Advance in Forestry Research
Volume 4, 2016, PP.14-22

Dynamic Characteristics of Soil Water Potential in Larch Forest in Growing Season

Yuan Tian [1], Qiuliang Zhang [1†], Te Ba [1], Yanhua Kuang [2]

1. Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia, 010020, China

2. Forestry Bureau of Linxi County, Chifeng, Inner Mongolia, 025250, China

†Email: zqlemail@vip.sina.com

Abstract

Larch (*Larix gmelini Rupr.*) are widely distributed in the Greater Khingan Mountains. Its growth and development are closely related to soil water. By the determination of soil water potential of different depths, I studied the monthly variations and diurnal variations of soil water potential in larch forest. The results of the experiment indicate that the mean value of soil water potential decreased with the increase of depth. The soil water potential of the depth of 20cm and 80cm changes in a large extent, the depth of 40cm and 60cm changes more gently. The 60cm soil water potential values can reflect the soil water potential values in the forest. The soil water potential values are fitted with cubic functions. During the growing season, the soil water potential of the depth of 20cm has downward trend all the time, others show a rapid rise is followed by a gentle downward trend. It is the soil water accumulation period from May to June. In this period, the soil water potential increased with time and decreased with the increase of depths. It is the soil water consumption period from July to October. In this period, the soil water potential decreased with time and increased with the increase of depth. The precipitation and the soil temperature affect the soil water potential. Daily change characteristics of soil water potential of depths from 20cm to 80cm are identical except for the depth of 20cm in May. In July and October, features of the depth of 80cm are different from others. Extreme values of the soil water potential are usually appearing about 7 o 'clock and 9 o 'clock in a day.

Keywords: The Greater Khingan Mountains; Larix gmelini Rupr.; Soil Water Potential; Monthly Variation; Daily Variation

兴安落叶松林生长季土壤水势动态特征*

田原 [1]，张秋良 [1]，巴特 [1]，匡艳华 [2]

1. 内蒙古农业大学，内蒙古 呼和浩特 010020

2. 内蒙古赤峰市林西县林业局，内蒙古 赤峰 025250

摘　要：兴安落叶松在大兴安岭分布广泛，土壤水分变化与其生长、发育关系密切，二者相互影响。通过测定兴安落叶松林不同深度土壤水势，研究兴安落叶松林生长季土壤水势的月、日变化特征。结果表明，土壤水势均值随深度增加而减小。20、80cm 土壤水势变化程度大，40、60cm 变化较为平缓。60cm 土壤水势值较能反应林下土壤水势的大小。各深度土壤水势均采用三次函数拟合较好。生长季土壤水势在 20cm 呈整体下降趋势，40、60、80cm 呈较快上升后平缓下降趋势。5、6 月为土壤聚水期，水势上升迅速，土壤水势随深度增加而下降。7、8、9、10 月为土壤失水期，水势下降平缓，土壤水势随深度增加而上升。土壤水势变化响应降水量、土壤温度的变化。土壤水势日变化特征：除 5 月 20cm 土壤水饱和外，各月 20、40、60cm 日变化特征一致，80cm 在 7、10 月与其它深度特征不同。一天中，土壤水势极值常出现在 7 点左右与 9 点左右。

*项目基金：国家自然科学重大项目子课题（31290221）；内蒙古自治区博士基金（2014BS0318）；内蒙古自治区高等学校科学技术研究项目（NJZY13080）

关键词：大兴安岭；兴安落叶松；土壤水势；月变化；日变化

引言

兴安落叶松(*Larix gmelini Rupr.*)是大兴安岭森林的主要建群树种[1]，特殊的地理环境形成的土壤水分运动规律维系着兴安落叶松林的正常生长发育，其构成的寒温带北方典型针叶林生态系统对当地的水源涵养发挥着重要的作用[2-4]。土壤水是“土壤-植物-大气”系统的一个重要环节[5,6]，影响着土壤养分的运送状况和存在形式，对提高土壤养分利用率、促进林木生长发育、形成良好的森林结构、森林功能的发挥起着重要的作用。植物的生长发育始终处于环境制约中，环境水分变化会影响植物体内水分平衡和水分正常代谢，进而影响其生命活动[7-9]。因此，土壤水分动态特征及其传输机理一直是研究重点。土壤水势是反应土壤水分特征的关键指标之一，国内外学者针对不同环境、不同植被类型的土壤水势特征、规律及其对林木、作物的影响进行研究，并取得了较多成果[10-16]，但涉及高纬度冻土森林分布区的土壤水势动态变化的成果较少，分析高纬度地区不同深度土壤水势动态变化的相关研究更为稀少。本文依托内蒙古大兴安岭森林生态系统国家野外科学观测研究站，利用 2015 年的定位连续观测数据，对落叶松林不同深度土壤水势的动态变化进行研究，探讨兴安落叶松土壤水势特征规律，为进一步研究土壤水与兴安落叶松生长发育的机理奠定基础，为深入探讨森林生态系统的水分运移规律提供理论支持。

1 材料与方法

研究区位于内蒙古自治区根河地区潮查林场内的大兴安岭森林生态系统国家野外科学观测研究站（50°49′~50°51′N,121°30′~121°31′E）。该站属于寒温带湿润气候区，年均大气温度为-5.4℃，年均降雨量 450~550mm，主要集中在 7、8、9 月，全年地表蒸发量 800~1200mm。森林植被主要为兴安落叶松，伴生白桦、山杨等，林下常见植物有杜香、杜鹃、红花鹿蹄草、越橘等。成土母质为花岗岩、砂质片岩和玄武岩风化后形成的残积物和坡积物，地带性土壤为棕色针叶林土，土壤 pH 值 5.2~6.5，腐殖质含量 3.3%~10.3%。

1.1 数据采集

土壤水势实验数据采用德国 Ecomatik 公司提供的 EQ15 平衡式土壤水势测量仪测定。仪器测定水势为基质势，测定范围为 0~-1500kPa，误差小于 5kPa。仪器布设在兴安落叶松原始林内，在覆盖兴安落叶松根系所处的 0~80cm 的土壤范围内，分别在 20、40、60、80cm 深度安装了探头进行水势连续测定，每半小时记录一次。测定时间为 2015 年 5~10 月。

1.2 数据统计与处理

将观测的原始数据进行统计分析。

对不同深度土壤水势进行差异显著性多重比较，计算各深度的变异系数：

$C.V = (SD \div MN) * 100\%$

式中：*C.V* 为变异系数；*SD* 为标准差；*MN* 为平均数。

将生长季（5~10 月）各深度的土壤水势观测值分别作线性、倒数、二次、三次函数拟合，研究生长季不同深度土壤水势月变化特征。对生长季每个月的土壤水势观测值进行平均数处理，得到不同月份不同深度每半小时的水势均值，分析日变化特征。

采用大兴安岭生态站气象观测塔测定相关气象数据。

采用 SPSS 13.0 进行数据处理，进行不同深度土壤水势值的显著性比较；日变化均值显著性比较；不同深度土壤水势随时间变化拟合方程，并进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 生长季不同深度土壤水势规律

兴安落叶松生长季土壤水势值（表 1）。土壤水势值越接近 0 表示土壤越湿润，土壤水越接近饱和。经统计检验可知，整个生长季各深度均值进行比较，深度 80cm 土壤最为干旱，其次为 40cm 土壤，然后是 60cm 土壤，20cm 土壤最为湿润，80cm 土壤水势值是 20cm 的 2.04 倍。各深度两两比较，均差异显著（$P \leqslant 0.05$）。60cm 土壤水势值更接近 4 个深度水势值的平均值。从极小值和极大值方面看，深度为 60cm 处的差异最小，为 21.67 倍，4 个深度极值差与 4 个深度水势值平均值极值差均接近，从小到大顺序为 60、20、40、80cm。

深度 20、80cm 土壤水势值相对变异（C.V）较大，整个时期土壤水势值离散程度大，数据变化明显。40、60cm 土壤水势值相对变异较小，整个时期土壤水势值离散程度小，变化平缓。

表 1 土壤水势的统计描述及差异显著性检验

	土壤水势值 Soil_WP(kPa)				
深度	极小值	极大值	均值	标准差	变异系数
Depth	Min	Max	MN	SD	C.V(%)
20cm	-57.942	0	-9.886a	11.207	-113.4
40cm	-58.5	0	-16.157b	14.229	-88.1
60cm	-53.12	-2.451	-18.277c	15.194	-83.1
80cm	-61.97	-0.819	-20.184d	21.872	-108.4
均值 MN	-57.883	-0.818	-16.126	15.626	-96.9

注：同列均值后具有相同字母差异不显著($P \geqslant 0.05$)

2.2 兴安落叶松林生长季土壤水势月变化特征

兴安落叶松生长季不同深度土壤水势均呈连续分布（图 1）。从整个生长季来看，土壤水势随着降水量、土壤温度变化而变化。20cm 深的土壤水势整体呈下降趋势，土壤越来越干旱，40、60、80cm 呈较快上升后平缓下降趋势，土壤水势随着土壤深度的增加，变化幅度越来越小。由于降水与积雪融化逐层渗入土壤的原因，40、60、80cm 深的土壤水势具有随时间的推移依次上升的规律，随后同时平缓下降趋势是由于土壤温度下降，降水量减小的原因。

不同深度间进行比较，5 月初 4 个深度土壤水势呈浅层湿润深层干旱的状态。由于特殊的地理环境，5 月初地表覆盖着积雪，随着积雪的融化、降水量增大，土壤温度的上升，5、6 月期间各层土壤水势值迅速上升，变化幅度深层土壤大于浅层土壤，大约在 7 月初各层土壤水势值基本一致，处于同一水平。该时期各层土壤水势值相差较大，随着深度增加水势下降，土层越深越干旱。7、8、9、10 月，各层土壤水势均呈下降趋势，变化幅度浅层土壤大于深层土壤。该时期各层土壤水势值相差较小，随着深度增加土壤水势上升，土层越深越湿润。

不同时期，土壤水势具有不同变化特征。5 月各层土壤温度均呈上升趋势，地表积雪逐渐融化渗入土壤，再加上月初伴有较多的降水，这就使得 20cm 土壤水趋于饱和，40、60、80cm 土壤水势呈现迅速上升的趋势。6 月土壤温度整体继续上升，雨季的到来使得 20cm 土壤水饱和，40、60cm 土壤水趋于饱和，80cm 土壤水势有大幅度上涨趋势。6 月中旬过后，随着降雨量的减少，浅层土壤水势开始缓慢下降，深层土壤由于土壤水势具有随土壤深度加深变化响应性慢的原因，仍在继续上升。7 月上旬具有较少的降水量，气温较为平稳，各层土壤水势均呈下降趋势，其中 20cm 土壤水势下降明显。7 月中旬降水量较大，土壤水势呈上升

趋势，随后随降水量减少而缓慢下降。8 月降水量较少，各层土壤温度呈小幅上升，20、60、80cm 土壤水势较为平稳，40cm 土壤水势变化趋势与土壤温度变化吻合程度较高，温度上升，土壤水势也有所上升。9、10 月降水量较少，土壤温度骤减，浅层土壤温度下降幅度大于深层土壤，同期的土壤水势变化幅度也同样为浅层土壤水势下降幅度大于深层土壤。

由此可以看出，土壤水势月变化响应着降水量和土壤温度的变化。随着降水量的增加土壤水势迅速上升，浅层土壤水势变化幅度大于深层土壤，随着降水量的减少土壤水势缓慢下降，下降幅度浅层土壤大于深层。土壤温度响应土壤水势，土壤温度上升，土壤水势上升，土壤温度下降，土壤水势下降。

土壤水势均值数据与时间变化采用线性、对数、倒数等函数进行回归分析（表 2），可以看出不同深度判定系数 R^2 最高均为三次函数，拟合程度较好，反应了土壤水势在不同深度变化规律基本一致，均呈三次函数变化，各深度土壤水势均达到了极显著水平（表 3）。

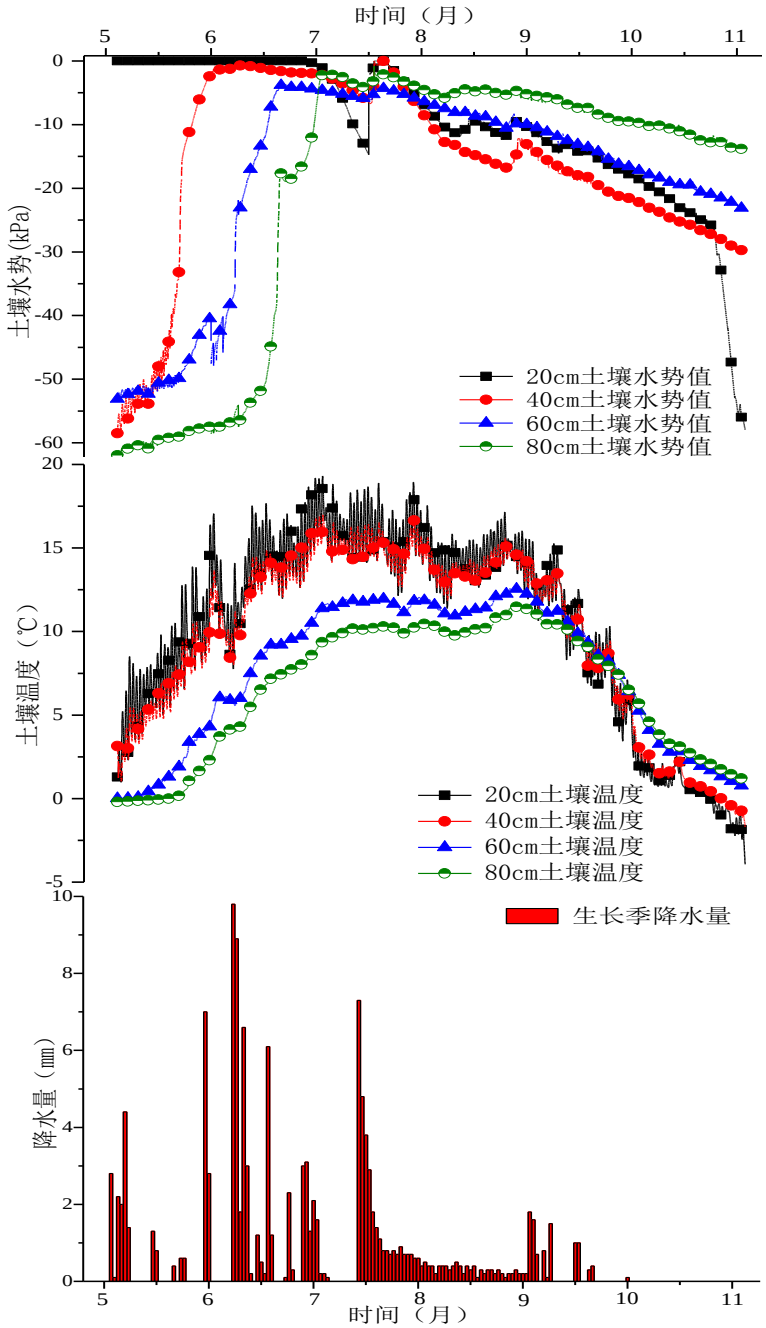


图 1 不同深度土壤水势、土壤温度、降水量月变化

表 2 土壤水势拟合不同函数的判定系数 R^2 值

深度 Depth	判定系数 R^2 线性函数 Linear function	对数函数 Logarithmic function	倒数函数 Reciprocal function	二次函数 Quadratic function	三次函数 Cubic function
20cm	0.743	0.407	0.004	0.858	0.884
40cm	0.006	0.12	0.025	0.529	0.819
60cm	0.198	0.488	0.02	0.811	0.89
80cm	0.51	0.649	0.015	0.857	0.86
均值 MN	0.71	0.359	0.022	0.873	0.939

表 3 不同深度土壤水势随时间变化拟合方程及显著性检验

深度 Depth	方程 Equation	R^2	P
20cm	y = -1.507x10^-10x3 + 1.25x10^-6x2 - 0.005x + 3.096	0.884	＜ 0.01
40cm	y = 6.4x10^-10x3 - 1.012x10^-5x2 + 0.044x - 57.536	0.819	＜ 0.01
60cm	y = 3.551x10^-10x3 - 6.74x10^-6x2 + 0.037x - 67.874	0.89	＜ 0.01
80cm	y = 9.273x10^-11x3 - 3.537x10^-6x2 + 0.031x - 79.005	0.86	＜ 0.01
均值 MN	y = 2.343x10^-10x3 - 4.786x10^-6x2 + 0.027x - 50.33	0.939	＜ 0.01

2.3 兴安落叶松林生长季土壤水势日变化特征

经统计分析一天中的 48 个时段土壤水势均值的变化（表 4），深度为 20、40、60、80cm 的日变化均值中的极小值分别是极大值的 1.0323、1.0224、1.009、1.0146 倍，差异较为不明显。各深度均达到了极显著水平（P＜0.01）。

土壤水势日变化特征见图 2。除了 5 月 20cm 深度的土壤水饱和，全月水势无变化以外，各月 20、40、60cm 日变化较为一致。80cm 深度在 7、10 月与其它深度不同。这是由于 80cm 在大兴安岭较为接近冻土冰层，7 月份土温较高，冰层融化，使一天中水势值有随时间整体上升的趋势；10 月份气温较低，20、40、60cm 受到气象因子影响严重，而 80cm 由于深度较深主要受冻土冰层影响，所以没有相同变化趋势。6 月受大量降水的影响，20、40cm 日变化土壤水势值变化幅度较大，40cm 变化较 20cm 有一定延时。除了 5 月 20cm 土壤水势饱和外，20、40cm 土壤水势和空气相对湿度呈现相反变化趋势，在空气相对湿度呈下降趋势时土壤水势大体呈现上升趋势，空气相对湿度上升时，土壤水势下降。60、80cm 各月土壤水势日变化，6 月 60cm、6 月 80cm、7 月 80cm、8 月 60cm、10 月 80cm 的土壤水势和空气相对湿度没有较明显关系，其它土壤水势和空气相对湿度相关关系和 20、40cm 一致，呈现相反变化趋势。

各深度土壤水势日变化均在 7~9 点期间有较为明显的变化。7~9 点期间，5、6 月的 40、60、80cm 各层土壤水势均呈下降趋势，6 月的 20cm 呈上升趋势；7 月 20、40、60cm 均呈上升趋势，80cm 呈下降趋势；8、9、10 月各层均呈上升趋势。造成 6 月的 20cm 在 7~9 点间呈上升趋势的原因是大兴安岭林区露水消退引起的，该时段露水补充了 20cm 处土壤水，使土壤变湿润，9 点后，露水消退殆尽，不再对土壤水进行补给，土壤水势逐渐下降。各月 7~9 点外的时间，除了 5 月 20cm 土壤水饱和，7、10 月 80cm 土壤水受季节性冻土影响以外，6、7 月呈线性趋势，极值点出现在 7 点左右、9 点左右；5、8、9、10 月土壤水势日变化呈抛物线趋势，抛物线顶点有随月份推移由下午向上午变化的趋势，其中，5 月顶点在 18 点左右，8 月在 16 点左右，9、10 月在 12 点左右。

表 4 土壤水势日变化均值的统计描述及差异显著性检验

深度 Depth	土壤水势值 Soil_WP(kPa) 极小值 Min	极大值 Max	均值 MN	标准差 SD
20cm	-10.078	-9.763	-9.886a	0.097
40cm	-16.4	-16.04	-16.157b	0.098
60cm	-18.396	-18.227	-18.277c	0.039
80cm	-20.392	-20.098	-20.184d	0.089

注：同列均值后具有相同字母差异不显著($P \geqslant 0.05$)

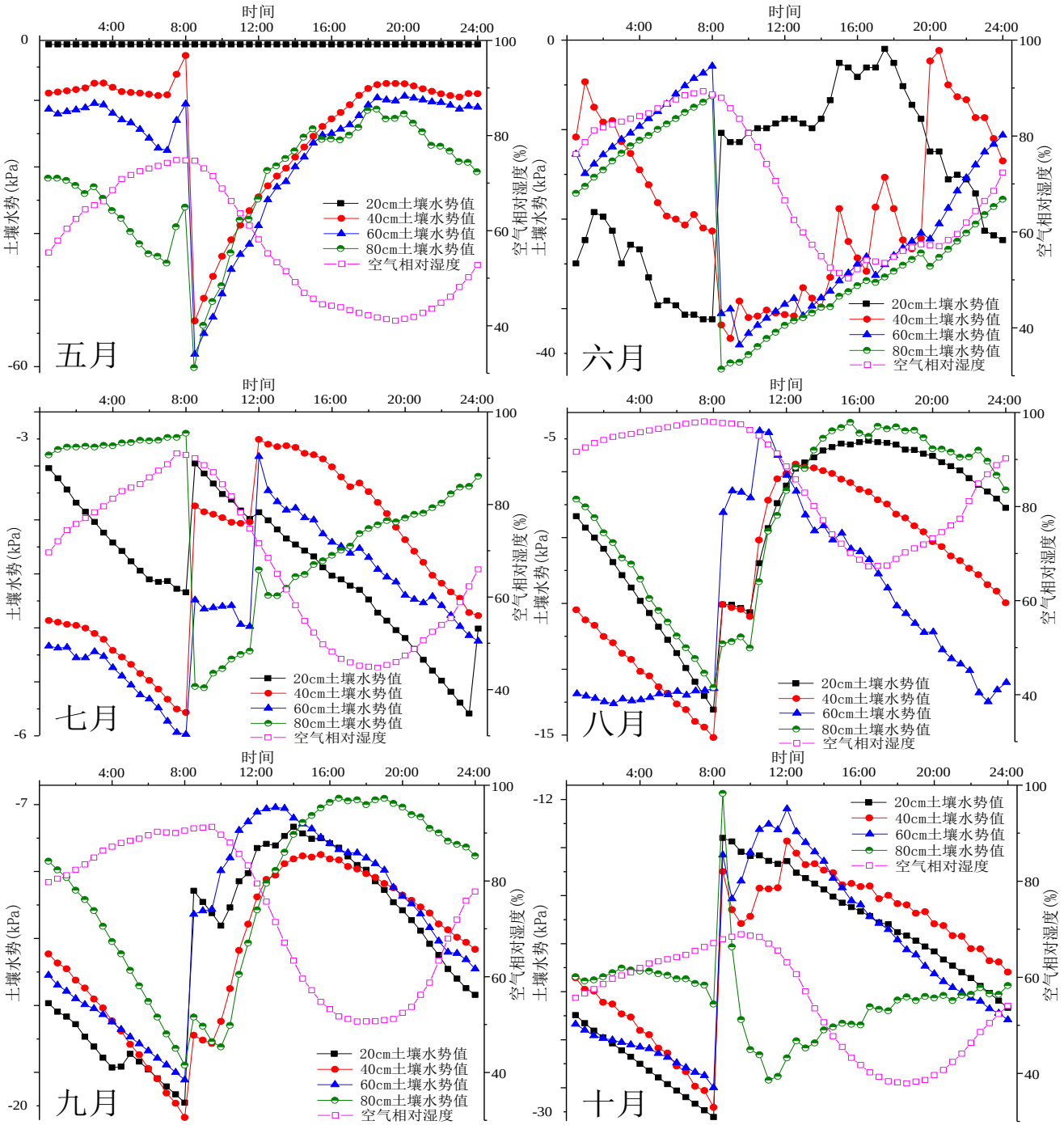


图 2 不同深度土壤水势及空气相对湿度日变化

3 结论与讨论

土壤水分变化响应降水、土温等气象因子和土层深度、土地利用方式等环境因子[17]。不同深度土壤水的变异系数不同：20cm 属于土壤水分速变层、40、60、80cm 属于土壤水分活跃层[18]。大兴安岭地区除了20cm 属于土壤水分速变层，80cm 土壤水势变异系数较大，也属于土壤水分速变层，该现象是由于季节性冻土的影响，深层土壤水势的变化响应了土温的变化。

整个兴安落叶松生长季，5、6 月为土壤聚水期，7~10 月为土壤失水期。与尤鑫等在大兴安岭采用土壤含水量的方法测得的土壤聚水期、失水期基本一致[19]。不同地区土壤聚水期、失水期各不相同[10,18,20,21]，大兴安岭地区土壤聚水期相比其它地区有所提前，失水期有所推后。造成这种现象的原因是由于大兴安岭地区纬度高、气温低，5 月积雪在开始融化，成为土壤水的主要来源，加之降水较多，土壤温度上升，这也就造成了聚水期水势上升迅速。6 月土壤温度继续升高，积雪已经融化，但降水较多，浅层土壤水接近饱和，平缓变化，由于土壤水势有随深度增加具有滞后性，深层土壤水势仍在迅速上升。7 月开始，土壤水的补充主要依靠降水，降水对土壤水分状况及动态变化有较大的影响[22]，当有降水时，浅层土壤水势最先上升、深层滞后但仍随之变化，这造成了土壤水在失水期有随降水出现而向上波动的现象，但是大兴安岭地区林内降水并不足以使得土壤水饱和，土壤水势大趋势上随着土壤温度的下降而缓慢下降。聚水期期间各层土壤水势值相差较大，随着深度的增加，土壤水势下降，土层越深越干旱。失水期各层土壤水势值相差较小，随着深度增加水势上升，土层越深越湿润。聚水期水势随深度变化特征和其他地区土壤水分垂直变化的一般特征“降低型”相一致[20]，浅层的土壤水势变化直观响应着降水量，浅层土壤水势值随降水变化响应性较好，变化明显，随着土壤深度的增加，土壤水势随降水的变化具有滞后性，变化较为缓和。失水期则相反，导致这种现象产生的原因是实验地区降水不足以主导土壤水势的趋势，大兴安岭地处高纬度地区，深层土壤水势响应着特殊的环境所形成的季节性冻土融化[23]、土壤温度的变化。

不同土地利用方式的土壤水分随土层加深也呈现出不同的变化趋势[24]。不同深度的土壤水势与植物耗水量的相关程度不同，兴安落叶松属于浅根植物[25]，其根长随土层深度加深呈减少趋势，20cm 土层多为水平根，40cm 土层斜生根较多，60cm 土层中只含有少数下垂根和主根[26]，供给其生长、发育的土壤水分来自于浅层土壤，深层土壤水分不直接供给兴安落叶松根吸水，这就可能造成兴安落叶松在土壤失水期缺水。本文只针对了兴安落叶松原始林下土壤水分水平及土壤水势响应的相关气象因子进行研究，没有分析土壤水势对兴安落叶松生长的影响，有待进一步进行相关研究，为高纬度土壤水分动态变化研究提供更全面、更系统的理论。

REFERENCES

[1] Haiqing Hu, Bizhen Luo,Shujing Wei,et al.Estimating Bilolgical Carbon Storage of Five Typical Forest Types in the Daxing`anling Mountains[J].Acta Ecologica Sinica,2015,**35**(17):5745-5760.

[2] Hongliang Xu,Xiuling Man,Houcai Sheng.Water Conservation Function of Different Types of Larix Gmelini Forests in Da Hinggan Mountains[J].Research of Soil and Water Conservation,2011,**04**:92-96.

[3] Hongliang Xu,Xiuling Man,Houcai Sheng.Comprehensive Evaluation on Water Conservation Function of the Different Types of Larch Natural Forests in Da Hinggan Mountains[J].Chinese Agricultural Science Bulletin,2013,**19**:74-78.

[4] Qiuliang Zhang,Liming Wang.Study of Forest Ecosystem in Greater Khingan Range of Inner Mongolia[M].Beijing:China Forestry Publishing House,2014.

[5] Yuting Yang,Songhao Shang,Huade Guan.Development of a Soil-plant-atmosphere Continuum Model (HDS-SPAC) Based on Hybrid Dual-source Approach and Its Verification in Wheat Field[J].Science China(Technological Sciences),2012,**10**:2671-2685.

[6] Wenkai Sou,Feilong Hu,Alamusa,et al. Methods for Studying Water Cycle and Water Sources in Arid Regions Based on SPAC System[J].Chinese Journal of Ecology,2013,**32**(8):2194－2202.

[7] Zhihua Shi,Huade Zhu,Jia Chen,et al.Spatial Heterogeneity of Soil Moisture and Its Relationships with Environmental Factors at Small Catchment Level[J].Chinese Journal of Applied Ecology,2012,**23**(4):889-895.

[8] Zhou,Zhiqiang Zhang,Ge Sun,et al.Environmental Controls on Water Use Efficiency of a Poplarplantation under Different Soil Water Conditions[J].Acta Ecologica Sinica,2013,**33**(5):1465-1474.

[9] Yuyan An,Zongsuo Liang.Staged Strategy of Plants in Response to Drought Stress[J].Chinese Journal of Applied Ecology,2012,**23**(10):2907-2915.

[10] Peng Wang,Xianfang Song,Shibin Hou.A Stedy of Representative Vegetation Effects on Soil Water Potential in Taihang Mountainous Region[J].Journal of Natural Resources,Aug.2009,**08**:1467-1476.

[11] Zesu Yang,Qiang Zhang,Hong Zhao.Responses of Potato Leaf and Soil Water Potential to Furrow-ridge and Film-mulching Treatments in the Rain-fed Region of Loess Plateau[J].Journal of Desert Research,2014,**34**(4):1055-1063.

[12] Minghui Dong,Yulin Xie,Xiaobin Liu.Effect of Soil Water Potential on Grain Quality at Different Spike Positions During Grain Filling in Rice[J].Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011,**19**(2):305-311.

[13] Lixin Han,Youke Wang,Linlin Zhang.Response of Pear Jujube Trees on Fruit Development Period to Different Soil Water Potential Levels[J].Acta Ecologica Sinica,2012,**32**(7):2004-2011.

[14] Dongmei Ye,Jiaqi Qin,Shengli Han,et al.Studies on the Soil Water Dynamic and the Characteristics of Soil Water Potential in the Drifting Sand Dunes inWulanbuhe Desert[J].Journal of Arid Land Resources and Environment,2005,**03**:126-130.

[15] Wei Meng,Hongsong Chen,Kelin Wang,et al.Dynamic Change of Soil Water Potential in Oiltea Camellia Wood and Its Natural Rehabilitation Land on Hillslope in Red Soil Region[J].Journal of Soil and Water Conservation,2007,**05**:90-95+132.

[16] Benye Xi,Ye Wang,Nan Di,et al.Effects of Soil Water Potential on the Growth and Physiological Characteristics of Populustomentosa Pulpwood Plantation under Subsurface Drip Irrigation[J].Acta Ecologica Sinica,2012,**32**(17):5318-5329.

[17] Xiangyun Han,Yuanshu Jing,Gen Li.Relationships between Soil Moisture Variability and Meteorological Factors on Low Hill Red Soil Slope:a Redundancy Analysis[J].Chinese Journal of Ecology,2013,**09**:2368-2374.

[18] Jinjun Cai,Yuanrun Zhang,Zhanbing Pan,et al.The Characteristics of Spatiotemporal Variability of Soil Water of Alfalfa Fields in Hilly and Gully Loess Regions of Ningxia[J].Research of Soil and Water Conservation,2016,**01**:75-79+85.

[19] Xin You.The Study on Soil Water Dynamic Rule of the Herbage Larch Forest in the Great Xingan Mountains during the Thawing Period[D].Huhhot:Inner Mongolia Agricultural University,2006.

[20] Zhigang Bao,Xiaoyan Chen,Youliang Tian,et al.Different Vegetation`s Soil Water Dynamics in Daqing Mountains[J].Journal of Inner Mongolia Agricultural University(Natural Science Edition),2009,**01**:124-126.

[21] Yifang Chang,Huaxing Bi,Lubo Gao,et al.Dynamic Changes of Soil Moisture in Robinia Pseudoacacia and Pinus Tabuliformis Forestlands in Loess Region of Western Shanxi Province[J].Science of Soil and Water Conservation,2014,**04**:21-27.

[22] Yanli Wang,Lichao Liu,Yanhong Gao,et al.Dynamic and Spatial Distribution of Soil Moisture in an Artificially Re-vegetated Desert Area[J].Journal of Desert Research,2015,**04**:942-950.

[23] Qiang Fu,Renjie Hou,Tianxiao Li.Research on Soil Moisture and Heat Transfer and Action Mechanism of Freezing and Thawing Soil[J].Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2016,**10**:1-13.

[24] Zilong Su,Guanghui Zhang,Yan Yu.Soil Moisture Characteristic of Different Land Use Types in the Typical Black Soil Region of Northeast China[J].Scientia Geographica Sinica,2013,**09**:1104-1110.

[25] Pengwu Zhao,Long Hai,Cailing Song,et al.Study of Fallen Woods in Larix Gmelini Virgin Forest of Daxinganling Mountain[J].Journal of Arid Land Resources and Environment,2010,**03**:173-177.

[26] Yaya Lv.Study on the Root System Structure and the Soil Mechanics Mechanism of Larix Gmelinii[D].Huhhot:Inner Mongolia Agricultural University,2014.

【作者简介】



[1] 田原（1990-），男，汉族，硕士研究生，专业研究方向为森林可持续经营与管理，内蒙古农业大学林学院，010020。
Email:151494268@qq.com.

[2] 张秋良（1960-），男，汉族，博士生导师，教授，主要从事森林经营管理、森林生态、森林保护等方面的教学与研究工作。内蒙古农业大学林学院，010020。
Email: zqlemail@vip.sina.com.

[3] 巴特（1992-），男，蒙族，硕士研究生，专业研究方向为森林可持续经营与管理，内蒙古农业大学林学院，010020。
Email:305226763@qq.com.

[4] 匡艳华（1987-），女，汉族，硕士研究生，专业研究方向为森林可持续经营与管理。
Email:kuang_yanhua@126.com.