

水分胁迫对紫花苜蓿叶片水势及生物量分配的影响

南思睿, 罗永忠*, 于思敏, 仝慧鑫, 何钰

(甘肃农业大学林学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要:为探讨水分胁迫对新疆大叶苜蓿叶水势与生物量的影响及其相关性。本研究采用盆栽控水法,以1年生新疆大叶苜蓿为试验材料,设置充分供水(T1)、轻度胁迫(T2)、重度胁迫(T3)3个水分梯度,研究不同水分胁迫下新疆大叶苜蓿在不同生育时期的叶水势、苗高、根径、根长、根干重、茎干重和叶干重的变化。结果表明:新疆大叶苜蓿的叶水势在整个生育期内均呈现 $T1>T2>T3$ 的规律,且T3与T1和T2之间均有显著性差异($P<0.05$);轻度水分胁迫会刺激新疆大叶苜蓿的苗高、根径和根长的生长,在整个生育期内均表现为 $T2>T1>T3$ 的规律;轻度水分胁迫时,新疆大叶苜蓿在整个生长阶段茎干重显著高于充分供水和重度水分胁迫,其根干重在苗期和分枝期呈现为 $T2>T1>T3$,现蕾期和开花期表现为 $T3>T2>T1$ 的规律;叶干重除苗期外,在分枝期、现蕾期和开花期均表现为 $T2>T1>T3$ 。该结果为干旱、半干旱地区苜蓿节水栽培和作物高效用水机制提供理论依据。

关键词:新疆大叶苜蓿;水分胁迫;叶水势;生物量;生育时期

中图分类号:S541⁺.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)06-0063-08

DOI:10.13817/j.cnki.cycp.2022.06.009



近年来,全球变暖问题日益严重,极端天气频发,干旱问题已成为生态学领域的热点话题之一^[1-2]。干旱胁迫对植物的生长发育和地理分布范围有重要的影响^[3]。植物从土壤中吸收水分的能力反映了其抗旱性的强弱^[4],植物叶水势可直接反映植物水分生理状态,在土壤—植物—大气循环系统水分移动过程中发挥着关键作用。一般情况下,土壤越干旱,植物叶水势越低,吸水能力越强,相反,水势越高,吸水能力越弱^[5]。冯树林等^[6]通过对紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)幼苗的研究发现,随着干旱程度的加剧,其叶水势具有明显下降的趋势。生物量分配是描述植株生育期各阶段根、茎、叶、花、果所分配同化产物量的一个消长过程,它是植物生活史理论的中心^[7],根据最优分配假说,为响应不同环境条件的变异,植物地上和地下生物量的积累及分配会受到水分的影响^[8]。在水分亏

缺的情况下,植物生物量积累的功能会下降,景茂等^[9]通过对银杏(*Ginkgo biloba*)生长及生物量分配的研究发现,银杏4家系相对高生长、相对地径生长、生物量增量等均随土壤水分含量的降低而减少。有研究表明在植物不同的生长时期,不同的水分胁迫会改变植物营养物质利用,对植物地上生物量与地下生物量的分配产生重要影响^[10],王密侠等^[11]研究表明,玉米(*Zea mays*)在苗期的耐旱性较强,适度亏水能够促进根系发育,增大根冠比,水分与营养的供给和分配均向根系倾斜。

紫花苜蓿(*Medicago sativa*)为豆科苜蓿属多年生草本植物,营养价值高,适口性好,适应性强,经济价值高^[12],被誉为“牧草之王”,是我国西北干旱、半干旱地区的主栽牧草^[13]。新疆大叶苜蓿(*Medicago sativa* cv. Xinjiangdaye)是新疆和田农牧民选择和培育形成,引入甘肃地区大面积栽培的品种。其在干旱环境条件下可以生长,但水分亏缺会限制其产量。前人对紫花苜蓿的研究主要集中在种子萌发、形态分类、以及光合生理特征等方面^[14-18],但关于在水分亏缺情况下,新疆大叶苜蓿在不同生育阶段叶水势和生物量的

收稿日期:2021-07-06;修回日期:2021-11-02

基金项目:国家自然科学基金(32160409)

作者简介:南思睿(1995-),女,甘肃省通渭县人。硕士研究生。E-mail: 2280413756@qq.com

*通信作者.E-mail: 493517987@qq.com

分配过程,目前研究报道还较少。本研究通过盆栽控水试验法,综合分析比较新疆大叶苜蓿在不同水分处理下的叶水势、苗高、根径、根长以及根、茎、叶生物量变化规律以及相关性和相关性,以探讨新疆大叶苜蓿对于干旱胁迫的适应机理,并为干旱、半干旱地区苜蓿节水栽培、深入研究植物抗旱机制提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

本试验于2019年在甘肃农业大学径流场内进行,海拔高度为1 534 m,经纬度为E 103.9°,N 36.09°。该地区属于温带大陆性气候,冬季寒冷,夏季炎热干燥,终年干旱少雨。年平均气温10.8℃,年日照时数为2 446 h,年平均降水量327 mm,无霜期为180 d。

1.2 试验材料

试验材料为新疆大叶苜蓿种子,播种在圆柱形聚乙烯桶(高20 cm、直径17 cm),每桶装7.5 kg耕作表层风干土,土壤类型为黄绵土,偏碱性,土壤质地适中,田间持水量为22%(重量含水量)。在装土前,土壤增施氮肥的比例为1:5(1 g 尿素+5 g $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$),混合均匀,并统一进行病虫害的定期防治,每桶播种50粒,出苗后定苗至20株。

1.3 试验设计

试验共设3个土壤水分梯度^[12]:T1(充分供水)、T2(轻度胁迫)和T3(重度胁迫),每个处理4个重复,每个生育时期共12桶。整个试验阶段共计48桶。采用称重法控制土壤含水量,试验期间每隔1 d用感量电子秤于下午18:00称重补水,平衡桶重,全部降水用塑料防雨棚遮盖。试验期间不同处理条件下的土壤含水量见表1。

表1 试验期间不同处理条件下的土壤含水量

Table 1 Soil water content under different treatment conditions during the test

| 处理 | T1 | T2 | T3 |
|---------|----------|----------|----------|
| 控制含水量/% | 85.0±5.0 | 65.0±5.0 | 45.0±5.0 |
| 实际含水量/% | 18.6±0.8 | 14.5±0.8 | 9.7±1.2 |

注:控制含水量为田间持水量的控制百分比

1.4 测定指标和方法

选用不同水分胁迫下生长状况良好的植株于苗期(4月3日)、分枝期(4月30日)、现蕾期(5月29日)和开花期(6月16日)测定如下指标:

(1) 叶水势:采用露点水势仪在各生育期当天早上11:00随机选取4株生长适中的植株测定叶水势。

(2) 形态指标:在新疆大叶苜蓿的各生育时期随机选取生长适中的植株各4株,分别用卷尺测量苗高、用游标卡尺测量根径。

(3) 生物量:采用毁盆法将其植株连同根系挖取带回实验室,冲洗,拭干后,用卷尺测量根长,并分离根、茎、叶,分别称其鲜重,于105℃烘箱中杀青15 min,然后放入80℃烘箱中6~8 h烘干至恒重后,称其干重,计算根、茎和叶的生物量。

1.5 数据处理

采用IBM SPSS Statistics 20程序进行单因素方差分析(Duncan)和Pearson相关性分析,Excel 2010绘制图表。

2 结果与分析

2.1 不同水分胁迫对新疆大叶苜蓿叶水势的影响

在不同生育时期,新疆大叶苜蓿的叶水势随着土壤水分胁迫的加剧而依次降低,且叶水势均呈现出 $T1>T2>T3$ 的规律(图1)。T3水分处理显著降低了幼苗的叶水势,T3与T1、T2之间均存在显著性差异($P<0.05$),在分枝期和开花期T2与T1差异显著($P<0.05$)。在各生育时期,叶水势T3较T1分别下降了50.2%、50.8%、51.8%和45.7%,T2较T1分别下降了14.7%、29.5%、15.7%、27.1%,随着土壤水分胁迫加剧,叶水势降幅增大。在整个生育期内,不同水分处理下叶水势的最高值均出现在苗期,最低值均出现在开花期。

2.2 不同水分胁迫对新疆大叶苜蓿植株形态的影响

随着水分胁迫的加剧,新疆大叶苜蓿的苗高、根径和根长在不同的生育时期均呈现出 $T2>T1>T3$ 的规律(图2)。

T2水分处理苗高在不同生育时期均达到最高值,且各处理之间均存在显著差异($P<0.05$)。在苗期、分枝期、现蕾期和开花期新疆大叶苜蓿的苗高T2相较于T1增幅分别为32.7%、24.1%、17.7%和

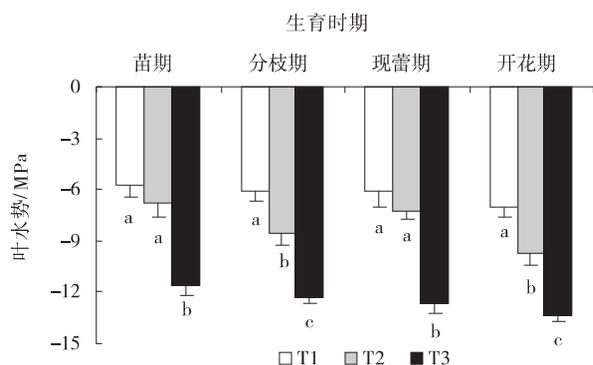


图 1 不同水分胁迫下新疆大叶苜蓿的叶水势

Fig. 1 Leaf water potential of *M. sativa* cv. Xingjiangdaye under different water stress

注:不同小写字母表示不同处理之间差异显著性($P < 0.05$)。下同

11.7%; T3 相较于 T1 降幅分别为 28.1%、26.4%、23.2% 和 26.1%。

根径在苗期各处理间差异不显著,在分枝期、现

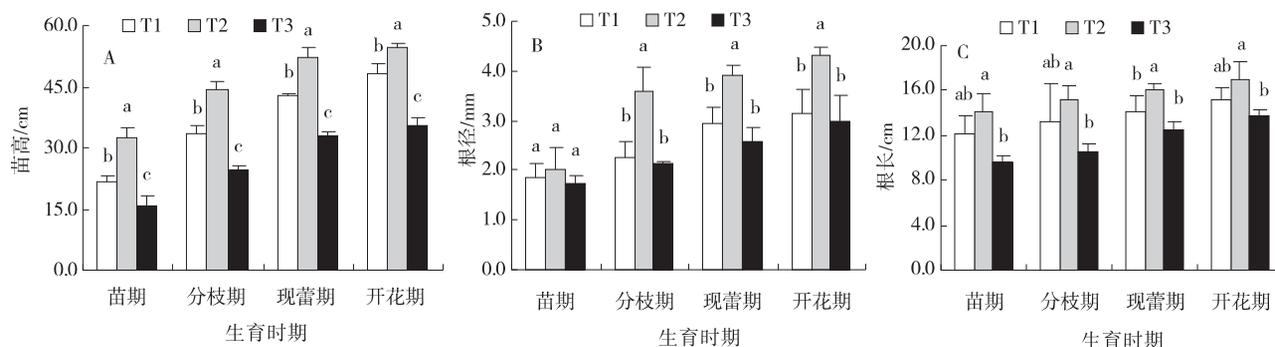


图 2 不同水分胁迫下新疆大叶苜蓿的植株形态

Fig. 2 Plant morphology of *M. sativa* cv. Xingjiangdaye under different water stress

2.3 不同水分胁迫对新疆大叶苜蓿生物量分配的影响

在不同的土壤水分胁迫下,新疆大叶苜蓿的根干重苗期和分枝期呈现出 $T2 > T1 > T3$ 的规律,在现蕾期和开花期表现为 $T2 > T3 > T1$ 的规律(图 3)。在苗期、分枝期和开花期, T2 处理与 T1 处理之间具有显著性差异($P < 0.05$),在现蕾期各处理间差异均不显著。T2 处理的根干重在苗期、分枝期、现蕾期和开花期较 T1 处理相比分别上升了 35.7%、13.5%、15.6% 和 26.8%,而 T3 处理与 T1 处理相比较,在苗期和分枝期根干重下降了 11.1% 和 15.6%,在现蕾期和开花期增加了 5.0% 和 10.9%。

茎干重在不同土壤水分胁迫下呈现出 $T2 > T1 > T3$ 的规律(图 3)。在苗期和分枝期 T1 与 T2 之间具有显著性差异($P < 0.05$)。而在现蕾期和开花期无显

著性差异。就整个生育期而言, T3 与 T1 相比均无显著性差异,说明重度水分胁迫对茎生物量的影响较小。T1 与 T2 相比,在分枝期时,茎干重增幅达到最大,为 26.9%,在开花期时增幅降为 9.0%。

叶片干重在苗期呈现出 $T2 > T3 > T1$ 的规律,在分枝期、现蕾期和开花期均呈现出 $T2 > T1 > T3$ 的规律(图 3)。在开花期时,其叶片干重在 T2 处理下与其他处理之间具有显著性差异($P < 0.05$),在苗期、分枝期和现蕾期时叶片干重均未形成显著性差异,说明水分胁迫对叶片干重的影响较小。T2 的叶片干重在苗期、分枝期、现蕾期和开花期较 T1 相比分别上升 31.3%、26.3%、14.3% 和 13.6%。在苗期, T3 的叶片干重较 T1 相比上升了 8.3%,而在分枝期、现蕾期和开花期较 T1 相比分别下降了 14.3%、22.2%、22.1%。

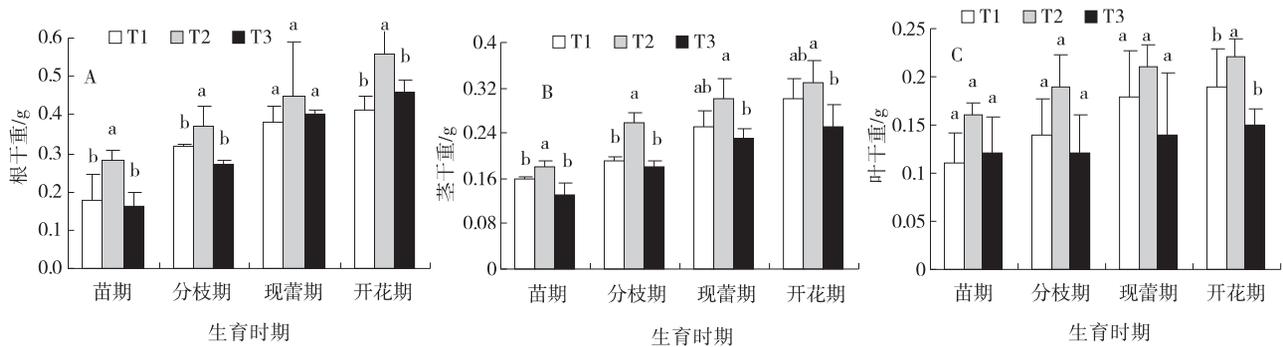


图3 不同水分胁迫下的新疆大叶苜蓿生物量

Fig. 3 The component biomass of *M. sativacv. Xingjiangdaye* under different water stress

2.4 不同水分胁迫下叶水势与植株形态及生物量分配的相关分析

在T1(充分供水)时,新疆大叶苜蓿的叶水势与茎干重之间呈显著负相关,苗高与根径、根干重呈极显著正相关,根径与、根干重和叶干重之间呈显著正相

关(表2);在T2水分处理下,苗高与根径、根长和茎干重呈极显著正相关,与根干重和叶干重呈显著正相关。在T3水分处理下,叶水势与苗高、根径、根长、根干重和茎干重之间均极显著相关($P < 0.01$),说明在重度水分胁迫时叶水势对新疆大叶苜蓿的苗高、根

表2 不同水分胁迫下叶水势与植株形态及生物量分配的相关系数

Table 2 Correlation number of leaf water potential and plant morphology and biomass allocation under different water stress

| | 叶水势 | 苗高 | 根径 | 根长 | 根干重 | 茎干重 | 叶干重 |
|----|-----|----------|---------|---------|---------|---------|-------|
| T1 | 叶水势 | 1 | | | | | |
| | 苗高 | -0.453 | 1 | | | | |
| | 根径 | -0.436 | 0.805** | 1 | | | |
| | 根长 | -0.036 | 0.457 | 0.376 | 1 | | |
| | 根干重 | -0.431 | 0.871** | 0.733** | 0.226 | 1 | |
| | 茎干重 | -0.544* | 0.461 | 0.482 | 0.233 | 0.452 | 1 |
| | 叶干重 | -0.341 | 0.431 | 0.546* | -0.038 | 0.292 | 0.159 |
| T2 | 叶水势 | 1 | | | | | |
| | 苗高 | -0.405 | 1 | | | | |
| | 根径 | -0.467 | 0.847** | 1 | | | |
| | 根长 | -0.496 | 0.646** | 0.671** | 1 | | |
| | 根干重 | -0.448 | 0.538* | 0.393 | 0.630** | 1 | |
| | 茎干重 | -0.441 | 0.849** | 0.782** | 0.582* | 0.571* | 1 |
| | 叶干重 | -0.165 | 0.563* | 0.626** | 0.675** | 0.296 | 0.365 |
| T3 | 叶水势 | 1 | | | | | |
| | 苗高 | -0.790** | 1 | | | | |
| | 根径 | -0.732** | 0.739** | 1 | | | |
| | 根长 | -0.692** | 0.877** | 0.743** | 1 | | |
| | 根干重 | -0.739** | 0.967** | 0.768** | 0.912** | 1 | |
| | 茎干重 | -0.742** | 0.849** | 0.633** | 0.809** | 0.819** | 1 |
| | 叶干重 | -0.151 | 0.119 | 0.224 | 0.402 | 0.231 | 0.397 |

注:**在0.01极显著相关,*在0.05水平上显著相关

长、根干重、茎干重和叶干重产生不利影响。苗高在T2和T3的水分处理下与根径、根长和根干重之间具有显著相关关系($P < 0.05$),说明苗高与其植株形态和生物量之间具有密切的联系。根径在T2和T3的水分处理下,与根长和茎干重之间具显著相关关系($P < 0.05$),表明根径的生长增加,其根长也会增长,茎干重也会增加。

3 讨论

3.1 水分胁迫对新疆大叶苜蓿叶水势的影响

在水资源匮乏的情况下,植物通过自我调节发生一系列生理生化反应或改变物质代谢以适应环境带来的影响^[19]。叶水势代表植物水分运动的能量水平,是反映植株组织水分状况的重要指标,土壤水分含量、气温和叶片的蒸腾速率等均会影响植物叶水势的变化^[20]。叶水势的降低利于植物从土壤中吸收水分,可维持植物在水分逆境中生长^[21],随着土壤水分胁迫的加剧,叶水势会呈现下降的趋势。本研究发现随着干旱程度的加重,新疆大叶苜蓿的叶水势逐渐降低。在充分供水情况下,土壤含水量达到相对田间持水量的85%,植株能够充分吸水,叶水势高。在重度水分胁迫时,其叶水势在苗期、分枝期、现蕾期和开花期分别降低了5.85、6.25、6.58和6.28MPa,表明新疆大叶苜蓿通过大幅降低自身叶水势来调节对土壤有限水分的吸收潜力,以增强对干旱胁迫环境的适应能力和抵抗能力^[6]。有研究表明,叶水势的降低与植物气孔开闭有着密切联系,随着植物叶片水分散失和水势下降,气孔阻力增加,气孔开度相应减小,对植物的蒸腾作用产生影响^[22]。由于苗期植株低矮,需水量较少,而分枝期、现蕾期和开花期是新疆大叶苜蓿的快速生长期,需水量大幅增加,植株生理代谢旺盛,植株对土壤水分亏缺极为敏感,通过降低叶水势来增加吸水潜力,这与冯树林^[6]、王青宁^[23]等对紫穗槐、固沙植物叶水势的研究结果相似。

3.2 水分胁迫对新疆大叶苜蓿形态的影响

适宜的土壤水分是植物健康生长发育的基础,过多或过少的土壤水分都会抑制植物的生长^[24]。当土壤水分亏缺时,导致植物形态上发生改变^[25]。本研究表明,随着水分胁迫程度的加剧,新疆大叶苜蓿的苗高、根径和根长在不同的生育期均表现为 $T2 > T1 >$

$T3$ 的规律,这与徐飞等^[27]对刺槐(*Robinia pseudoacacia*)幼苗的研究结果相似。表明不同的水分处理对新疆大叶苜蓿的形态指标有一定的影响。在充分供水情况下,新疆大叶苜蓿的生长均低于轻度水分胁迫,主要是由于过多的土壤水分会造成土壤通气性差,植株根系正常的呼吸作用受阻,进而影响其苗高、根径和根长的增加。在土壤水分亏缺加重时,植株正常的新陈代谢过程减慢,光合有机质积累减少,从而导致植株的苗高增长缓慢,根的生长处于抑制状态,这可能是严重的水分胁迫使得新疆大叶苜蓿的根系吸收水分能力急剧下降,导致植物组织萎蔫造成的。轻度水分胁迫下苗高、根径和根长都表现出较大的增长,说明适当的水分胁迫可以促进植株根系的发育,使得根系从土壤中获得更多的养分和水分,并保证了新疆大叶苜蓿的正常生长。

3.3 水分胁迫对新疆大叶苜蓿生物量分配的影响

生物量分配指植物生长发育过程中所同化的资源用于营养器官的比例^[28]。植物生物量的分配受多种因素的影响,比如:环境条件、自身生长发育以及遗传特性等^[29]。本研究发现,随着生育时期的变化,水分胁迫显著影响新疆大叶苜蓿根、茎、叶生物量的分配。其根干重在生长早期阶段如苗期和分枝期呈现出 $T2 > T1 > T3$ 的规律,而在生长后期阶段如现蕾期和开花期时根干重为 $T2 > T3 > T1$ 规律,由于苗期和分枝期植株处于生长初期,需水量较少,轻度水分胁迫可能诱导其提前经受干旱锻炼,激发其潜在的抗旱能力,来保证植株的营养生长,随着胁迫时间的延长,其根系逐渐适应干旱环境,在现蕾期和开花期适当增加根长来吸收土壤水分。充分供水时土壤含水量过高,导致植物根系长时间处于无氧呼吸状态,并积累了有毒物质,不利于植物生长。重度水分胁迫促使植物根系发育并向深层土壤下扎吸收利用深层土壤水分,将较多的生物量分配给根来吸收更多的营养和水分来促进根系的生长,使其重度水分胁迫下的根干重大于充分供水时的根干重。这与柳佳^[19]、王森^[30]等对新疆大叶苜蓿、蒙古栎(*Quercus mongolica*)的研究结果一致。茎干重在整个生育期内均呈现出 $T2 > T1 > T3$ 的规律,表明在轻度水分胁迫下水分优先满足植株茎生物量的分配,使同化物质积累促进植株茎的生物量的分配。且重度水分胁迫与充分供水相比均无显

著性差异,可能是在重度水分胁迫下植株尽可能保障茎的同化物质生产效率,将同化物质输送给根系,以此来提高根系水分和养分吸收能力,用来保障其植株的生长。叶干重在整个生育期内均未形成显著性差异,表明水分胁迫对叶干重影响不大。说明随着土壤水分胁迫的加剧,植株分配到地下的生物量明显增加,而对地上生物量的分配影响不大,这与段旭等^[31]对云南松(*Pinus yunnanensis*)幼苗生长及生物量的研究结果一致。

3.4 叶水势对植株形态及生物量分配的影响

植物叶水势可反映植物从土壤中吸收水分以维持正常生理活动的的能力,可用于确定植物的受旱程度和抗旱能力^[32]。本研究表明,在T1水分处理时,叶水势与茎干重具有相关性,说明叶水势越高,新疆大叶苜蓿茎内的含水量越高。在T3水分处理时,叶水势与苗高、根径、根长、根干重和茎干重之间均具相关关系,表明随着土壤水分含量降低,新疆大叶苜蓿叶水势对干旱胁迫较为敏感,可通过大幅降低自身的苗高、根径、根长、根干重和茎干重来调节对土壤有限水分的吸收潜力,以增强新疆叶苜蓿对干旱胁迫环境的适应能力和抵抗能力。

4 结论

(1)土壤水分胁迫会降低新疆大叶苜蓿叶水势,在各生育时期均呈现T1>T2>T3的规律,且叶水势与苗高、根径、根长、根干重和茎干重在T3水分处理时均具有极显著相关性($P<0.01$)。说明新疆大叶苜蓿通过降低自身叶水势来调节对土壤有限水分的吸收潜力,以增强对干旱胁迫环境的抵抗能力。

(2)T2处理可促进新疆大叶苜蓿的苗高、根径和根长的生长,且根干重、茎干重和叶干重最高。说明轻度水分胁迫有利于新疆大叶苜蓿形态指标的生长和生物量的分配。苗高在T2和T3处理下与根径、根长之间均具有显著相关性($P<0.05$),表明苗高与根径和根长之间存在一定的协同性。

参考文献:

[1] ZANGIABADI M, GORJI M, SHORAFI M, *et al.* Effect of soil pore size distribution on plant-available water and least limiting water range as soil physical quality indicators[J]. *Pedosphere*, 2020, 30(2): 253-262.

[2] 高小锋,王进鑫,张波,等.不同生长期干旱胁迫对刺槐幼树干物质分配的影响[J]. *生态学杂志*, 2010, 29(6): 1103-1108.

[3] 王巧,刘秀梅,王华田,等.干旱和水涝胁迫对幼龄油松生长及光合作用的影响[J]. *中国水土保持科学*, 2015, 13(6): 40-47.

[4] 吕朝燕,智席,严羽,等.干旱-复水对两种石斛属植物叶水势的影响[J]. *广西植物*, 2021, 41(2): 177-182.

[5] BALBOA K, BALLESTEROS G I, MOLINAMONTE NEGRO M A. Integration of Physiological and molecular traits would help to improve the insights of drought resistance in highbushblueberry cultivars. [J]. *Plants (Basel, Switzerland)*, 2020, 9(11): 1457.

[6] 冯树林,李博渊,吕国利,等.紫穗槐幼苗不同生长阶段叶水势对干旱胁迫与复水的响应特征[J]. *草地学报*, 2020, 28(5): 1363-1371.

[7] 詹瑾,李玉霖,韩丹,等.半干旱沙区3种优势固沙灌木生物量分配及其生态学意义[J]. *中国沙漠*, 2020, 40(5): 149-157.

[8] 陈爱萍,隋晓青,王玉祥,等.干旱胁迫及复水对伊犁绢蒿幼苗生长及生理特性的影响[J]. *草地学报*, 2020, 28(5): 1216-1225.

[9] 景茂,曹福亮,汪贵斌,等.土壤水分含量对银杏生长及生物量分配的影响[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2005, 65(3): 5-8.

[10] 吕晓敏,王玉辉,周广胜,等.温度与降水协同作用对短花针茅生物量及其分配的影响[J]. *生态学报*, 2015, 35(3): 752-760.

[11] 王密侠,康绍忠,蔡焕杰,等.玉米调亏灌溉节水调控机理研究[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2004, 23(12): 87-90.

[12] 柳佳,罗永忠,陈国鹏.土壤水分胁迫对新疆大叶苜蓿构件生物量分配的影响[J]. *干旱区研究*, 2019, 36(3): 639-644.

[13] 权文利,产祝龙.紫花苜蓿抗旱机制研究进展[J]. *生物技术通报*, 2016, 32(10): 34-41.

[14] 李硕,苗丽宏,聂中南,等.干旱胁迫对不同紫花苜蓿品种生产性能的影响[J]. *草原与草坪*, 2020, 40(3): 15-22.

[15] 王月,于若男,马雪松,等.乙烯对盐胁迫下紫花苜蓿种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *内蒙古大学学报(自然科学版)*, 2021, 52(1): 59-69.

[16] 张立全,贾旭慧,赵静玮. PEG模拟干旱胁迫对紫花苜蓿种子发芽及幼苗生长的影响[J]. *分子植物育种*,

- 2020,18(11):3759—3764.
- [17] 韩志顺,郑敏娜,梁秀芝,等. 干旱胁迫对不同紫花苜蓿品种形态特征和生理特性的影响[J]. 中国草地学报, 2020,42(3):37—43.
- [18] 刘军,齐广平,康燕霞,等. 不同灌溉处理下紫花苜蓿光合特性、叶绿素荧光参数及生物量的变化[J]. 草地学报, 2019,27(6):1569—1576.
- [19] 崔颖,李芊夏,刘彬,等. 干旱胁迫对地果幼苗形态与生理特性的影响[J]. 西北林学院学报, 2020,35(6):82—88+227.
- [20] RODRIGUES P, PEDROSO V P, GOUVEIAS J P, *et al.* Influence of soil water content and atmospheric conditions on leaf water potential in cv. “Touriga Nacional” deep-rooted vineyards [J]. *Irrigation Science*, 2012, 30(5):407—417.
- [21] 罗永忠,成自勇. 水分胁迫对紫花苜蓿叶水势、蒸腾速率和气孔导度的影响[J]. 草地学报, 2011, 19(2): 215—221.
- [22] 邓鑫,冉辉,于庭高,等. 西北旱区制种玉米灌浆期气孔导度与叶水势对水氮胁迫的响应[J]. 干旱地区农业研究, 2020,38(4):253—258.
- [23] 王青宁,衣学慧,王晗生,等. 干旱胁迫下6种固沙灌木叶片水分状况研究[J]. 河南农业科学, 2014, 43(2): 63—67.
- [24] 唐洋,温仲明,王杨,等. 土壤水分胁迫对刺槐幼苗生长、根叶性状和生物量分配的影响[J]. 水土保持通报, 2019,39(6):98—105.
- [25] 唐健民,柴胜丰,邹蓉,等. 水分胁迫对极小种群东兴金花茶幼苗光合特性的影响[J]. 广西植物, 2020,40(12): 1764—1772.
- [26] 高成杰,崔凯,张春华,等. 干旱胁迫对不同种源云南松幼苗生物量与根系形态的影响[J]. 西北林学院学报, 2020,35(3):9—16.
- [27] 徐飞,郭卫华,徐伟红,等. 刺槐幼苗形态、生物量分配和光合特性对水分胁迫的响应[J]. 北京林业大学学报, 2010,32(1):24—30.
- [28] 郝虎东,田青松,石凤翎,等. 无芒雀麦地上生物量及各构件生物量分配动态[J]. 中国草地学报, 2009,31(4): 85—90.
- [29] 张爱勤,谭敦炎,朱进忠. 新牧1号杂花苜蓿生物量分配动态及生殖产量的研究[J]. 中国草地学报, 2007,29(6):48—52+5.
- [30] 王森,代力民,姬兰柱,等. 长白山阔叶红松林主要树种对干旱胁迫的生态反应及生物量分配的初步研究[J]. 应用生态学报, 2001,12(4):496—500.
- [31] 段旭,赵洋毅. 水分胁迫对云南松苗生长及生物量的影响[J]. 福建林业科技, 2015,42(4):87—92.
- [32] 付爱红,陈亚宁,李卫红,等. 干旱、盐胁迫下的植物水势研究与进展[J]. 中国沙漠, 2005,42(5):744—749.

Effects of water stress on leaf water potential and biomass allocation of *Medicago sativa*

NAN Si-ruì, LUO Yong-zhong*, YU Si-min, TONG Hui-xin, HE Yu

(College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to explore the effect of water stress on the leaf water potential and biomass of *Medicago sativa* cv. Xinjiangdaye and its correlation, pot water control method was used to study the changes of leaf water potential, seedling height, root diameter, root length, root dry weight, stem dry weight and leaf dry weight of one-year-old *Medicago sativa* cv. Xinjiangdaye in different growth periods under different water stress by setting three water gradients: full water supply (T1), mild stress (T2) and severe stress (T3). The results showed as follows: the leaf water potential of *Medicago sativa* cv. Xinjiangdaye presented the rule of $T1 > T2 > T3$ during the whole growth period, and there were significant differences between T3, T1 and T2 ($P < 0.05$). Mild water stress would stimulate the growth of seedling height, root diameter and root length of *Medicago sativa* cv. Xinjiangdaye, which showed the law of $T2 > T1 > T3$ throughout the growth period. Under mild water stress, the stem weight of *Medicago sativa* cv. Xin-

jiangdaye was significantly higher than those of *Medicago sativa* cv. Xinjiangdaye under adequate water supply and severe water stress during the whole growth stage. In the mean time, under mild water stress, the root dry weight showed the order of T2>T1>T3 at seedling stage and branching stage, and T3>T2>T1 at bud stage and flowering stage. Except seedling stage, the leaf dry weight showed T2>T1>T3 at branching stage, bud stage and flowering stage. The experimental results provide a theoretical basis for alfalfa water-saving cultivation and crops water-efficient mechanism in arid and semi-arid areas.

Key words: *Medicago sativa* cv. Xinjiangdaye; water stress; leaf water potential; biomass; growth stage

(上接 62 页)

Effects of sowing date on physiological indexes and quality of *Angelica sinensis* seedlings

GE Hui¹, ZHAO Xin¹, WANG Pan¹, GUO Zeng-xiang², ZHAO Wan-qian³,
YANG Rong-zhou⁴, CHEN Hong-gang^{1,5}, ZENG Cui-yun^{1,5}, DU Tao^{1,5*}

(1. Gansu University of Chinese Medicine Hezheng Botanical Garden of Medicinal Plants, Linxia 731100, China; 2. Min County *Angelica sinensis* Institute of Gansu Province, Mingxin 748400, China; 3. Linxia State Academy of *Angelica sinensis* of Gansu Province, Linxia 731100, China; 4. Dingxi Academy of Agricultural Sciences, Dingxi 743000, China; 5. Gansu University of Chinese Medicine Northwest Collaborative Innovation Center or Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Seedling cultivation experiments of *Angelica sinensis* in different planting dates were carried out to explore the influence of climate factors corresponding to planting date on physiological indexes and quality of *Angelica sinensis* seedlings, and to find the best climatic conditions for *Angelica sinensis* seedling cultivation. The experiment results showed that there were significant or extremely significant positive correlations between climate factors and seedling weight per root, root diameter, yield, proportion of primary seedlings, survival rate and early bolting rate. Average ground temperature, average air temperature, effective accumulated temperature $\geq 10^{\circ}\text{C}$ and rainfall were significantly negatively correlated with MDA content, and positively correlated with CAT and POD activities. The seedlings sown on June 20 (the second sowing date) had a higher yield of 11.96% and 65.63% than those sown on June 10 and June 30, respectively, while the content of MDA was 2.02% and 29.44% lower, and the activities of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) were higher. The output of medicinal materials reached 1 691.2 kg/hm². Based on the physiological indicators and yield of seedlings, the seedlings sown on June 20 (the second sowing date) had strong resistance to stress, low early bolting rate and high yield of medicinal materials, which could be used as the appropriate sowing period. And the corresponding climate factors could be used as the appropriate climate conditions.

Key words: sowing date; climatic factors; *Angelica sinensis* seedlings; physiological indexes; quality