

内蒙古达茂旗饲草燕麦需水规律与灌溉定额

田永雷¹, 孙洪仁^{2*}, 白春利¹, 王静¹, 吴昊³, 慕宗杰¹

(1.内蒙古自治区农牧业科学院, 呼和浩特 010031; 2.中国农业大学 草业科学与技术学院, 北京 100193; 3.内蒙古自治区气象干部培训学院, 呼和浩特 010010)

摘要: 为内蒙古达尔罕茂明安联合旗(以下简称达茂旗)地区饲草燕麦的灌溉提供科学依据。采用联合国粮农组织推荐的彭曼-蒙特斯公式法, 分析30 a(1991—2020年)的气象数据, 针对内蒙古达茂旗地区的饲草燕麦需水规律和灌溉定额进行研究。内蒙古达茂旗饲草燕麦第1、第2茬和全生长期需水量分别为497、422 mm和919 mm, 需水强度分别为5.5、4.1 mm/d和4.8 mm/d, 灌溉需水量分别为435、292 mm和728 mm, 灌溉定额分别为512、344 mm和857 mm。

关键词: 彭曼-蒙特斯公式; 需水规律; 灌溉定额

中图分类号: S274.1

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.gggs.2023542

田永雷, 孙洪仁, 白春利, 等. 内蒙古达茂旗饲草燕麦需水规律与灌溉定额[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(Supp.1): 61-64.

TIAN Yonglei, SUN Hongren, BAI Chunli, et al. Water Requirement Regularity and Irrigation Quota of Oats in Darhan Muminggan Joint Banner of Inner Mongolia Autonomous Region[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(Supp.1): 61-64.

0 引言

【研究意义】近年来, 我国饲草燕麦(*Avena spp.*)生产发展迅猛, 种植面积已经超过40万 hm^2 , 占据了我国燕麦生产的半壁江山^[1-2]。作物高产的重要手段是科学的灌溉, 了解作物的需水规律才能科学的制订灌溉方案, 然而, 因气候区域、作物种类、生产期等的因素影响作物需水规律也不尽相同^[3-4], 所以针对不同饲草燕麦生产区域进行需水规律和灌溉定额尤为必要。【研究进展】20世纪80年代, 崔林^[5]率先开展了山西雁北地区燕麦需水规律研究; 90年代, 王殿武等^[6]研究了河北张北燕麦需水规律。21世纪以来, 学者们相继对甘肃天祝^[7]、内蒙古鄂温克旗^[8]、西藏当雄^[9-11]、甘肃定西^[12]、西藏拉萨^[13]、青海乌兰^[14-15]、华北东北15个旗县市区^[16]、内蒙古兴和^[17]等地的燕麦需水规律进行了研究。其中, 部分学者^[6-7, 16-17]采用的研究方法均为联合国粮农组织(FAO)推荐的彭曼-蒙特斯公式法^[3-4]。杨波等^[18]利用28个典型站点的长期气象数据建立了西藏地区燕麦主要种植区灌溉定额空间分布图。【切入点】内蒙

古达茂旗地区是传统籽实燕麦产区, 近年来饲草燕麦种植面积迅速增加。然而关于内蒙古达茂旗地区燕麦需水规律和灌溉定额鲜有研究。【拟解决的关键问题】本研究采用彭曼-蒙特斯公式法分析内蒙古达茂旗30 a(1991—2020年)的气象数据, 揭示了内蒙古达茂旗饲草燕麦的需水量和需水强度, 以及饲草燕麦的灌溉定额和灌溉需水量, 为内蒙古达茂旗地区饲草燕麦的生产和科学灌溉提供理论依据。

1 材料及方法

1.1 参照作物蒸散强度和参照作物蒸散量

利用内蒙古达茂旗1991—2020年30 a逐旬平均气象数据, 利用彭曼-蒙特斯公式^[3-4](式(1))计算参照作物蒸散强度, 即参照作物日蒸散量。利用参照作物蒸散强度计算旬、月、年和不同生产阶段参照作物蒸散量。

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}, \quad (1)$$

式中: ET_0 为参照作物蒸散强度(mm/d); R_n 为作物表面净辐射($\text{MJ}/(\text{m}^2 \text{d})$); G 为土壤热通量密度($\text{MJ}/(\text{m}^2 \text{d})$); T 为2 m高处日平均气温($^{\circ}\text{C}$); u_2 为2 m高处风速(m/s); e_s 为饱和水汽压(kPa); e_a 为实际水汽压(kPa); Δ 为饱和水汽压曲线斜率($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$); γ 为干湿表常数($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$)。

收稿日期: 2023-11-23 修回日期: 2023-12-06

基金项目: 内蒙古农牧业青年创新基金项目(2021QNJJM05); 国家“现代牧草产业技术体系建设”(CARS-34)

作者简介: 田永雷(1994-), 男, 博士研究生, 主要从事牧草栽培方面的研究。E-mail: ty_lnmngky@163.com

通信作者: 孙洪仁(1965-), 男, 吉林怀德人。副教授, 硕士, 主要从事牧草和作物水肥管理研究。E-mail: sunhongren@cau.edu.cn

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

1.2 饲草燕麦需水量

利用参照作物蒸散量和作物系数,采用式(2)^[3-4]计算饲草燕麦需水量。

$$WR=ET_{rc} \times K_c, \quad (2)$$

式中: WR 为作物需水量 (mm); ET_{rc} 为参照作物蒸散量 (mm); K_c 为作物系数 (无量纲)。

饲草燕麦生产期作物系数为 0.85^[3-4]。

内蒙古达茂旗饲草燕麦第 1 茬生产期确定为 4 月 1 日—6 月 30 日, 第 2 茬生产期确定为 7 月 11 日—10 月 20 日。

1.3 饲草燕麦需水强度

利用饲草燕麦需水量和生产期,采用式(3)计算生产期需水强度。

$$WRR=WR \div T, \quad (3)$$

式中, WRR 为需水强度 (mm/d); WR 为作物需水量 (mm); T 为生产期 (d)。

1.4 饲草燕麦灌溉需水量

根据有效降水量以及饲草燕麦的需水量,采用式(4)计算饲草燕麦所需要的灌溉量,即灌溉需水量。

$$IR=WR-Pe=WR-\sigma \times P, \quad (4)$$

式中: IR 为灌溉需水量 (mm); WR 为作物需水量 (mm); Pe 为有效降水量 (mm); P 为降水量 (mm); σ 为有效降水系数,无量纲,本研究取值为 0.75^[3-4]。

1.5 饲草燕麦灌溉定额

根据灌溉水利用率以及饲草燕麦灌溉需水量,采用式(5)计算饲草燕麦灌溉定额。

$$IQ=IR \div \eta, \quad (5)$$

式中: IQ 为灌溉定额 (mm); IR 为灌溉需水量 (mm); η 为灌溉水利用率 (%)。内蒙古达茂旗饲草燕麦灌溉水利用率确定为 85%。

2 结果与分析

2.1 参照作物蒸散强度

根据分析可知,内蒙古达茂旗 30 a (1991—2020 年)间参照作物蒸散强度旬际差异巨大,参照作物平均蒸散强度为 3.95 mm/d; 其中 1 月中旬的平均蒸散强度最小,为 0.89 mm/d; 平均蒸散强度在 5 月下旬达到最大,为 7.33 mm/d,是最小平均蒸散强度的 8.24 倍 (图 1)。参照作物蒸散强度旬际变化规律在内蒙古达茂旗地区总体上呈现先升高后降低的趋势,具体为 1 月上旬至 5 月下旬逐渐升高,5 月下旬至 12 月上旬逐渐降低。

2.2 参照作物蒸散量

2.2.1 逐旬参照作物蒸散量

由表 1 可知,内蒙古达茂旗 30 a 间参照作物蒸散量旬际差异较大。平均旬参照作物蒸散量为 40 mm;

其中 1 月上、中旬平均参照作物蒸散量最小,仅为 9 mm; 5 月下旬平均参照作物蒸散量最大,高达 81 mm。内蒙古达茂旗参照作物蒸散量旬际变化规律,除 5 月上旬和 6 月上旬稍有波动外,总体呈现为 1 月中旬至 5 月下旬逐旬升高,5 月下旬至 12 月下旬逐旬降低。

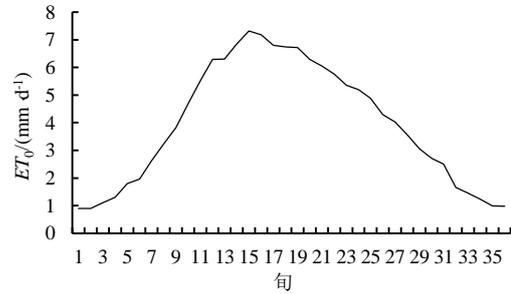


图 1 内蒙古达茂旗参照作物蒸散强度旬际变化动态

Fig.1 The inter-ten-days dynamic change of reference crop evapotranspiration in Darhan Muminggan Joint Banner of Inner Mongolia Autonomous Region

表 1 内蒙古达茂旗 1991—2020 年平均逐旬、逐月参照作物蒸散量

| 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 上月 | 9 | 13 | 26 | 47 | 63 | 72 |
| 中旬 | 9 | 18 | 32 | 55 | 69 | 68 |
| 下旬 | 12 | 16 | 42 | 63 | 81 | 67 |
| 全 | 30 | 47 | 101 | 165 | 212 | 207 |
| 月份 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 上月 | 67 | 58 | 49 | 36 | 25 | 12 |
| 中旬 | 63 | 54 | 43 | 31 | 17 | 10 |
| 下旬 | 67 | 57 | 40 | 30 | 15 | 11 |
| 全 | 197 | 168 | 132 | 96 | 56 | 33 |

2.2.2 逐月参照作物蒸散量

内蒙古达茂旗 30 a (1991—2020 年)间参照作物蒸散量月际差异较大 (表 1)。参照作物平均月蒸散量为 120 mm; 其中 1 月平均蒸散量最小,仅 30 mm; 5 月平均蒸散量最大,高达 212 mm,是 1 月平均蒸散量的 7.07 倍; 参照作物蒸散量月际变化呈现先升高后降低的趋势,具体为 1—5 月逐月升高,5—12 月逐月降低。

2.2.3 饲草燕麦不同阶段参照作物蒸散量

内蒙古达茂旗 30 a (1991—2020 年)平均全年参照作物蒸散量为 1 445 mm,其中生产期占比 74.8%,非生产期占比 25.2%; 生产期第 1 茬参照作物蒸散量明显高于第 2 茬 (表 2)。

2.2.4 参照作物蒸散量年际动态

内蒙古达茂旗参照作物蒸散量年际波动较大,

2003年不足 1 300 mm, 1999 年高达 1 669 mm, 相差接近 380 mm (图 2)。

表 2 内蒙古达茂旗饲草燕麦不同茬次参照作物蒸散量、需水量、需水强度、降水量、有效降水量、灌溉需水量和灌溉定额

Table 2 The reference crop evapotranspiration, water requirement, water requirement rate, precipitation, effective precipitation, irrigation requirement and irrigation quota of alfalfa for different production phase in Darhan Muminggan Joint

| Banner of Inner Mongolia Autonomous Region | | | |
|--|-------|-------|-------|
| 茬次 | 第 1 茬 | 第 2 茬 | 全生产期 |
| 参照作物蒸散量/mm | 585 | 496 | 1 081 |
| 需水量/mm | 497 | 422 | 919 |
| 需水强度(mm d ⁻¹) | 5.5 | 4.1 | 4.8 |
| 降水量/mm | 82 | 173 | 255 |
| 有效降水量/mm | 62 | 130 | 191 |
| 灌溉需水量/mm | 435 | 292 | 728 |
| 灌溉定额/mm | 512 | 344 | 857 |

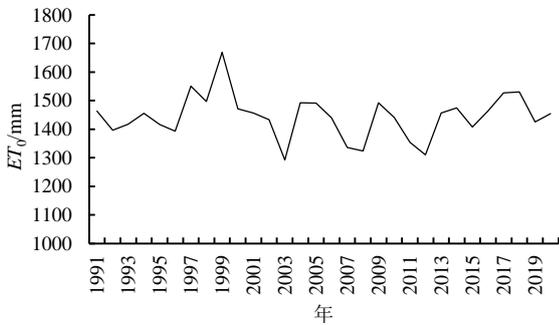


图 2 内蒙古达茂旗参照作物蒸散量年际变化动态

Fig.2 The inter-annual dynamic change of reference crop evapotranspiration in Darhan Muminggan Joint Banner of Inner Mongolia Autonomous Region

2.3 饲草燕麦需水量

内蒙古达茂旗 30 a 平均饲草燕麦生产期需水量为 919 mm; 第 1 茬需水量明显高于第 2 茬 (表 2)。

2.4 饲草燕麦需水强度

内蒙古达茂旗 30 a 平均饲草燕麦生产期需水强度为 4.8 mm/d; 第 1 茬需水强度明显高于第 2 茬 (表 2)。

2.5 降水量和有效降水量

内蒙古达茂旗 30 a 平均有效降水量为 234 mm, 平均年降水量为 312 mm; 其中生产期占比为 82%, 非生产期占比为 18%; 生产期第 2 茬降水量和有效降水量明显高于第 1 茬, 均相差 1.11 倍。

2.6 饲草燕麦灌溉需水量

内蒙古达茂旗 30 a 平均饲草燕麦生产期灌溉需水量为 728 mm, 第 1 茬灌溉需水量较第 2 茬多 168 mm (表 2)。

2.7 饲草燕麦适宜灌溉定额

内蒙古达茂旗 30 a 平均饲草燕麦生产期适宜灌溉定额为 857 mm; 第 1 茬灌溉定额较第 2 茬多 143 mm (表 2)。

3 讨论与结论

3.1 饲草燕麦需水量

部分研究^[5-6,16-17]表明, 山西雁北地区、河北张北、华北东北 15 个旗县市区、内蒙古兴和等地的籽实燕麦单茬需水量依次为 415~440、404~451、280~363、303 mm。研究表明^[7,9-11,13-15], 甘肃天祝、西藏当雄、西藏拉萨、青海乌兰等地的饲草燕麦单茬需水量依次为 301、380~486、570、442~483 mm。本内蒙古达茂旗饲草燕麦第 1、第 2 茬需水量研究结果分别为 497、422 mm, 介于上述各地籽实和饲草燕麦单茬需水量的研究结果之间。

3.2 饲草燕麦需水强度

河北张北、内蒙古兴和^[17]等地籽实燕麦单茬需水强度分别为 3.3~3.7、3.0 mm/d^[6,17]。甘肃天祝、西藏当雄、西藏拉萨、青海乌兰等地的饲草燕麦单茬需水强度依次为 3.7、4.1、4.8、3.8~4.0 mm/d^[7,11,13-15]。内蒙古达茂旗饲草燕麦第 1 茬需水强度研究结果为 5.5 mm/d, 明显高于上述各地籽实和饲草燕麦单茬需水强度的研究结果; 但第 2 茬为 4.1 mm/d, 介于上述研究结果之间。

3.3 饲草燕麦灌溉需水量

王冲等^[16]研究表明, 华北东北 15 个旗县市区籽实燕麦单茬灌溉需水量为 90~259 mm。内蒙古达茂旗饲草燕麦第 1、第 2 茬灌溉需水量研究结果分别为 435、292 mm, 明显高于上述各地籽实燕麦单茬灌溉需水量研究结果。这应是内蒙古达茂旗气候相对干燥、多风、寡云、少雨所致。内蒙古达茂旗全年参照作物蒸散量高达 1 445 mm, 明显高于内蒙古阿鲁科尔沁旗 (1 014 mm)^[19]和陕西榆林林榆阳 (1 095 mm)^[20]。

3.4 饲草燕麦灌溉定额

甘肃天祝、西藏当雄、西藏拉萨、青海乌兰、西藏中东部等地的饲草燕麦单茬灌溉定额依次为 250~350、103~168、110~143、165、56~265 mm^[7,10-11,13,1,18]。内蒙古达茂旗饲草燕麦第 1、第 2 茬灌溉定额研究结果分别为 512、344 mm, 明显高于上述各地饲草燕麦单茬需水强度的研究结果。原因依然是内蒙古达茂旗气候相对干燥、多风、寡云、少雨。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

参考文献:

- [1] 全国畜牧总站. 中国草业统计-2019[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- [2] 刘文辉, 贾志锋, 梁国玲. 我国饲用燕麦产业发展现状及存在的问题和建议[J]. 青海科技, 2020, 27(3): 82-85.
- [3] ALLAN R G, PEREIRA L S, RAES D, et al. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements[M]. Rome: FAO

- Irrigation and Drainage Paper 56.
- [4] DOORENBOS J, PRUITT W O. Guidelines for predicting crop water requirements[J]. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1992, 72-75.
- [5] 崔林. 莜麦生长发育需水规律的研究[J]. 内蒙古农业科技, 1990, 18(3): 17-19, 31.
- [6] 王殿武, 文宏达, 刘树庆, 等. 高寒半干旱区农田施肥效应及对降水生产潜力开发的影响[J]. 麦类作物学报, 2000, 20(2): 60-65.
- [7] 畅利毛. 西北牧区人工牧草需水量预报及灌溉制度优化[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2007.
- [8] 佟长福, 史海滨, 李和平, 等. 呼伦贝尔草甸草原人工牧草土壤水分动态变化及需水规律研究[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(6): 12-14.
- [9] 田德龙, 徐冰, 郭克贞, 等. 西藏高寒牧区(燕麦、青稞)作物-水模型确定[J]. 中国农村水利水电, 2012(7): 9-12.
- [10] 徐冰, 田德龙, 郭克贞, 等. 西藏高寒牧区燕麦耗水量与灌溉制度初步研究[J]. 节水灌溉, 2013(3): 57-59, 62.
- [11] 赵世昌. 西藏高寒牧区人工牧草需水规律及灌溉管理决策研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- [12] 王生辉, 李维华. 不同沟垄集雨方式对旱地燕麦耗水强度及产量的影响[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(2): 121-124.
- [13] 徐冰, 汤鹏程, 李奇, 等. 基于 CROPWAT 模型的拉萨地区燕麦优化灌溉制度研究[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(6): 35-39, 183.
- [14] 张学梅. 高寒荒漠草原区燕麦单播与燕麦/箭筈豌豆混播草地产量和水氮利用研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2019.
- [15] 汪精海, 李广, 余晓雄, 等. 调亏微喷灌对高寒荒漠区人工草地产量、品质及水分利用的影响[J]. 水土保持学报, 2021, 35(4): 200-207, 216.
- [16] 王冲, 林倩, 石晓宇, 等. 基于 SIMETAW 模型的不同地区燕麦需水量研究[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(3): 131-139.
- [17] 郭浩, 江耀, 王静爱, 等. 旱灾风险防范下农户种植策略与政府主导目标一致性—以内蒙古兴和县为例[J]. 资源科学, 2021, 43(9): 1 889-1 902.
- [18] 杨波, 汤鹏程, 徐冰, 等. 西藏燕麦主要种植区灌溉定额空间分布及影响因素[J]. 中国水利水电科学研究院学报(中英文), 2022, 20(5): 464-472.
- [19] 孙洪仁, 杨晓洁, 吴雅娜, 等. 阿鲁科尔沁旗紫花苜蓿需水规律与灌溉定额[J]. 草业科学, 2017, 34(6): 1 272-1 277.
- [20] 孙洪仁, 杨晓洁, 陈真, 等. 榆阳区紫花苜蓿需水规律与灌溉定额[J]. 草地学报, 2017, 25(6): 1 227-1 231.

Water Requirement Regularity and Irrigation Quota of Oats in Darhan Muminggan Joint Banner of Inner Mongolia Autonomous Region

TIAN Yonglei¹, SUN Hongren^{2*}, BAI Chunli¹, WANG Jing¹, WU Hao³, MU Zongjie¹

(1. Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010031, China;

2. College of Grassland Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

3. Inner Mongolia Autonomous Region Meteorological Cadre Training College, Hohhot 010010, China)

Abstract: In order to provide a scientific basis for irrigation of forage oats (*Avena* spp.) in the region of Darhan Maoming'an Union Banner (hereinafter referred to as Damao Banner), Inner Mongolia, The Penman-Monteith formula method recommended by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) was used to analyze meteorological data for 30 years (1991 to 2020), and research was conducted on the water demand pattern of forage oats and irrigation quotas for the Damao Banner area in Inner Mongolia. The water requirements of forage oats in Damao Banner, Inner Mongolia, were 497 mm, 422 mm, and 919 mm for the 1st, 2nd, and full production periods, respectively. The water demand intensities were 5.5 mm/d, 4.1 mm/d and 4.8 mm/d, respectively. Irrigation water requirements were 435 mm, 292 mm and 728 mm, respectively. Irrigation quotas were 512 mm, 344 mm and 857 mm, respectively.

Key words: Penman-Monteith formula; water demand laws; irrigation quotas

责任编辑: 赵宇龙