

不同坡地土壤水分分布变化之研究

张俊斌¹, 黄雍杰², 梁大庆¹

(1. 台湾中州技术学院, 台湾 彰化; 2 台湾中兴大学, 台中 402)

摘要:以台湾溪头地区台湾杉、柳杉及崩塌地三种不同森林立地状况进行探讨其土壤性质变化, 利用因子分析及地理统计方法加以讨论不同林相之土壤性质影响因子及因子间相互影响关系, 并对于各项因子的影响变化趋势进行说明。结果显示森林地的枯枝落叶层为厚, 使其土壤结构较松散, 并会增加表层土壤水分保持及有机质含量, 再者森林及林下植物相较于草类根系的生长及分布情况, 对于不同土壤深度之大小孔隙的比率及水分入渗速率具有明显的差异。且土壤水分移动会因地上植物及地面枯枝落叶层厚度的不同, 造成土中物质与能量传递的不同, 此结果将影响不同林相下土壤性质之时空变异。

关键词:坡地; 因子分析; 土壤性质

中图分类号: S714. 2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)01-0301-04

Study on the Distributions Change of Soil and Water Properties under Different Slope Land

ZHANG Jun-bin¹, HUANG Yong-Jie², LIANG Da-qing¹

(1. Chung-Chou University of Technology, Zhanghua, Taiwan, China;

2. Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, China)

Abstract: The objective of this research is to investigate the growth situation of taiwanfir area, cryptomeria area and exposed area. Factor analysis and geostatistics methods are used to study the factors influencing different forest aspect and the impacts between factors. Furthermore, the variation curve of each factor will be described. Due to the forest litter layer is thicker than the grassland, its soil structure is looser and has higher water and organic matter content in the solum. In addition, the rhizomat growth of forest community vertical structure has obvious differences on the herbosa in the pore size distribution and the infiltration rate. Plant species and the residual deposit thickness will affect the soil water movement, which then will affect the soil material and energy transport. These results will cause the soil properties temporal-spatial variations.

Key words: slope land; factor analysis; soil properties

1 前言

台湾自然立地条件具地质脆弱、地势陡峻、地形起伏等特性, 加上其位处亚热带多雨区域, 且土壤为多相、异质、分散及多孔性之系统, 依其母岩性质、所在地之气候、成土时间、动(植)物生长及分布等各项因素之影响, 形成不同类别与特性之土壤。土壤为水分及养分重要的储存地方, 土壤水分对于土壤、大气、植物三方面的物质运输与能量交换有着重要的影响, 土壤有机质含量会造成不同的土壤结构而影响水分入渗、林地的蒸散及流域的产流。本文就溪头地区台湾杉、柳杉及崩塌地三种不同植生状况, 根据现地进行大面积的资料搜集及室内试验结果, 分析各种不同环境因子其中包括: 日射、雨量、蒸发量、气温、湿度、土壤水分含量、土壤有机质含量、土壤温度、孔隙率及砂粒含量等, 对于不同林相之气候条件及土壤物理化学性质之影响, 并利用因子分析及地理统计方法加以讨论其时空变化, 找出不同林相之土壤性质影响因子及因子间相互影响关系。

2 前人相关研究

根据对于影响土壤性质的各项因素, 进行文献研究以期能在土壤理化性质的变化、地理统计的应用、不同林相的变化影响三方面能有所了解。在土壤理化性质特性分布与变化方面有学者提出森林植物对于土壤的影响主要在于改善土壤结构和孔隙状况两方面, 而不同植被状况的差异可以导致土壤水分有一定程度的变化^[1], 因植物根系的不断更新给土壤补充丰富的有机质, 同时根系腐烂所形成的孔洞有利于提高土壤通透性和涵蓄能力, 且不同植被类型下, 由于森林对土壤的改良作用, 表层土壤的物理特性显著优于下层土壤。土壤中的能量变化大多会表现在土壤温度上, 由于土壤深度会影响热量传导的速度与距离。年平均土温与年平均气温有极密切之相关但此项关系可受降雨之量与分布、降雪量、受植被与森林之 O 层的保护作用, 坡向、坡度、灌溉及其它因子如土色、质地、有机物之微弱影响等综合影响^[2]。国外学者提出湿热的变化取决于土壤中黏土含量与种类、地表状况、有机质含量、

* 收稿日期: 2006-08-16

修正日期: 2006-09-26

接受日期: 2006-10-30

基金项目: 台湾“科学委员会”基金项目(NSC95-2313-B-235-002)

作者简介: 张俊斌(1968-), 博士, 研发长, 主要从事地理信息系统、景观生态与水土资源保育之设计与研究; 通讯作者: 梁大庆。

盐化程度、阳离子含量及水分含量^[3]。在地理统计在土壤方面之应用方面有以台湾东势、国姓乡区块为例,探讨土壤质地与 K 值(土壤冲蚀指数)之相关性^[4];亦有广泛应用地理统计于生态、森林植物群落及土壤元素含量等方面^[5]。在不同林相对于土壤性质影响方面;不同林相及其下之植生覆盖是影响土壤性质差异的主因之一,不同林相、地形、地势、位置的土壤,对于土壤性质及养分分布会造成影响。夏禹九等研究柳杉人工林、灌木、茶园及琉球松人工林等不同植被下的土壤养分,受到土壤因素、土地利用、地被植物的生长势及根系的吸收能力而定^[6]。王效举指出草本植被对于提高有机质有重要的影响^[7]。李家永等研究林地之有机质多储存在生物,林地系统之有机碳多储存在植物体,其它土地利用之有机碳则主要存于土壤中^[8]。马海艳等分析不同土壤特性及植物根系发育造成同一土壤剖面不同深度,在降水前后变化的程度有所差异^[9]。钱亦兵等指出不同土地利用或植被条件下土壤组成对于土壤水分、养分、盐分及 pH 具有空间异质性^[10]。石培礼等对于人工林与灌丛草原的有机碳垂直分布状况研究,在 0~ 20 cm 时土壤中累积有机碳占了土壤剖面的 41.90% 及 47.47%,表示此土地利用类型有机碳主要累积在浅层土壤中^[11]。

3 材料与方 法

试验区位于台湾南投县鹿谷乡溪头营林区内,根据“中央地质调查所”之地质资料显示,本地区之地质属南庄层及三峡群相当地层,以砂岩及页岩为主。而土壤多属砂质壤土,陡峭地区之土壤深度较浅,缓斜地区则土层深厚且存有腐殖质。根据台湾“中央气象局”凤凰气象站资料,溪头地区气候条件,年均温为 16.6℃,平均气温以 1、2 月为最低,7、8 月为最高。雨量尚称丰沛,平均年雨量在 2 000 mm 以上,可依全年降雨之情形,划分为干季与湿季,自 10 月至翌年 4 月为干季,其余月份为湿季。年平均相对湿度在 80% 以上,夏季之湿度会上升 2% ~ 4%。试验区主要分为台湾杉区、柳杉区、崩塌区三区,而台湾杉及柳杉区的植生状况为 30 年之人工纯林,林下植生多为蕨类植物,根系匍匐横向生长,有栗蕨、方杆蕨、肾蕨及稀子蕨等。崩塌区为“7·2”水灾后所形成之崩塌坡面,植生为自然入侵的五节芒。试验区长约 100 m、宽约 150 m,坡面北偏东 20°,全区覆盖面积超过 70%。本研究之实验流程如图所示,详细的实验方法与步骤分述如下。

在试验区内于不同深度埋设土壤水分及土壤温度感应器,使用数据记录器纪录所测定之数值,以便长期观测不同地点不同深度之土壤含水量及土壤温度,并利用时域终端反射测定仪(Time Domain Reflectometer)随机采样施测土体 30 cm 处之土壤含水量,以求得其空间分布情形。

4 结果与讨论

4.1 试验区土壤物理性质

于 2005 年 9 月调查试验区之土壤物理性质,如表所示。在土壤质地上的变化以及土壤物理性质特性会直接影响到土壤中的水分传输及调节机制,孔隙为储存水分与空气的位置,质地表示土壤中大小土粒之分布。由于土壤中砂粒形状并非完全圆球形,大小亦有差别,排列并不十分紧密,所以当上层土壤之粉粒和黏粒洗入聚积,填塞于下层之孔隙中,使下层土壤之孔隙量减少、自然比重增加。再者土壤表层亦有枯枝落叶层覆盖,当其与植物根部死亡腐败后产生之残株生成有机胶体,能作为土壤胶结剂之一,促进土壤产生安定性团粒,增

加表层土壤水分之保持及有机质含量的增加,降低土壤总体密度,有助于土壤团粒生成,此一结果和前人研究相同。

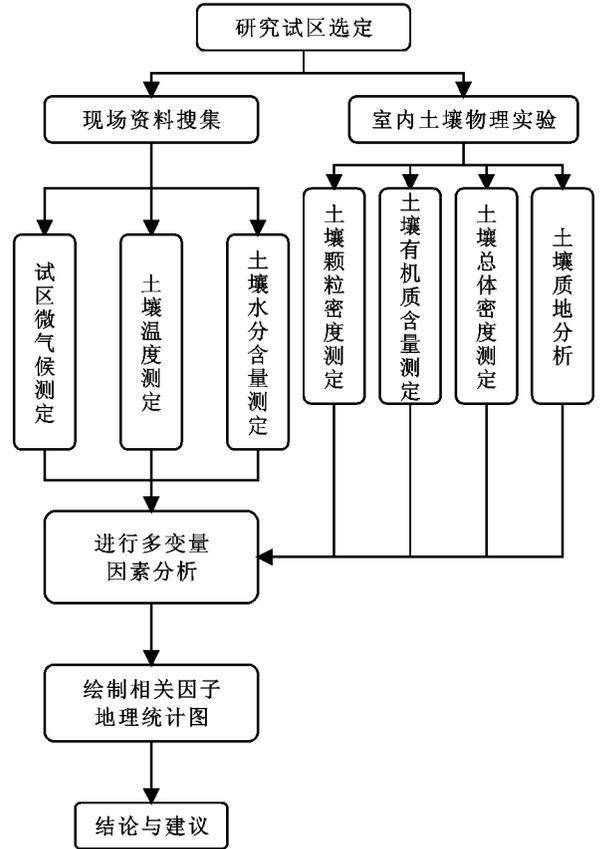


图 1 研究流程图

表 1 试验区之土壤物理性质

调查样区	土层深度/cm	砂粒含量/%	粉粒含量/%	总体密度/(g·cm ⁻³)	颗粒密度/(g·cm ⁻³)	孔隙率/%
崩积土	0~ 30	68.53	15.67	1.63	2.67	38.95
	0~ 30	80.73	15.68	0.82	2.35	65.32
台湾杉	30~ 60	68.71	30.25	1.22	2.41	49.25
	0~ 30	76.23	15.14	0.71	2.37	70.04
柳杉	30~ 60	54.03	30.31	0.94	2.45	61.63

调查样区	土层深度/cm	有机质/%	坡度/°	坡向	土壤质地
崩积土	0~ 30	0.88	50	N20°E	砂质黏壤土
	0~ 30	7.44	5	N20°E	壤质砂土
台湾杉	30~ 60	6.53		N20°E	砂质壤土
	0~ 30	9.11	48	N20°E	壤质砂土
柳杉	30~ 60	5.45		N20°E	砂质壤土

土壤有机质的增加不仅影响土壤孔隙率增加,且会增加土壤大孔隙的比率,而使降水可以快速进入土壤层中,李土生等研究因崩落地缺少植被及枯枝落叶层的截留,使降水直接冲击土体,将土壤孔隙堵塞而减低土壤的渗透率^[12]。陆象豫指出腐败之植物体及动物洞穴,可增加土壤大孔隙的比率,同时构成庞大的地下渠道网络,雨水得以藉此路径迅速地导入较深的土壤层中,再全面性地扩散至各土壤孔隙内^[13]。

4.2 土壤因子分析

对于试验区土壤不同物理化学的特性(日射、气温、雨量、蒸发量、湿度、砂粒含量、有机质、孔隙率、地温、水分),进行因子分析。主成份分析之检定与共同性,显示主成份因子分析之适当性(KMO 指数达 0.5 以上, Bartlett 球形检定达显著水准)。而 3 个主成份解说变异量达 74%。

表 2 主成份因素分析之转轴后成份矩阵

因子	成份		
	1	2	3
日射	0.967	-0.110	0.037
地温 5 cm	0.920	-0.139	0.021
雨量	0.917	-0.073	0.035
地温 15 cm	0.911	-0.137	0.019
地温 30 cm	0.906	-0.132	0.017
蒸发量	0.884	-0.077	0.003
湿度	0.138	-0.739	-0.016
水分 5 cm	-0.182	0.762	0.163
水分 30 cm	-0.262	0.879	0.199
气温	0.137	-0.508	-0.003
有机质	0.134	0.262	0.902
孔隙率	0.010	0.286	0.936
砂粒含量	-0.066	-0.632	0.572
水分 15 cm	-0.072	0.769	0.328

在不同深度的地温均与土壤水分含量呈现负相关,而土壤中的有机质含量及土壤孔隙率对于不同深度的土壤水分含量则是呈现正相关的表现。在主成份因素分析中,第一个主成份因素显示主要受日射(0.967)、地温 5 cm(0.92)、雨量(0.917)、地温 15 cm(0.911)、地温 30 cm(0.906)、蒸发量(0.884)影响,在各区位置上的差异可解释 41.8% 的变异性,因此第一主成份因素主要在于气候环境的贡献,可命名为微气象因子。第二主成份因素显示,土壤水分对于不同林相位置上之差异,这些性质主要包括水分 5 cm(0.762)、水分 30 cm(0.879),可解释 21% 的变异性,命名为土壤水分因子。第三主成份因素显示,因土壤结构造成不同林相位置上土壤性质之差异,这些性质中有机质(0.936)、孔隙率(0.572)、水分 15 cm(0.328),可解释 11% 的变异性,可将其命名为土壤结构因子。在第二主成份当中土壤水分含量和土壤的有机质含量及孔隙率有明显的正相关,对于不同林相的土壤而言,由于试验区地处森林地带,具有枯枝落叶层可以改变土壤的孔隙率及土壤有机质含量,且可以保持土壤水分。而有机质由三个共同因素所解释的比例为 $0.9(0.134^2 + 0.262^2 + 0.902^2)$,其中以第三主成份造成的影响最多,表示在不同林相的作用下,有机质的差异变化较明显。再由其性质变量分布图可区分归类其变量群型态(第一因素对第二因素),图中符号代表不同土壤因子,对于替代因素的影响(特征向量),长度越长,离原点越远则其相关性越强。水分含量明显指示到台湾杉,表示其受到水分含量的影响是正相关,对于裸露地则呈现负相关,对于长期的土壤变化与时间趋势,显示裸露地在水分含量的部份明显有相反的情形,水分较不易停留在此一区域,对于地区的植生状况及土壤性质变化有着长时间的影响。

4.3 土壤水分移动

溪头地区林相结构完整,当降雨经过树冠层时,会将部分雨水截留或形成树干流,并非完全直接穿落之土壤表面,高山云雾亦有部份会被拦截凝结成水滴,增加土壤水分的来源。当降水入渗到土壤之中后,由于地表植生状况的不同,而造成水分的移动及蒸散速率亦有所不同,由于在崩塌坡面地表植生为五节芒,而另外柳杉及台湾杉区域植生状况林下为蕨类植物覆盖,考虑各区土壤性质、植物根系分布及降雨延时等因素,因此本试验采用每 3 个月为一观测期,并以深度 30 cm 之土壤水分含量做出地理统计图,较能表现出此一地区的坡面水分含量分布变化。叙述统计的应用虽可以知道土壤性质变化之趋势与影响,不过并无法处理空间含量分布图,因此应用地理统计技术,可绘出土壤性质的空间

含量分布图,则可以更了解土壤性质在空间变化的实际分布情形,与物质在地形位置上之移动趋势。以土壤水分含量之空间分布如比较后发现,在 6 月的影响距离约在 85 m 左右,影响距离的值刚好相当于不同林相位置间的区分距离。溪头地区 2005 年 4~6 月累积降雨量达到 1 000 mm 以上,而 7~9 月累积降雨量亦有 1 500 mm 以上,但因 7~9 月的降雨过于集中,以至于坡面水分保留不易。以崩塌区为例,由于土壤表面植生为崩塌后之先驱植物入侵,坡面陡峭(坡度达到 50°),且根系并未深入土壤,无法有效将水分保留,以至于水分进入孔隙,向下坡移动集中。而柳杉区坡度亦达到 50°,但坡面上的植物耗水量较崩塌区大,使土壤水分含量较低。此结果和前人之研究类似。而 10~12 月及 1~3 月的降雨天数只有 20 日、26 日,坡地土壤水分含量减少,因各区地表枯枝落叶层厚度增加,使水分散失缓慢,经过干季长期降水量不足的情况之下,土壤水分含量并无明显变化,仍维持 12% 以上的土壤水分含量。崩塌区的地表植生属于草本植物,在降雨之后土壤中水分含量升高,但随后就快速下降,而柳杉区和台湾杉区的土壤水分含量变动较慢,约在降雨后 1~2 日达到最高,由于地表有深厚的枯枝落叶层及因根系形成的大小孔隙,且地表植物对于降水的截留亦影响了土壤水分变动。在土壤深度 30 cm 的位置,土壤水分含量较为稳定,不易受到少量的降雨量产生剧烈的变动,较能表现各区土壤含水量变化趋势,可以有效区隔对于土壤水分影响的因素。

4.4 土壤有机质变化

当生长在土壤之上的植物枯枝落叶和深入土壤内的死根,经过分解之后成为土壤中的有机质,钟秉龙等研究枯枝落叶层对于保持土壤肥力及减缓地表径流、涵养水源及防止土壤冲刷等功能,通常较厚的枯枝落叶层具有较强的作用^[14]。Folliott 枯枝落叶层随植物体本身之组织、温度、水分含量、通气性、菌类及微生物之活动等因子而异,以湿润温暖的环境最易促使分解^[15]。

4.5 土壤温度变化

土壤温度乃一重要的土壤因子,在土壤中许多活动包括植物生长、微生物活动、有机质分解及矿物风化,皆受到土壤温度的影响,孙丞虎等研究气温与土壤深度 0~30 cm 之土壤湿度是相互影响的,气温对土壤湿度的影响时间随土壤深度加深而逐渐增加^[16]。Adu 等研究土壤温度升高 2~3°C,则有机质分解之速率将增加 10 倍^[17]。卢惠生等提到当土壤深度越深,土壤温度日周期的正弦曲线变化,其振幅随土壤深度增加而减少,且土深达 50 cm 时,土壤温度几乎恒定^[18]。试验区气温变化在九月份升高到 20°C,但气温变化并未对土壤温度造成影响,其主要原因在于土壤水分含量较低且垂直移动并不明显,而无法将外界气温变化的能量传导至土壤中,使土壤温度并未随外在气温增加而改变,对于土壤温度的保持有显著的帮助,但在土壤水分含量达到 22% 以上,则可看出土壤温度因为土壤水分的移动,而随着外界气温的变化而有所改变。对于试验区土壤变化以土壤水分含量对于深度 30 cm 的土壤温度的影响较为显著($R^2 = 0.3137$),但就整体而言,土壤水分含量越高则越容易影响深层土壤温度的变化。

5 结论与建议

在本研究中土壤性质之空间变异主要来自不同的时间和环境,利用多变量统计以主成份因素分析法与地理统计分析法,在溪头试验区的崩塌区、柳杉区和台湾杉区三个地区,研究不同林相相对于土壤的时间和空间变异。

(1) 土壤水分变化主要来自于降雨量及地表状况的影

响,影响降雨到达土壤表面时间及在土壤中的水分移动,在林地较崩塌地之土壤水分含量变化较小,表示地表植物可以有效影响土壤水分之变化。

(2) 在土壤深度 30 cm 的位置,土壤水分含量较为稳定,不易受到少量的降雨产生剧烈的变动,可以有效区隔对于土壤水分影响的因素。

(3) 土壤温度的增加及土壤水分含量的减少,会使土壤加速参考文献:

- [1] 朱继鹏,王芳,高甲荣.吉县蔡家川流域不同森林植被的林地水源涵养功能[J].水土保持研究,2006,13(4):111-114.
- [2] 张仲民.土壤化育与形态学[M].“国立编译馆”,1981.
- [3] Lyle Prunty and Joel Bell. Soil Temperature Change over Time during Infiltration[J]. Soil Sci. Soc. Am. J, 2005, 69: 766-775.
- [4] 林俐玲,蔡义志,杜怡德.陡坡茶园水土流失机制之研究[J].“水土保持学报”,2001,33(1):15-24.
- [5] 王政权.地理统计学及在生态学中的应用[M].科学出版社,1999.
- [6] 夏禹九,金恒镡,洪富文,等.植生型与施肥作业对滨岸带土壤水化学性质的影响[J].林业试验所研究报告季刊,1994,9(1):39-50.
- [7] 王效举.红壤丘陵区不同土地利用方式下土壤变化特征的研究[J].资源科学,1998,20(5):24-31.
- [8] 李家永,袁小华.红壤丘陵区不同土地资源利用方式下有机碳储量的比较研究[J].资源科学,2001,23(5):73-76.
- [9] 马海艳,龚家栋,王根绪,等.干旱区不同荒漠植被土壤水分的时空变化特征分析[J].水土保持研究,2005,12(6):231-234.
- [10] 钱亦兵,周华荣,赵锐锋,等.塔里木河中下游湿地及其外围土壤性质性状的空间异质性[J].水土保持学报,2005,19(6):31-34.
- [11] 石培礼,于贵瑞.拉萨河下游河谷不同土地利用方式下土壤有机碳储量格局[J].资源科学,2003,25(5):96-102.
- [12] 李士生,姜志林.苏南丘陵主要森林类型保持水土效益的研究[J].长江流域资源与环境,1994,3(1):55-59.
- [13] 陆象豫.森林在水土资源保育上之功能[J].台湾林业科学,1996,11(3):333-347.
- [14] 钟慕龙,黄树才,杨民胜,等.不同林龄桉树人工林森林空间结构差异研究[J].广东林业科技,2005,21(4):1-4.
- [15] Follitt, P F, W P Clary, J R Davis. Some characteristics of the forest floor under ponderosapine in Arizona[M]. U. S. Forest Service Research Note RM-27, 1968.
- [16] 孙丞虎,利瓦伊京,张祖强,等.淮河流域土壤湿度异常的时空分布特征及其与气候异常关系的初步研究[J].应用气象学报,2005,16(2):129-138.
- [17] Adu, J K, J M Oades. Physical factors influencing decomposition of organic materials in soil aggregates[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1978, 10: 109-115.
- [18] 卢惠生,林壮沛,黄良鑫.莲华池地区天然阔叶林不同土壤深度的温度日周期变化[J].中华水土保持学报,2000,31(4):267-278.

(上接第 300 页)

分为 4 个不同时期。(A) 春末夏初(3~6 月)土壤强烈失水期,这一期间气温升高,土壤全部解冻,干旱多风,蒸发强烈,蒸发量为同期降水量的 10~30 倍,是一年中土壤水分损耗最大的时期,也是夏粮作物能否取得较好产量的关键时期,3~4 月 50~80 cm 的土层含水量高(大于 17%),这与头年蓄纳秋雨及冬季冻层集水有关。5 月下旬开始,含水量明显减少,7 月最低(平均小于 16.18%)。这主要是植物吸水和地面蒸发所致。

(B) 雨季(7~10 月)土壤水分补充和积聚期(蓄墒期),此时降水增多,表层土壤含水量增加。在此期间,所有土壤的含水量均有提高,可见通过坡地改造,可有效提高土壤的蓄水量。注重深耕、纳蓄降水对农业生产具有重要意义。

(C) 秋末冬初(10 月底~11 月)土壤水分缓慢蒸发期:雨季以后,降水量明显减少,气温也开始下降,土壤处于缓慢减墒时期。

(D) 冬季(11 月至翌年 2 月)土壤水分的积聚期:由于寒

参考文献:

- [1] 马福武,贾志兰.晋西黄土丘陵沟壑区不同地类土壤水分变化规律研究[J].中国水土保持,1998(2):26-28.
- [2] 李开元.黄土高原南部农田水分条件及其产量效应[J].水土保持学报,1995,9(6):6-10.
- [3] 穆兴民.黄土高原土壤水分与水土保持措施相互作用[J].农业工程学报,2000,16(2):41-45.
- [4] 辛树帜,蒋德麒.中国水土保持概论[M].北京:农业出版社,1982.
- [5] 揭曾佑,李艳,王规凯,等.水平梯田土壤侵蚀作用的理论分析[J].中国水土保持,1986(3):29-30.

转化有机质,使试验地的土壤有机质含量最高可达到 12%。

(4) 土壤温度在土壤水分含量达到 22% 时,容易受到外在气温变化而有所改变,研究中可看出深度 30 cm 之土壤温度仍然会受到环境因素的影响产生变化。

(5) 利用地理统计分析法,可了解土壤性质在空间之变化,其分布确实与不同林相位置有关,即有机质及土壤水分大都会保留在柳杉区和台湾杉区。

冬季,土壤自上而下冻结,土壤水分基本处于稳定,翌春解冻后,土壤水分含量较高,此时是植树造林种草的有利时机。

3 结 论

综上所述:梯田土壤水分垂直变化:土壤自上而下大致可以分为以下 3 个不同层段:活跃层、次活跃层、稳定层。梯田土壤水分季节变化:春末夏初(3~6 月)土壤强烈失水期、雨季(7~10 月)土壤水分补充和积聚期(蓄墒期)、秋末冬初(10 月底~11 月)土壤水分缓慢蒸发期、冬季(11 月至翌年 2 月)土壤水分的积聚期。

梯田具有比较明显的蓄水、保水作用。一般情况下距田埂愈近,越靠近外部,越接近土壤表层,土壤湿度越小,土壤愈干旱,越近里面,且越向下,土壤湿度越大。梯田改变了坡地对作物生长的不利因素,拦蓄了降雨,维持促进了土壤水库的良性发展,增加土壤水资源量,提高了干旱地区水分的利用率,使其成为山区农田以及生态环境建设的主要模式之一。