

交替灌溉下水磷耦合对紫花苜蓿植株性状的影响

武文莉¹, 王薇¹, 李艺妆²

(1. 西北民族大学生命科学与工程学院, 甘肃兰州 730030; 2. 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃兰州 730020)

摘要 采用盆栽试验, 研究交替灌溉下水磷耦合对紫花苜蓿植株性状构成因子及水分利用效率的影响。结果表明, 交替灌溉显著提高了紫花苜蓿株高、叶片数、分枝数、地上生物量及水分利用效率; 添加磷显著影响了茎叶比和分枝数; 而交替灌溉和磷互作对紫花苜蓿株高、叶片数、茎叶比、分枝数、地上生物量及水分利用效率影响均不显著。综合考虑紫花苜蓿产量、水分利用效率等生长指标, 交替灌溉和磷肥耦合适用于收获营养体的紫花苜蓿生产灌溉管理, 且交替灌溉 75% 下施加磷肥效果最好。

关键词 交替灌溉; 磷; 紫花苜蓿; 植株性状

中图分类号 S541⁺.1 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)03-0155-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.03.046

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Water Phosphorus Coupling on Plant Characters of Alfalfa under Alternate Irrigation

WU Wen-li¹, WANG Wei¹, LI Yi-zhuang² (1. College of Life Science and Engineering, Northwest Minzu University, Lanzhou, Gansu 730030; 2. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730020)

Abstract Pot experiment was used to study the effect of phosphorus coupling under alternate irrigation on the character components and water use efficiency of alfalfa. The results showed that the plant height, leaf number, branch number, aboveground biomass and water use efficiency of alfalfa were significantly improved by alternate irrigation. The ratio of stem to leaf and the number of branches were significantly affected by phosphorus addition. However, the effects of alternate irrigation and P interaction on plant height, leaf number, stem-leaf ratio, branch number, aboveground biomass and WUE of alfalfa were not significant. Considering alfalfa yield, water use efficiency and other growth indexes, the coupling of alternating irrigation and phosphate fertilizer was suitable for alfalfa production irrigation management of nutrient body harvesting.

Key words Alternate irrigation; Phosphorus; Alfalfa; Plant characters

紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 作为营养价值高、适口性好和抗逆性强的饲草^[1-3], 在全国乃至全球范围畜牧业发展中起着重要作用^[4]。随着我国农业结构的战略调整和草食畜牧业的进一步发展, 市场对优质紫花苜蓿需求量将进一步扩大^[5]。但目前我国苜蓿单位面积产量和品质与发达国家相比还有一定差距。因此, 提高紫花苜蓿产量、改善其营养品质是当前亟待解决的问题^[6]。

紫花苜蓿作为我国北方地区集约化畜牧业发展的首选饲草之一^[7], 已经在甘肃河西走廊、内蒙古科尔沁草地和宁夏河套灌区等地区形成了优势种植基地^[8]。然而北方地区大多属于干旱和半干旱地区, 灌溉和施肥是维持植物健康生长的核心措施^[9]。尤其是紫花苜蓿, 其生长周期长, 需刈割频繁, 因此在其生育期内合理的施肥和灌溉是维持其高产优质的前提条件, 也能缓解紫花苜蓿种植区域水资源匮乏和施肥不当对土壤造成的污染。因此, 寻求一种更高效的节水灌溉施肥技术来提高作物水分利用效率和产量、改善苜蓿品质非常必要。

氮和磷是作物生长发育中必需的营养元素^[10], 而紫花苜蓿属于自身固氮植物, 若继续施加氮肥, 会一定程度上造成资源的无效浪费, 因此, 施加磷是提高紫花苜蓿产量和品质的重要途径^[11]。研究表明, 磷能促进作物根系发达, 增强抗寒抗旱能力^[12], 提高植株光合作用^[8]。水分是作物生长的必要条件, 也是肥料的良好溶剂, 对养分运输和吸收起到

重要作用, 水肥之间的合理互作直接关系到作物正常生长。分根区交替灌溉是依据根干旱信号传递与气孔间达到最优调节理论而提出的一种新型节水技术^[13]。研究证实, 交替灌溉不仅能够提高苹果 (*Malus pumila*)^[14] 和玉米 (*Zea mays*)^[15] 等块茎籽实作物, 还适用于以营养体收获目标的紫花苜蓿^[1,3,7]。研究表明, 适水条件下, 施加磷能够提高玉米^[16]、小麦^[17-18] 和藜麦^[19] 等作物产量和水分利用效率。但关于交替灌溉条件下, 施加磷对紫花苜蓿生长发育的影响尚未见报道。因此笔者在已有研究基础上, 采用盆栽方法, 分析了交替灌溉条件下磷肥对紫花苜蓿植株性状及产量的影响, 以为我国北方地区, 特别是三大紫花苜蓿种植基地, 灌溉施肥管理中推广交替灌溉提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试材料由甘肃省亚盛田园牧歌草业集团公司提供, 为亮苜二号 (Liangmu No. 2. 美国)。

1.2 试验设计 采用控制性盆栽试验, 在兰州大学日光智能温室内进行。选用 240 L (长 80 cm, 宽 60 cm, 高 50 cm) 的塑料盆, 装土高度 40 cm。自 2018 年 4 月进行灌溉处理, 灌溉方式分为 3 种, 分别为 AFI 50% (交替灌溉+50%灌溉量)、AFI 75% (交替灌溉+75%灌溉量) 和 CFI 100% (常规灌溉+100%灌溉量)。其中 AFI 75% 已被证实为效果最好的处理^[3], CFI 100% 是对照, 为了进一步实现节水目标, 增加 AFI 50% 的灌溉方式处理。在每个灌溉处理下设置添加磷 (+P) 和不添加磷 (-P) 2 个处理, 共计 6 个处理, 每个处理重复 3 次。2017 年 9 月 15 日播种, 种植时未接种根瘤菌, 播种前保证土壤松散, 水分适宜, 基施过磷酸钙肥 (施磷量为

基金项目 西北民族大学研究生科研创新项目 (Yxm019140)。

作者简介 武文莉 (1995—), 女, 甘肃靖远人, 硕士研究生, 研究方向: 动物营养与饲料科学。

收稿日期 2019-07-29; **修回日期** 2019-09-16

240 kg/hm²)。于每个盆中起 2 垄,垄长 80 cm,高 10 cm,宽 10 cm。苜蓿采用穴播的方式播种,播种深度 2 cm,每垄种植苜蓿一行,株间距 10 cm,每穴保苗 2~3 棵。试验期间保证紫花苜蓿在通风、透光的条件下生长,并通过手工清除杂草,每 7 d 随机调整塑料盆位置,避免自然因素不均导致的误差。2018 年 4 月 8 日开始水分处理,试验期间根据土壤含水量的变化,累计灌溉 3 次。于紫花苜蓿初花期(2017 年 5 月 29 日)进行采样,齐地刈割,留茬 2~3 cm,刈割后,分离茎和叶(花苞包含至叶内),然后迅速现场称重,其余部分带回实验室。

1.3 测定指标与方法 在每垄上随机选择 3 株植株,分别测定其自然高度、叶片数和一级分枝数,再将这 6 株植株齐地刈割,分离茎和叶(花苞包含至叶内),然后迅速现场称重,茎叶比=茎鲜质量/叶鲜质量。称完茎和叶分别装入信封袋中,带回实验室烘干称重,即为地上生物量^[3]。

水分利用效率=地上生物量/灌溉量^[8]

1.4 数据处理 采用 SPSS 25.0 软件中一般线性模型进行双因素方差分析,差异显著性则通过 ANOVA 软件包中的

Duncan 进行多重比较,采用 Excel 2019 软件制图。

2 结果与分析

2.1 交替灌溉下水磷耦合对紫花苜蓿株高的影响 灌溉对紫花苜蓿株高影响显著($P<0.05$),但磷肥及其两者间互作影响不显著($P>0.05$)(表 1)。随着灌溉量的逐渐增加,株高呈先增加后降低的趋势,其中在 AFI 75%时达到最大,为 47.31 cm。

2.2 交替灌溉下水磷耦合对紫花苜蓿叶片数的影响 灌溉显著影响紫花苜蓿叶片数($P<0.05$),但磷肥及其两者间互作影响不显著($P>0.05$)(表 1)。灌溉处理下,AFI 75%与 AFI 50%和 CFI 100%差异显著,其中 AFI75%处理下叶片数达到最大,为 57.88 个。

2.3 交替灌溉下水磷耦合对紫花苜蓿茎叶比的影响 灌溉和磷肥显著影响了紫花苜蓿茎叶比($P<0.05$)(表 1)。随着灌溉量的逐渐增加,茎叶比呈先增加后降低的趋势,其中在 AFI 75%时达到最大,为 80.00%。施加磷肥比影响不施加磷肥茎叶比提高了 8.95%。但灌溉和磷肥两者间互作对茎叶比影响不显著($P>0.05$)

表 1 交替灌溉下水磷耦合对紫花苜蓿株高、叶片数和茎叶比的影响

Table 1 Effect of coupling of water and phosphorus under alternate irrigation on plant height, number of leaves and ratio of stem and leaf of alfalfa

| 处理 Treatment | | 株高 Plant height //cm | 叶片数 Leaf number//个 | 茎叶比 Ratio of stem and leaf//% | |
|--|------|-------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------|
| 灌溉 Irrigation | 50% | 31.73±1.39 c | 35.25±2.35 c | 73.90±0.05 b | |
| | 75% | 47.31±1.22 a | 57.88±3.70 a | 81.43±0.07 a | |
| | 100% | 40.16±1.56 b | 46.63±3.95 b | 75.71±0.03 ab | |
| 磷肥 Phosphatic fertilizer | -P | 39.38±2.41 | 48.50±3.54 | 80.31±0.06 a | |
| | +P | 40.09±2.01 | 44.67±4.14 | 73.71±0.04 b | |
| 灌溉×磷肥 Irrigation× phosphatic fertilizer | -P | 50% | 28.90±3.46 | 36.50±9.26 | 75.49±0.03 |
| | 75% | 45.93±3.64 | 57.75±8.88 | 87.25±0.03 | |
| | 100% | 43.30±2.34 | 51.25±8.34 | 78.19±0.01 | |
| | +P | 50% | 34.55±1.72 | 34.00±3.65 | 72.30±0.06 |
| | 75% | 48.70±3.04 | 58.00±13.29 | 75.60±0.03 | |
| | 100% | 37.03±3.73 | 42.00±12.83 | 73.22±0.02 | |

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters mean significant differences between different treatments($P<0.05$)

2.4 交替灌溉下水磷耦合对紫花苜蓿分枝数的影响 灌溉和磷肥对紫花苜蓿分枝数影响显著($P<0.05$),但两者间互作影响不显著($P>0.05$)(表 2)。随着灌溉量的逐渐增加,分枝数呈先增加后降低的趋势,其中在 AFI 75%时达到最大,为 7.08 个。

2.5 交替灌溉下水磷耦合对紫花苜蓿生物量的影响 灌溉对紫花苜蓿生物量影响显著($P<0.05$),但磷肥及其两者间互作影响不显著($P>0.05$)(表 2)。随着灌溉量的逐渐增加,生物量呈增加趋势,其中在 AFI 75%时达到最大,为 17.63 g,但 CFI 100%与 AFI 75%2 种处理下的生物量差异不显著。

2.6 交替灌溉下水磷耦合对紫花苜蓿水分利用效率的影响 灌溉显著影响紫花苜蓿水分利用效率($P<0.05$),磷肥及其两者间互作影响不显著($P>0.05$)(表 2)。随着灌溉量的逐渐增加,水分利用效率呈先增加后降低的趋势,其中在 AFI 75%时达到最大,为 42.63%,较常规灌溉水分利用效率

提高了 57.71%。

3 结论与讨论

紫花苜蓿是需水需肥较大的作物,灌溉和施肥是维系北方干旱半干旱地区紫花苜蓿健康生长的重要措施^[1,20]。优化水肥管理措施对我国西部旱区有限水资源进行合理配置和优化管理具有重要意义。株高、叶片数和分枝数是影响紫花苜蓿地上生物量的重要指标^[1]。该研究表明,交替灌溉没有显著降低紫花苜蓿地上生物量,且在 AFI 75%处理下,株高、叶片数和分枝数均达到最高,显著提高了水分利用效率,这表明交替灌溉能够在保持生物量不变的情况下,节约近 50%的水资源,这与张静等^[3]在甘肃玉门的研究结果一致,也与苹果^[13]和玉米^[14]对交替灌溉的响应一致,这可能是由于紫花苜蓿一部分根系受到干旱胁迫,从而向地上部分传递干旱信号,导致叶片气孔开放程度降低,使蒸腾蒸发作用降低,减少水分浪费^[3];同时湿润状态下根系能够为植物正

常生长发育提供水分,使植物地上部分维持相对稳定的状态^[8],维持地上生物量不降低;且交替灌溉能够在一定程度上减少地表径流和深层水分渗漏,因此,采用交替灌溉能够在紫花苜蓿生产中降低灌溉量而产量和品质不降低的目的。添加磷肥显著提高了紫花苜蓿分枝数,这与霍海丽等^[20]研究

结果一致,这可能与添加磷促进植物枝条生长有关^[2]。该研究结果还表明施磷、交替灌溉下水磷互作对紫花苜蓿地上生物量、株高、叶片数、茎叶比及水分利用效率影响均不显著,造成这种情况的原因可能是由于交替灌溉条件下,土壤未被灌溉区磷肥由于缺水而造成磷肥利用效率较低^[10,20]。

表 2 交替灌溉下水磷耦合对紫花苜蓿分枝数、生物量和水分利用效率的影响

Table 2 Effect of coupling of water and phosphorus under alternate irrigation on branch number, biomass and WUE of alfalfa

| 处理 Treatment | | 分枝数 Branch number//个 | 生物量 Biomass//g | 水分利用效率 WUE//% | |
|---|------|-------------------------|-------------------|------------------|------------|
| 灌溉 Irrigation | 50% | 5.58±0.66 b | 8.96±2.62 b | 30.69±0.07 b | |
| | 75% | 7.08±1.36 a | 17.63±5.36 a | 42.63±0.06 a | |
| | 100% | 5.33±1.17 b | 16.02±3.00 a | 27.03±0.08 b | |
| 磷肥 Phosphatic fertilizer | -P | 5.28±0.94 b | 12.48±5.16 | 30.39±0.11 | |
| | +P | 6.72±1.25 a | 15.92±5.14 | 36.51±0.08 | |
| 灌溉×磷肥 Irrigation × phosphatic fertilizer | -P | 50% | 5.33±0.76 | 7.39±2.98 | 27.76±0.10 |
| | | 75% | 6.17±0.58 | 16.09±5.84 | 41.62±0.06 |
| | | 100% | 4.33±0.29 | 13.95±1.32 | 21.80±0.02 |
| | +P | 50% | 5.83±0.58 | 10.53±0.89 | 33.62±0.03 |
| | | 75% | 8.00±1.32 | 19.16±5.53 | 43.64±0.07 |
| | | 100% | 6.33±0.58 | 18.09±2.80 | 32.27±0.09 |

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters mean significant differences between different treatments ($P<0.05$)

紫花苜蓿体内同化物积累能够提高其产量,而同化物不同物质间形态转化能改善其品质^[7]。紫花苜蓿中 30%~50% 的蛋白质来自于叶片,因此茎叶比是衡量紫花苜蓿品质的重要指标^[21]。该研究结果表明,交替灌溉和磷肥对紫花苜蓿茎叶比影响显著,其中 AFI 50% 处理下茎叶比最低,且与 CFI 100% 差异不显著,这与肖玉等^[7]的研究结果一致。施加磷肥能够降低紫花苜蓿茎叶比,这与李星月等^[21]研究结果一致,这可能是由于施加磷肥增加叶面积,从而降低了茎叶比。

综上所述,交替灌溉和磷肥耦合适用于以营养体的紫花苜蓿灌溉管理,但该研究仅对第一茬紫花苜蓿相关生长指标进行测定,对其他茬次植株生长是否具有显著影响^[22],目前尚不清楚。

参考文献

- [1] XIAO Y, ZHANG J, JIA T T, et al. Effects of alternate furrow irrigation on the biomass and quality of alfalfa (*Medicago sativa*) [J]. *Agricultural water management*, 2015, 161: 147-154.
- [2] 刘文兰. 紫花苜蓿叶片植物学特征及化学计量特征对植株密度和磷素供给的响应[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018.
- [3] 张静, 王倩, 肖玉, 等. 交替灌溉对紫花苜蓿生物量分配与水分利用效率的影响[J]. *草业学报*, 2016, 25(3): 164-171.
- [4] 洪绂曾. 苜蓿科学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [5] 汪精海, 齐广平, 康燕霞, 等. 干旱半干旱地区紫花苜蓿营养品质对水分胁迫的响应[J]. *草业科学*, 2017, 34(1): 112-118.
- [6] 刘文兰, 师尚礼, 田福平, 等. 种植密度对紫花苜蓿不同生育时期叶片 C、N、P 生态化学计量的影响[J]. *草地学报*, 2018, 26(1): 114-124.
- [7] 肖玉, 贾婷婷, 李天银, 等. 交替灌溉对紫花苜蓿产量和品质的影响[J]. *中国草地学报*, 2015, 37(6): 42-48.
- [8] 冯萌, 于成, 林雨果, 等. 灌溉和施氮对河西走廊紫花苜蓿生物量分配

与水分利用效率的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2016, 24(12): 1623-1632.

- [9] 陶雪, 苏德荣, 寇丹, 等. 西北旱区灌溉方式对苜蓿生长及水分利用效率的影响[J]. *草地学报*, 2016, 24(1): 114-120.
- [10] 卜容燕, 任涛, 鲁剑巍, 等. 水稻-油菜轮作条件下磷肥效应研究[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(6): 1227-1234.
- [11] 李新乐, 穆怀彬, 侯向阳, 等. 水、磷对紫花苜蓿产量及水肥利用效率的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(5): 1161-1167.
- [12] 叶壮, 褚贵新, 胡云才, 等. 磷肥形态和施用方式对石灰性土壤磷有效性和移动性的影响[J]. *石河子大学学报(自然科学版)*, 2010, 28(6): 674-679.
- [13] 王春辉, 张宇霞, 于红梅, 等. 局部根区灌溉水肥耦合效应的研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2013, 41(6): 2452-2455, 2458.
- [14] 杨素苗, 李保国, 齐国辉, 等. 根系分区交换灌溉对苹果根系活力、树干液流和果实的影响[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(8): 73-79.
- [15] WANG J F, KANG S Z, LI F S, et al. Effects of alternate partial root-zone irrigation on soil microorganism and maize growth [J]. *Plant and soil*, 2008, 302(1/2): 45-52.
- [16] 赵长海, 逢焕成, 李玉义. 水磷互作对潮土玉米苗期生长及磷素积累的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(1): 236-240.
- [17] 于铁峰, 刘晓静, 郝凤. 施用磷肥对紫花苜蓿营养价值和氮磷利用效率的影响[J]. *草业学报*, 2018, 27(3): 154-163.
- [18] SHEN Y F, LI S Q, SHAO M A. Effects of spatial coupling of water and fertilizer applications on root growth characteristics and water use of winter wheat [J]. *Journal of plant nutrition*, 2013, 36(4): 515-528.
- [19] 庞春花, 张紫薇, 张永清. 水磷耦合对藜麦根系生长、生物量积累及产量的影响[J]. *中国农业科学*, 2017, 50(21): 4107-4117.
- [20] 霍海丽, 王琦, 师尚礼, 等. 灌溉和施磷对紫花苜蓿分枝数、干草产量及水分利用效率的影响[J]. *土壤通报*, 2013, 44(4): 905-911.
- [21] 李星月, 孟凯, 肖燕子, 等. 配方施肥对苜蓿茎叶比和鲜干比的影响[J]. *草原与草业*, 2015, 27(4): 32-39.
- [22] 郑和祥, 李和平, 曹雪松. 喷灌条件下不同茬次紫花苜蓿的耗水规律与灌溉制度[J]. *排灌机械工程学报*, 2018, 36(9): 785-789.