

# 晋西黄土高原土壤水分垂直变化规律及生态影响

王晓贤, 张学培

(水土保持与荒漠化防治重点实验室 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

**摘 要:** 土壤水分是影响植被建设的重要因素, 对晋西黄土高原土壤水分的统计属性以及从不同深度水分的拟合性作了研究, 结果表明水分呈正态分布, 且随深度增加湿度增加, 分布更集中, 不同深度土壤水分具有很高的拟合性, 且随时间变化其变异具有一致性的关系。

**关键词:** 土壤水分; 正态分布; 拟合分析; SPSS

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)02-0200-05

## Vertical Changes of Soil Moisture and Ecological Impacts in West Shanxi Loess Plateau

WANG Xiao-xian, ZHANG Xue-pei

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of Ministry of Education, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Soil moisture is one of the most important facts that influence the recovery and construction projects of vegetation. In this paper, authors studied the statistics of soil moisture and analyzed the correlation at different depth. The results indicated that water content showed the normal distribution, the humidity increase with the depth deeper and the distribution is more concentration. It also indicated that there was a significant correlation between the soil moistures in different depth and they vary in the same way along the time.

**Key words:** soil moisture; normal distribution; correlation analysis; SPSS

### 1 前言

土壤水分是土地持续利用、植被建设研究的基础。黄河流域气候干旱, 造成水资源条件先天不足, 土壤水资源十分匮乏, 土壤水分状况成为影响黄河流域植被建设的重要因素<sup>[1]</sup>。因此, 深入分析土壤水分状况及其变化规律, 是开发利用土壤水资源, 进行植被建设的重要基础。

#### 1.1 实验地自然概况

试验地设在山西省吉县屯里镇蔡家川流域, 该流域为北京林业大学山西黄土高原教学科研试验基地, 地理位在北纬 36°40', 东经 110°37', 面积 40.10 km<sup>2</sup>。流域年均降水量 579.1 mm, 最大降水量 828.6 mm, 最小降水量 365.1 mm, 年均气温 10℃, 无霜期 172 d, 该流域为丘陵沟壑地貌, 海拔 904 ~

1 592 m, 相对高差为 688 m。区域气候为半干旱大陆性季风气候, 年降水量为 579.5 mm, 集中于 7 - 9 月, 年际变化率大。年均蒸发量为 1 723.9 mm, 4 - 7 月蒸发量最大, 占全年蒸发量的 54%, 坡度 5°~ 20°, 土壤为碳酸性褐土, 抗蚀性差, 水土流失严重, 平均侵蚀模数为 11 823 t/(km<sup>2</sup>·a)。植被以天然次生林和人工林为主, 天然林树种主要有山杨、桦木、侧柏, 人工林树种主要有油松、侧柏、刺槐, 另外还有白草、羊胡子、蒿类等草本植被和胡枝子、丁香、胡颓子、荆条、虎榛子等天然灌丛。

#### 1.2 观测场具体环境

TDR 探头埋设处土壤为碳酸性褐土, 呈微碱性反应(pH = 7.9), 土壤有机质在 1% 以下, 土壤贫瘠, 植被类型为草地。

\* 收稿日期: 2008-01-26

基金项目: “973”国家重大基础研究计划项目(2002CB111503)

作者简介: 王晓贤(1983 - ), 男, 山西山阴人, 硕士, 研究方向: 林业生态工程。E-mail: wangxiaoxian2005@126.com

通信作者: 张学培(1953 - ), 男, 副教授, 主要从事林业生态工程方面的研究。E-mail: zxp@bjfu.edu.cn

2 研究方法

2.1 气象站布设

选择一地势适中,地面比较开阔,周围没有或很少有其他事物屏障的地点建设小气象站<sup>[2]</sup>。

小气象站为美国 COMPBELL 公司制造,数采型号 CR3000。

自动气象站由硬件和系统软件组成,硬件包括传感器、采集器、通讯接口、系统电源、计算机等,系统软件有采集软件和地面测报业务软件。为了实现组网和远程监控,还须配置远程监控软件,将自动气象站与中心站联接形成自动气象观测系统。自动气象站主要采用集散式和总线式两种体系结构。集散式是通过以 CPU 为核心的采集器集中采集和处理分散配置的各个传感器信号;总线式则是通过总线挂接各种功能模块(板)来采集和处理分散配置的各个传感器信号<sup>[2]</sup>。

2.2 土壤湿度探测仪布置

在不同深度布置 CS616 探头(5,10,15,20 cm),该探头用来测土壤水分,实质是时域反射仪即 TDR。

土壤水分是土壤的一个重要物理参数,它对于植物的生长具有重要的意义,同时土壤水分状况对于降雨产流有重要的影响,对土壤水分及其变化的监测是农业、水文、环境和水土保持等研究工作中的一个基础工作。长期以来,对土壤水分测量技术的研究一直在发展,形成了各具特点的土壤水分测定技术,而且目前仍处于发展中。Topp 等人于 1980 年首次提出将时域反射技术(TIME DOMAIN REFLECTOMETRY,简称 TDR)用于土壤水分测量,Herkelrath,Peterse,等人对 TDR 做了改进,使之可以进行多点自动监测。土壤水分测量方法有多种分类方式,按照常规的分类方式,可分为直接法和间接法。一是直接测量土壤的重量含水量或容积含水量,如取样称重烘干法等;二是通过测量土壤的基质势,介电常数及其他土壤性质间接推算土壤水分含量,如张力计法、电阻法、中子水分仪测定法、时域反射仪(TDR)测定法等;还有一类非接触式的间接方法,如使用地表穿透雷达(GPR)进行的测定和大范围的遥感测定、远红外遥测法<sup>[3]</sup>。

2.3 数据分析方法

利用 SPSS15.0 软件对数据进行统计分析。SPSS(Statistical Package for the Social Science)社会科学用软件包是世界上著名的统计分析软件之一。它和 SAS(Statistical Analysis System,统计分

析系统)、BMDP(Biomedical Programs,生物医学程序)并称为国际上最有影响的三大统计软件。与 SAS 比较,SPSS 则是非统计学专业人士的首选<sup>[4]</sup>。

3 结果与分析

3.1 试验测量结果

(1)降雨和土壤湿度测量结果。

表 1 降雨和不同深度土壤湿度

日期	降雨/ mm	土层深度			
		5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
6-01	0	0.160	0.170	0.197	0.253
6-02	0	0.159	0.161	0.198	0.255
6-03	0	0.155	0.150	0.198	0.256
6-04	0	0.152	0.143	0.196	0.254
6-05	0	0.150	0.137	0.195	0.254
6-06	0	0.146	0.133	0.193	0.252
6-07	0	0.144	0.130	0.192	0.250
6-08	0	0.141	0.127	0.190	0.249
6-09	0.1	0.139	0.125	0.187	0.246
6-10	0	0.136	0.123	0.186	0.244
6-11	0	0.135	0.124	0.183	0.241
6-12	0	0.133	0.120	0.182	0.239
6-13	2.2	0.131	0.120	0.18	0.237
6-14	0.1	0.130	0.124	0.178	0.234
6-15	0	0.130	0.127	0.177	0.232
6-16	0	0.131	0.125	0.177	0.232
6-17	2.8	0.130	0.121	0.177	0.231
6-18	21.7	0.135	0.245	0.174	0.229
6-19	6	0.258	0.269	0.277	0.333
6-20	8	0.262	0.282	0.306	0.373
6-21	2.6	0.262	0.280	0.329	0.408
6-22	1.6	0.261	0.281	0.328	0.410
6-23	0	0.254	0.271	0.321	0.404
6-24	0	0.242	0.254	0.312	0.394
6-25	0	0.231	0.239	0.302	0.383
6-26	0.6	0.224	0.224	0.293	0.375
6-27	1.7	0.220	0.225	0.289	0.369
6-28	0	0.216	0.220	0.285	0.364
6-29	1.8	0.209	0.209	0.279	0.358
6-30	7.2	0.233	0.259	0.293	0.369

(2)降雨日变化值。实验期间的日降雨量变化如图 1。

3.2 数据初步分析

3.2.1 土壤湿度统计分布特征 由图 2 可知:土壤湿度呈正态分布,随着土壤深度的增加,土壤水分增加并且方差减小。

土壤水分的垂直变化主要取决于降雨和蒸散过程的相互作用,地形和土地利用方式也是重要的影响因素。以往对剖面土壤水分垂直变化的定性描述较多,近年来开始向量化描述方向发展,一般采用变异系数和标准差两个指标,将剖面土壤水分垂直

变化的层次划分为 4 层:速变层、活跃层、次活跃层和相对稳定层。但在天然降雨条件下(干旱年),荒草地和裸地剖面内土壤水分的变异系数都随土层深度的增加而处于降低趋势,标准差和变异系数并不能同时满足上述分级标准<sup>[5]</sup>。

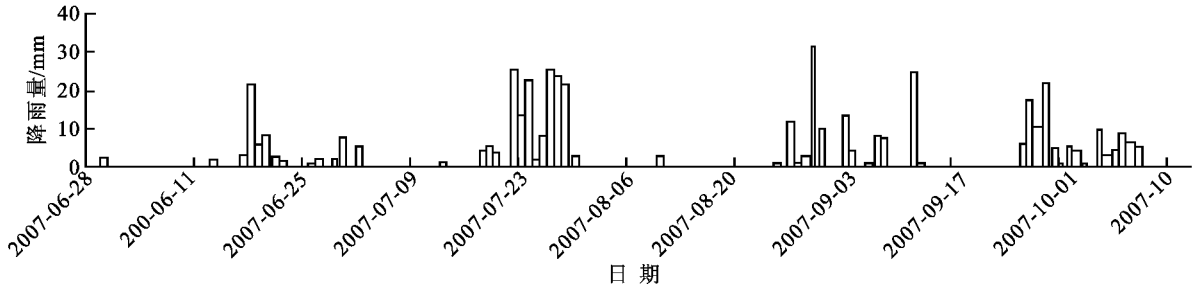


图 1 实验期间日降雨量

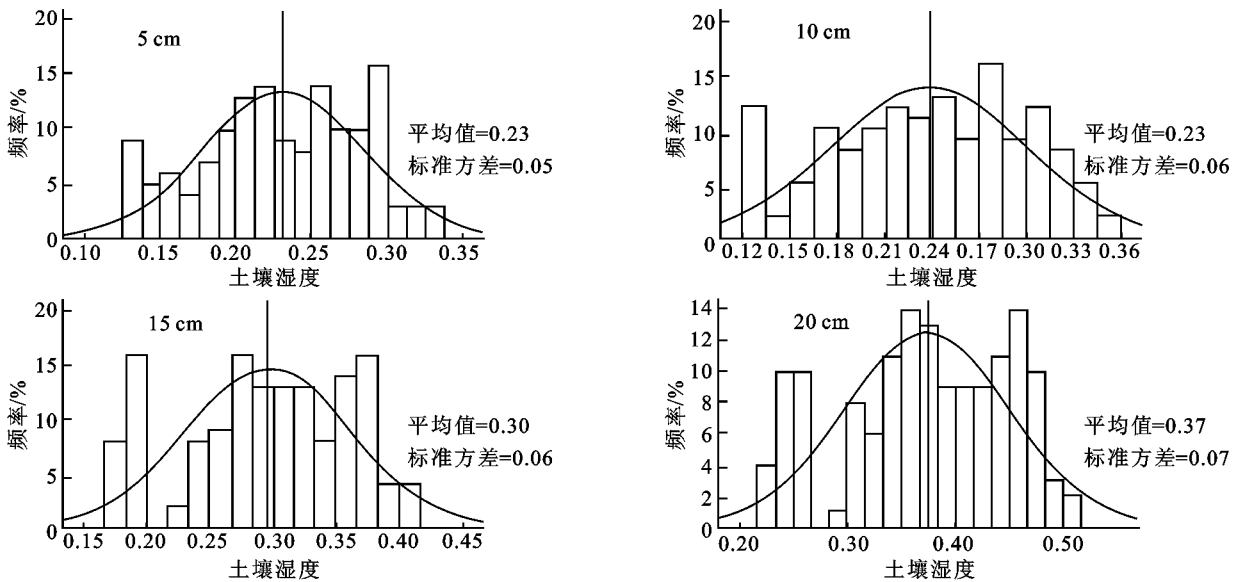


图 2 土壤湿度统计分析

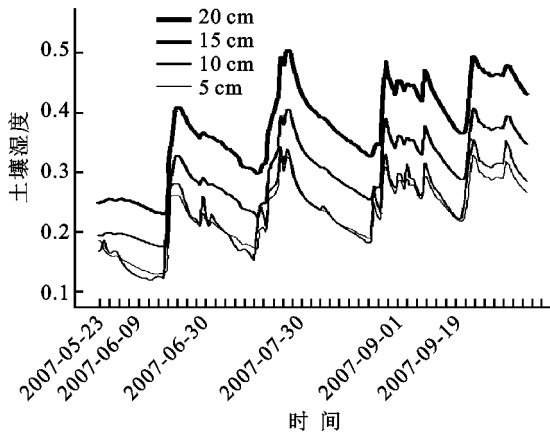


图 3 土壤湿度随时间变化

3.2.2 土壤湿度随时间的变化 由图 3 可知不同深度的土壤湿度变化有一致的关系,且都表现为升高快,下降较慢的过程随着夏季的到来(空气温度的升高)下降加快。

地表土壤水分和降水具有高度拟合性,是 2 个

密切拟合的地气相互作用参量。降雨率与土壤水分是密切拟合的,对于同一区域,土壤水分变化和降雨率之间存在着正拟合关系,特别是在夏季,土壤水分对于气候区域的蒸发具有很大的影响,通过地气反馈作用将直接导致降雨的发生。同时,土壤水分除了受地下水、地形(地貌类型、坡向以及海拔高度)、土气交互界面的温度梯度以及植被蒸腾等自然因素的影响外,降雨是影响土壤水分的一个重要因素。

### 3.3 不同深度土壤温度变化之间的回归分析

3.3.1 总体分析 利用 SPSS 的散点图矩阵过程<sup>[6]</sup>,可以快速发现不同深度土壤湿度之间的拟合关系。

4 层土壤两两交叉形成 12 个格子,每个深度所在横行的三个纵轴都是该深度的土壤湿度变量,所在列的横轴为该变量,对角线为空白。即第一行第二列横轴为 10 cm 深土壤湿度变量,纵轴为 5 cm 深土壤湿度变量,依此类推。

由图 4 可知不同土壤层的土壤湿度有明显的拟合关系,具体表现为深度越近拟合越紧密。

3.3.2 不同深度土壤湿度具体拟合关系 通过 SPSS 的曲线配合过程,查看不同深度土壤湿度的拟合关系:

- a) 选择 analyze regression curve estimation,打开主对话框。把因变量放入 dependent 框中,选择要研究的一个自变量放入 variable 框中。
- b) 从给出的模型中选择线性模型 linear,二次曲线模型 quadratic,三次曲线模型 cubic,可得出如表 2,图 5。由表 2 和图 5 可知:5 cm 和 10 cm 深的土壤湿度拟合性拟合优度为 0.95 以上。显著性检验 Sig. = 0.000 < 0.05,说明这两层土壤的湿度有显著性拟合关系,F 检验值三次最小说明这两层土壤湿度三次拟合最优。

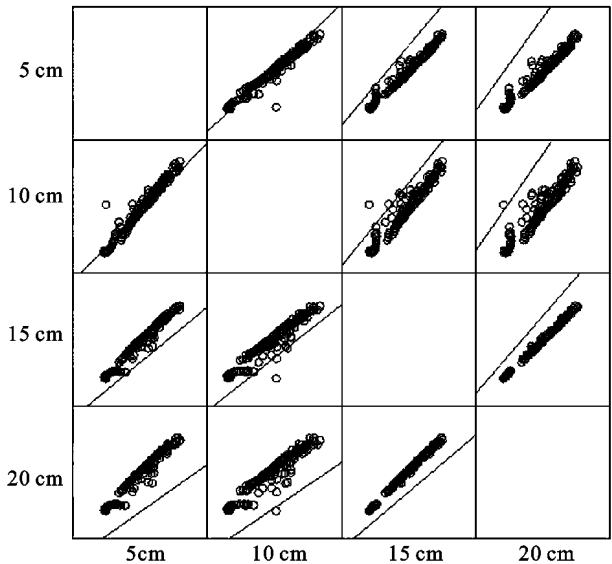


图 4 不同深度土壤湿度拟合关系

表 2 5 cm 深和 10 cm 深土壤湿度的拟合关系

拟合关系	模型概况					参数估计			
	$R^2$	$F$	$df1$	$df2$	Sig.	constant	$b_1$	$b_2$	$b_3$
线性	0.952	2835.369	1	142	0	0.032	0.836		
二次	0.953	1415.978	2	141	0	0.043	0.735	0.219	
三次	0.953	941.266	3	140	0	0.011	1.191	- 1.851	2.977

注:应变量:5 cm 处湿度,自变量:10 cm 处湿度。

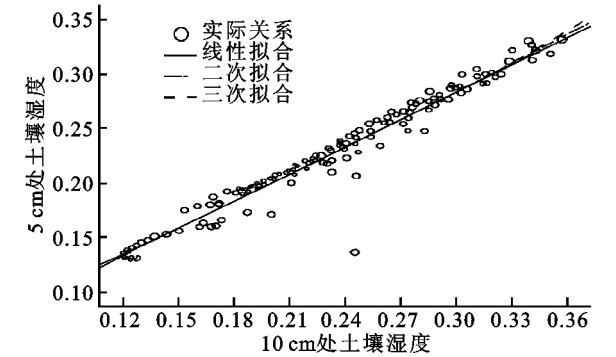


图 5 5 cm 和 10 cm 深度土壤湿度拟合关系

由表 3 和图 6 可知:15 cm 和 20 cm 深土壤湿

度的拟合优度达到 0.997 比以上两层的拟合性加强,且二次 F 检验值较小说明二次拟合性好。

通过表 4 和图 7 分析得出 10cm 和 20cm 的线性拟合优度低于二次拟合优度。

通过表 2、表 3、表 4 和图 5,6,7 分析得出相隔两层的拟合优度低于相邻土层的优度,总体二次拟合最好。

4 结论与意义

总结以上可知土壤湿度变化规律。

(1)从时间上来看,降雨和土壤湿度明显相关。

表 3 15 cm 和 20 cm 深度土壤湿度拟合关系

拟合关系	模型概况					参数估计			
	$R^2$	$F$	$df1$	$df2$	Sig.	constant	$b_1$	$b_2$	$b_3$
线性	0.997	41724.632	1	142	0.000	- 0.021	0.846		
二次	0.997	22966.541	2	141	0.000	0.005	0.699	0.203	
三次	0.997	23007.639	2	141	0.000	- 0.003	0.770	0.000	0.188

注:应变量:15 cm 处湿度,自变量:20 cm 处湿度。

表 4 10 cm 和 20 cm 深度土壤湿度拟合关系

拟合关系	模型概况					参数估计			
	$R^2$	$F$	$df1$	$df2$	Sig.	constant	$b_1$	$b_2$	$b_3$
线性	0.881	1051.122	1	142	0.000	- 0.045	0.757		
二次	0.888	556.743	2	141	0.000	0.063	0.132	0.864	
三次	0.888	556.753	2	141	0.000	0.078	0.000	1.240	- .344

注:应变量:10 cm 处湿度,自变量:20 cm 处湿度。

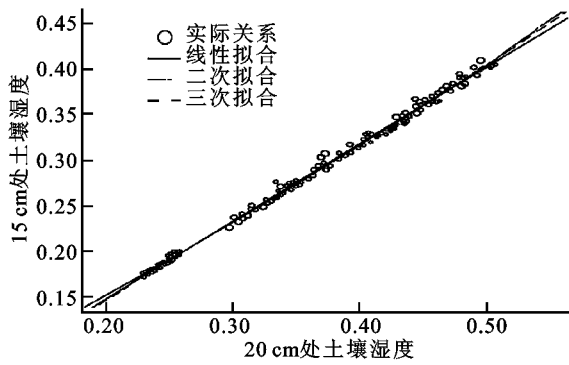


图 6 15 cm 和 20 cm 深度土壤湿度拟合关系

(2) 从不同深度看,不同土壤深度土壤湿度有拟合性,且相近深度拟合性越高。

(3) 相隔较远的土壤湿度二次拟合拟合比线性拟合的程度要好。

(4) 土壤湿度在时间上分布主要受降雨等的影响,且不同深度湿度变化有一致的关系。

通过实验分析表明晋西黄土区土壤水分呈正态分布,且随深度增加湿度增加,分布更集中,不同深度土壤水分具有很高的拟合性,且随时间变化其变异具有一致性。

#### 参考文献:

[1] 杨文治,邵明安.黄土高原土壤水分研究[M].北京:

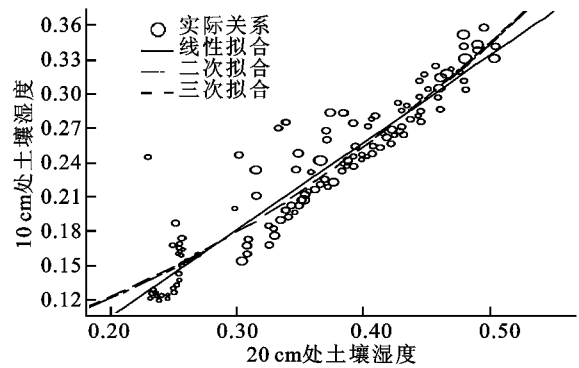


图 7 10 cm 和 20 cm 深度土壤湿度拟合关系

科学出版社,2000:86-113.

- [2] 中国气象局.地面气象观测规范[M].北京:气象出版社,2003:5-9,98-101.
- [3] 黄芳,徐红松.土壤水分测试技术研究进展[J].安徽农学通报,2007,13(11):76-77.
- [4] 袁志发,周静芋.多元统计分析[M].北京:科学出版社,2002:75-98.
- [5] 陈洪松,邵明安,王克林.黄土区荒草地和裸地土壤水分的循环特征[J].应用生态学报,2005,16(10):1853-1857.
- [6] 薛薇.SPSS 统计分析方法及应用[M].北京:电子工业出版社,2004:1-3,233-292.
- [7] 余云飞,许学友.土壤水分空间分布即时间稳定性的探讨[J].农业环境与发展,2006(3):89-92.

(上接第 199 页)

开企业的资源利用、污水排放等情况和政府的管理行为,加强公众对企业资源利用率和污染物的排放与治理情况的了解、监督和评价,对政府管理行为进行有效监督,从而促使企业提高资源利用率,加强环境管理;促使政府提高管理效率,改善决策,使循环经济创新网络建设顺利进行。

#### 参考文献:

- [1] 孙远芳,夏恩君,汪洋.借鉴国外经验发展北京市循环经济[J].经济纵横,2008,5(1):63-64.
- [2] 董雪娜,李世明,林银平,等.西北地区水资源特点及合理利用[J].西北水资源与水工程,2001,12(1):8-11.
- [3] 张文洲,何武全,王玉宝,等.杨凌水资源开发利用现状[J].水资源与水工程学报,2005,16(1):75-77.
- [4] 何武全,栗晓玲.杨凌农业高新技术产业示范区水利建设规划[R].西北农林科技大学,2003:6.
- [5] 武春友,王晋良.采用循环经济技术提高资源利用效率[J].技术经济,2008,27(6):46-49.
- [6] 董继红.循环经济指标体系:概念、架构及评价方法

[J].统计与决策,2007(3):126-128.

- [7] 周宏春.中国循环经济的发展模式和制度保障[J].中国废钢铁,2006,3(3):4-10.
- [8] 赵平.浅议畜牧业环境污染问题及其调控措施[J].辽宁畜牧兽医,2003(5):37-39.
- [9] 林朝平.机电制造业回收再制造系统[J].轻工机械,2007(6):114-116.
- [10] 曹少中.绿色循环经济与绿色设计[J].机械设计,2004(4):1-5.
- [11] 吕维娅,张瀛洲,关丹桔.利用雨水作为景观用水水源的设计应用研究[J].给水排水,2004(10):75-78.
- [12] 杨战社,高照良.城市生态住宅小区水资源循环利用研究[J].水土保持通报,2007,27(3):167-170.
- [13] 王兆华,尹建华.生态工业园中工业共生网络运作模式研究[J].中国软科学,2005(2):80-85.
- [14] 白芳铭,张松林.兰州生态城市建设对策探讨[J].安徽农业科学,2007,35(3):846-847.
- [15] 王红波,戴卫章.兰州市循环经济发展模式探索[J].中国资源综合利用,2008,26(5):24-26.