨晖.大青山不同林分类型持水能力的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.

[12] 吴迪,辛学兵,赵明扬,等.北京九龙山不同林分枯落物及土壤水文效应[J].林业科学研究,2014,27(3):417-422.

[13] 陈治成,宋维峰,魏峥,等.元阳梯田水源区优势树种枯落物水文特性[J].水土保持研究,2017,24(1):135-139.

[14] 梁晓娇,王树力.阿什河源头不同类型红松人工林枯落物及其土壤水文特性[J].水土保持学报,2017,31(1):140-145,152.

[15] 张伟,杨新兵,张汝松,等.冀北山地不同林分枯落物及土壤的水源涵养功能评价[J].水土保持通报,2011,31(3):208-212,238.



(上接第 178 页)

[32] 李玮,段利民,刘廷玺,等.1961—2015 年内蒙古高原内陆河东部流域极端降水时空变化特征分析[J].资源科学,2017,39(11):2153-2165.

[33] 李如意,赵景波.毛乌素沙地 1960—2013 年极端气温变化[J].中国沙漠,2016,36(2):483-490.

[34] 李芬,张建新,郝智文,等.山西降水与 ENSO 的相关性研究[J].地理学报,2015,70(3):420-430.

[35] Zhang Q, Wang Y, Singh Vijay P, et al. Impacts of ENSO and ENSO Modoki+A regimes on seasonal precipitation variations and possible underlying causes in the Huai River basin, China[J]. Journal of Hydrology, 2016,533:308-319.

[36] 王家龙.日地系统学中的太阳活动研究(I):日地系统物理学中缓变型太阳活动的研究[J].地球物理学进展,1994,9(3):1-11.

[37] 吴梦初,延军平.太阳活动与 ENSO 事件对云南省旱涝灾害的影响[J].水土保持通报,2014,34(4):280-284.

[38] 王腾,延军平,张涛涛,等.太阳活动与 ENSO 事件对汉江谷地旱涝灾害影响分析[J].干旱区资源与环境,2013,27(7):107-112.

[39] 马露,杨东,钱大文. ENSO 事件对山东省区域降水量及干旱指数的影响[J].中国农业气象,2015,36(6):666-673.

[40] 李晓燕,翟盘茂. ENSO 事件指数与指标研究[J].气象学报,2000,58(1):102-109.

[41] Miao J, Wang T, Wang H, et al. Influence of low-frequency solar forcing on the East Asian winter monsoon based on HadCM3 and observations[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2018,35(9):1205-1215.

[42] 胡邦琦.中国东部陆架海泥质沉积区的物源识别及其环境记录[D].山东青岛:中国海洋大学,2010.

[43] Caesar L, Rahmstorf S, Robinson A, et al. Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation[J]. Nature, 2018,556(7700):191-196.

[44] 朱玉祥.青藏高原冬春积雪对我国夏季降水分布的影响研究[D].南京:南京信息工程大学,2007.