

干旱胁迫对不同紫花苜蓿品种生产性能的影响

李 硕¹, 苗丽宏¹, 聂中南², 李向林¹, 万里强¹

(1. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 北京 100193; 2. 澳大利亚维多利亚经济发展、就业、交通和资源部, 汉密尔顿, 维多利亚 3300)

摘要:为了解不同紫花苜蓿品种对干旱胁迫的响应,探讨了干旱胁迫对8个紫花苜蓿品种生产性能的影响。试验采用随机区组设计,包括3个土壤水分梯度,水分梯度分别为80%(对照)、55%和30%的田间最大持水量。结果表明,随着干旱胁迫的加剧,8个紫花苜蓿品种的地上生物量和地下生物量逐渐降低,BC-9紫花苜蓿和肇东苜蓿的地上生物量受干旱胁迫的影响较轻,均值分别为3.11和2.75 g/盆;地下生物量分别为1.34和0.65 g/盆;干旱胁迫严重影响了河南苜蓿和博维,地上生物量分别为1.87和1.85 g/盆,地下生物量分别为0.75和0.91 g/盆。随着含水量的减少,8个紫花苜蓿品种的分枝密度、株高以及干旱胁迫前后的变异系数逐渐减小。生物量、分枝密度和株高随着含水量的降低而降低,呈正线性关系($R^2=0.96\sim 0.99$)。

关键词:干旱胁迫;紫花苜蓿;生产性能

中图分类号:S541 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)03-0015-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyep.2020.03.003

以全球变暖为主要特征的气候变化已经成为当今世界重要的环境问题之一,全球气候变化带来的一系列问题,包括干旱,盐碱,高温,低温,冷冻等不良环境因素,导致全球70%的作物减产^[1-3]。植物受到的干旱胁迫是影响植物生长、发育和存活的最严重的胁迫之一^[4-5]。

紫花苜蓿(*Medicago sativa*)是世界上广泛种植的一种豆科牧草,具有营养价值高、耐刈割、生物产量高和适应性强等特点,被誉为“牧草之王”。北方大多数地区紫花苜蓿的生长发育需要灌溉维持,因此种植

苜蓿需要较多水源,我国又是水资源紧缺的国家,加之全球气候变暖的事实,研究紫花苜蓿对干旱的响应,对提高苜蓿耐旱性具有重要意义。在干旱和半干旱地区,生长季内农业生产取决于水分的多少^[6]。日益加剧的干旱对紫花苜蓿的种植面积和产量构成了严重威胁,在干旱地区只有通过抗旱苜蓿品种的培育和应用才能达到增产和稳产^[7-9]。

严重干旱可导致植物光合作用的终止和新陈代谢的紊乱,最终导致植物的死亡^[10]。苜蓿的耐旱性更倾向于用根冠比、叶面积、相对含水量以及比叶面积等指标来衡量^[11],水分胁迫下紫花苜蓿地下与地上生物量分配的变化,即根冠比的变化是反映地上部与地下部之间关系最典型的指标,干旱胁迫下植物的根冠比与耐旱性正相关。可反映品种抗旱性的强弱,根冠比升高有助于维持植物体内水分平衡,使其度过胁迫时期,保证个体的存活^[12]。笔者通过对不同紫花苜蓿品种在不同水分胁迫下的生物量,分枝密度和株高等参数进行测定,旨在探索不同紫花苜蓿品种生产性能对干旱胁迫的响应,为研究苜蓿耐旱机理提供一定的理论

收稿日期:2019-07-09; **修回日期:**2019-11-06

基金项目:国家自然科学基金项目“根源 ABA 作用下紫花苜蓿根系形态构型可塑性及其耐旱适应机制研究”(31772671)项目

作者简介:李硕(1989-),男,甘肃庆阳人,在读博士。

E-mail: lishuo858@foxmail.com

万里强与李向林为通讯作者。

E-mail: wanliqiang@caas.cn;

E-mail: lxl@caas.cn

基础。

1 材料和方法

1.1 材料

供试紫花苜蓿品种均由中国农业科学院北京畜牧兽医研究所提供(表1)。

1.2 试验设计

试验于2018年6~9月在中国农业科学院北京畜牧兽医研究所温室组织培养室(25℃)进行(16 h光照

和8 h黑暗)。试验包括3个土壤水分梯度和8个苜蓿品种,采用随机区组设计,形成 $8 \times 3 = 24$ 处理,3次重复,共计72盆。3个水分梯度分别为正常供水(土壤水分为田间最大持水量的80%,CK)、中度干旱胁迫(土壤含水量为田间最大持水量的55%,MD)和重度干旱胁迫(土壤水分为田间最大持水量的30%,SD),待苜蓿幼苗长到2月龄时,对每个苜蓿品种进行干旱处理,连续干旱控水4周,试验处理期间每隔两天采用称重法补充缺失的水分。

表1 试验材料名称和编号

Table 1 Cultivar name and No. of experimental materials

品种编号	品种	品种编号	品种
1	肇东(<i>M. sativa</i> cv. Zhaodong)	5	准格尔(<i>M. sativa</i> cv. Zhungeer)
2	河南苜蓿(<i>M. sativa</i> cv. Henan alfalfa)	6	临汾(<i>M. sativa</i> cv. Linfeng)
3	金皇后(<i>M. sativa</i> cv. Golden empress)	7	博维(<i>M. sativa</i> cv. Bowei)
4	淳化(<i>M. sativa</i> cv. Chunhua)	8	BC-9紫花苜蓿(<i>M. sativa</i> cv. BC-9 alfalfa)

试验之前,供试苜蓿种子放置在1%的次氯酸(NaClO)溶液中灭菌30 min,然后用去离子水冲洗4次,放置在铺双层滤纸,直径为9 cm的培养皿中发芽,待发芽后,将已发芽的幼苗转移至含有2 kg土壤的花盆(高17 cm,底径16 cm)中,每盆6株,所用栽培基质为草炭土和蛭石(2:1),土壤pH 7.3,有机物9.3 g/kg,磷0.9 g/kg,钾20.2 g/kg,田间持水量31%。试验初期和末期分别测定分枝密度和植株绝对高度,末期测定地上生物量和地下生物量,试验期间定期对试验材料进行病虫害防治。

1.3 测定指标与方法

地上生物量:试验结束时,牧草地上部分放置在105℃条件下烘48 h至恒重,地上生物量以g/盆计算;地下生物量:试验结束后收集植株根系,然后用清水洗净,后放置于105℃中烘48 h至恒重后,用分析天平称其干重,作为每盆的生物量^[13];绝对株高:分别在未胁迫前和胁迫后测定每盆植株的绝对高度,求其均值作为每盆的绝对高度^[14];分枝密度:分别在未胁迫前和胁迫后测定每盆每个植株的分枝数,求其均值作为每盆的分枝密度^[15]。

分枝相对百分数(%) = (分枝数_{干旱后} - 分枝数_{干旱前}) / 分枝数_{干旱前} × 100%

株高相对百分数(%) = (株高_{干旱后} - 株高_{干旱前}) /

株高_{干旱前} × 100%^[15]

1.4 统计分析

采用GENSTAT 12.1软件进行数据统计分析,采用ANOVA法进行均值比较^[16-17],用Office 2016制作图表。随机区组模型用来分析不同品种和干旱胁迫处理下地上生物量、地下生物量、株高和分枝密度的主效应及其互作效应^[18-19]。分别对不同水分梯度和不同品种间关于地上生物量、地下生物量、分枝密度和株高的相关性进行分析^[15]。

2 结果与分析

2.1 地上生物量

不同苜蓿品种和不同水分梯度之间对地上生物量的互作效应极显著($P < 0.01$)。当水分梯度为SD和MD时,苜蓿品种5号地上生物量均最低(图1)。不同品种间地上生物量差异极显著($P < 0.01$),8号受干旱胁迫的影响较小,地上生物量最大,为3.11 g/盆;1号地上生物量次之,为2.75 g/盆;7号的地上生物量最小,为1.85 g/盆(表2)。不同水分梯度之间地上生物量差异极显著($P < 0.01$),且随干旱胁迫的加剧,地上生物量逐渐降低,与CK的地上生物量相比,MD处理时,地上生物量降低了41.3%,SD处理时,地上生物量降低了58.7%(表2)。

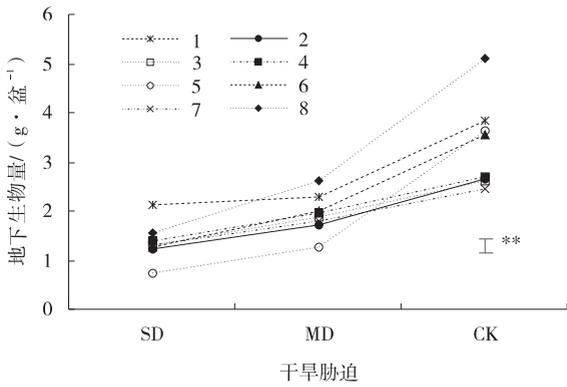


图 1 干旱胁迫下不同品种的地上生物量

Fig. 1 Interaction between alfalfa cultivars and drought stress on above ground herbage mass

表 2 不同干旱胁迫下不同苜蓿品种的地上生物量

Table 2 Aboveground biomass of 8 alfalfa cultivars under various drought stress

品种编号	地上生物量/ (g·盆 ⁻¹)	干旱胁迫	地上生物量/ (g·盆 ⁻¹)
1	2.75	SD	1.37
2	1.87	MD	1.95
3	1.94	CK	3.32
4	2.03	<i>s. e. m.</i>	0.094**
5	1.89		
6	2.27		
7	1.85		
8	3.11		
<i>s. e. m.</i>	0.175**		

注:*s. e. m.* 为平均值的标准误, ** $P < 0.01$,下同

2.2 地下生物量

不同品种和水分梯度间对地下生物量的互作效应差异极显著($P < 0.01$)。当水分梯度为 SD 时,所有品种紫花苜蓿地下生物量最小(0.49 g/盆);当水分梯度为 MD 时,地下生物量次之;CK 地下生物量最大,为 1.26 g/盆(表 3)。不同品种和不同水分梯度之间地下生物量互作效应极显著($P < 0.01$),在不同的水分胁迫下,8 号紫花苜蓿的地下生物量均最大(图 2)。

2.3 分枝密度

干旱胁迫前,不同品种之间分枝密度差异不显著($P > 0.05$),相反,受到水分胁迫后,不同品种苜蓿之间分枝密度和相对百分数差异极显著($P < 0.01$)。干旱胁迫前和干旱胁迫后,分枝密度和相对百分数差异均显著($P < 0.05$);且随着干旱胁迫的加剧,分枝密度和相对百分数均逐渐降低(表 5)。

干旱胁迫前,不同品种和不同水分梯度之间分枝

密度的互作效应不显著($P > 0.05$);相反,干旱胁迫后,不同品种和不同水分梯度间分枝密度互作效应极显著($P < 0.01$);且随着干旱胁迫的加剧,不同紫花苜蓿品种的分枝密度逐渐降低(表 4);当含水量为 CK 水平时,8 号苜蓿的分枝密度最大,为 35.5 枝/盆。

表 3 不同干旱胁迫下不同品种紫花苜蓿地下生物量

Table 3 Belowground biomass of 8 alfalfa cultivars under various drought stress

品种编号	地下生物量/ (g·盆 ⁻¹)	干旱胁迫	地下生物量/ (g·盆 ⁻¹)
1	0.65	SD	0.49
2	0.75	MD	0.81
3	0.61	CK	1.26
4	0.69	<i>s. e. m.</i>	0.047**
5	0.83		
6	1.03		
7	0.91		
8	1.34		
<i>s. e. m.</i>	0.101**		

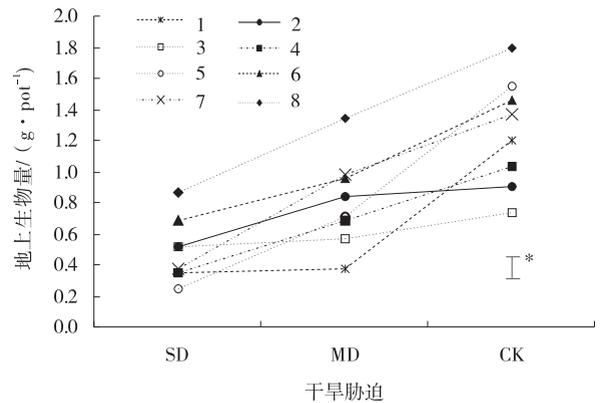


图 2 干旱胁迫下不同品种的地下生物量

Fig. 2 Interaction between alfalfa cultivars and drought stress on under ground herbage mass

2.4 株高

干旱胁迫前,不同品种和不同水分梯度间关于株高互作效应不显著($P < 0.05$);相反,干旱胁迫后,不同品种和不同干旱胁迫之间株高互作效应极显著($P < 0.01$),且随着干旱胁迫加剧,不同紫花苜蓿品种的株高逐渐降低(表 6)。表 7 表明,在干旱胁迫前和干旱胁迫后不同紫花苜蓿品种株高差异极显著($P < 0.01$),相反,不同品种之间相对百分数差异不显著($P > 0.05$)。不同干旱胁迫梯度下,干旱胁迫后,株高差异显著($P < 0.05$);CK 株高最高,MD 株高次之,SD 株高最小。

表 4 不同品种和不同干旱胁迫之间分枝密度互作效应

Table 4 Interaction in branch density and its variation between alfalfa cultivars and drought stress

枝/盆

品种编号	干旱前			干旱后			相对百分数/%		
	SD	MD	CK	SD	MD	CK	SD	MD	CK
1	15.2	15.1	14.7	17.8	22.3	24.8	19.0	47.6	68.2
2	15.3	15.3	15.8	22.2	26.7	28.3	49.3	74.2	81.6
3	13.7	13.3	17.0	18.0	23.7	29.3	35.4	82.6	72.7
4	16.0	15.7	17.3	22.3	25.0	29.3	44.5	61.3	69.7
5	9.7	12.3	17.5	17.0	22.3	32.0	40.0	42.5	83.8
6	17.3	15.4	16.3	23.7	25.0	25.7	36.7	64.6	58.2
7	13.3	18.0	16.0	19.1	22.3	29.7	27.1	24.5	86.2
8	15.2	16.2	21.8	20.8	24.4	35.5	37.7	54.0	65.5
<i>s. e. m.</i>		1.25 ^{ns}			1.26 ^{**}			10.65 ^{ns}	

注:ns:差异不显著,下同

表 5 不同干旱胁迫下不同品种紫花苜蓿分枝密度和相对百分数

Table 5 Branch density and its relative percentage of 8 alfalfa cultivars under various drought stress

枝/盆

品种编号	干旱前	干旱后	相对百分数/%	干旱梯度	干旱前	干旱后	相对百分数/%
1	15.0	21.6	44.9	SD	14.46	20.1	36.2
2	15.5	25.7	68.4	MD	15.18	24.0	56.4
3	14.7	23.7	63.6	CK	17.06	29.3	73.2
4	16.3	25.6	58.5	<i>s. e. m.</i>	0.465 [*]	0.46 ^{**}	4.18 ^{**}
5	13.2	23.8	55.4				
6	16.4	24.8	53.2				
7	15.8	23.7	45.9				
8	17.7	26.9	52.4				
<i>s. e. m.</i>	0.63 ^{ns}	0.68 ^{**}	4.51 [*]				

注:* $P < 0.05$,下同

表 6 不同品种和不同干旱胁迫之间株高及相对百分数的互作效应

Table 6 Interaction in plant height and its relative percentage between alfalfa cultivars and drought stress

cm

品种编号	干旱前			干旱后			相对百分数/%		
	SD	MD	CK	SD	MD	CK	SD	MD	CK
1	33.5	32.8	34.4	35.9	37.6	41.0	7.9	15.8	20.1
2	30.6	32.8	29.0	29.5	34.6	36.1	2.5	6.6	24.7
3	19.8	23.2	24.0	23.4	28.5	31.3	18.9	25.3	31.2
4	32.2	29.8	36.4	32.6	37.0	44.6	5.7	25.0	23.7
5	18.1	20.5	33.1	23.1	25.8	42.1	29.7	26.0	27.5
6	28.2	30.2	29.5	28.9	34.5	35.5	2.3	13.6	22.5
7	31.5	29.7	32.9	29.7	31.5	36.1	3.5	9.5	10.3
8	27.9	29.6	33.3	29.0	32.6	36.4	3.7	10.4	9.3
<i>s. e. m.</i>		2.39 ^{ns}			1.87 [*]			9.53 ^{ns}	

表 7 不同干旱胁迫下不同品种苜蓿株高和相对百分数

Table 7 Plant density and its relative percentage of 8 alfalfa cultivars under various drought stress

cm

品种编号	干旱前	干旱后	相对百分数/%	干旱梯度	干旱前	干旱后	相对百分数/%
1	33.6	38.2	14.6	SD	27.7	29.0	9.3
2	30.8	33.4	11.3	MD	28.6	33.6	16.5
3	22.3	27.7	25.2	CK	31.6	37.5	21.2
4	32.8	38.1	18.2	<i>s. e. m.</i>	0.87**	0.69**	3.12*
5	23.9	30.3	27.7				
6	29.3	33.0	12.8				
7	31.4	33.6	7.7				
8	30.3	32.6	7.8				
<i>s. e. m.</i>	1.30**	0.96**	6.24 ^{ns}				

2.5 相关性

不同水分梯度之间关于地上生物量和地下生物量存在显著 ($R^2 = 0.99, P < 0.05$) 正线性相关。且随着水分胁迫的加剧,地上生物量和地下生物量逐渐降低(图 3a, b)。随着干旱胁迫的加剧,地上生物量从 3.32 g/盆降低到 1.37 g/盆;随着含水量的降低,地下生物量从 1.26 g/盆降低到 0.49 g/盆。不同水分梯度与品

种间地上生物量和地下生物量之间存在显著 ($R^2 = 0.99, P < 0.05$) 正线性相关;随着干旱胁迫的加剧,分枝密度呈线性降低(图 3c)。就株高而言,不同水分梯度与品种间关于株高存在不显著正线性关系 ($R^2 = 0.96, P > 0.05$),且随着水分胁迫的加剧,株高逐渐降低(图 3d)。

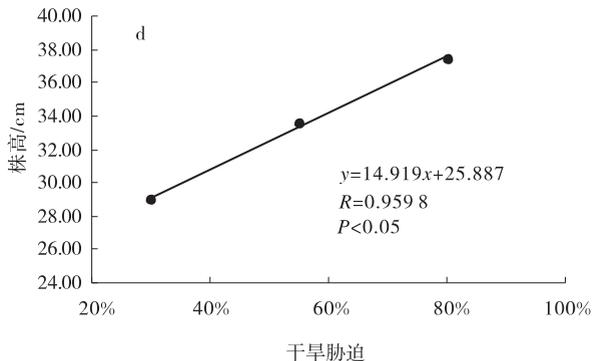
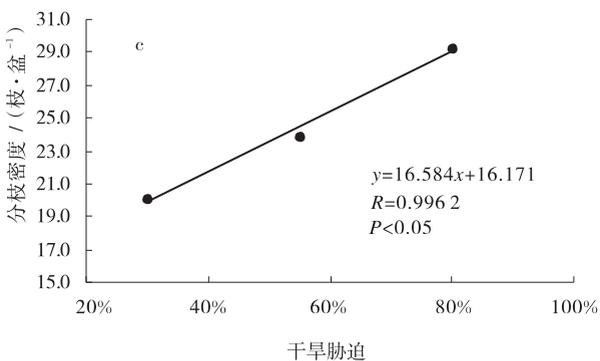
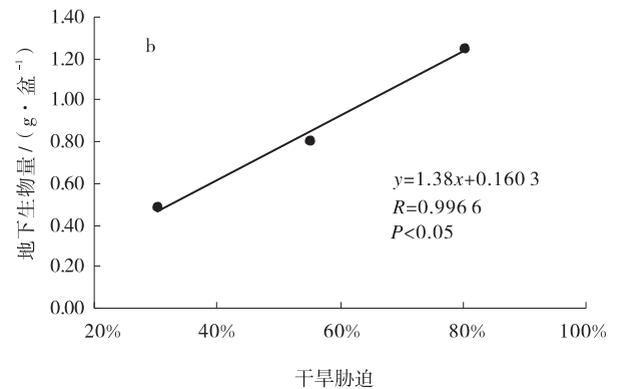
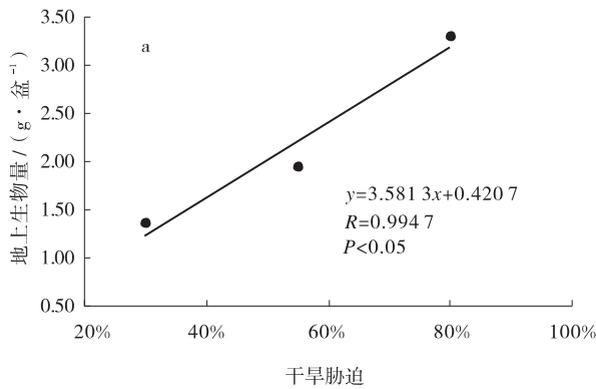


图 3 干旱胁迫和地上生物量、地下生物量、分枝密度和株高之间的相关性

Fig. 3 Relationships between drought stress and a) aboveground herbage mass, b) belowground herbage mass, c) branch density, and d) plant height

3 讨论

牧草生产的主要指标是生物产量,反映了牧草生长和对环境的适应性。水分缺失会对植物形态产生影响,直接引起植物根、茎、叶及整株干物质积累发生变化^[20]。本试验表明,紫花苜蓿干物质产量和水分含量存在差异,土壤含水量较大时,地下和地上生物量受水分的影响不明显,随着干旱胁迫的加剧,生物量逐渐降低。干旱胁迫降低植物地上生物量,随着胁迫时间加长,干物质下降明显^[21]。干旱胁迫促使叶片大小减少和伸长,从而降低植物对水分的利用效率^[3]。在干旱条件下,苜蓿通过停止其营养生长和深根系获取水分来避免伤害。抗旱性很差的植物,很快受到水资源短缺的影响^[19]。可以通过调节植物生长发育、对水分的吸收和运输,从而使植物对干旱胁迫产生适应性^[22]。本研究表明植株地上部分和地下部分是相互作用、相互依赖的有机结构,根系的生长发育对地上部分的营养生长和生殖生长有直接的影响,在水分缺乏的情况下,随着干旱胁迫的加剧,紫花苜蓿肇东的地上生物量降低幅度较小,地下生物量降低的幅度相对较低;相反,紫花苜蓿临汾在水分缺失时,地上生物量降低幅度较大,地下生物量降低不明显。这验证了旱作条件下抗旱型紫花苜蓿草产量较早敏感型紫花苜蓿高^[20]。水分缺乏的情况下,根系是植物吸收水分的主要器官,与植物的抗旱性有密切关系,与其他器官相比,根系能够较好地代谢^[23]。土壤含水量较高时,根系可以从土壤表层获得所需的水分,根系生长量较小;土壤水分亏缺时,为获得足够的水分和营养物质,会促进根系生长^[24-25]。因此,了解水分胁迫下植物根系形态和结构来提高作物产量值得进一步研究。

本研究结果表明随着干旱胁迫的加剧,株高和分枝密度逐渐降低,且胁迫前后株高和分枝密度相对百分数也逐渐降低,且胁迫越严重,相对百分数变化幅度越小。一些学者^[26]研究表明随着胁迫的加剧,植物的绝对株高逐渐降低,紫花苜蓿生育期分枝数随灌溉量增加而增加,水分胁迫减少紫花苜蓿分枝数,进而减少紫花苜蓿草产量^[27]。同时,研究结果表明紫花苜蓿的地下和地上生物量、分枝密度和株高取决于水分的变

化,且各指标与水分之间呈正线性关系。试验中主要发现在重度干旱胁迫后期,苜蓿顶尖叶片萎蔫脱落,并且开始死亡,干旱胁迫下植物叶片变化涉及脱落酸与其他植物激素之间的相互作用^[3],在水分胁迫下,地下部 ABA 含量增加,通过木质部运输至地上部分,调节气孔关闭,参与调节水分胁迫的适应性反应^[28-29]。其次,ABA 在植物响应干旱胁迫的地下部与地上部中发挥着重要作用^[30]。干旱胁迫严重时,深根系就会吸收深层水分,浅根系通过吸收浅层以及地表下渗的水分,并且运输至苜蓿的地上部分,因此胁迫状态下苜蓿根部特征和植物激素需要进一步研究。

4 结论

BC-9 紫花苜蓿和肇东苜蓿的地上生物量受水分的影响较轻,相反,干旱胁迫严重影响了河南苜蓿和博维的产量,各品种生物量、分枝密度和株高随着含水量的降低而降低,呈正线性关系($R^2 = 0.96 \sim 0.99$),表明水分对紫花苜蓿的影响极其重要。

参考文献:

- [1] Adams Richard M. Global climate change and agriculture: An economic perspective[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2015, 71(5): 1272-1279.
- [2] Joshi R, Wani S H, Singh B Bohra, *et al.* Transcription factors and plants response to drought stress: current understanding and future directions[J]. Frontiers in Plant Science, 2016, (7): 1029-1043.
- [3] Defez R, Andreozzi A, Dickinson M, *et al.* Improved drought stress response in alfalfa plants nodulated by an IAA over-producing rhizobium strain[J]. Front Microbiol, 2017 (8): 2466-2478.
- [4] Acquaah George. Principles of plant genetics and breeding, 2nd Edition[M]. Wiley & Sons, 2012: 726-730.
- [5] Luigi Cattivelli, Fulvia Rizza, Franz-W, *et al.* Michele Stanca Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics [J]. Field Crops Research, 2008, 105(1): 1-14.
- [6] Bo ko Gajia, Branka Kresovib, Angelina Tapanarova, *et al.* Mladen Todorovic Effect of irrigation regime on yield, harvest index and water productivity of soybean grown

- under different precipitation conditions in a temperate environment[J]. *Agricultural Water Management*, 2018, 210: 224–231.
- [7] Boyer J S. *Plant Productivity and Environment*[J]. *Science*, 1982, 218(4571): 443–448.
- [8] Basbag Mehmet, Aydin Ali, Sakiroglu Muhammet. Evaluating Agronomic Performance and Investigating Molecular Structure of Drought and Heat Tolerant Wild Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Collection from the Southeastern Turkey[J]. *Biochemical Genetics*, 2017, 55(1): 1–14.
- [9] Vahid Heidari, Mostafa Karami. Effects of different mycorrhiza species on grain yield, nutrient uptake and oil content of sunflower under water stress[J]. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 2014, 13(1): 9–13.
- [10] Jaleel C A, Gopi R, Sankar B, *et al.* Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress[J]. *Comptes rendus-Biologies*, 2008, 331(1): 42–47.
- [11] 张曦, 王振南, 陆姣云, 等. 紫花苜蓿叶性状对干旱的阶段响应[J]. *生态学报*, 2016, 36(9): 2669–2676.
- [12] 翟春梅. 紫花苜蓿抗旱性评价及对水分胁迫适应机制的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2008.
- [13] Stephen Gary Clark, Meredith L. Mitchell, Zhongnan Nie, *et al.* Maximising lucerne (*Medicago sativa* L.) production with fixed - length recovery intervals after defoliation in mild winter environments[J]. *Journal of agronomy and crop science*, 2018, in press.
- [14] 危庆, 赛吉日呼, 王静, 等. 种植模式对敖汉苜蓿和老芒麦干物质积累及经济效益的影响[J]. *北方农业学报*, 2018, 46(5): 122–129.
- [15] Li Shuo, Nie Zhongnan, Zhang Degang. Competition between cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) and companion species: Evidence for allelopathy[J]. *Field Crops Research*, 2016, 196: 452–462.
- [16] 李硕, 聂中南, 陈伟, 等. 干旱和盐胁迫对鸭茅叶绿素荧光动力学参数的影响[J]. *草原与草坪*, 2015, 35(5): 23–27.
- [17] 李硕, 聂中南, 姜哲浩, 等. 鸭茅与伴生种不同混播比例对土壤微生物和酶活性的影响[J]. *草原与草坪*, 2017, 37(2): 12–17.
- [18] Gomez Kwanchai A, Gomez Arturo A. *Statistical procedures for agricultural research* 2nd edn[M]. Wiley-Interscience Publication; New York, 1984, 332–350.
- [19] Z N Nie, R P Zollinger, J L Jacobs. Performance of 7 Australian native grasses from the temperate zone under a range of cutting and fertiliser regimes[J]. *Crop and Pasture Science*, 2009, 60(10): 943–953.
- [20] 段敏敏, 张向向, 孙宗玖, 等. 水分胁迫下两种抗旱类型狗牙根种质的生理生态响应差异[J]. *中国草地学报*, 2018, 40(3): 8–13.
- [21] 郭贵华, 刘海艳, 李刚华, 等. ABA 缓解水稻孕穗期干旱胁迫生理特性的分析[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(22): 4380–4391.
- [22] 赖金莉, 李欣欣, 薛磊, 等. 植物抗旱性研究进展[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(17): 23–24
- [23] Gemma Moleroa, Guillaume Tcherkez, Regina Roca, *et al.* Do metabolic changes underpin physiological responses to water limitation in alfalfa (*Medicago sativa*) plants during a regrowth period[J]. *Agricultural Water Management*, 2019, 212: 1–11.
- [24] Bai Wenming, Li Linghao. Effect of irrigation methods and quota on root water uptake and biomass of alfalfa in the Wulanbuhe sandy region of China[J]. *Agricultural Water Management* 2003, 62(2): 139–148.
- [25] J G Benjamin, D C Nielsen. Water deficit effects on root distribution of soybean, field pea and chickpea[J]. *Field Crops Research*, 2006, 97(2/3): 248–253.
- [26] 潘涛涛, 鱼小军, 肖红, 等. 12 份扁蓿豆种质苗期耐盐性综合评价[J]. *草业科学*, 2018, 35(11): 2650–2663.
- [27] 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.
- [28] Carlos de Ollas, Ian C Dodd. Physiological impacts of ABA-JA interactions under water-limitation[J]. *Plant Molecular Biology*, 2016, 91(6): 641–650.
- [29] Schachtman D P, Goodger J Q. Chemical root to shoot signaling under drought[J]. *Trends Plant Sci*, 2008, 13(6): 281–287.
- [30] Fan Jiang, Wolfram Hartung. Long-distance signalling of abscisic acid (ABA): the factors regulating the intensity of the ABA signal[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2008, 59(1): 37–43.

Comparison of production performance yield of 8 alfalfa cultivars under drought stress

LI Shuo¹, MIAO Li-hong¹, NIE Zhong-nan², LI Xiang-lin¹, WAN Li-qiang¹

(1. *Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China*

2. *Department of Economic Development, Jobs, Transport and Resources,*

Private Bag 105, Hamilton VIC 3300, Australia)

Abstract: In order to understand the response of alfalfa to drought stress, a greenhouse experiment was conducted to investigate the effects of drought stress on the performance of 8 alfalfa cultivars. A random completely block experiment was conducted between alfalfa cultivars and drought stress. There were 3 drought stress levels including 80% (control), 55% and 30% of field water holding capacity. The result demonstrated that the aboveground and belowground biomass decreased gradually with increasing levels of drought stress. The aboveground biomass of BC-9 alfalfa and Zhaodong was less affected by drought stress than other alfalfa cultivars, with the means of the 2 cultivars being 3.22 and 2.75 g DM/pot, respectively, and the means on belowground biomass was 1.34 and 0.65 g/pot, respectively. Henan alfalfa and Bowei were affected severely by drought stress, with the mean aboveground biomass being 1.87 and 1.85 g/pot, and the mean belowground biomass 0.75 and 0.91 g DM/pot, respectively. Branch density and plant height gradually decreased with increasing water stress. There were positive relationships ($R^2=0.96\sim0.99$) between water content and biomass, and between branch density and plant height. This indicated that plants may have altered their shoot and root structures in order to avoid damage in the progress of water deficit. Understanding the effect of water deficit on production performance of alfalfa under drought stress can help provide the mechanism basis in drought tolerance in the future.

Key words: drought stress; *Medicago sativa*; production performance