

紫花苜蓿耗水规律及其用水效率研究

李浩波¹, 高云英¹, 张景武², 刘春和³, 余有成¹, 惠临风¹

(1. 西北农林科技大学动物科技学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 户县畜牧兽医工作站, 陕西 户县 710300;

3. 洛川县兽医卫生监督检验所, 陕西 洛川 727400)

摘要: 归纳分析国内外不同地域、不同生产方式紫花苜蓿全生长季动态耗水试验研究结果, 可以推断: 需水量为 450~1 100 mm, 极端最高可达 1 900 mm; 耗水量为 300~1 450 mm, 极端最高可达 2 245 mm; 需水强度和耗水强度分别为 3~7 和 2~7 mm/d, 短期极端最高需水强度为 14 mm/d; 种植当年, 生物产量和经济产量(含水量 14%)的水分利用效率分别为 8~12, 9~14 kg/(mm·hm²), 种植 2 a 及以上的分别为 12~25 和 14~29 kg/(mm·hm²)。

关键词: 紫花苜蓿; 动态耗水规律; 水分利用效率

中图分类号: Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)06-0163-05

耗水规律是作物合理灌溉、产量预测和灌溉工程设计的基础, 亦是水资源不足条件下对种植业与其他产业之间及种植业内部各种作物之间进行合理配置的前提。紫花苜蓿(*Alfalfa*)为全球最重要的栽培牧草, 被誉为“牧草皇后”。关于其的耗水规律(water consumption regularity), 需水量(water requirement)、耗水量(water consumption)、需水强度(water requirement rate)、耗水强度(water consumption rate)和水分利用效率(water use efficiency)为重要组成内容。北美洲尤其是美国对其动态变化研究较多。而在我国此方面的系统研究较少, 其影响因子和范围鲜见报道, 至今紫花苜蓿的耗水规律尚未被系统、完整地揭示出来。基此, 为促进我国苜蓿产业快速发展, 将国内外开展的试验结果进行较为详尽地归纳和总结具有重要意义。

1 紫花苜蓿的需水量和耗水量

耗水量是在植物生产过程中植物蒸腾(transpiration)、土壤蒸发(evaporation)、植物表面蒸发及构建植物体(有机质的合成原料、细胞液和胞间液的组分等)消耗的水分数之和, 亦称蒸腾蒸发量、腾发量、蒸散量(evapotranspiration, ET)^[1]。

作为耗水量的一个特例, 需水量是在健康无病、养分充足、土壤水分状况最佳、大面积栽培条件下, 植物经过正常生长发育, 在给定的生长环境下获得高产情形下的耗水量^[1]。

1.1 紫花苜蓿的需水量

1.1.1 影响紫花苜蓿需水量的因子

1) 气候。气候影响生长季的长短和大气蒸散力的强弱, 不同气候区域和气候年份紫花苜蓿的需水量不同。Sammis^[2]在美国新墨西哥州 5 个不同地区利用非称重式蒸渗仪研究, 表明不同地区的需水量差别明显, 低者约 1 500 mm, 高者近 1 900 mm。Wright^[3]在美国爱达荷州利用大型称重式蒸渗仪试验, 表明不同年份需水量不同, 变动范围为 990~1 100 mm。尹雁峰等^[4]在河北南皮县的研究表明, 1994 和 1995 年的需水量分别为 760 和 810 mm。陈凤林和刘文清^[5]在内蒙古锡林浩特采用坑测法试验, 结果为 1979 和 1980 年的全生育期需水量分别为 547 和 625 mm。

2) 刈割。刈割使叶面积指数急剧下降, 进而影响蒸散作用, 增加刈割次数可降低紫花苜蓿的需水量。赵淑银^[6]在内蒙古呼和浩特采用坑测法的研究表明, 增加刈割次数使需水量降低, 全生长季仅于成熟期刈割 1 次情形下的需水量为 569 mm, 而刈割 3 次为 454 mm。

1.1.2 紫花苜蓿需水量的范围 归纳国内外的试验结果^[2~9], 可以推断出: 紫花苜蓿因全生长季相对生物产量的差别, 其需水量的范围不同, 一般在 450~1 100 mm, 极端最高可达 1 900 mm。

1.2 紫花苜蓿的耗水量

1.2.1 影响紫花苜蓿耗水量的因子

1) 气候。气候影响生长季的长短、降水量的高低和大气蒸散力的强弱, 不同气候区域和气候年份紫花苜蓿的耗水量不同。总结 Sammis^[2]、Carter 和

收稿日期: 2006-06-12

基金项目: 陕西省科技攻关项目“紫花苜蓿产业化综合生产技术研究”(2003K02-G16-04, 2004K02-G14)

作者简介: 李浩波(1954—), 男, 陕西绥德人, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事饲料资源开发与利用方向的科研和推广工作。

通讯作者: 高云英, E-mail: gayuyi16@tom.com

Sheaffer^[10]、Krogman 和 Lutwick^[11]、Bauder 等^[12]、Stanberry 等^[13]、Daigger 等^[14]、甘允平等^[15]、李玉山^[16]和杨启国等^[17] 诸学者在世界各地的研究结果, 不难得出这一结论。

2) 灌溉。灌溉增加土壤含水量, 进而影响蒸散作用, 在一定范围内紫花苜蓿的耗水量随着灌溉量的增加而提高, 不同灌溉模式紫花苜蓿的耗水量不同。Sammis^[2]在美国新墨西哥州采用线源喷灌系统的研究表明, 其耗水量随着灌溉量的提高而提高, 变化范围为 547~1 457 mm。Carter 和 Sheaffer^[10]在美国明尼苏达州的研究结果为, 高灌、中高灌、中低灌和不灌 4 种灌溉模式下第 3、4 茬的合计耗水量分别为 326, 299, 264 和 179 mm。Krogman 和 Lutwick^[11]在加拿大不列颠哥伦比亚省的研究表明, 依次为直径 1 219 mm 圆盘蒸发量 0.42, 0.70, 0.83 和 1.00 倍的灌溉定额的 4 种灌溉模式下分别为 290, 431, 573 和 616 mm。Bauder 等^[12]在美国北达科他州的研究表明, 旱地、亏缺、适宜、过量 4 种灌溉模式分别为 339, 602, 645 和 686 mm。Stanberry 等^[13]在美国亚利桑那州的研究认为, 湿、中、干 3 种灌溉模式下分别为 2 245, 1 890 和 1 824 mm。

1.2.2 紫花苜蓿耗水量的范围 归纳国内外的研究结果^[2,9~21], 可推断出: 紫花苜蓿因全生长季相对生物产量的差别, 其需水量的范围不同, 一般在 300~1 450 mm, 极端最高可达 2 245 mm。

2 紫花苜蓿的需水强度和耗水强度

耗水强度是单位面积的植物群体在单位时间内的耗水量, 亦称蒸散强度 (evapotranspiration rate)。作为耗水强度的一个特例, 需水强度是单位面积的植物群体在单位时间内的需水量。

2.1 紫花苜蓿的需水强度

2.1.1 影响紫花苜蓿需水强度的因子

1) 大气蒸发力。大气蒸发力直接影响蒸散, 紫花苜蓿的需水强度与大气蒸发力呈正相关。Jackson^[8]在澳大利亚艾丽斯斯普林斯的研究表明, 需水强度与水面蒸发器蒸发强度呈正相关。

2) 气候。气候影响大气蒸散力的强弱, 不同气候区域和气候年份紫花苜蓿的需水强度不同。Wright^[3]的研究表明, 不同年份的需水强度存在差异, 变动范围为 5.1~5.9 mm/d。陈凤林和刘文清^[5]的研究结果, 1979 和 1980 年全生育期分别为 5.3 和 6.6 mm/d。总结 Wright^[3]、陈凤林和刘文清^[5]、赵淑银^[6]、李桂荣^[7]、Jackson^[8]等学者在世界各地的研究结果, 不难得出这一结论。

3) 刈割。刈割使叶面积指数急剧下降, 进而影响蒸散作用, 增加刈割次数可降低紫花苜蓿的需水强度。赵淑银^[6]的研究表明, 刈割后需水强度迅速下降, 约为刈割前的 1/3; 增加刈割次数使需水强度降低, 全生长季仅于成熟期刈割 1 次情形下紫花苜蓿的需水强度为 5.3 mm/d, 而刈割 3 次为 3.6 mm/d。

4) 茬次。不同茬次的紫花苜蓿需水强度不同。Wright^[3]研究表明, 不同茬次的需水强度存在差异, 第 1~3 茬次分别为 5.1, 6.6 和 4.8 mm/d。李桂荣^[7]在河北沧州采用坑测法的研究结果为, 1~3 茬次其依次为 3.6, 5.5 和 1.7 mm/d。

5) 生长发育阶段。不同生长发育阶段紫花苜蓿的需水强度不同。陈凤林和刘文清^[5]研究证明, 播种一出苗、出苗一分枝、分枝一现蕾、现蕾一开花、开花一成熟及全生育期的需水强度依次为 3.4, 2.7, 6.6, 8.2, 6.8 和 5.9 mm/d。赵淑银^[6]研究认为, 返青、分枝、孕蕾、开花、成熟及全生育期的依次为 2.5, 4.0, 5.3, 7.5, 6.9 和 5.3 mm/d。李桂荣^[7]在春播第 1 茬的播种一出苗、出苗一分枝、分枝一现蕾和现蕾一初花期研究表明, 其依次为 1.3, 2.5, 4.9 和 5.1 mm/d; 冬前和越冬期分别为 0.9 和 0.5 mm/d。

2.1.2 紫花苜蓿需水强度的范围 归纳国内外的研究结果^[3,5~9], 可以推断出: 紫花苜蓿全生长季需水强度范围为 3~7 mm/d; 短期极端最高需水强度为 14 mm/d。

2.2 紫花苜蓿的耗水强度

2.2.1 影响紫花苜蓿耗水强度的因子

1) 气候。气候影响降水量的高低和大气蒸散力的强弱, 不同气候区域和气候年份紫花苜蓿的耗水强度不同。总结 Jackson^[8]、Stanberry 等^[13]、Daigger 等^[14]、杨启国等^[17]、范文波等^[21]、Krogman 和 Hobbs^[22]等学者在世界各地的研究结果, 不难得出这一结论。

2) 土壤含水量。土壤含水量直接影响蒸散, 紫花苜蓿的耗水强度与土壤含水量呈正相关。Jackson^[8]在澳大利亚艾丽斯斯普林斯的研究表明, 耗水强度与土壤含水量呈正相关, 当土壤含水量降至 8% 左右时, 其耗水强度急剧下降。

3) 灌溉。灌溉增加土壤含水量, 进而影响蒸散作用, 在一定范围内紫花苜蓿的耗水强度随着灌溉量的提高而提高; 不同灌溉模式的耗水强度不同。Stanberry 等^[13]研究表明, 湿、中和干 3 种灌溉模式下其差异显著, 分别为 6.4, 5.3 和 5.3 mm/d。Krogman 和 Hobbs^[22]在加拿大阿尔伯塔省的研究结果, 3 种为根区土壤有效水含量降到 25%, 50% 和

75%时灌溉至田间持水量的灌溉模式其分别为4.3, 4.8 和 5.8 mm/d。

4) 刈割。刈割使叶面积指数急剧下降,进而影响蒸散作用,与刈割前相比刈割后紫花苜蓿的耗水强度明显降低。杨启国等^[17]在甘肃定西(年均降水量 425 mm,无灌溉)采用大型称重式蒸渗仪的研究表明,刈割后的耗水强度迅速下降,刈割前 3 周和刈割后 2 周分别为 3.0 和 1.2 mm/d。

5) 茬次。不同茬次紫花苜蓿的耗水强度不同。Krogman 和 Hobbs^[22]研究表明,不同茬次耗水强度不同,第 1~3 茬分别为 4.6, 5.6 和 4.8 mm/d。Daigger 等^[14]在美国内布拉斯加州的研究认为,第 1~3 茬的耗水强度分别为 4.1, 5.6 和 5.9 mm/d。

6) 生长发育阶段。不同生长发育阶段紫花苜蓿的耗水强度不同。范文波等^[21]在新疆石河子垦区(降水量 220 mm,灌溉量约 200 mm)的研究表明,苗期、分枝期、花期、结实期和全生育期的耗水强度依次为 1.9, 3.4, 4.0, 2.3 和 2.9 mm/d。Jackson^[8]研究认为,刈割后 10 d 以内的耗水强度明显低于其他生长阶段;当植株高度达到 15 cm 左右时,耗水强度趋于稳定。Krogman 和 Hobbs^[22]的研究认为,植被完全覆盖地面前、后 2 阶段的耗水强度分别为 3.3 和 6.7 mm/d。

2.2.2 紫花苜蓿耗水强度的范围 归纳国内外的研究成果^[8, 13~15, 17, 18, 21, 22],可以推断出:紫花苜蓿全生长季耗水强度范围为 2~7 mm/d。

3 紫花苜蓿的水分利用效率

水分利用效率(water use efficiency) 是单位面积土地上植物消耗单位水量所形成的生物量(干物质)或经济产量,常用单位 kg/(mm·hm²)。水分利用效率亦常表述为生物产量或经济产量与植物耗水量之比值,其中耗水量、生物产量、经济产量的单位为同级质量单位。显然,水分利用效率有两类,即生物产量水分利用效率和经济产量水分利用效率。生物产量又有全部生物产量、部分生物产量(地上生物产量)之分,在没有限定性说明的情况下,通常应用后者。经济产量是植物可收获的、具有经济价值并作为主要生产目标部分的产量。对于牧草而言,经济产量与生物产量在数值上的差别决定于经济产量含水量^[1]。

3.1 影响紫花苜蓿水分利用效率的因子

3.1.1 气候 不同气候区域及气候年份紫花苜蓿的水分利用效率不同。韩仕峰^[23]在宁夏南部山区旱作条件下的研究表明,不同气候区域其差别明显,

半湿润偏旱区(年均降水量 500 mm 左右,干燥度 1.2~1.6)、半干旱区(年均降水量 450 mm 左右,干燥度 1.6~2.0)和干旱区(年均降水量 400 mm 以下,干燥度 1.8~2.4),其生长第 3~4 a 的依次为 13.2, 17.0 和 8.9 kg/(mm·hm²);生长第 5~6 a 高耗水量地块依次为 26.4, 21.8 和 7.5 kg/(mm·hm²)。Bauder 等^[12]的研究表明,在生长季降雨较少年份(降水量 70~188 mm,圆盘蒸发量 757~923 mm),生长第 2~5 年的生物产量水分利用效率为 14.3 kg/(mm·hm²);而在生长季降水较多年份(降水量 478 mm,圆盘蒸发量 768 mm)为 21.4 kg/(mm·hm²)。Metochis 和 Orphanos^[24]在塞浦路斯尼科西亚地区的研究认为,降水较少的 1978 年(全年降水量 302 mm,3~11 月灌溉期降水量 79 mm)和降水较多的 1979 年(全年降水量 511 mm,3~11 月灌溉期降水量 253 mm)生长第 3~4 a 的水分利用效率分别为 14.7 kg/(mm·hm²) 和 16.0 kg/(mm·hm²)。

3.1.2 灌溉 灌溉量和灌溉模式影响紫花苜蓿的水分利用效率。Stanberry 等^[13]研究表明,灌溉模式显著影响其水分利用效率,湿、中和干 3 种模式下生长第 2~4 a 分别为 11.6, 10.6 和 9.5 kg/(mm·hm²)。利用 Krogman 和 Lutwick^[11]的试验数据,可计算出 4 种灌溉处理,生长第 2~3 a 的水分利用效率分别为 7.5, 12.8, 15.3 和 14.7 kg/(mm·hm²)。Snaydon^[25]在澳大利亚堪培拉的研究表明,耗水量与水分利用效率密切相关,耗水量为美国标准 A 型圆盘蒸发量的 0.5 倍时,生长第 6~7 a 的生物产量水分利用效率最高,约为 17 kg/(mm·hm²);而 0.3 和 1.0 倍则分别约为 9 和 12 kg/(mm·hm²)。Metochis 和 Orphanos^[24]研究表明,灌溉模式与水分利用效率密切相关,全生长季灌溉,干热夏季第 1 茬不灌,干热夏季第 1、2 茬不灌,干热夏季第 1、3 茬不灌,干热夏季第 1~3 茬不灌 5 个处理的生长第 3~4 a 生物产量水分利用效率依次为 13.7, 14.6, 15.9, 15.8 和 17.1 kg/(mm·hm²)。Bauder 等^[12]研究认为,旱地、亏缺、适宜和过量 4 种灌溉模式下,生长季降水较少年份的生物产量水分利用效率依次为 13.3, 14.4, 14.6 和 14.9 kg/(mm·hm²),生长季降水较多年份依次为 25.0, 21.4, 20.9 和 18.2 kg/(mm·hm²)。

3.1.3 施肥 施肥量和施肥模式不同紫花苜蓿的水分利用效率不同。Stanberry 等^[13]10 种处理、生长第 2~4 a 的研究表明,施磷数量和模式显著影响其水分利用效率,最高和最低者分别为 12.5 和 6.9 kg/(mm·hm²)。Bourget 和 Carson^[26]在温室、盆栽

条件下研究表明,施磷钾复合肥处理的水分利用效率明显高于不施肥对照。

3.1.4 生长年限 种植 2 a 以上(含 2 a)的紫花苜蓿水分利用效率高于种植当年。利用 Sammis^[2]对充足供水条件下的研究数据,可计算出种植当年与种植 2 a 以上的生物产量水分利用效率,在克洛维斯地区分别为 8.2 和 9.4 kg/(mm·hm²),在法明顿地区分别为 9.1 和 13.6 kg/(mm·hm²),在拉斯克鲁塞斯地区分别为 10.3 和 13.6 kg/(mm·hm²)。

3.1.5 茬次 不同茬次的紫花苜蓿水分利用效率不同。Daigger 等^[14]研究表明,其不同茬次生长第 2~4 a 生物产量水分利用效率不同,第 1~3 茬次依次为 18.5、15.9 和 11.6 kg/(mm·hm²)。李桂荣^[7]研究认为,生长第 1 a 的 1~3 茬次生物产量水分利用效率依次为 10.1、16.1 和 10.7 kg/(mm·hm²)。

3.1.6 品种 不同品种紫花苜蓿的水分利用效率差异不显著。McElgunn 和 Heinrichs^[27]在人工气候室内采用盆栽称重法的研究表明,5 个基因类型(AT-522、WL-210、Alfa、Anchor 和 Saranac)紫花苜蓿的水分利用效率差异不显著。以及 Fairbourn^[28]在美国怀俄明州对 Dawson、Fremont、Ladak、Team、Travois 和 Vernal 6 个品种、Grimes 等^[29]在美国加利福尼亚州利用线源喷灌系统,对 3 种秋眠类型(CUF101、Moapa 和 WL318)和李桂荣^[7]对两品种(保丰和 WL323)的试验研究亦都得出了相似结论。

3.2 紫花苜蓿水分利用效率的范围

归纳国内外的研究结果^[2~4,7,9~16,20,23~39],剔除非常者(如超量供水又未计渗漏损失^[13]、水分严重亏缺^[11,23,25]、利用水分平衡方程计算耗水量时土壤取样深度不足^[19,30,31]及测定条件为人工控制环境^[27,28,32]等情形下的结果),可以做出如下推断:在相对正常的田间栽培管理条件下,种植当年的紫花苜蓿生物产量和经济产量(含水量 14%^[40])的水分利用效率范围分别为 8~12 和 9~14 kg/(mm·hm²),种植 2 a 及以上者分别为 12~25 和 14~29 kg/(mm·hm²)。

4 小 结

不同气候区域和年份紫花苜蓿的需水量和耗水量不同;增加刈割次数可降低需水量;在一定范围内耗水量随着灌溉量的增加而提高,不同灌溉模式耗水量不同。紫花苜蓿的需水量和耗水量的范围分别为 450~1 100 和 300~1 450 mm。

不同气候区域和年份、茬次及生长发育阶段紫花

苜蓿的需水强度和耗水强度不同;需水强度与大气蒸发力呈正相关,耗水强度与土壤含水量呈正相关;增加刈割次数可降低需水强度,刈割后需水强度和耗水强度明显降低;在一定范围内耗水强度随着灌溉量的增加而提高,不同灌溉模式耗水强度不同。紫花苜蓿全生长季需水强度和耗水强度的范围分别为 3~7 和 2~7 mm/d;短期极端最高需水强度为 14 mm/d。

不同气候区域、气候年份、灌溉量、灌溉模式、施肥量、施肥模式及刈割茬次紫花苜蓿的水分利用效率不同;种植 2 a 及以上高于种植当年;不同品种间差异不显著。在相对正常的田间栽培管理条件下,种植当年的紫花苜蓿生物产量和经济产量(含水量 14%)的水分利用效率的范围分别为 8~12 和 9~14 kg/(mm·hm²),种植 2 a 以上(含 2 a)者分别为 12~25 和 14~29 kg/(mm·hm²)。

参 考 文 献:

- [1] 孙洪仁,韩建国,张英俊,等. 蒸腾系数、耗水量和耗水系数的含义及其内在联系[J]. 草业科学, 2004, 21(增刊): 522-526.
- [2] Sammis T W. Yield of alfalfa and cotton as influenced by irrigation[J]. Agron. J., 1981, 73: 323-329.
- [3] Wright J L. Daily and seasonal evapotranspiration and yield of irrigated alfalfa in southern Idaho[J]. Agron. J., 1988, 80: 662-669.
- [4] 尹雁峰,王新元. 苜蓿地土壤水分动态及苜蓿耗水规律的研究[J]. 海河水利, 1997, (4): 9-11.
- [5] 陈凤林,刘文清. 几种栽培牧草需水规律的初步研究[J]. 中国草原, 1982, (3): 38-43.
- [6] 赵淑银. 刈割对牧草作物系数的影响[J]. 内蒙古农牧学院学报, 1996, 17(4): 58-61.
- [7] 李桂荣. 苜蓿需水量及水分利用效率的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2003.
- [8] Jackson E A. Water consumption by Lucerne in central Australia[J]. Aust. J. Agri. Res., 1960, 11: 715-722.
- [9] Hanson A A. Alfalfa and alfalfa improvement [M]. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Inc., Publisher, 1988. 390-391.
- [10] Carter P R, Sheaffer C C. Alfalfa response to soil water deficits. I. Growth, forage quality, yield, water use, and water-use efficiency[J]. Crop Sci., 1983, 23: 669-675.
- [11] Krogman K K, Lutwick L F. Consumptive use of water by forage crops in the Upper Kootenai River Valley[J]. Can. J. Soil Sci., 1961, 41: 1-4.
- [12] Bauder J W, Bauer A, Ramirez J M, et al. Alfalfa water use and production on dryland and irrigated sandy loam[J]. Agron. J., 1978, 70: 95-99.
- [13] Stanberry C O, Converse C D, Haise H R, et al. Effect of moisture and phosphate variables on alfalfa hay production on the Yuma Mesa[J]. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1955, 19: 303-310.
- [14] Daigger L A, Axthelm L S, Ashburn C L. Consumptive use of water by alfalfa in Western Nebraska[J]. Agron. J., 1970, 62:

507—508.

[15] 张珍余,裴素萍.准噶尔南缘荒漠绿洲接壤带农田水分平衡的研究及节水技术[J].新疆环境保护,1994,16(4):73—77.

[16] 李玉山.苜蓿生产力动态及其水分生态环境效应[J].土壤学报,2002,39(3):404—411.

[17] 杨启国,张旭东,杨兴国.甘肃中部半干旱区紫花苜蓿耗水规律及土壤水分变化特征研究[J].中国农业气象,2003,24(4):37—40.

[18] 李跃进,李绍良,王国贤.内蒙古南部黄土丘陵区土壤水分与苜蓿生长关系的研究[J].中国草地,1990,12(6):32—36.

[19] 仇化民,余伏森,邓振镛,等.黄土高原牧草耗水规律研究[J].中国草地,1993,15(1):33—39.

[20] 李代琼,姜 峻,梁一民,等.安塞黄土丘陵区人工草地水分有效利用研究[J].水土保持研究,1996,3(2):66—74.

[21] 范文波,刘换芳,朱保荣,等.弃耕地苜蓿耗水规律及灌溉制度研究[J].水土保持报,2003,17(3):165,166,173.

[22] Krogman K K, Hobbs E H. evapotranspiration by irrigated alfalfa as related to season and growth stage [J]. Can. J. Plant Sci., 1965, 45, 310—313.

[23] 韩仕峰.宁南山区苜蓿草地土壤水分利用特征[J].草业科学,1990,7(5):47—52.

[24] Metochis Chr, Orphanos P I. Alfalfa yield and water use when forced into dormancy by withholding water during the summer [J]. Agron. J., 1981, 73, 1048—1050.

[25] Snaydon R W. The effect of total Water supply, and of frequency of application, upon Lucerne. I. Dry matter production[J]. Aust. J. Agri. Res., 1972, 23, 239—251.

[26] Bourget S J, Carson R B. Effects of soil moisture stress on yield, water-use efficiency and mineral composition of oats and alfalfa grown at two fertility levels[J]. Can. J. Soil Sci., 1962, 42, 7—12.

[27] McElgunn J D, Heinrichs D N. Water use of alfalfa genotypes of diverse genetic origin at three soil temperature [J]. Can. J. Plant Sci., 1975, 55, 705—708.

[28] Fairbourn M L. Water use by forage species [J]. Agron. J., 1982, 74, 62—66.

[29] Grimes D W, Wiley P L, Sheesley W R. Alfalfa yield and plant water relations with variable irrigation [J]. Crop Sci., 1992, 32, 1381—1387.

[30] 朱湘宁,郭继勋,梁纯柱,等.华北平原地区灌溉对苜蓿产量及土壤水分的影响[J].中国草地,2002,24(6):32—37.

[31] Hattendorf M J, Evans D W, Peaden R N. Canopy temperature and stomata conductance of water stressed dormant and non dormant alfalfa [J]. Agron. J., 1990, 82, 873—877.

[32] Jodari Karimi F, Watson V, Hodges H, et al. Root distribution and water use efficiency of alfalfa as influenced by depth of irrigation [J]. Agron. J., 1983, 75, 207—211.

[33] 王立祥,王留芳,范芳强,等.西北黄土高原半干旱一半湿润地区旱作农田降水生产潜力及开发途径[J].自然资源学报,1989,4(1):19—26.

[34] 孙洪仁.紫花苜蓿前蒸腾系数及紫花苜蓿和玉米经济产量耗水系数比较[J].草地学报,2003,11(4):346—349.

[35] Hanson C H. Alfalfa Science and Technology [M]. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Inc., Publisher, 1972. 471—474.

[36] Guitjens J C, ASCE M. Models of alfalfa yield and evapotranspiration [J]. J. Irrig. Drain. Div.: Am. Soc. Civ. Eng., 1982, 36(3): 212—222.

[37] Donovan T J, Meek B D. Alfalfa response to irrigation treatment and environment [J]. Agron. J., 1983, 75, 461—464.

[38] Bolger T P, Matches A G. Water-use efficiency and yield of sainfoin and alfalfa [J]. Crop Sci., 1990, 30, 143—148.

[39] Stewart B A, Nielsen D R. Irrigation of agricultural crops [M]. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Inc., Publisher, 1990. 561—563.

[40] NY/T 635—2002. 中华人民共和国行业标准 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.

Summary of researching on the dynamic regulation of water consumption of alfalfa

LI Hao-bo¹, GAO Yun-ying¹, ZHANG Jing-wu², LIU Chun-he³, YU You-cheng¹, XI Lin-feng¹
(1. College of Animal Sci-Tech, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Huxian Animal Husbandry and Veterinary Station, Huxian, Shaanxi 710300, China;
3. Luochuan County veterinarian sanitary supervision examination center, Luochuan, Shaanxi 727400, China)

Abstract: Alfalfa water requirement (WR) and the water consumption (WC) in the whole growth season were about 450~1 100 mm and 300~1 450 mm, respectively, the highest WR and highest WC were 1 900 mm and 2 245 mm, respectively. The ranges of water requirement rates (WRR) and water consumption rates (WCR) of alfalfa during the whole growth season were 3~7 mm/d and 2~7 mm/d, respectively. The highest WRR in a short period was 14 mm/d. The range of the water use efficiencies (WUE) in biomass and economic yield (14% contained with water) of alfalfa in the first planting year were about 8~12 kg/(mm·hm²) and 9~14 kg/(mm·hm²), respectively, in two and more than two planting years were 12~25 kg/(mm·hm²) and 14~29 kg/(mm·hm²), respectively.

Keywords: Alfalfa; dynamic regulation of water consumption; water use efficiency
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>