



光照和水分对紫花苜蓿生长和水分利用的影响

孟繁滢 金乃轩 王自奎

Effects of light and water on alfalfa growth and water use

MENG Fanying, JIN Naixuan, WANG Zikui

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0301>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

温度、光照和水分对飞扬草种子萌发和幼苗生长的影响

Effect of temperature, light length and water condition on *Euphorbia hirta* germination and seedling growth

草业科学. 2017, 11(7): 1452 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2016-0578>

不同施氮量对青贮玉米产量及水分利用效率的影响

Effects of different nitrogen application rates on yield and water use efficiency of silage maize

草业科学. 2021, 38(7): 1351 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0204>

禾豆混播与调亏灌溉对河西地区饲草产量、品质和水分利用的影响

Effects of gramineae-legume mixed sowing and deficit irrigation on yield, quality and water use of forage grass in Hexi region

草业科学. 2021, 38(1): 122 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0301>

青藏高原金露梅灌丛草甸水分利用效率长期变化特征

Spatiotemporal variations in the water use characteristics and efficiency of *Potentilla fruticosa* shrubs found in the Qinghai Tibet Plateau

草业科学. 2021, 38(9): 1671 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0162>

水分和磷处理对建植当年柳枝稷根系生长和形态特征的影响

Effects of water and phosphorus on root growth and morphological characteristics of switchgrass in the establishment year

草业科学. 2019, 36(8): 2096 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0584>

干旱半干旱地区紫花苜蓿营养品质对水分胁迫的响应

Effects of water stress on nutritional quality of alfalfa in arid and semiarid areas

草业科学. 2017, 11(1): 112 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2016-0240>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0301

孟繁滢, 金乃轩, 王自奎. 光照和水分对紫花苜蓿生长和水分利用的影响. 草业科学, 2023, 40(8): 2121-2128.

MENG F Y, JIN N X, WANG Z K. Effects of light and water on alfalfa growth and water use. Pratacultural Science, 2023, 40(8): 2121-2128.

光照和水分对紫花苜蓿生长和水分利用的影响

孟繁滢, 金乃轩, 王自奎

(兰州大学草地农业科技学院 / 草地农业生态系统国家重点实验室 / 草业科学国家级实验教学示范中心, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 水分影响牧草的生长和生产, 光能驱动牧草水资源利用和生产地上生物量, 二者均是限制黄土高原畜牧业发展的重要因素。结合黄土高原光照时间长、水分短缺的特点, 深入了解水分和光照强度对紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 生长的影响, 可为优化紫花苜蓿的种植模式和栽培管理提供一定依据。采用盆栽试验, 研究两种供水水平 (高水: 田间持水量的 70%~100%; 低水: 田间持水量的 50%~70%) 和两种光照强度 [高光: 总辐射接受量约为 $20.7 \text{ MJ} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 相当于晴天的太阳辐射; 低光总辐射接受量约为 $14.8 \text{ MJ} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 相当于半阴天的太阳辐射] 下紫花苜蓿生长动态、地上生物量和水分利用的变化规律, 阐明光照强度和水分对紫花苜蓿的影响。结果表明, 高水低光处理下, 紫花苜蓿的叶片数、叶面积最大, 单株地上生物量最高。在两种光照强度下, 高水处理的紫花苜蓿较低水处理地上生物量平均增加 158.1%, 耗水量平均增加 68.8%, 水分利用效率平均增加 65.5%。两种水分条件下, 低光处理下的紫花苜蓿较高光处理地上生物量平均增加 89.8%, 耗水量平均减少 9.5%, 水分利用效率平均增加 60.0%, 因此降低光照强度可提高紫花苜蓿的地上生物量与水分利用效率。

关键词: 紫花苜蓿; 生物量; 水分利用效率; 根冠比; 叶面积; 叶片数; 光照强度

文献标识码: A 文章编号: 1001-0629(2023)08-2121-08

Effects of light and water on alfalfa growth and water use

MENG Fanying, JIN Naixuan, WANG Zikui

(College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University / State Key Laboratory of Grassland Agro-Ecosystem / National Demonstration Center for Experimental Grassland Science Education, Lanzhou 730020, Gansu, China)

Abstract: Water affects forage growth and production, and light energy drives forage water use and production of aboveground biomass, all of which are important factors limiting the development of livestock farming on the Loess Plateau. In this study, we combined the characteristics of long light hours and water shortage on the Loess Plateau to elucidate the effects of water and light intensity on the growth of alfalfa (*Medicago sativa*) to provide a basis for optimizing the planting pattern and cultivation management of alfalfa. We used pot experiments to study two water supply levels (high water: 70%~100% of field water holding capacity, low water: 50%~70% of field water holding capacity) and two light intensities (high light: total radiation received = approximately $20.7 \text{ MJ} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, equivalent to solar radiation on a sunny day, and low light: total radiation received = approximately $14.8 \text{ MJ} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, equivalent to solar radiation on a semi-shady or semi-cloudy day), to elucidate the effects of light intensity and water on the growth dynamics, aboveground biomass, and water use of alfalfa. The results showed that the number of leaves, leaf area, and aboveground biomass of alfalfa were the highest (15.97

收稿日期: 2022-04-11 接受日期: 2022-06-29

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31871560); 甘肃省重大科技计划项目 (21ZD4NA012); 国家牧草产业技术体系项目 (CARS-34); 中央高校基本科研业务费项目 (lzujbky-2020-19)

第一作者: 孟繁滢 (1998-), 女, 天津人, 在读硕士生, 研究方向为植物光合作用。E-mail: mengfy20@lzu.edu.cn

通信作者: 王自奎 (1987-), 男, 甘肃会宁人, 教授, 博士, 研究方向为牧草栽培学。E-mail: wzq@lzu.edu.cn

g·plant⁻¹) under high water and low light treatments. Under both light intensities, aboveground biomass, water consumption, and water use efficiency increased by 158.1%, 68.8%, and 65.5% on average, respectively, in alfalfa in the high water treatment compared with the low water treatment. Under both water conditions, aboveground biomass, water consumption, and water use efficiency increased by 89.8%, decreased by 9.5%, and increased by 60.0% on average, respectively, under low light treatment compared with the high light treatment. Therefore, reducing light intensity could improve aboveground biomass and water use efficiency of alfalfa.

Keywords: alfalfa; biomass; water use efficiency; root-shoot ratio; leaf area; leaf number; light intensity

Corresponding author: WANG Zikui E-mail: wzk@lzu.edu.cn

紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 具有产量高、适口性好、营养价值高、环境适应能力强等优点^[1], 是我国种植面积最大的优质牧草之一^[2]。黄土高原地区是我国农业和畜牧业生产的重要基地^[3], 该地区光照充足但水资源短缺, 一定程度上限制了当地优质牧草的生长^[4]。紫花苜蓿作为抗旱能力强的高耗水饲草作物^[5], 其大面积的种植会造成黄土高原地区深层土壤干燥化, 最终导致紫花苜蓿草地退化, 对农业的可持续发展造成不利影响^[6-7]。如何在提高饲草作物产量的同时减少水分消耗成为干旱半干旱地区亟待解决的问题。

大量学者在水分、光照对紫花苜蓿生长的影响以及水分利用等方面进行了研究。Thompson 和 Fick^[8] 发现土壤水分过多不利于紫花苜蓿根系的生长。李新乐等^[9] 发现紫花苜蓿生长早期对水分亏缺反应相对敏感, 轻度干旱处理显著降低茎分枝数, 从而降低地上生物量。陆姣云等^[2] 发现随着水分胁迫的减小, 紫花苜蓿的株高表现出显著差异, 呈现出逐渐递增的趋势; 轻度水分胁迫有利于紫花苜蓿地上生物量以及水分利用效率的提高。Cao 等^[10] 发现, 通常水分亏缺会降低紫花苜蓿全生育期的耗水量。光合作用是牧草生长的基础, 是牧草生产力构成的最主要因素, 对牧草地上生物量起至关重要的作用。随着光照强度的降低, 不同品种的紫花苜蓿株高呈现逐渐降低或先增高后降低的趋势, 叶片数表现出显著下降的趋势^[11], 叶片光合速率降低, 植物生物量下降^[12]。马至良等^[13] 研究证明, 随着光照强度逐渐降低, 紫花苜蓿地上部分积累的生物量逐渐减少, 光照强度显著影响了地上生物量的积累。

基于此, 本研究拟根据黄土高原半干旱区日照时间长、降水量少的气象特征, 设置两种光照强度及两种水分水平, 研究光照强度和水分供应对紫花

苜蓿的生长动态、地上生物量和水分利用的变化规律, 阐明光照强度和水分水平对紫花苜蓿的影响, 以为黄土高原半干旱环境下紫花苜蓿的种植模式以及栽培管理提供理论依据。

1 试验设计与研究方法

1.1 试验设计

本研究在兰州大学草地农业科技学院实验室控光植物培养架上进行。试验采用完全随机试验设计, 设置高水 (田间持水量的 70%~100%) 和低水 (为田间持水量的 50%~70%) 两个供水水平; 高光 [总辐射接受量约为 20.7 MJ·(m²·d)⁻¹, 相当于晴天的太阳辐射] 和低光 [总辐射接受量约为 14.8 MJ·(m²·d)⁻¹, 相当于半阴天的太阳辐射] 两个光照强度, 共 4 个处理, 即高水高光、高水低光、低水高光和低水低光。每个处理设置 3 个重复, 共计 12 盆。其中, 高水和低水处理每 7 d 通过称重法控制土壤水分含量; 高光和低光处理分别通过模拟自然光补光灯给植株提供 480 和 340 W·m⁻² 光照强度的光源, 所有处理每天光照 14 h。供试土壤为兰州市榆中县农田耕层土, 装入直径为 24 cm、深度为 25 cm 的花盆内, 土壤质地为沙壤土, 田间持水量约为 24% (体积含水量), 根据土壤容重为 1.30 g·cm⁻³ 装土, 每桶约 16 kg 土壤。

选用‘陇东苜蓿’为供试品种, 每桶采用穴播种植 20 株, 播种 7 d 后出苗, 24 d 后定苗, 每盆选取 10 株长势均匀的幼苗, 密度约为 221 plant·m⁻², 并开始试验处理, 播种 90 d 后苜蓿达到初花期并收获。

1.2 测定项目与方法

叶片数、叶面积与株高: 试验开始阶段, 在每个处理组均选出一株长势良好且据代表性的植株并

标记。于播种后第 24 日、第 31 日、第 38 日、第 45 日、第 53 日、第 66 日用尺子测量该植株所有叶片的叶长与叶宽并清点单株叶片数。叶面积计算公式^[14]为:

$$A = K \cdot L \cdot W。 \tag{1}$$

式中: A 为紫花苜蓿叶面积, 单位为 cm^2 ; K 为校正系数; L 为叶片的叶长, 单位为 cm ; W 为叶片的叶宽, 单位为 cm 。校正系数 K 取 0.736 6。

地上生物量: 将所有处理的紫花苜蓿于收获时齐地面刈割, 测定其鲜重, 再将植物鲜样于 $105\text{ }^\circ\text{C}$ 下杀青 30 min, $65\text{ }^\circ\text{C}$ 下烘干至恒重, 称其地上生物量。

根系生物量: 地上生物量收获后, 将根系与土分离洗净。先将土样装入直径为 0.149 mm 网筛中进行至少 8 h 的浸泡, 待土块完全变软后通过水冲洗, 用镊子进行根系的挑拣和整理。最后将整理好的根系放置在 $65\text{ }^\circ\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重, 获得根系生物量。

根冠比: 紫花苜蓿地下生物量干重与地上生物量干重之比即为根冠比^[15]。

生育期耗水量 (ET_a): 通过水量平衡法计算^[16]。

$$ET_a = I - \Delta W。 \tag{2}$$

式中: I 为灌溉水量 (mm), ΔW 为生育期末土壤储水量与生育期初土壤储水量之差 (mm)。

水分利用效率: 饲草作物的水分利用效率 (water use efficiency, $WUE, \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) 为单位耗水生产地上生物量的效率^[16]。

$$WUE = DM / 10ET_a。 \tag{3}$$

式中: DM 为作物地上生物量 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$); ET 为作物生育期耗水量 (mm)。

1.3 数据处理

试验数据采用 Excel 汇总、整理和处理。采用 SPSS 22.0 对测得数据进行双因素方差分析 ($\alpha = 0.05$)。采用 Origin 软件作图。

2 结果

2.1 紫花苜蓿叶片数和叶面积

2.1.1 紫花苜蓿叶片数

各处理下的紫花苜蓿叶片数在播种后 38 d 内均缓慢增长。播种后的 38~53 d, 高水低光、高水

高光、低水低光处理下的紫花苜蓿叶片数大幅增长, 在 53 d 分别是低水高光处理的 2.4 和 2.6、2.3 倍 (图 1)。在此阶段, 高水处理下紫花苜蓿叶片数增长量较低水处理多, 说明紫花苜蓿在快速生长期叶片的生长发育受水分影响较大。收获时, 高水低光处理下的紫花苜蓿叶片数最多, 分别较高水高光、低水低光、低水高光处理增加 3.8%、42.2% 和 379.7%。

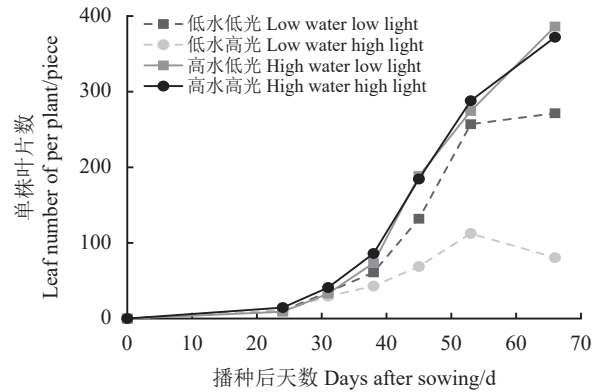


图 1 不同光照强度和水分水平下的紫花苜蓿叶片数
Figure 1 Changes in alfalfa leaf number under different light intensities and water levels

2.1.2 紫花苜蓿叶面积

各处理下的紫花苜蓿叶面积在播种后 38 d 内均缓慢增长, 播种后的 38~53 d, 高水低光、高水高光、低水低光处理下的紫花苜蓿叶面积大幅增长 (图 2)。收获时高水低光处理下的紫花苜蓿叶面积最高, 较高水高光、低水低光、低水高光处理分别增加 116.1%、116.5% 和 2194.2%, 表明高水低光条件最有利于紫花苜蓿叶面积的增加。

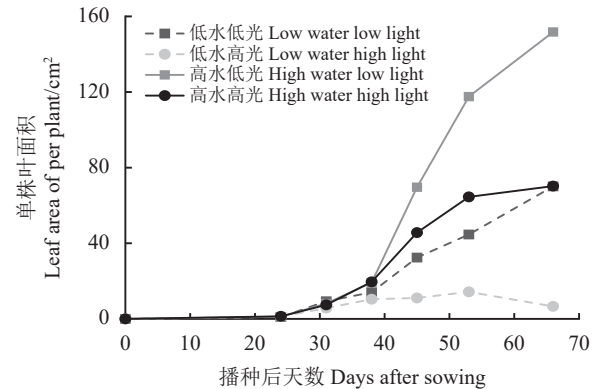


图 2 不同光照强度和水分水平下的紫花苜蓿叶面积
Figure 2 Changes in alfalfa leaf area under different light intensities and water levels

在两种光照强度处理下,高水处理的叶片数和叶面积均较低水处理多。高水高光的叶片数与叶面积较低水高光分别增加 362.1% 和 961.7%,高水低光较低水低光分别增加 42.2% 和 116.5%。这表明随着土壤水分含量的减少,单株叶片数和叶面积减少,降低了蒸腾表面积,减少了水分散失,且在高光条件下,此现象更加明显。在高水处理下,低光处理比高光处理叶片数仅增加 3.8%,但叶面积增加了 116.1%,这说明在水分充足的条件下,紫花苜蓿会以增加单片叶子的叶面积的形式来应对光照强度不足的情况,加强植物光合作用。在低水高光条件下,播种 53 d 后,紫花苜蓿出现叶片凋落以及死亡现象,叶片数以及叶面积降低。

2.2 紫花苜蓿地上和根系生物量及根冠比

2.2.1 紫花苜蓿地上生物量

光照强度对紫花苜蓿地上生物量具有极显著影响 ($P < 0.001$),高水低光处理的紫花苜蓿地上生物量较高水高光处理显著增加了 32.6%,低水低光处理的紫花苜蓿地上生物量较低水高光处理显著增加了 592.5%。水分梯度对紫花苜蓿地上生物量有极显著作用 ($P < 0.001$),高水高光处理的紫花苜蓿地上生物量较低水高光处理增加 779.1%,高水低光处理的紫花苜蓿地上生物量较低水低光处理增加 68.4%。表明低光处理与高水处理更有利于紫花苜蓿的生长。光照强度与水分梯度的交互作用在地上生物量中达到了显著水平 ($P < 0.05$)。高水低光处理的紫花苜蓿地上生物量最高,为 15.97 $\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$,比低水高光处理显著增加 1 065.9%。4 个处理中,高水低光处理更有利于紫花苜蓿地上生物量的积累 (图 3)。

2.2.2 紫花苜蓿根系生物量

紫花苜蓿根系生物量受光强、水分和两者交互的显著影响 ($P < 0.05$),且随土壤水分减少而降低,随光照强度的降低而增加。在两种水分处理下,低光处理的紫花苜蓿根系生物量较高光处理平均增加了 70.3%,在两种光照处理下,高水处理的紫花苜蓿根系生物量较低水处理平均增加了 80.9%。4 个处理中,高水低光处理的根系生物量最高,为 9.26 $\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$,较高水高光处理、低水低光处理、低水高光处理分别高 6.5%、11.5% 和 471.8% (图 4)。说明在光照强度较低、水分充足的条件下紫花苜蓿根系

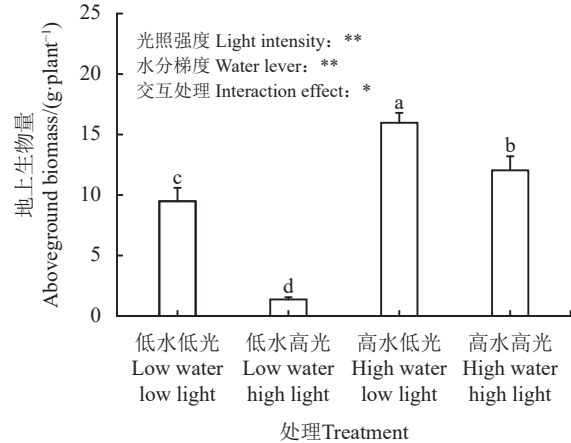


图 3 不同光照强度和水分水平下的紫花苜蓿地上生物量
Figure 3 Aboveground biomass of alfalfa under different light intensities and water levels

不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。相同光照强度或水分水平组间,“***”表示差异极显著 ($P < 0.001$),“*”表示差异显著 ($P < 0.05$)。下图同。

Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments at the 0.05 level. “***” indicates significant differences among light intensity or water level at the 0.001 level, “*” indicates significant differences among light intensity or water level at the 0.05 level. This is applicable for the following figures as well.

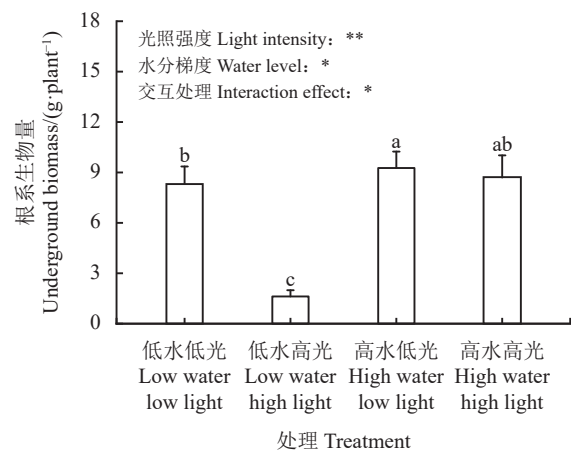


图 4 不同光照强度和水分水平下的紫花苜蓿根系生物量
Figure 4 Root biomass of alfalfa under different light intensities and water levels

能够更好地生长。

2.2.3 紫花苜蓿根冠比

光照强度与水分梯度对紫花苜蓿根冠比有显著影响 ($P < 0.05$)。高水高光处理的紫花苜蓿根冠比较高水低光处理增加了 26.0%,低水高光处理的紫花苜蓿根冠比较低水低光处理增加了 33.4%。低水高光处理下的紫花苜蓿根冠比较高水高光处理增加了 61.0%,低水低光处理下的紫花苜蓿根冠比较高

水低光处理增加了 52.1%。表明在高水处理以及低光处理下, 紫花苜蓿减少了对根部生物量的分配、增加了地上生物量。4 个处理中, 低水高光处理的紫花苜蓿根冠比最高, 比高水低光显著高 102.9%, 表明高水低光处理最有利于植物对地上生物量的分配 (图 5)。

2.3 紫花苜蓿的耗水量和水分利用效率

2.3.1 紫花苜蓿耗水量

紫花苜蓿不同生长阶段平均日耗水量均呈先增加再降低的趋势, 符合植物耗水先增后减的特点。日平均耗水量从高到低为高水高光处理、高水低光处理、低水低光处理、低水高光处理 (表 1)。

水分处理对紫花苜蓿耗水量有显著影响 ($P < 0.05$), 在两种光照处理下, 高水处理下的紫花苜蓿耗水量比低水处理平均增加 68.8%, 光照处理对紫花苜蓿耗水量有极显著影响 ($P < 0.001$), 在两种水分处理下, 高光处理下的紫花苜蓿耗水量比低光处理平均多 10.5% (图 6)。

2.3.2 紫花苜蓿水分利用效率

水分处理对紫花苜蓿水分利用有极显著影响 ($P < 0.001$)。两种光照强度下, 高水处理下的紫花苜蓿水分利用效率比低水处理平均增加了 65.5%。光照处理对紫花苜蓿水分利用效率有极显著影响 ($P < 0.001$), 在两种水分处理下, 高光处理下的紫花苜蓿水分利用效率较低光处理平均减少了 60.0%。光照处理与水分处理的交互作用对紫花苜蓿的水分利用效率有显著影响 ($P < 0.05$)。高水低光处理

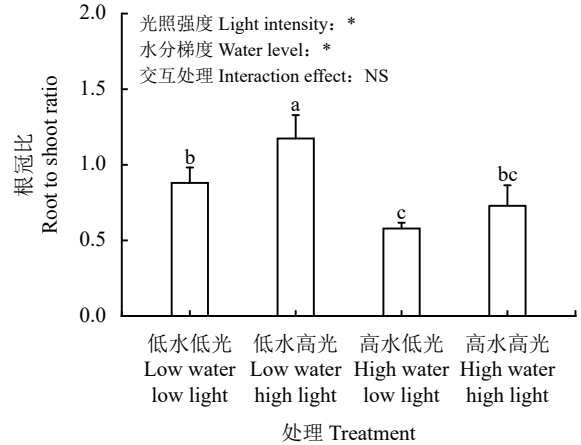


图 5 不同光照强度和水分水平下的紫花苜蓿根冠比
Figure 5 Root to shoot ratio of alfalfa under different light intensities and water levels

NS 表示光照强度和水分交互无显著影响。

NS indicates no significant difference between light intensity and water levels.

下的紫花苜蓿水分利用效率最高, 分别比低水低光处理、高水高光处理、低水高光处理显著增加 21.2%、68.8% 和 629.8% (图 7)。

3 讨论

光照与水分是影响紫花苜蓿生长发育的重要环境因子, 其对不同光与水环境的响应策略具有很大差异。叶片是植物进行光合作用的主要器官和蒸腾作用的重要部位^[17]。研究表明, 植物在弱光环境下相对生长速率放缓, 通过改变其外部形态、增加对茎和叶的分配、增加叶面积比来适应弱光环境^[12, 18]。

表 1 不同光照和水分处理下紫花苜蓿不同生长阶段的耗水量

Table 1 Water consumption of alfalfa during different growth periods under different light intensities and water levels

处理 Treatment	mm					
	播种后 0~29 d 0~29 days after sowing	播种后 29~40 d 29~40 days after sowing	播种后 40~50 d 40~50 days after sowing	播种后 50~60 d 50~60 days after sowing	播种后 60~70 d 60~70 days after sowing	播种后 70~82 d 70~82 days after sowing
高水低光 High water low light	16.14 ± 0.48c	43.18 ± 3.76b	51.80 ± 2.00b	67.27 ± 4.97b	74.64 ± 3.33b	63.22 ± 1.08b
高水高光 High water high light	22.03 ± 0.38a	59.09 ± 4.12a	69.78 ± 3.71a	82.45 ± 1.74a	91.81 ± 2.05a	76.93 ± 0.79a
低水高光 Low water high light	16.06 ± 0.55c	32.64 ± 0.91c	36.77 ± 3.18c	46.94 ± 0.73c	47.67 ± 0.10c	47.23 ± 0.28c
低水低光 Low water low light	20.78 ± 0.18b	30.36 ± 2.01c	41.12 ± 5.20c	39.05 ± 8.36c	38.24 ± 7.59c	28.74 ± 0.36d

同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters within the same row indicate significant difference between different treatments at the 0.05 level.

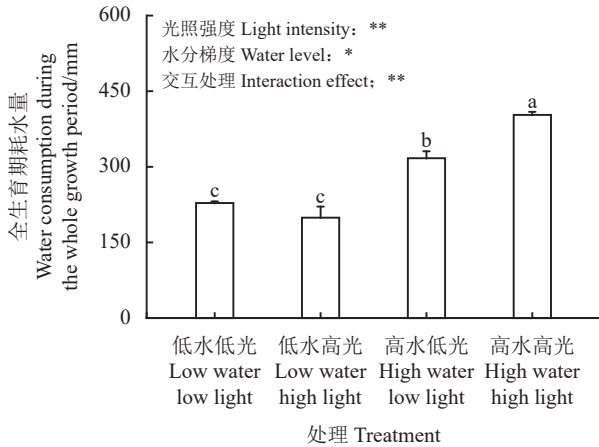


图 6 不同光照和水分处理下的紫花苜蓿全生育期耗水量
Figure 6 Water consumption during the whole growth period of alfalfa under different light intensities and water levels

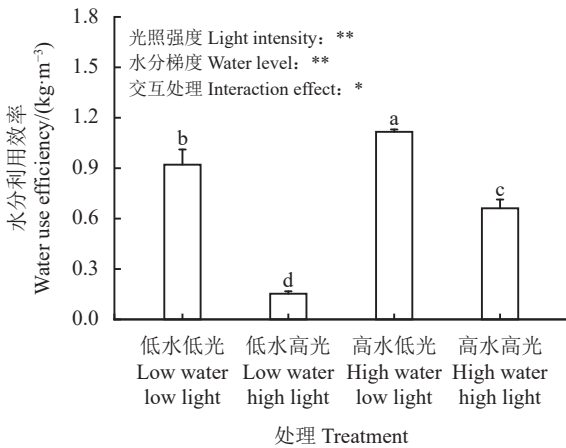


图 7 不同光照和水分处理下紫花苜蓿的水分利用效率
Figure 7 Water-use efficiency of alfalfa under different light intensities and water levels

在任何一个生育期,紫花苜蓿遭受干旱胁迫时,叶面积均明显降低^[19]。本研究中,在相同水分处理下,低光处理的紫花苜蓿叶面积均显著高于高光处理;在相同光照强度处理下,高水处理的紫花苜蓿叶面积均显著高于低水处理,这与之前的研究结果相同。本研究中,低水高光处理的叶片数与叶面积于播种后 53~66 d 降低是因为该处理下紫花苜蓿的正常生理活动受到严重影响,植株出现枯萎甚至死亡的状况。在 4 个处理中,高水低光处理下的紫花苜蓿叶片数与叶面积均最高,其次是高水高光、低水低光、低水高光处理,表明高水低光处理最适合紫花苜蓿叶片的生长。

水分短缺会导致牧草的生长受到抑制,对牧草

生产造成严重损失。光照强度相同的情况下,高水处理下的紫花苜蓿地上生物量均显著高于低水处理,这主要是因为土壤水分较低时植物光合累积减少,且干旱条件更有利于光合产物向根系的分配,使地上生物量的积累减小;而土壤水分较高时更有利于光合作用和地上部的发育^[20]。覃凤飞等^[12]研究证明紫花苜蓿的根冠比随土壤含水量的减小而增加,植株将更多的同化物分配到根系生长以汲取水分,从而提高了其抗旱性。王国良等^[21]研究表明,随着光照强度逐渐减弱,紫花苜蓿地上部分积累的生物量逐渐减少,光照强度显著影响了地上生物量的积累。本研究中,在相同水分处理下,低光处理的紫花苜蓿的地上生物量均显著高于高光处理,根冠比均低于高光处理。说明植物在低光条件下可以通过改变其外部形态、减少对根系生物量的分配增加对光能的捕获和利用以满足其生长发育的需求^[22]。

水分利用效率能够一定程度地反映植物对水分处理的响应^[23]。水分利用效率受许多因素的影响,其中水分和光照强度是影响紫花苜蓿水分利用效率的重要因素^[24-25],随着水分亏缺程度的增加水分利用效率随之降低^[5]。刘国利^[23]发现紫花苜蓿水分利用效率与水分亏缺的关系,表现出适当的水分亏缺能够提高水分利用效率。龙明秀等^[25]发现,光合有效辐射与紫花苜蓿水分利用效率呈极显著负相关。本研究中,在同一光照强度条件下,低水处理的紫花苜蓿水分利用效率均高于高水处理,同一水分条件下,低光处理地紫花苜蓿水分利用效率均高于高光处理,与前人研究相符。

4 结论

高水低光处理是本研究 4 种管理模式紫花苜蓿的叶片数、叶面积最大,地上生物量最高,根冠比最低,水分利用效率最高的管理模式。在相同水分处理下,低光处理的紫花苜蓿平均较高光处理耗水量低,水分利用效率高,因此,在干旱地区可通过对紫花苜蓿适当遮光、林草复合种植与玉米苜蓿间作结合等方式优化苜蓿的光照环境,提高紫花苜蓿的水分利用效率,减少苜蓿对旱地土壤水分的过度消耗^[26-28],以改善旱作农区的生态环境、提高农业生产效率。

参考文献 References:

- [1] 王鑫, 马永祥, 李娟. 紫花苜蓿营养成分及主要生物学特性. *草业科学*, 2003, 20(10): 39-41.
WANG X, MA Y X, LI J. Nutrient composition and main biological properties of alfalfa. *Pratacultural Science*, 2003, 20(10): 39-41.
- [2] 陆姣云, 熊军波, 张鹤山, 田宏, 杨惠敏, 刘洋. 水分胁迫对紫花苜蓿产量、品质和微量元素的影响. *草业学报*, 2020, 29(8): 126-133.
LU J Y, XIONG J B, ZHANG H S, TIAN H, YANG H M, LIU Y. Effects of water stress on yield, quality and trace element composition of alfalfa. *Acta Pratacultural Sinica*, 2020, 29(8): 126-133.
- [3] 张明华. 略论草地农业系统. *草地学报*, 1994, 2(1): 83-88.
ZHANG M H. A brief discussion of grassland agricultural system. *Acta Agrestia Sinica*, 1994, 2(1): 83-88.
- [4] 彭珂珊, 邓西平, 徐学选. 黄土高原农业高效调水关键技术研究. *节水灌溉*, 2000, 19(1): 6-9, 43.
PENG K S, DENG X P, XU X X. A discussion on several problems of sprinkler irrigation technique development in China. *Water Saving Irrigation*, 2000, 19(1): 6-9, 43.
- [5] KUSLU Y, SAHIN U, TUNC T, KIZILOGLU F M. Determining water-yield relation-ship, water use efficiency, seasonal crop and pan coefficients for alfalfa in a semiarid region with high altitude. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2010, 16(4): 482-492.
- [6] 李军, 陈兵, 李小芳, 程积民, 郝明德. 黄土高原不同干旱类型区苜蓿草地深层土壤干燥化效应. *生态学报*, 2007, 27(1): 75-89.
LI J, CHEN B, LI X F, CHENG J M, HAO M D. Effects of deep soil desiccations on alfalfa grasslands in different rainfall areas of the Loess Plateau of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 75-89.
- [7] 程积民, 万惠娥, 王静. 黄土丘陵区紫花苜蓿生长与土壤水分变化. *应用生态学报*, 2005, 16(3): 435-438.
CHENG J M, WAN H E, WANG J. Alfalfa growth and its relation with soil water status in loess hilly and gully region. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(3): 435-438.
- [8] THOMPSON T E, FICK G W. Growth-response of alfalfa to duration of soil flooding and to temperature. *Agronomy Journal*, 1981, 73(2): 329-332.
- [9] 李新乐, 侯向阳, 穆怀彬. 不同降水年型灌溉模式对苜蓿草产量及土壤水分动态的影响. *中国草地学报*, 2013, 35(5): 46-52.
LI X L, HOU X Y, MU H B. Effect of irrigation under different annual precipitation patterns modes on alfalfa yield and dynamic changes of soil moisture. *Chinese Journal of Grassland*, 2013, 35(5): 46-52.
- [10] CAO X S, FENG Y Y, LI H P, ZHENG H X, WANG, J, TONG C F. Effects of subsurface drip irrigation on water consumption and yields of alfalfa under different water and fertilizer conditions. *Journal of Sensors*, 2021: 1-12.
- [11] 史静, 张虎, 尹国丽, 陈伟, 陈本建. 遮荫对头茬苜蓿生长及生理的影响. *中国草地学报*, 2014, 36(2): 20-24, 60.
SHI J, ZHANG H, YIN G L, CHEN W, CHEN B J. Effect of shade on growth and physiology of first crop alfalfa. *Chinese Journal of Grassland*, 2014, 36(2): 20-24, 60.
- [12] 覃凤飞, 沈益新, 周建国, 王庆师, 孙志成, 王波. 遮荫条件下9个紫花苜蓿品种苗期形态及生长响应. *草业学报*, 2010, 19(3): 204-211.
QIN F F, SHEN Y X, ZHOU J G, WANG Q S, SUN Z C, WANG B. Seeding morphology and growth responses of nine *Medicago sativa* varieties to shade conditions. *Acta Pratacultural Sinica*, 2010, 19(3): 204-211.
- [13] 马志良, 杨万勤, 吴福忠, 高顺. 遮荫对紫花苜蓿地上生物量和化学计量特征的影响. *应用生态学报*, 2014, 25(11): 3139-3144.
MA Z L, YANG W Q, WU F Z, GAO S. Effects of shading on the aboveground biomass and stiochiometry characteristics of *Medicago sativa*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(11): 3139-3144.
- [14] 曹亦芳, 曹致中, 师尚礼, 田有凤. 苜蓿叶面积简易测定方法的研究. *草业科学*, 1990, 7(3): 60-62.
CAO Y F, CAO Z Z, SHI S L, TIAN Y F. A modified technique measuring leaf area of alfalfa. *Pratacultural Science*, 1990, 7(3): 60-62.
- [15] 王艳哲, 刘秀位, 孙宏勇, 张喜英, 张连蕊. 水氮调控对冬小麦根冠比和水分利用效率的影响研究. *中国生态农业学报*, 2013, 21(3): 282-289.
WANG Y Z, LIU X W, SUN H Y, ZHANG X Y, ZHANG L R. Effects of water and nitrogen on root/shoot ratio and water use efficiency of winter wheat. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(3): 282-289.

- [16] ZHANG Q P, BELL L W, SHEN Y Y, WHISH J P M. Indices of forage nutritional yield and water use efficiency amongst spring sown annual forage crops in north-west China. *European Journal of Agronomy*, 2018, 93: 1-10.
- [17] 张翠梅. 不同抗旱性紫花苜蓿响应干旱的生理及分子机制研究. 兰州: 甘肃农业大学博士学位论文, 2019.
ZHANG C M. Physiological and molecular mechanisms of response to drought stress in different drought-resistant alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties. PhD Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2019.
- [18] 王云贺, 韩忠明, 韩梅, 杨利民. 遮荫处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响. *生态学报*, 2010, 30(24): 6762-6770.
WANG Y H, HAN Z M, HAN M, YANG L M. Effects of shading on the growth and photosynthetic characteristics of *Clematis manshurica* Rupr. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(24): 6762-6770.
- [19] 李岩. 西北旱区喷灌条件下紫花苜蓿耗水、产量及品质研究. 北京: 北京林业大学博士学位论文, 2018.
LI Y. Research on water use, yield and quality of alfalfa under sprinkler irrigation in northwest arid region of China. PhD Thesis. Beijing: Beijing Forestry University, 2018.
- [20] 罗永忠, 李广. 土壤水分胁迫对新疆大叶苜蓿的生长及生物量的影响. *草业学报*, 2014, 23(4): 213-219.
LUO Y Z, LI G. The effect of water stress on growth and biomass of *Medicago sativa* cv. Xinjiangdaye. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014, 23(4): 213-219.
- [21] 王国良, 贾春林, 周玉雷, 杨秋玲, 盛亦兵, 崔芳梅. 遮荫对紫花苜蓿生长发育和产草量影响的初探. *草业科学*, 2010, 27(10): 69-73.
WANG G L, JIA C L, ZHOU Y L, YANG Q L, SHENG Y B, CUI F M. Preliminary study on effect of shading on the growth and yield of *Medicago sativa*. *Pratacultural Science*, 2010, 27(10): 69-73.
- [22] GRECHI I, VIVIN P H, HILBERT G, MILIN S, ROBERT T, GAUDILLERE J P. Effect of light and nitrogen supply on internal C : N balance and control of root-to-shoot biomass allocation in grapevine. *Environmental and Experimental Botany*, 2007, 59(2): 139-149.
- [23] 刘国利. 紫花苜蓿对水分胁迫的响应及其水分利用效率调控机制的研究. 兰州: 兰州大学硕士学位论文, 2009.
LIU G L. Responses of alfalfa to different water availabilities and its regulation mechanisms of water use efficiency. Master Thesis. Lanzhou: Lanzhou University, 2009.
- [24] 赵金梅, 周禾, 郭继承, 李夺. 灌溉对紫花苜蓿生产性能的影响. *草原与草坪*, 2007(1): 38-41.
ZHAO J M, ZHOU H, GUO J C, LI D. Effect of irrigation on the productive performance of alfalfa. *Grassland and Turf*, 2007(1): 38-41.
- [25] 龙明秀, 吴振, 高景慧, 高阳, 杨宏新. 紫花苜蓿光能及叶片水分利用效率影响因子分析. *草业科学*, 2009, 26(11): 73-77.
LONG M X, WU Z, GAO J H, GAO Y, YANG H X. Analysis of factors affecting light energy and leaf water use efficiency in alfalfa. *Pratacultural Science*, 2009, 26(11): 73-77.
- [26] 桑玉强, 吴文良, 张劲松, 周择福, 张忠山. 毛乌素沙地杨树防护林内紫花苜蓿蒸散耗水规律的研究. *农业工程学报*, 2006, 22(5): 44-49.
SANG Y Q, WU W L, ZHANG J S, ZHOU Z F, ZHANG Z S. Evapotranspiration of *Medicago sativa* L. under poplar shelterbelts in Maowusu Sandy Area. *Transaction of the CASE*, 2006, 22(5): 44-49.
- [27] 吴玉环, 王自奎, 刘亚男, 马千虎. 带幅设计对玉米/苜蓿间作群体光环境特征及光能利用效率的影响. *草业学报*, 2022, 31(3): 144-155.
WU Y H, WANG Z K, LIU Y N, MA Q H. Effects of row configuration on characteristics of the light environment and light use efficiency in maize/alfalfa intercropping. *Acta Prataculturae Sinica*, 2022, 31(3): 144-155.
- [28] 赵敏. 水分调控与间作苜蓿对枸杞田间土壤水分及产量的影响. 兰州: 甘肃农业大学硕士学位论文, 2021.
ZHAO M. Effect of water regulation and intercropping alfalfa on soil moisture and *Lyceum barbarum* yield. Master Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2021.

(责任编辑 张瑾)