

# 宁夏地区中南部干旱区域林草植被生态需水量研究

李金燕<sup>1,2,3</sup>, 张维江<sup>1,2,3</sup>

(1. 宁夏大学 土木与水利工程学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏节水灌溉与水资源调控工程技术研究中心, 宁夏 银川 750021; 3. 旱区现代农业水资源高效利用教育部工程研究中心, 宁夏 银川 750021)

**摘要:**以宁夏地区中南部干旱区域气象资料、植被分布、水资源状况等为依据,估算了现有林、草地生长季的最小和适宜生态需水量,并对降雨消耗性及径流消耗性林草地生态需水量进行了降水资源平衡分析。研究表明:(1)位于南部山区、年均降雨量在350~550 mm之间的隆德和泾源县降雨消耗性林、草地最小和适宜生态需水量均能依靠降水得以满足,林草植被生长状况良好。(2)位于南部山区、年均降雨量在350 mm左右的彭阳县和原州区,降雨能够满足林、草地最小生态需水量的需求,而适宜生态需水量不能得到满足。因此,该区域要合理考虑林草地种植结构。(3)年均降雨量在175~280 mm,位于中部干旱带的海原、盐池和同心县以及南部山区的西吉县降雨消耗性林、草地最小和适宜生态需水量均不能得到满足。该区域不宜于大面积发展林草业。

**关键词:**林草植被;生态需水量;宁夏中南部干旱区

文献标识码:A

文章编号:1000-288X(2014)02-0276-05

中图分类号:S171, Q948

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.02.057

## Ecological Water Requirement by Forest and Grass in Central and Southern Ningxia Hui Autonomous Region

LI Jin-yan<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Wei-jiang<sup>1,2,3</sup>

(1. School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 2. Engineering Technique Research Center for Water Saving Irrigation and Water Resources in Ningxia, Yinchuan, Ningxia, 750021, China; 3. Engineering Research Center for Efficient Utilization of Water Resources in Modern Agriculture in Arid Regions, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

**Abstract:** Using the meteorological data, vegetation distribution data, water resources data, we calculated the minimum and appropriate ecological water requirement of existent forest and grassland in growing season in the Central and Southern Ningxia Hui Autonomous Region. Through the analysis of equilibrium between the eco-environment water demand and rainfall resource, the results showed that in Longde County and Jingyuan County, which locate in the south area, with an average rainfall of 350~550 mm, the minimum and appropriate ecological water requirement both can be met by precipitation, and the vegetation grow well. In Pengyang County and Yuanzhou County, which locate in the south area, with an average annual rainfall of 350 mm or so, the minimum eco-water demand can be satisfied, but appropriate ecological water demand cannot be met. So reasonable grass planting structure should be considered in the area. In Haiyuan, Yanchi and Tongxin Counties in the central arid area and Xiji County in the south area, with an average annually rainfall between 175 and 280 mm, both minimum and appropriate ecological water demand can not be met, it is unreasonable to develop forest and grassland in this area.

**Keywords:** forest and grassland; ecological water requirement; arid area in Central and Southern Ningxia Hui Autonomous Region

在干旱和半干旱地区,降水量远低于蒸发量,植被稀疏,生态脆弱,是水资源和生态环境最为敏感的区域,轻度人类活动就有可能引发土地退化和沙漠化。中国西部干旱区,以其深居内陆的地理位置,干旱的大陆性气候,山盆相间的地貌格局,荒漠性的土

壤植被特征,在中国干旱区研究中具有一定的典型性与代表性。如何处理好西部干旱区水资源开发与生态环境建设的关系直接影响区域乃至国家经济和社会的可持续发展。因此,开展区域,尤其是西北干旱地区生环境需水量研究,就显得十分重要。本研究选

收稿日期:2013-04-23

修回日期:2013-06-06

资助项目:国家自然科学基金项目“基于健康水系统的宁夏银川市污水再生利用系统构建与优化”(51269022)

作者简介:李金燕(1976—),女(汉族),宁夏自治区平罗县人,博士研究生,副教授,研究方向为旱区水环境与水土资源调控。E-mail:lijin-yan001@163.com.

取宁夏中南部干旱区域 8 县区,即南部山区的泾源、隆德、原州、西吉、彭阳县以及中部干旱带的典型县区海原、同心、盐池县,以各县土地利用、植被分布、水资源状况等为背景材料,开展林草植被生态需水状况研究,以期为该地区林草植被规划建设提供科学依据。

## 1 宁夏中南部干旱区域林草植被生态需水量范围的界定

从生态需水研究的意义及水资源管理的角度来说,天然植被生态系统生态需水主要来源于大气降水,少数由地下水和地表径流补充;而人工植被等生态需水主要来源于地表径流和地下水。大气降水首先被天然植被利用,后形成地表径流,才能被人类管理利用,满足经济水量和生态水量需求,从这个角度讲,包括天然植被在内的生态系统水量需求可称为广义的生态需水;而不包括天然植被,依靠地表径流或地下水资源保证生态需水的其它生态系统水量需求为狭义的生态需水,它直接参与水资源的分配与调控,也是很容易被工业用水、农业用水等社会经济水量所挤占。因此,从生态需水研究的意义来说,狭义的生态需水是水资源学研究和关注的重点。本研究基于生态系统的完整性及核算的方便性考虑,同时考虑天然植被生态需水核算也可水土保持、生态恢复和生态建设的用水核算提供依据,在核算人工林草植被生态需水量的同时也核算了天然林草植被生态系统的生态需水量,并分类进行了统计分析,为区域植被生态环境建设及水资源配置奠定基础<sup>[1-2]</sup>。

## 2 林草植被生态需水定额的确定与计算

### 2.1 植被潜在蒸散量的计算

当前计算植被潜在蒸散量的方法主要有桑斯维

特算法以及彭曼—蒙特斯法,这两种方法在干旱区林地潜在蒸散量的计算中都得到了广泛的应用,但极少有研究将两种方法的计算结果进行对比分析,从而明确各自在区域的实用性<sup>[3]</sup>。参考研究者<sup>[4-5]</sup>对两种方法的比较结果认为彭曼—蒙特斯法用于计算潜在蒸散量是综合考虑了各类气象因素,计算结果较为准确,因此采用彭曼蒙特斯模型的计算结果作为本次潜在蒸散量的计算依据。根据 1992 年 FAO 对参照作物需水量的重新定义,FAO 和国际灌排委员会(ICID)等组织推荐采用的彭曼蒙特斯方法进行计算植被潜在蒸散量。彭曼蒙特斯模型:

$$ET_0 = \frac{0.408 \times \Delta \times (R_n - G) + \gamma \times \frac{900}{T + 273} \times u_2 \times VPD}{\Delta + \gamma \times (1 + 0.34 \times u_2)}$$

式中:  $ET_0$ ——参考作物蒸散量(mm/d);  $\Delta$ ——饱和水汽压  $e_a$  与温度曲线的斜率(kPa/°C);  $R_n$ ——作物表面的净辐射量;  $G$ ——土壤热通量[MJ/(m<sup>2</sup>·d)];  $g$ ——干湿表常数(kPa/°C);  $T$ ——平均日或月气温(°C);  $u_2$ ——2 m 处的平均风速(m/s);  $VPD$ ——2 m 高处水汽压亏缺量,  $VPD = e_a - e_d$ ;  $e_a$  和  $e_d$ ——饱和、实际水汽压。

本次计算中植被潜在蒸散量计算根据水科院研发的“省灌溉用水有效利用系数测算分析管理系统”软件,结合彭曼蒙特斯模型,只需要输入区域逐日最高气温、日最低气温、日平均湿度、日照时数、2 m 处风速、日平均降雨量,可以算出植被蒸散量  $ET_0$ 。计算结果详见表 1。参阅文献并通过实地调研,在黄土高原地区,植被的耗水时段主要集中在生长季节,即每年的 3—10 月份。因此,在计算黄土高原地区林地的生态需水量时,以其生长季 3—10 月为生态需水量的计算时段,表 1 中统计的全年潜在蒸散量即为 3—10 月份潜在蒸散量。

表 1 研究区各县区气象参数统计及全年潜在蒸散量计算

县区	日平均最高气温/(°C)	日平均最低气温/(°C)	日平均湿度/%	平均日照时数/h	2 m 处平均风速/(m·s <sup>-1</sup> )	日平均降雨量/mm	全年潜在蒸散量 $ET_0$ /mm
彭阳	14.68	2.06	63.58	6.64	1.45	1.43	775.90
西吉	13.71	0.61	32.37	6.60	1.40	1.28	798.22
原州	13.99	2.92	38.96	6.84	2.17	1.30	921.93
隆德	11.55	1.05	78.85	6.25	1.34	1.62	706.21
泾原	12.23	1.13	82.67	6.79	1.61	1.87	726.30
海原	14.21	3.56	34.70	7.46	2.01	1.30	980.34
盐池	16.03	1.74	34.15	7.50	1.94	1.21	1 034.04
同心	17.06	3.69	35.55	8.32	2.62	1.19	1 182.30

### 2.2 植被生态需水定额的确定

通过计算林草植被的潜在蒸散量  $ET_0$ ,利用不同

林地植被的植物需水系数  $K_c$  以及土壤类型修正系数  $K_s$  的修正,便可得到该植被的实际蒸散量即实际生

态需水定额,计算公式为:

$$ET_C = ET_0 \cdot K_c \cdot K_s$$

式中:  $ET_0$ ——计算时段内植被的潜在蒸散量;  
 $ET_C$ ——植被实际生态需水定额;  $K_c$ ——相应时段  
植被需水系数;  $K_s$ ——相应区域的土壤修正系数。

由实际生态需水定额计算公式可知,在潜在蒸散量计算基础上,确定实际需水定额的关键是确定需水系数及土壤修正系数。储蓓,尚松浩<sup>[6]</sup>等针对干旱半干旱地区林草植被的实际情况,对林草生态需水进行了实验研究认为,乔木林(即下文提到的有林地)生态需水系数为 0.757,灌木林生态需水系数为 0.612,约为乔木林地需水系数的 0.81 倍,草地生态需水系数为 0.661,约为乔木林地的 0.85 倍。同时,何永涛、李文华<sup>[7]</sup>等在黄土高原地区森林植被生态需水研究中,以黄土高原地区常用造林树种刺槐和油松为代表,研究了植被需水系数,确定乔木林的需水系数为 0.765,同时通过多年的对比试验认为灌木木林的需水系数是乔木的 0.8 倍左右。综合以上两项研究成果,干旱半干旱地区植被需水系数研究结果接近,本研究取乔木林的需水系数为 0.765,灌木林需水系数取其 0.8 倍,取值 0.612,疏林地取值 0.50;草地需水系数取乔木林的 0.85 倍,取值 0.65。

考虑不同土壤类型对植被需水的影响,本研究引入土壤水分修正系数。参考何永涛,李文华结合黄土高原地区不同土壤类型的水分参数,以及林地最小生态需水定额和适宜生态需水定额的定义研究成果,确定了不同土壤类型的修正系数(表 2)。本研究通过实地调研宁夏中南部干旱区域各县区土壤类型并取合适的土壤水分修正系数。

表 2 不同土壤类型水分修正参数<sup>[7]</sup>

土壤质地	最小生态需水定额	适宜生态需水定额
粗砂土	0.548 4	0.900 7
砂壤土	0.556 4	0.903 8
砂黏土	0.522 1	0.890 3
粉黏土	0.538 7	0.897 0
粉土	0.536 5	0.896 2

### 3 植被生态需水量的计算

#### 3.1 林地生态需水量计算确定

土地利用分布图中将林地分为 4 类,即有林地、灌木林地、疏林地和其它林业用地。有林地是指郁闭度大于 30% 的天然林和人工林;疏林地是指郁闭度在 10%~30% 的稀疏林地;灌木林地是指郁闭度 > 40%,高度在 2 m 以下的矮林地和灌丛林地<sup>[8-11]</sup>。本

研究中其它林地主要是指未成林地以及无立木林地。由于这 4 类林地在外貌和群落结构等方面存在着差别,因此也必然会影响到其生态需水量上的差异,需分别对这几类林地以及人工林地——苗圃类林地的生态需水量进行计算。各类林地生态需水定额依据表 1 所列区域植被潜在蒸散量以及上面确定的植被需水系数和土壤水分修正系数确定。由于篇幅所限,本研究将消耗天然降水满足生态需水的有林地、疏林地、灌木林地及其它林地统一称为天然降水供给林地以及需人工补充灌溉的人工苗圃林地,分 2 类列出生态需水量(表 3)。

#### 3.2 草地生态需水量计算确定

本研究中草地类型主要有 2 大类,分别为人工草地和天然草地,其中天然草地又分为一年生草地和多年生草地。

根据实地调研,天然草地和多年生人工草地不需要灌溉,依靠天然降水满足用水需求,而一年生草地则需要人工灌溉,本研究分别对这几类草地的生态需水量进行了计算,天然草地同林地以其生长季 3—10 月份为生态需水量的计算时段,而人工草地以其生长季 4—9 月份作为计算时段。几类草地分类生态需水量计算结果详见表 4。

表 3 各县区林地生态需水量计算结果

县区	林地类别	林地面积/km <sup>2</sup>	生态需水量/10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	
			最小	适宜
彭阳	天然降水供给林地	971.63	25 005.53	42 709.62
	人工苗圃	0.5	12.28	21.44
西吉	天然降水供给林地	638.54	18 209.82	29 608.13
	人工苗圃	1.09	33.54	55.39
原州	天然降水供给林地	646.05	22 804.56	37 106.72
	人工苗圃	5.12	195.25	317.71
海原	天然降水供给林地	1 072.59	37 203.24	60 505.72
	人工苗圃	1.26	45.33	76.28
隆德	天然降水供给林地	342.26	8 001.82	13 147.12
	人工苗圃	0.6	12.61	19.26
泾原	天然降水供给林地	248.74	4 804.23	7 923.01
	人工苗圃	0.45	9.46	15.27
盐池	天然降水供给林地	2160.52	66 703.36	109 600.12
	人工苗圃	1.22	40.31	65.28
同心	天然降水供给林地	751.63	31 343.35	51 502.12
	人工苗圃	0	0.00	0.00

注:适宜值表示植被生长状况最佳,最小值表示维持植被的基本生存。生态需水定额是表 1 结果与各类林地需水系数以及土壤水分修正系数三者相乘的结果。

表 4 各县区草地生态需水量计算结果

县区	草地类别	实际蒸散定额/mm		草地面积/ km <sup>2</sup>	生态需水量/10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>		
		最小	适宜		最小	适宜	
彭阳	天然草地	264.32	466.58	486.02	12 846.48	22 676.72	
	人工草地	多年生	264.32	466.58	564.44	14 919.28	26 335.64
		一年生	120.61	205.67	282.22	3 403.86	5 804.42
西吉	天然草地	329.28	542.56	592.14	19 497.99	32 127.15	
	人工草地	多年生	329.28	542.56	497.77	16 390.57	27 007.01
		一年生	159.29	258.74	248.89	3 964.57	6 439.78
原州	天然草地	392.26	651.29	852.18	33 427.61	55 501.63	
	人工草地	多年生	392.26	651.29	417.77	16 387.45	27 208.94
		一年生	190.22	308.99	208.89	3 973.51	6 454.49
隆德	天然草地	211.48	358.54	151.12	3 195.89	5 418.26	
	人工草地	多年生	211.48	358.54	213.33	4 511.50	7 648.73
		一年生	98.77	160.44	106.67	1 053.58	1 711.41
泾原	天然草地	226.12	386.32	34.86	788.25	1 346.71	
	人工草地	多年生	226.12	386.32	195.55	4 421.78	7 554.49
		一年生	106.28	174.55	97.78	1 039.21	1 706.75
海原	天然草地	390.43	648.55	2 680.73	104 663.74	173 858.74	
	人工草地	多年生	390.43	648.55	555.55	21 690.34	36 030.20
		一年生	182.09	299.06	277.78	5 058.10	8 307.29
盐池	天然草地	342.76	579.82	4 774.72	163 658.30	276 847.82	
	人工草地	多年生	342.76	579.82	288.89	9 901.99	16 750.42
		一年生	157.56	258.78	144.44	2 275.80	3 737.82
同心	天然草地	500.14	819.11	2 668.33	133 453.86	218 565.58	
	人工草地	多年生	500.14	819.11	466.66	23 339.53	38 224.59
		一年生	243.28	399.56	233.33	5 676.45	9 322.93

### 4 植被生态需水量计算结果分析

#### 4.1 天然降水供给植被生态需水与降水资源平衡分析

从研究区生态环境现状需水量及配置来看,设定两种情形来讨论缺水问题,即最小需水量与降水资源所计算的缺水量;适宜需水量与降水资源所计算的缺水量。天然降水供给林地降水资源平衡结果如图 1 所示。由图 1 可知:(1) 位于南部山区、年均降雨量在 350~550 mm 之间泾原和隆德县各类林地最小和适宜生态需水量均能依靠降水得到满足。两县区最小生态需水量富裕量分别为  $5.83 \times 10^7 \text{ m}^3$  和  $8.25 \times 10^7 \text{ m}^3$ ;适宜生态需水量的富裕量分别为  $1.32 \times 10^6 \text{ m}^3$  和  $5.67 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,位于该区域的林地植被生长状况良好。(2) 位于南部山区、年均降雨量在 350 mm 左右的彭阳县和原州区各类林地降水能够满足最小生态需水量的需求,而适宜生态需水量均不能得到满足,降雨消耗性生态需水量适宜状态下亏缺  $1.01 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $4.21 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。(3) 年均降雨量在 175~

280 mm 之间,位于中部干旱带的海原、盐池和同心县以及南部山区的西吉县各类林地的最小和适宜生态需水量均不能得到满足。

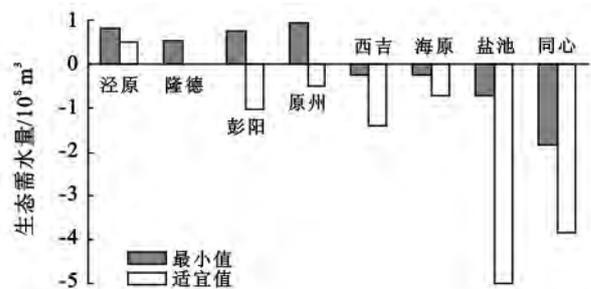


图 1 天然降水供给林地生态需水降水资源平衡分析

图 2 为天然降水供给草地生态需水与降水平衡分析图,对比图 2 和图 1 可知草地降水资源平衡结果与林地呈现了相同的分布规律。综上所述,现状气候条件下位于中部干旱带的海原、同心、盐池县以及中部干旱带的西吉县,降雨消耗性林地生态需水量均处

于亏缺状况,不宜于大面积发展植被,为此,应选择耐旱,抗盐碱的树种在地形低平,潜水较丰富和有水源补给的地段进行种植绿化。而位于南部山区的原州、彭阳也要合理考虑林地种植结构。

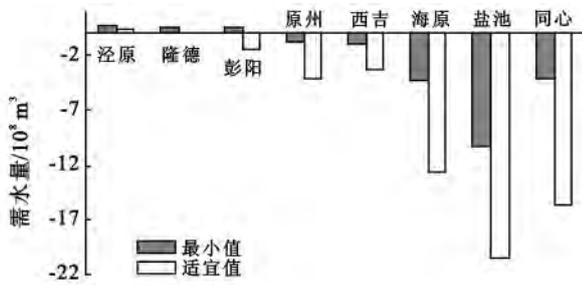
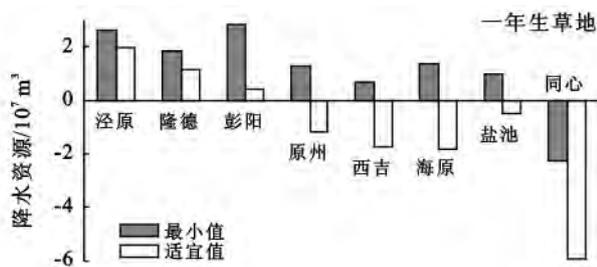


图 2 天然降水供给草地生态需水降水资源平衡分析



#### 4.2 人工补充灌溉植被与降水资源平衡分析

考虑到人工林地和一年生草地尽管需要人工灌溉,但不能忽略降雨对其需水量的补充,因此本研究认为人工林地和一年生草地生态需水量是扣除年降雨量补充后所亏欠的水量,因此将人工补充灌溉林地与草地也做了为降水资源平衡分析。根据图 3,对于人工补充灌溉林地及草地从年均降雨量平衡结果来看,泾原、隆德和彭阳县最小及适宜状态均不需要人工配水。而其它各县区的最小需水状态下,草地不需人工配水、苗圃类林地需要人工配置;适宜状态下草地和林地均需人工配水。以上分析只是从年均状况进行了较为粗略的分析,而逐月的平衡状况需要更进一步的研究。

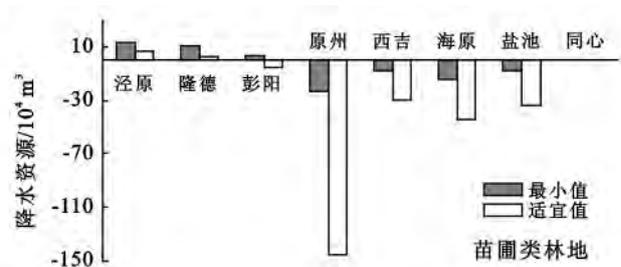


图 3 人工补充灌溉植被生态需水降水资源平衡分析

## 5 结论

生态需水是水资源研究中的一个新领域,本研究首先对研究区域要计算的植被生态需水进行了较明确县地界定,给出了植被生态需水量的计算方法及过程。依据不同林地类型及草地类型生态需水的差异,分别对各类林地及草地的生态需水进行了计算,最后从天然降水供给及人工补充灌溉植被需水分类角度对计算结果进行了分析,研究结果对于指导区域植被生态恢复与建设以及水资源配置具有宏观上的指导意义。研究中仍存在很多缺陷与不足,还有待于进一步深化。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 贾宝全,慈龙骏. 新疆生态用水量的初步估算[J]. 生态学报,2000,20(2):243-250.
- [2] 邓洁. 威海市生态用水及水资源合理配置研究[D]. 北京:北京林业大学,2009.
- [3] 孙跃强. 宁夏盐池县生态用水研究[D]. 北京:北京林业大学,2007.

- [4] 李金燕,张维江. 宁夏固原城乡饮水水源工程受水区林地生态需水量研究[J]. 湖北农业学报,2014,53(1):63-67.
- [5] 李金燕,张维江. 宁夏固原地区河道内生态环境需水量研究[J]. 人民黄河,2014,36(1):57-60.
- [6] 储蓓,尚松浩. 河谷林草需水量与耗水量计算方法及其应用[C]//变化环境下的水资源响应与可持续利用. 辽宁大连:中国水利学会 水资源专业委员会 2009 学术年会论文集.
- [7] 何永涛,李文华,李贵才,等. 黄土高原地区森林植被生态需水研究[J]. 环境科学,2004,25(3):35-39.
- [8] 杨志峰,崔宝山,刘静玲,等. 生态需水量理论、方法与实践[M]. 北京:科学出版社,2003:122-72.
- [9] 郝博,粟晓玲,马孝义. 甘肃省民勤县天然植被生态需水研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2010,38(2):243-250.
- [10] 郭巧玲,杨云松,李建林,等. 额济纳绿洲生态需水及其预测研究[J]. 干旱区资源与环境,2011,5(5):135-139.
- [11] 郝博,粟晓玲,马孝义,等. 干旱区植被生态需水的研究进展[J]. 水资源与水工程学报 2009,20(4)135-139.