

# 灌溉对干旱沙区紫花苜蓿生物学特性的影响

白文明

(中国科学院植物研究所植被数量生态学开放研究实验室, 北京 100093)

**摘要:**研究了干旱沙区不同水分处理下紫花苜蓿的(*Medicago sativa* L.)生物学特性。结果表明,不同水分处理对紫花苜蓿植株高度、根系伸长生长和地上生物量形成的影响是不同的。在生长季内,灌水量最少的喷灌处理 W3 植株高度最低,灌水量较多的漫灌处理 W1 和灌水量居中的喷灌处理 W2 植株高度相对较高,表明较多的灌水有利于植株高度的生长;对于根系长度则相反,灌水量最少的喷灌处理 W3 根系伸长生长较快,到结实后期根系长度达到最大值 107.60 cm,说明适当的干旱可以促进紫花苜蓿根系伸长生长;地上生物量则是灌水量居中的喷灌处理 W2 最高,表明在干旱沙区这种特殊的环境条件下,采取 W2 这种灌溉方式种植紫花苜蓿,既可以获得较高的地上生物量,又可以节约利用水分。

**关键词:**灌溉;干旱沙区;紫花苜蓿;生物学特性

## Effect of Irrigation Methods and Quota on Morphological Characteristics of Alfalfa in Wulanbuhe Sandy Region

BAI Wen-Ming (Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8): 1247~1253.

**Abstract:** Wulanbuhe sandy region is in Northern and Northwest of China with  $10^6 \text{hm}^2$  in the area. It is the typically farming-pastoral zone, and also ecological weak zone. The deepening control sandification and protect ecological and environmental understanding with implement “western China development” stratagem, so it is an urgent requirement to returning cultivated land to forests or pastures in some regions. The problem of how to scientifically utilization for limited water resources and melioration ecological and environmental continually are urgent requirement to important project currently. Alfalfa (*Medicago sativa* L.) is commonly called “kings of forage crop”, with high adaptable, developed roots and high yield. Alfalfa is commonly known not only as a high quality forage crop, but also a plant can amelioration soil and control winds and sand. Thus, the problem of scientifically utilization for water resources and protect ecological environment in this sandy region has become very important operation significance through research on the relationship between the biological specificity of alfalfa and water utilization.

The experiment was carried out in Dengkou Ecological Experimental Station ( $41^\circ 21' 9.9'' \text{N}$ ,  $106^\circ 53' 34.3'' \text{E}$ ; elevation 1050m) of China Agricultural University in Dengkou, Inner Mongolia from March to October, 1999. Zhunger alfalfa was used and drilled on April 23, 1999, with 3 cm in depth, 25 cm in width and  $22.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  in sowing quantity. Urea of  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  and calcium super phosphate of  $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  were applied to each treatment before sowing. Three irrigation treatments (W1, W2, W3) were arranged in different rectangular plots of  $10 \times 24 \text{ m}^2$ , with 0.5 m isolation between two plots. The observation items including: (1) Plant height and number of stems; were counted the number of stems and each individual plant height in the marked  $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$  sample square were measured in each plots every 7

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000018607);中国科学院知识创新工程重大资助项目(KSCX1-08)

收稿日期:2001-04-17;修订日期:2002-01-28

作者简介:白文明,男,吉林省白城市人,博士,研究员。主要从事农牧交错区恢复生态学研究。E-mail:bwming@yeah.net

days. (2) Dry weight of roots: were sampled every 10 cm soil layer in  $25 \times 25 \text{ cm}^2$  sample square every 15 days with 5 replicates. Oven-dried at  $105^\circ\text{C}$  to constant weight before weighting. (3) Leaf area index: were measured every 7days in  $25\text{cm} \times 25\text{cm}$  sample square with 3 replicates. The calculation methods of leaf area: leaf area = leaf blade length  $\times$  width  $\times 0.71$ .

The effect of irrigation methods and quota on morphological characteristics of alfalfa in Wulanbuhe sandy region was considerable. The results showed that: the effect of irrigation methods and quota on plant height and root length and aboveground biomass was different. In the growth season, plant height of W3 was lowest, those of W1 and W2 were higher. Root in W3 elongated quicker than that in W1 and W2 after flowering stage, and reached its maximum value of 107.60 cm at the end of its growth season. The aboveground biomass of W2 was highest over the growth season. Thus, more aboveground biomass could be harvest when alfalfa was irrigated by sprinkling method than certain quota, much water could be saved compared with flooding method.

**Key words:** irrigation; Wulanbuhe sandy region; Alfalfa; Morphological characteristics

文章编号:1000-0933(2002)08-1247-07 中图分类号:Q149 文献标识码:A

乌兰布和沙区地处华北、西北结合部,是典型的农牧交错带,也是生态脆弱带。随着国家“西部大开发”战略的实施,人们对保护环境的认识也在不断地提高,退耕还林还草已势在必行。但如何利用有限的水资源,使生态环境不断地改善,是目前急需解决的重要课题之一。紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)被誉为“牧草之王”,它适应性强、根系发达、分枝多、产量高,既可以防风固沙,又是优质的高植物蛋白饲草<sup>[1]</sup>。因此在沙区开展紫花苜蓿生物学特性与水分关系的研究,对节约利用水资源和保护生态环境都具有十分重要的现实意义。

紫花苜蓿生长发育与水分之间具有密切的关系,耿华珠等 1995 年研究指出,苜蓿普遍具有“上保水,下耗水”的特点<sup>[1]</sup>。许多学者都报道,紫花苜蓿的产量和蒸腾量之间存在着正线性相关关系<sup>[2~5]</sup>。Gindel 报道,在水分胁迫下苜蓿产量、枝条密度、植株高度及叶片大小都会减小<sup>[6]</sup>。Brown 等也曾报道,当叶片水势下降到  $-10^6 \text{ Pa}$  以下时,紫花苜蓿的茎和叶几乎停止生长<sup>[7]</sup>。1997 年,Matthias 等研究了夏季停止灌溉对紫苜蓿形态学和生理学特性的影响,指出夏季停止灌溉后紫花苜蓿的茎和叶减小了,但根系生长增大了<sup>[8]</sup>。国内外对紫花苜蓿已做了大量的研究工作,在干旱沙区开展紫花苜蓿生物学特性与供水量关系的研究,对沙区植被恢复和农业种植结构的调整都具有一定的指导作用<sup>[9~12]</sup>。本研究,以期在节约利用水资源的基础上,为沙地生态系统的恢复与重建提供科学依据。

## 1 试验设计与方法

### 1.1 自然概况

试验在内蒙古磴口县中国农业大学节水农业磴口试验站基地进行,地理坐标  $106^\circ 53' 34.3''\text{E}$ ,  $41^\circ 21' 9.9''\text{N}$ ,位于乌兰布和沙区东南部。试区土壤剖面层次依次为 0~30 cm 细砂土,30~90 cm 壤粘土,90 cm 以下为面沙土。当地多年平均降水量 142.7 mm,多年平均蒸发量 2377.1 mm,年均风速  $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,年均气温  $7.6 \sim 7.8^\circ\text{C}$ , $\geq 10^\circ\text{C}$  的年活动积温为  $3222 \sim 3489^\circ\text{C}$ ,无霜期 144 d,干燥度 3.18。

### 1.2 试验处理与测定项目

供试苜蓿品种为准葛尔苜蓿。采用人工条播,播种时间 1999 年 4 月 23 日,播深 3 cm,行距 25 cm,播种量  $22.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。播种时施尿素  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,过磷酸钙  $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。幼苗稳定生长后,设 3 个水分处理小区,小区面积  $240 \text{ m}^2$  ( $10 \text{ m} \times 24 \text{ m}$ ),相邻两小区间隔 0.5 m 作为保护行。各处理项目见表 1。

**植株高度、枝条数测定** 在每小区在标记的 3 个  $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$  小样方内,每隔 7d 测 1 次枝条数量和标记枝条的高度。植株高度现蕾前为从茎的最基部到最上叶顶端的距离,现蕾后为从茎的最基部到穗顶端的距离。

## 万方数据

表 1 试验处理

Table 1 Experimental treatment

| 处理<br>Treatment       | 灌溉次数<br>Irrigation frequency | 灌溉时间(日/月)<br>Irrigation time     |                               |                               | 灌水量<br>Irrigation quota (mm) |
|-----------------------|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 漫灌 W1<br>Flooding W1  | 3                            | 分枝期(22/6 )<br>Bifurcation stages | 开花期(24/7)<br>Flowering stages | 结实期(12/8)<br>Productive phase | 133                          |
| 喷灌 W2<br>Sprinkler W2 | 3                            | 分枝期(22/6)<br>Bifurcation stages  | 开花期(24/7)<br>Flowering stages | 结实期(12/8)<br>Productive phase | 103                          |
| 喷灌 W3<br>Sprinkler W3 | 1                            |                                  | 开花期(24/7)<br>Flowering stages |                               | 33                           |

植株干重测定 在每小区取 25 cm×25 cm 的小样方,先割取植株地上部分,然后每 10 cm 一层挖取根系、洗净,放在 105℃的烘箱中杀青 1 h,之后置于 55℃恒温下烘 48 h,冷却后取出称重。每 15 d 测 1 次,重复 5 次。

叶面积测定 叶面积的计算方法是:叶面积 = 叶长×叶宽×0.71,叶长为从叶枕到叶尖的距离,叶宽为叶片中部最宽处的长度<sup>[13]</sup>。每 7 d 测 1 次,重复 5 次。

1.3 数据分析

对 3 个不同水分处理的紫花苜蓿的生物学特性指标进行单因素方差分析(ANOVA)。在方差分析中,以生育期作为自变量,以植株高度、枝条数、小叶面积、根系长度、地上和地下生物量为因变量。用邓肯多重比较(Duncan’s multiple-range test)检验在方差分析中有显著性差异变量间的差异。

2 结果

2.1 植株高度

在不同生育期内,不同水分处理的紫花苜蓿植株高度差异显著(表 2)。通过邓肯多重比较,在开花期 W1、W2 与 W3 有显著差异(ANOVA, $F=5.777,P<0.0175$ ),而 W1 与 W2 之间差异不显著;在结实期 3 个处理下的植株高度均呈显著性差异(ANOVA, $F=12.228,P<0.0013$ );到结实期后 3 个水分处理的植株高度差异规律(ANOVA, $F=4.275,P<0.0396$ )与开花期相同。在生长季内,供水最少的喷灌处理 W3 植株高度最低;在开花期和结实期后供水量中等的喷灌处理 W2 植株高度最高,而在结实期供水量最多的漫灌处理 W1 植株高度最高(图 1)。

表 2 紫花苜蓿植株高度的方差分析和概率水平

Table 2 *F* value and probability levels for plant height of alfalfa in analysis of variance

| 自变量(不同生育期)<br>Independent variable     | 来源<br>Source   | 自由度(df)<br>Degree of freedom | 均方(MS)<br>Mean square | <i>F</i>   | <i>P</i> |
|--|----------------|------------------------------|-----------------------|------------|----------|
| 分枝期(22 Jun)<br>Bifurcation stage       | Model<br>Error | 2<br>12                      | 8.456<br>12.155       | 0.969      | 0.5178   |
| 开花期(12 Jul)<br>Flowering stage         | Model<br>Error | 2<br>12                      | 200.994<br>34.793     | 5.777 *    | 0.0175   |
| 结实期(3 Aug)<br>Productive phase         | Model<br>Error | 2<br>12                      | 449.846<br>36.788     | 12.228 * * | 0.0013   |
| 结实期后(26 Aug)<br>After productive phase | Model<br>Error | 2<br>12                      | 191.661<br>44.829     | 4.275 *    | 0.0396   |

\*  $P<0.05$ , \*\*  $P<0.01$

2.2 枝条数的变化

从方差分析结果看,不同水分处理对紫花苜蓿枝条数量的影响只在结实期后存在显著性差异(表 3)。通过邓肯多重比较,灌水较多的 W1 与处理 W2、W3 存在显著性差异(ANOVA, $F=8.305,P<0.0187$ )。结实期枝条数(万条/数据) W1>W2> W3,分别为处理 W1 每平米 1130.7 个,处理 W2 每平米 821.3 个,处理 W3 每平米 693.3 个。可以看出,由于紫花苜蓿的分蘖主要在秋季进行,因此不同水分处理对沙地紫

花苜蓿秋季分蘖产生很大影响,较多的灌水有利于植株分蘖的产生。

2.3 不同水分处理下的小叶面积

不同水分处理对沙地紫花苜蓿小叶面积有一定的影响,在结实期和结实期后各处理间存在显著差异(表4)。结实期各处理的平均小叶面积 W1 为  $0.976\text{ cm}^{-2}$ , W2 为  $0.561\text{ cm}^{-2}$ , W3 为  $0.489\text{ cm}^{-2}$ ; 结实期后, W1 为  $0.972\text{ cm}^{-2}$ , W2 为  $0.983\text{ cm}^{-2}$ , W3 为  $0.473\text{ cm}^{-2}$ 。通过邓肯多重比较,在结实期,灌水量最多的漫灌处理 W1 与喷灌处理 W2、W3 间存在显著差异;到结实期后则是灌水最少的处理 W3 与处理 W1、W2 存在显著性差异。在生长季内,灌水最少的喷灌处理 W3 小叶面积最小。

2.4 不同水分处理对地上生物量的影响

不同水分处理对沙地紫花苜蓿地上生物量影响很大,在开花期处理 W2 与处理 W1、W3 存在显著性差异(ANOVA,  $F=9.833, P<0.0030$ ),在结实期则是处理 W2 与处理 W3 存在显著差异(ANOVA,  $F=5.153, P<0.0242$ ),到结实期后各处理均存在显著差异(ANOVA,  $F=29.532, P<0.0001$ )(表5)。不同水分处理下,干旱沙区紫花苜蓿地上最大生物量的大小次序  $W2 > W1 > W3$ , 分别为  $702.08\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}, 571.20\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}, 402.88\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (图2)。

表3 紫花苜蓿枝条数量的方差分析和概率水平

| Table 3 F value and probability levels for number of stems of alfalfa in analysis of variance |              |                              |                       |        |        |
|---|--------------|------------------------------|-----------------------|--------|--------|
| 自变量(不同生育期)<br>Independent variable  | 来源<br>Source | 自由度(df)<br>Degree of freedom | 均方(MS)<br>Mean square | F      | P      |
| 分枝期(22 Jun)   | Model        | 2                            | 2.111                 | 0.146  | 0.8670 |
| Bifurcation stages  | Error        | 6                            | 14.444                |        |        |
| 开花期(12 Jul)   | Model        | 2                            | 1.444                 | 0.030  | 0.9702 |
| Flowering stages  | Error        | 6                            | 47.444                |        |        |
| 结实期(3 Aug)  | Model        | 2                            | 165.333               | 3.126  | 0.1174 |
| Productive phase  | Error        | 6                            | 52.889                |        |        |
| 结实期后(26 Aug)  | Model        | 2                            | 592.444               | 8.305* | 0.0187 |
| After productive phase  | Error        | 6                            | 71.3330               |        |        |

\*  $P<0.05$ , \*\*  $P<0.01$

表4 不同水分处理下紫花苜蓿小叶面积的方差分析和概率水平

| Table 4 F value and probability levels for leaf area of alfalfa in analysis of variance |              |                              |                       |        |        |
|---|--------------|------------------------------|-----------------------|--------|--------|
| 自变量(不同生育期)<br>Independent variable  | 来源<br>Source | 自由度(df)<br>Degree of freedom | 均方(MS)<br>Mean square | F      | P      |
| 分枝期(22 Jun)   | Model        | 2                            | 0.014                 | 0.512  | 0.6120 |
| Bifurcation stages  | Error        | 12                           | 0.027                 |        |        |
| 开花期(12 Jul)   | Model        | 2                            | 0.028                 | 0.648  | 0.5405 |
| Flowering stages  | Error        | 12                           | 0.043                 |        |        |
| 结实期(3 Aug)  | Model        | 2                            | 0.269                 | 5.278* | 0.0234 |
| Productive phase  | Error        | 12                           | 0.051                 |        |        |
| 结实期后(26 Aug)  | Model        | 2                            | 0.424                 | 6.143* | 0.0149 |
| After productive phase  | Error        | 12                           | 0.069                 |        |        |

\*  $P<0.05$

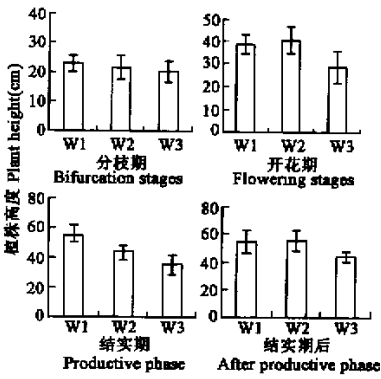


图1 不同水分处理对紫花苜蓿植株高度的影响

Fig.1 Effect of different water treatment on the plant height in alfalfa

W1:漫灌 Flowing W2~W3:喷灌 Sprinkler

表 5 紫花苜蓿地上生物量的方差分析和概率水平

| Table 5 <i>F</i> value and probability levels for above ground biomass of alfalfa in analysis of variance |              |   |                                |          |          |
|---|--------------|---|--------------------------------|----------|----------|
| 自变量(不同生育期)<br>Independent variable  | 来源<br>Source | 自由度( <i>d</i> / <i>f</i> )<br>Degree of freedom | 均方( <i>MS</i> )<br>Mean square | <i>F</i> | <i>P</i> |
| 分枝期(22 Jun)   | Model        | 2   | 0.054                          | 1.191    | 0.3374   |
| Bifurcation stages  | Error        | 12  | 0.045                          |          |          |
| 开花期(12 Jul)   | Model        | 2   | 3.756                          | 9.833**  | 0.0030   |
| Flowering stages  | Error        | 12  | 0.382                          |          |          |
| 结实时(3 Aug)  | Model        | 2   | 9.425                          | 5.153*   | 0.0242   |
| Productive phase  | Error        | 12  | 1.829                          |          |          |
| 结实时后(26 Aug)  | Model        | 2   | 444.938                        | 29.532** | 0.0001   |
| After productive phase  | Error        | 12  | 15.066                         |          |          |

\*  $P<0.05$ , \*\*  $P<0.01$

2.5 不同水分处理紫花苜蓿根系长度

在整个生长季内,不同水分处理的干旱沙区紫花苜蓿根系长度之间均呈显著性差异(表 6)。在分枝期灌水量中等的 W2 根系长度显著高于 W1 和 W3 (ANOVA,  $F=4.587, P<0.0331$ )。到开花期以后根系长度的大小次序均是  $W3>W2>W1$ (图 3),表明较少的水分处理可以促进紫花苜蓿根系伸长生长。结实时后紫花苜蓿根系长度达到最大值,分别为 107.60 cm, 83.98 cm, 76.56 cm。

2.6 不同水分处理下的紫花苜蓿地下生物量

从根系重量看,只有结实时后各处理的根系重量才呈现显著性差异(表 7),根系重量的大小次序为  $W3>W2>W1$ ,分别是  $516.86\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}, 445.25\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}, 301.57\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

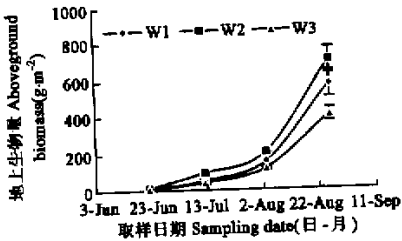


图 2 不同水分处理下紫花苜蓿地上生物量动态

Fig. 2 The dynamics for aboveground biomass of alfalfa under different water treatment

表 6 紫花苜蓿根系长度的方差分析和概率水平

| Table 6 <i>F</i> value and probability levels for root length of alfalfa in analysis of variance |              |   |                                |          |          |
|--|--------------|---|--------------------------------|----------|----------|
| 自变量(不同生育期)<br>Independent variable   | 来源<br>Source | 自由度( <i>d</i> / <i>f</i> )<br>Degree of freedom | 均方( <i>MS</i> )<br>Mean square | <i>F</i> | <i>P</i> |
| 分枝期(22 Jun)  | Model        | 2   | 123.293                        | 4.587*   | 0.0331   |
| Bifurcation stages   | Error        | 12  | 28.881                         |          |          |
| 开花期(12 Jul)  | Model        | 2   | 156.217                        | 8.259**  | 0.0056   |
| Flowering stages   | Error        | 12  | 18.915                         |          |          |
| 结实时(3 Aug)   | Model        | 2   | 314.633                        | 8.187**  | 0.0057   |
| Productive phase   | Error        | 12  | 28.429                         |          |          |
| 结实时后(26 Aug)   | Model        | 2   | 557.882                        | 8.993**  | 0.0041   |
| After productive phase   | Error        | 12  | 62.038                         |          |          |

\*  $P<0.05$ , \*\*  $P<0.01$

2.7 不同水分处理紫花苜蓿的水分利用效率

本文的水分利用效率( $WUE$ )是指群落阶段地上生物生长量( $W_G$ )与群落阶段蒸散耗水量( $W_{ET}$ )之比( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),即:  $WUE=W_G/W_{ET}$ 。根据水量平衡原理,在忽略地表径流和地下水补给时,群落蒸散耗水量按下式计算:

$$W_{ET}=W_{S1}+R+I-W_{S2}$$

式中,  $W_{S1}$  为阶段始末 1.2 m 土层的土壤含水量(mm);  $R$  为阶段内降水量(mm);  $I$  为阶段内灌溉量(mm)。

经计算得到从分枝期到结实期后,各处理紫花苜蓿的水分利用效率,处理 W1 为  $0.577\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,处理 W2 为  $0.761\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,处理 W3 为  $0.658\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。可以看出,喷灌处理的水分利用效率高于漫灌处理;在喷灌处理中,处理 W2 的水分利用最为经济。

3 讨论

植物生长发育过程中可能受到多种环境因子的影响,如水分、温度、病虫害等,其中水分胁迫是最为普遍的。在水分胁迫下,植物会做出多方面的反应,首先是植物叶的运动表现出卷曲、萎蔫和着生角度或取向改变等适应性的反应特征;其次是细胞体积减小、细胞壁增厚以及生理生化上发生一系列的变化,其主要目的是减少蒸发保持水分<sup>[14]</sup>。

本次试验研究结果表明,不同水分处理对干旱沙区紫花苜蓿的植株高度、枝条数、小叶面积、根系长度、地上地下生物量等生物学特性均有不同程度的影响。其中,对紫花苜蓿植株高度、根系伸长生长和地上生物量形成影响最大。不同的灌溉方式和灌水量均对紫花苜蓿植株高度产生影响,在开花期和结实期后,喷灌处理的 W2 植株高度最高;在结实期,漫灌处理的 W1 植株高度最高;在生长季内,灌水量最少的喷灌处理 W3 植株高度最低。表明较多的灌水有利于植株的生长。Brown 等 1983 年也曾报道,充足的水分条件可以促进紫花苜蓿植株茎节长度和茎节数的增加;在水分胁迫下,成熟植株叶片和茎的生长速率明显减小<sup>[7]</sup>。

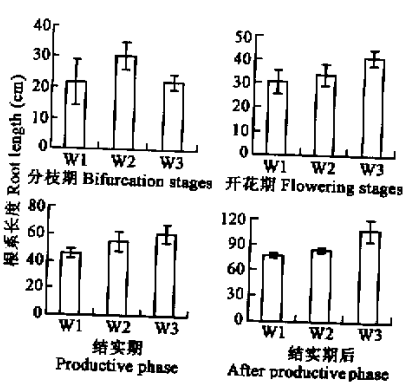


图3 不同水分处理对紫花苜蓿根系长度的影响

Fig. 3 Effect of different irrigation treatments on the root length in alfalfa

W1:漫灌 Flowing W2,W3:喷灌 Sprinkler

表7 紫花苜蓿根系重量的方差分析和概率水平

Table 7 F value and probability levels for root weight of alfalfa in analysis of variance

| 自变量(不同生育期)<br>Independent variable | 来源<br>Source | 自由度(df)<br>Degree of freedom | 均方(MS)<br>Mean square | F        | P      |
|------------------------------------|--------------|------------------------------|-----------------------|----------|--------|
| 分枝期(22 Jun)                        | Model        | 2                            | 0.012                 | 1.197    | 0.3357 |
| Bifurcation stages                 | Error        | 12                           | 0.010                 |          |        |
| 开花期(12 Jul)                        | Model        | 2                            | 0.279                 | 1.157    | 0.3474 |
| Flowering stages                   | Error        | 12                           | 0.242                 |          |        |
| 结实期(3 Aug)                         | Model        | 2                            | 2.388                 | 2.596    | 0.1157 |
| Productive phase                   | Error        | 12                           | 0.920                 |          |        |
| 结实期后(26 Aug)                       | Model        | 2                            | 58.696                | 39.157** | 0.0001 |
| After productive phase             | Error        | 12                           | 1.499                 |          |        |

\*  $P<0.05$ , \*\*  $P<0.01$

不同水分处理的紫花苜蓿根系主要分布土壤表层 0~30 cm 的土层内,但是不同的灌水量对紫花苜蓿根系生长有很大影响,在干旱环境下可以促进紫花苜蓿根系生长<sup>[8,15]</sup>。本文研究结果也与 Matthias 报道的研究结果相似,处理 W2、W3 根系伸长生长较快,到结实期后灌水量最少的喷灌处理 W3 根系长度最大。

紫花苜蓿产量和水分关系是人们较为关心的问题,Grimes 等 1992 年曾报道,不定期的灌溉对紫花苜蓿产量和植株体含水量都会产生影响,同时指出产量和蒸腾量之间存在正线性关系<sup>[16]</sup>。Ottman 等 1996 年报道,在沙地上紫花苜蓿停止灌溉超过 12 周以上,产量会显著降低,严重时植株密度减小,甚至整个植株死亡<sup>[17]</sup>。在乌兰布和干旱沙区这种特殊的环境条件下,灌溉方式对地上生物量的形成有很大的影响,喷灌处理 W2 在灌水量比漫灌处理 W1 低  $1/3\sim 1/4$  的情况下,植株地上部生物量却高于漫灌处理 W1。从水分利用效率来看,喷灌处理 W2 的水分利用效率也最为经济。因而,在当地种植紫花苜蓿,喷灌是一种适宜推广的灌溉方式。

本文只是对不同水分处理下,当年生长的紫花苜蓿生物学特性做了比较研究,虽然对于干旱沙区的植被重建起到了一定的指导作用,但由于紫花苜蓿是多年生草本植物,还有必要对第 2、3 年生紫花苜蓿植株的生物学特性对不同水分处理的响应进行更深一步的研究。

## 参考文献

- [1] Geng H ZH(耿华珠),Wu Y F(吴永敷),Cao ZH ZH(曹致中). *Alfalfa in China*(in Chinese). China Agriculture Press, 1995. 25~58.
- [2] Carter P R, Sheaffer C C. Alfalfa response to soil water deficits. I. growth, forage quality, Yield, water use, and water-use efficiency. *Crop Science*, 1983, **23**: 669~675.
- [3] Johnson R C, Tieszen L L. Variation for water-use efficiency in alfalfa germplasm. *Crop Science*, 1994, **34**: 452~458.
- [4] Smeal D, Kallsen C E, Sammis T W. Alfalfa yield as related to transpiration, growth stage and environment. *Irrigation Science*, 1991, **12**: 79~86.
- [5] Wright J L. Daily and seasonal evapotranspiration and yield of irrigated alfalfa in southern idaho. *Agronomy Journal*, 1988, **80**: 622~669.
- [6] Gindel I. Dynamic modification in alfalfa leaves growing in subtropical conditions. *Physiological Plant*, 1968, **21**: 1287~1295.
- [7] Brown P W, Tanner C B. Alfalfa stem and leaf growth during water stress. *Agronomy Journal*, 1983, **75**: 779~805.
- [8] Matthias W, Smith S E. Morphological and physiological characteristics associated with tolerance to summer irrigation termination in alfalfa. *Crop Science*, 1997, **37**: 704~711.
- [9] Khan M G, Silberbush M. Physiological studies on salinity and nitrogen interaction in alfalfa. II. photosynthesis and transpiration. *Journal of plant nutrition*, 1994, **17**(4): 669~682.
- [10] Sammis T W. Yield of alfalfa and cotton as influenced by irrigation. *Agronomy Journal*, 1981, **73**: 323~329.
- [11] Sheaffer C C. Alfalfa water relation and improvement. *American Society Agronomy*, 1988, **29**: 373~409.
- [12] Undersander D J. Alfalfa (*Medicago sativa* L.) growth response to water and temperature. *Irrigation Science*, 1987, **8**: 23~33.
- [13] Cao Y F(曹亦芬), Cao ZH ZH(曹致中), Shi SH L(师尚礼), et al. A modified technique measuring leaf area of alfalfa. *Pratacultural Science*(in Chinese) (草业科学), 1990, **7**(3): 60~62.
- [14] Meyer W S, Walker S. Leaflet orientation in water-stressed soybeans. *Agronomy Journal*, 1981, **73**: 1071~1074.
- [15] Salter R, Melton B, Wilson M, et al. Selection in alfalfa for forage yield with three moisture levels in drought boxes. *Crop Science*, 1984, **24**: 345~349.
- [16] Grimes D W, Wiley P L, Sheesley W R. Alfalfa yield and plant water relations with variable irrigation. *Crop Science*, 1992, **32**: 1381~1387.
- [17] Ottman M J, Tickes B R, Roth R L. Alfalfa yield and stand response to irrigation termination in an arid environment. *Agronomy Journal*, 1996, **88**: 44~48.