

淮北平原农作物生长期有效降水量的研究

朱梅¹, 王振龙^{1,2}

(1. 安徽农业大学工学院, 合肥 230036; 2. 安徽省水利水资源重点实验室, 安徽省水利部淮委水利科学研究院, 蚌埠 233000)

摘要: 为获得适用于淮北平原农作物生长期有效降水量估算的方法, 利用五道沟实验站地下水位控制埋深为 1.0 m、1.5 m 和 2.0 m, 测筒面积为 2.0 m² 和 4.0 m², 土样为原状砂姜黑土的 6 套大型地中蒸渗仪, 以小麦、夏玉米为对象, 分别设计 3 个水平、6 个处理, 开展为期 3 年的有效降水量观测试验研究。利用长系列资料, 获得地下水位控制埋深为 1.0 m、1.5 m 及 2.0 m 共 3 个水平在 3 种实测典型年, 即 p 为 5.1%、48.7% 和 94.9% 的有效降水量及其有效降水系数分析结果, 计算出不同时段, 即月、季或年的有效降水量。

关键词: 有效降水量; 地中蒸渗仪; 降水量频率

中图分类号: S274.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2013)05-0886-05

Estimation of effective precipitation in Huaibei plain during crop growth period

ZHU Mei¹, WANG Zhen-long^{1,2}

(1. School of Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. Key Laboratory of Water Resources in Anhui Province, Bengbu 233000)

Abstract: In order to get an estimation method for the effective precipitation in Huaibei plain during the crop growth period, an experiment lasting for three years was designed based on three levels and six processing according to the survey of the effective precipitation. In the experiment, wheat and summer maize were taken as objective, and the area of the six set measurement tubes of the earth lysimeter were 2.0 m² and 4.0 m² whose buried depth under control of the groundwater are 1.0 m, 1.5 m and 2.0 m in Wudaogou Key Laboratory of Water Resources. The soil sample is lime concretion black soil. Based on a long series document, the analysis of the effective precipitation and the effective precipitation coefficient in different groundwater burying depth (1.0 m, 1.5 m and 2.0 m) were gotten at three kinds of typical annuals (5.1%, 48.7% and 94.9%), and the effective precipitation at different time, that is, month, quaternary and year was estimated.

Key words: effective precipitation; earth lysimeter; precipitation frequency

淮北平原是安徽省及淮河流域水资源较为缺乏和开发利用程度较高的地区之一, 是安徽省重要的农业生产基地。该地区主要土壤为砂礓黑土和黄潮土, 各占 54% 和 33%, 该区农作物以旱作物为主。在对旱作物节水灌溉制度的制订中, 有效降水量的确定有着至关重要的意义。它是影响制定灌溉制度和研究农业节水的基本参数之一。对有效降水量的估算确定, 国内外学者进行了一系列的探讨研究, 并总结出了一些方便实用的估算方法。这些方法大致可以分为 3 类: 田间仪器直接测定法、经验公式法和水量平衡法。田间实测技术和经验法的研究和

应用在 1970 年以前是关注的重点。随着计算机技术的快速发展, 水量平衡法逐渐成为众多学者研究的热点^[1]。有效降雨量的估算多采用经验公式法, 比如国内常用的经验公式计算模式是使用降水的有效利用系数来计算有效降水量, 国外的经验公式计算模式主要包括 Hershfield 诺模图计算模式和 USDA-SCS 计算模式等。此外, 水量平衡计算模式以水量平衡原理为基础构建土壤水量平衡方程估算有效降雨量。这些工作的开展推动了有效降雨量的研究进展^[2-9]。同时, 通过对有效降雨量研究方法和计算模式的调研发现欲使更多的降水量转化成有利

收稿日期: 2013-04-07

基金项目: 安徽农业大学稳定和引进人才基金和安徽农业大学农业水土工程重点学科基金共同资助。

作者简介: 朱梅, 女, 副教授。E-mail: zhumei@ahau.edu.cn

于农作物吸收利用的土壤水和地下水, 应寻求不同水文气象条件下降水入渗并储存在农作物根系吸水层内的有效降水量及其变化规律, 试验研究是其中必不可少的手段, 作者拟通过有效降雨量的实验开展有效降水量及有效降水利用系数计算方法的研究, 从而实现减少灌溉次数或灌溉水量, 实现农业节水增效目标。

1 实验方法与处理设计

根据有效降水量定义, 试验研究时, 主要考虑自然条件下, 从不同降水强度及其过程中产生的 4 个水量入手进行观测研究。4 个水量依次是: 次(或场)降水量、降水过程中的陆面蒸腾蒸发量(简称腾蒸发量)、降水及产流过程中向土壤中入渗并储存在土壤中的水量、深层渗漏量(或称入渗补给地下水水量)^[10-11]。这几个量中较难测定的是入渗并储存在土壤中的雨量, 所以试验研究的重点是分析入渗规律、确定不同条件下入渗雨量。本文采用大型地中蒸渗仪装置进行试验研究, 分别测定一次或一场降水产生的地表径流量、深层渗漏量, 并通过相关要素, 利用水量平衡原理, 计算储存在根系吸水层中的有效降水量。

依据淮北平原地区的地下水埋深和作物根系的一般特点, 设计地下水位控制埋深为 1.0 m、1.5 m 和 2.0 m 共 3 个水平的大型地中蒸渗仪装置共 6 套, 即同一地下水埋深 2 套(或称 2 个处理), 以小麦、夏玉米为对象进行为期 3 年(2003~2005 年)的平行试验观测。籍此探求可供实际应用的有效降水量及其降水有效利用系数。

1.1 降水量观测

降水量直接取用五道沟实验站口径为 20 cm 的雨量器(也称标准雨量计)和虹吸式自记雨量计的观测资料。并规定在对时段降水量进行次、场和月、季、年统计分析时, 以日降水量为准。对任一次(降水间断时间小于 1 h 或一场(2 次降水间隔时间 $t \leq 24$ h)降水过程的降雨入渗量进行分析时, 以虹吸式自记降雨量资料为准, 获得同等条件下的降雨历时、降雨强度以及雨期蒸发量等对入渗雨量和渗漏量的影响。

1.2 径流量和渗漏量观测

供试验用的地中蒸渗仪装置是一个较完美的降雨一径流一入渗一作物蒸腾蒸发(简称腾发)量等水平衡要素相互转化的观测试验装置。降雨后从径流量观测筒中测得的水量为地表径流量; 降雨入渗并使包气带土壤达到田间持水量后的降水量, 在重力

作用下入渗补给地下水, 即从渗漏量观测筒中测得的水量为渗漏量。图 1 是地中蒸渗仪的工作原理图。

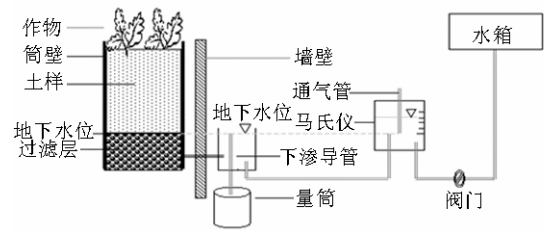


图 1 地中蒸渗仪工作原理图

Figure 1 Working principle diagram of earth lysimeter

1.3 雨期腾发量观测计算方法

据国内大型蒸发实验站试验结果表明, E601 型水面蒸发值与陆面蒸腾蒸发量(即农田腾发量)相当。故本实验取用的雨期腾发量(Pe), 直接采用五道沟实验站的 E601 型水面蒸发量进行计算, 并作如下规定:

(1) 降水过程中有自记雨量时, Pe 按下式计算:

$$Pe = \frac{\sum_{i=1}^n E_0 i}{T} t \quad (1)$$

式中: Pe 为雨期腾发量(mm); E_0 为降水过程中的日水面蒸发量(mm); i 、 n 分别为降水过程日数; T 为降水开始至结束总历时(h); t 为降雨过程中的净降雨历时(h)。

(2) 降水过程中无自记雨量记录, 日水面蒸发量 E_0 小于等于同日降水量 P 日时, 日腾发量 Pe 取 E_0 的一半。当日水面蒸发量 E_0 大于同日降水量 P 日时, 日腾发量 Pe 取同日降水量之值代替。

1.4 有效降水量计算方法

平原区降水过程中, 一般认为被测试单元(或系统)侧向流进、流出的地下水水量相等, 并且不考虑雨期地下水的补给(即潜水蒸发)量时, 对旱地而言, 有效降水量系指天然条件下, 任一次降水过程中降雨入渗并能储存在根系吸水层内的雨量, 可记为:

$$Po = P - Rs - D - Pe \quad (2)$$

$$a_o = Po / P \quad (3)$$

式中: Po 、 a_o 是有效降水量和降水量有效利用系数; P 是一次降水过程的总降水量; Rs 是地表径流量; D 是渗漏量; Pe 是雨期腾发量。以上各量均以 mm 计。

关于式(2)中的雨期腾发量是否为有效雨量, 本实验在分析计算和统计不同时段(月、季、年)的有效降水量时, 认为雨期腾发量是在较短时间内完成, 还来不及被作物吸收利用, 故视其为无效雨量, 故

将雨期腾发量作为无效降水量处理。

2 结果与分析

2.1 2004年度观测试验情况及结果

2003年10月~2004年9月,灌溉年降水日数累计达58d,累计降水量为734.9mm,属偏枯年份,6套地中蒸渗仪均未测到地表径流。但其中使根系发育层的土壤得到充分补充,即一次连续降水(2次降水间隙时间 $t \leq 24$ h的降水量大于等于30mm的降水过程,共有10次,其中有10次、9次和7次分别使地下水埋深为1.0m、1.5m和2.0m的试验处理产生了渗漏量。以地下水控制埋深为1.0m的试验处理为例,全年测得渗漏量为202.5mm,雨期腾发量为92.4mm,有效降水量为440.0mm,有效降水量系数为0.599,其中小麦生长期的10~5月为216.3mm,有效降水量系数为0.568,大豆、玉米等夏季作物生长期的6~9月为223.7mm,有效降水量系数为0.63。其他试验处理及其相关特征值详见表1。

2.2 2005年度观测试验情况及结果

2004年10月至2005年9月灌溉年降水日数为79d,累计降水量为1228.7mm,属丰水年,是五道沟实验站自1953年以来观测的次大降水年,虽较最大年(1996.10~1997.9)降水量1252.8mm小24.1mm,但本年度降水量分配的不均匀性造成的旱涝渍灾害却加重得多。2004年10月自小麦播种到次年

5月底收割,全生长期降水量仅为222.0mm,属7.1年一遇的干旱年;而秋季作物全生长期6~9月降水量丰沛,降水日数高达51d,累计降水量达1006.7mm,其中7月和8月2个月的降水量达811.2mm,占全年降水量66.0%。共遭遇7月3日~10日、7月27日~8月9日、8月17日~23日、9月16日~27日等4次雨量多、强度大的连续阴雨天气过程,造成了极严重的涝渍灾害,致使夏玉米、大豆等较正常年份减产5~6成,即使喜水作物水稻也因“阴多阳少籽粒稀”减产达2成以上。

在降水量丰枯交替明显年景条件下,3个设计水平(6个试验处理)的有效降水量及其降水有效利用系数与前一年度相比,由于经常出现的连续阴雨天气,在同数量降水情况下较前期少雨或干旱条件下的有效降水量明显偏小。而前一年度10~5月因降水量分布有类似2005年6~9月情况,有效降水量明显偏小。以地下水控制埋深为1.0m的试验处理为例,2003年10月至2004年5月累计降水量为380.7mm,有效降水量系数为0.568。而2004年10月至2005年5月降水量为222.0mm,有效降水量系数却高达0.872。究其原因,一是前一年度相邻2次较大降水过程间隔时间较短,且后一场降雨量较大;二是降水量集中,较同等条件下,同数量分散降水渗漏量要大许多;三是与同一季节降水量的次数、数量、降水量分布有关。由于阴雨天气多,降雨前期土壤过湿,加上每次降水过程长且雨量强度

表1 试验处理及其相关特征值

Table 1 Experimental treatment and its associated eigenvalue

年份 Year	P	Pe	$\Delta=1.0$ mm (α_{11} 、 α_{13})				$\Delta=1.5$ mm (α_{14} 、 α_{16})				$\Delta=2.0$ mm (α_{15} 、 α_{17})			
			Rs	D	P_0	α_0	Rs	D	P_0	α_0	Rs	D	P_0	α_0
2003/10	111.5	9.9	86.6	15.0	0.135	83.3	18.3	0.164		75.3	26.3	0.236		
2003/11	53.9	4.5	27.1	22.3	0.414	19.6	29.8	0.553		18.1	31.3	0.581		
2003/12	11.4	2.4		9.0	0.789		9.0	0.789			9.0	0.789		
2004/1	22.7	1.9	2.0	18.8	0.828	1.1	19.7	0.868		0.2	20.6	0.907		
2004/2	15.0	3.4		11.6	0.773		11.6	0.773			11.6	0.773		
2004/3	30.9	3.9		27.0	0.874		27.0	0.874			27.0	0.874		
2004/4	30.5	1.1		29.4	0.964		29.4	0.964			29.4	0.964		
2004/5	104.8	10.0	11.6	83.2	0.794		94.8	0.905			94.8	0.905		
2003/10~2004/5	380.7	37.1	127.3	216.3	0.568	104.0	239.6	0.629		93.6	250.0	0.657		
2004/6	82.0	15.4	19.7	46.9	0.572	15.8	50.8	0.620		9.7	56.9	0.694		
2004/7	124.6	20.9	36.1	67.6	0.543	21.7	82.0	0.658		1.9	101.8	0.817		
2004/8	65.0	8.2	10.6	46.2	0.711	7.4	49.4	0.760			56.8	0.874		
2004/9	82.6	10.8	8.8	63.0	0.763	1.8	70.0	0.847			71.8	0.860		
2004/6~2004/9	354.2	55.3	75.2	223.7	0.632	46.7	252.2	0.712		11.6	287.3	0.811		
2003/10~2004/9	734.9	92.4	202.5	440.0	0.599	150.7	491.8	0.669		105.2	537.3	0.731		

表 2 不同地下水埋深地中蒸渗仪有效降水量
Table 2 Effective precipitation of earth lysimeter in different bury of groundwater

年份 Year	P	Pe	$\Delta=1.0\text{ mm}$ (α_{11} 、 A_{13})				$\Delta=1.5\text{ mm}$ (α_{14} 、 A_{16})				$\Delta=2.0\text{ mm}$ (α_{15} 、 A_{17})			
			Rs	D	P0	α_0	Rs	D	P0	α_0	Rs	D	P0	α_0
2004/10	2.4	1.2			1.2	0.500			1.2	0.500			1.2	0.500
2004/11	32.9	4.3			28.6	0.869			28.6	0.869			28.6	0.869
2004/12	24.0	1.7		1.4	20.9	0.871			22.3	0.929			22.3	0.929
2005/1	11.7	1.2			10.5	0.897			10.5	0.897			10.5	0.897
2005/2	32.7	2.8			29.9	0.914			29.9	0.914			29.9	0.914
2005/3	34.5	5.8			28.7	0.831			28.7	0.831			28.7	0.831
2005/4	34.5	4.8			29.7	0.861			29.7	0.861			29.7	0.861
2005/5	49.3	5.2			44.1	0.895			44.1	0.895			44.1	0.895
2004/10~2005/5	222.0	27.0		1.4	193.6	0.872			195.0	0.878			195.0	0.878
2005/6	68.5	9.5			59.0	0.861			59.0	0.861			59.0	0.861
2005/7	494.8	23.7	47.8	283.4	139.9	0.283	47.8	246.7	176.6	0.357	44.1	178.3	248.7	0.503
2005/8	316.4	16.6	75.1	123.7	101.0	0.319	75.1	102.4	122.3	0.387	75.1	90.4	134.3	0.424
2005/9	127.0	12.8		38.8	75.4	0.593		33.0	81.2	0.639		25.3	88.9	0.700
2005/6~2005/9	1006.7	62.6	122.9	445.9	375.3	0.373	122.9	382.1	439.1	0.436	119.2	294.0	530.9	0.527
2003/10~2004/9	1228.7	89.6	122.9	447.3	568.9	0.463	122.9	382.1	634.1	0.516	119.2	294.0	725.9	0.591

表 3 典型年有效降水量、有效降水量系数分析

Table 3 Analysis the effective precipitation and effective precipitation coefficient in typical year

P/%	Δ	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10~5	6~9	10~9
5.1	P	83.6	144.3	2.2	7.4	20.9	85.4	68.4	75.3	183.7	515.4	52.8	15.8	478.5	767.7	1225.2
	Po	33.3	31.7	1.7	4.4	15.8	35.5	43.0	69.4	79.0	115.7	48.2	14.9	234.8	257.8	492.6
1.0	α_0	0.40	0.22	0.77	0.60	0.76	0.42	0.63	0.92	0.43	0.23	0.91	0.94	0.48	0.34	0.39
	Po	45.0	41.8	1.7	4.4	19.0	43.3	51.6	69.4	110.8	125.9	48.2	14.9	276.2	299.8	576.0
1.5	α_0	0.54	0.29	0.77	0.60	0.91	0.51	0.75	0.92	0.60	0.24	0.91	0.94	0.57	0.39	0.46
	Po	52.5	48.4	1.7	4.4	19.0	59.7	56.5	69.4	117.2	130.7	48.2	14.9	312.6	311.0	623.6
2.0	α_0	0.63	0.34	0.77	0.60	0.91	0.70	0.83	0.92	0.64	0.25	0.91	0.94	0.64	0.41	0.50
	P	9.4	0.5	0	6.1	32.4	47.3	101.5	160.4	73.6	159.4	227.4	53.7	357.6	514.1	871.7
48.7	Po	6.4	0	0	2.8	27.8	40.9	93.7	116.0	33.7	116.1	69.3	47.5	287.6	266.6	554.2
	α_0	0.62			0.46	0.86	0.87	0.92	0.72	0.46	0.73	0.31	0.89	0.80	0.52	0.63
1.5	Po	6.4	0	0	2.8	27.8	41.4	93.9	140.0	39.8	116.7	84.5	47.5	312.3	288.5	600.8
	α_0	0.68			0.46	0.86	0.88	0.93	0.87	0.54	0.73	0.37	0.89	0.87	0.56	0.69
2.0	Po	6.4	0	0	2.8	27.8	43.0	94.3	143.8	45.7	131.7	84.2	47.5	318.1	309.1	627.2
	α_0	0.68			0.46	0.86	0.91	0.93	0.90	0.62	0.83	0.37	0.89	0.88	0.60	0.72
94.9	P	83.1	71.0	18.0	70.2	52.6	7.8	38.4	5.5	36.0	92.4	84.9	4.0	346.6	217.3	563.9
	Po	20.7	11.9	10.3	17.0	21.3	6.7	36.3	2.1	25.1	68.0	48.7	0.6	126.3	142.4	268.7
1.0	α_0	0.25	0.17	0.57	0.24	0.41	0.86	0.95	0.38	0.70	0.74	0.57	0.15	0.36	0.66	0.477
	Po	30.0	12.5	11.4	26.7	23.6	6.7	36.3	2.1	25.1	71.5	67.4	0.6	149.3	164.6	313.9
1.5	α_0	0.361	0.176	0.633	0.380	0.449	0.859	0.945	0.382	0.697	0.774	0.794	0.150	0.431	0.757	0.557
	Po	37.4	21.7	12.6	33.4	26.6	6.7	36.3	2.1	25.1	75.1	70.2	0.6	176.8	171.0	347.8
2.0	α_0	0.45	0.31		0.48	0.51	0.86	0.95	0.38	0.70	0.81	0.83	0.15	0.51	0.79	0.62

注: P-年降水量频率%; Δ -地中蒸渗仪地下水控制埋深/m。

Note: P-the frequency of annual precipitation%; Δ - Buried depth of the earth lysimeter water table/m.

大, 所以存留在根系吸水层内的雨量在同等条件下相对较小, 即 7 月、8 月、9 月的降水量虽高达 494.8

mm、316.4 mm 和 127.0 mm, 但有效降水量系数却只有 0.283、0.319 和 0.593, 远较前一年同期的 0.543、

0.711 和 0.763 偏小许多,其他试验处理及其相关特征值详见表 2。

2.3 地中蒸渗仪长系列观测资料有效降水量统计分析

自 1965 年 6 月份开始,五道沟实验站运用地中蒸渗仪装置,对不同土壤(砂姜黑土、砂壤土)、不同地下水位控制埋深(控制埋深幅度由地表~5.0 m)的有无作物条件下的降水量、地表径流量、入渗量、渗漏量、潜水蒸发量等要素进行天然条件下的长期观测试验,至今已积累有 40 多年的观测试验资料系列。

对五道沟实验站长系列资料统计分析以砂姜黑土为对象,仍以地下水控制埋深为 1.0 m、1.5 m 和 2.0 m 的地中蒸渗仪观测试验资料为准进行统计分析,力求从长系列资料统计分析中探求有效降水量(或降水有效利用系数)与主要影响因素的一般规律,以便于实际应用。

根据长系列资料的分析,本文以地下水控制埋深为 1.0 m、1.5 m 和 2.0 m 共 3 个水平在 3 种实测典型年,即 p 为 5.1%、48.7% 和 94.9% 的有效降水量及其有效降水系数分析结果列下表 3。

从表 3 中可以看出,对应于 10~9 月,在 $P=5.1\%$ 的实测典型年,地下水位控制埋深为 1.0 m、1.5 m、2.0 m 时对应的降水有效利用系数分别为 0.39、0.46 和 0.5; 在 $P=48.7\%$ 的实测典型年,地下水位控制埋深为 1.0 m、1.5 m、2.0 m 时对应的降水有效利用系数分别为 0.63、0.69 和 0.72; 在 $P=94.9\%$ 的实测典型年,地下水位控制埋深为 1.0 m、1.5 m、2.0 m 时对应的降水有效利用系数分别为 0.477、0.557 和 0.62。

3 小结与讨论

本文主要依据五道沟实验站地中蒸渗仪装置探求有效降雨量计算,给出了 2004、2005 年度观测试验情况及试验结果,总结了不同地下水埋深地中蒸渗仪有效降水量成果,并对地中蒸渗仪长系列观测资料进行有效降水量的统计分析。

由 2004 和 2005 年度的观测资料可见,以地下

水控制埋深为 1.0 m 的试验处理为例, 2003 年 10 月至 2004 年 5 月累计降水量为 380.7 mm,有效降水量系数为 0.568,而 2004 年 10 月至 2005 年 5 月降水量为 222.0 mm,有效降水量系数却高达 0.872。分析了产生这种现象的 3 个主要原因。

通过实验积累的长系列资料,得到砂姜黑土在地下水位控制埋深为 1.0 m、1.5 m、2.0 m 时,对应 3 种典型年,即 p 为 5.1%、48.7% 和 94.9% 时有效降水量与降水有效利用系数关系。由此相关关系,便可直接计算出不同时段,即月、季或年的有效降水量。

本研究阐述的对有效降水量及有效降水利用系数的试验和计算方法,可为灌区实施节水灌溉,进行科学的用水调配,提高降水利用率,制订出合理的科学灌溉制度和合理利用水资源提供参考。

参考文献:

- [1] 刘战东,段爱旺,肖俊夫,等.旱作物生育期有效降水量计算模式研究进展[J].灌溉排水学报,2007,26(3):27-34.
- [2] 徐凤琴.有效降水量浅析[J].气象水文海洋仪器,2009(3):98-100.
- [3] 刘战东,段爱旺,肖俊夫,等.冬小麦生育期有效降水量计算模式研究[J].灌溉排水学报,2009,2(2):21-25.
- [4] 徐小波,周和平,王忠,等.干旱灌区有效降雨量利用率研究[J].节水灌溉,2010(12):44-46.
- [5] 杨燕山,陈渠昌,郭中小,等.内蒙古西部风沙区耕地有效降雨量适宜计算方法[J].内蒙古水利,2004(1):67-70.
- [6] 单新兰,苏占胜,张智,等.宁夏山区春季降水对冬小麦生长发育的影响[J].干旱气象,2012,30(3):426-430.
- [7] 黄静.山东省主要作物灌溉定额研究[D].泰安:山东农业大学,2011.
- [8] 王文佳,冯浩.基于 CROPWAT-DSSAT 关中地区冬小麦需水规律及灌溉制度研究[J].中国生态农业学报,2012,20(6):795-802.
- [9] 周羽,冯明.利用自动站逐日降水量实时估测土壤墒情[J].中国农业气象,2009,30(S2):230-232.
- [10] 郭元裕.农田水利学[M].3版.北京:中国水利水电出版社,1995.
- [11] 王傲霜,熊竹阳,吴先超,等.不同地下水埋深的有效降水量试验分析[J].治淮,2010(9):10-11.