

不同年限紫花苜蓿(生长) 水分利用效率和耗水系数的差异

孙洪仁, 关天复, 孙建益, 武瑞鑫, 李品红

(中国农业大学草地研究所, 北京 100193)

摘要:采用小型蒸渗仪法,在北京平原区研究了一年生和二年生紫花苜蓿 *Medicago sativa* 水分利用效率和耗水系数的差异。研究结果表明:二年生紫花苜蓿的生物产量和经济产量水分利用效率 $[14.7$ 和 17.1 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})]$ 显著高于一年生紫花苜蓿 $[12.6$ 和 14.7 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})]$ $(P < 0.05)$;生物产量和经济产量耗水系数(679和584)显著低于一年生紫花苜蓿(793和682) $(P < 0.05)$ 。研究表明生长年限对紫花苜蓿的水分利用效率和耗水系数具有影响。

关键词:紫花苜蓿;水分利用效率;耗水系数;生长年限;小型蒸渗仪;北京平原区

中图分类号:S551⁺.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0629(2009)03-0039-04

*1 在干旱缺水地区,水分利用效率和耗水系数是栽培者选择作物种和品种的重要考虑因素,提高水分利用效率、降低耗水系数是育种者的重要育种目标。作为“牧草之王”和重要作物,紫花苜蓿 *Medicago sativa* 的水分利用效率和耗水系数倍受关注。孙洪仁等^[1-2]在总结紫花苜蓿水分利用效率和耗水系数的研究结果^[3-23]时发现,二年生及生长多年紫花苜蓿的水分利用效率明显高于一年生紫花苜蓿,经济产量水分利用效率分别为 $14 \sim 29$ 和 $9 \sim 14$ $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$;耗水系数则相反,二年生及生长多年紫花苜蓿明显低于一年生紫花苜蓿,经济产量耗水系数分别为 $350 \sim 700$ 和 $700 \sim 1\ 050$ 。如果这个推断成立,在研究紫花苜蓿水分利用效率和耗水系数时,就应该对其进行生长年限的区分。依据以一年生紫花苜蓿为试验材料测得的数据,认为紫花苜蓿的耗水系数高于粮食作物、水分利用效率低于粮食作物的观念也应该改变。迄今为止有关生长年限对紫花苜蓿水分利用效率和耗水系数影响的研究报道很少^[24]。基于此,拟开展生长年限对紫花苜蓿水分利用效率和耗水系数的影响研究。

1 材料与方 法

1.1 试验区自然概况 试验于2006年4-11月在北京平原区中国农业大学科学园进行。试验

区地处北纬 $39^{\circ}35'$,东经 $116^{\circ}3'$ 。暖温带半湿润大陆性季风气候;年均降水量570 mm,集中于夏季,占全年的74%;年均气温 $11 \sim 13$ $^{\circ}\text{C}$,最冷月(1月) -4.6 $^{\circ}\text{C}$,最热月(7月) 25.8 $^{\circ}\text{C}$;无霜期 $190 \sim 200$ d; ≥ 10 $^{\circ}\text{C}$ 年活动积温 $4\ 200$ $^{\circ}\text{C}$ 左右。壤土,中等肥力。

1.2 试验材料 试验材料是2006年4月10日播种于小型蒸渗仪中的中苜1号紫花苜蓿,和从中国农业大学科学园附近的东北旺试验田挖掘并移栽至小型蒸渗仪中的二年生中苜1号紫花苜蓿。小型蒸渗仪由PVC管制成,圆柱形,深100 cm,内径9 cm,外径9.5 cm,底部设透水孔,直径2 cm。蒸渗仪所盛土壤取自中国农业大学科学园苜蓿草地。每个蒸渗仪施磷酸二铵0.84 g,硝酸钾0.96 g,硼砂0.015 g。每个蒸渗仪留苗3株。于苜蓿草地中打孔,深110 cm,直径10 cm。孔底垫粗沙10 cm。将无底PVC管(深100 cm,外径10 cm,内径9.5 cm)固定于孔中,上缘与田面持

收稿日期:2008-04-02

基金项目:农业部“948”国际先进农业科技引进重大专项“优质草产品加工技术”(2006-G38);科技部“十一五”科技支撑“优质草产品加工与高效利用关键技术研究”(2006BAD16B03);农业部公益性行业科研专项“人工草地优质牧草生产技术研究与示范”(nyhyzx07-022)

作者简介:孙洪仁(1965-),男,吉林怀德人,副教授,硕士,主要从事牧草栽培研究。
E-mail:sunhongren@cau.edu.cn

平。置蒸渗仪于无底 PVC 管中。测定自 5 月 1 日开始。试验期间充分供水,保证蒸渗仪内植株不出现干旱胁迫。用于测定行间蒸发的蒸渗仪不播种、无植物生长,盛土、施肥、供水和田间放置等与播种或移栽、有苜蓿生长者相同。

1.3 试验设计 试验设 2 个处理,分别为一年生和二年生紫花苜蓿。每个蒸渗仪为 1 个重复,每个处理重复 5 次,共计 10 个有紫花苜蓿生长的蒸渗仪,随机置于田间人工打凿的位于紫花苜蓿栽培行内的孔洞中。另设不播种、不移栽、无植物生长的蒸渗仪 3 个,随机置于紫花苜蓿栽培行间的孔洞中。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 行内质量蒸散量(ET_{ir-m}) 采用小型称量式蒸渗仪法测定。利用种植紫花苜蓿之蒸渗仪测定行内质量蒸散量。每旬设为一个测定周期,每个周期测定 3 个单日行内质量蒸散量。测定前给蒸渗仪灌水至田间持水量,渗漏 2 d 后开始测定,连续 4 d 于每日 17:00—18:00 称量。相邻 2 次称量之差即为日行内质量蒸散量^[25-27]。3 个单日平均值代表该旬日均行内质量蒸散量。一个测定周期中,若遇降雨则暂停测定,雨后 2 d 进行补测。称量仪器为瑞士 Pesa 公司生产的 TCS-15-W 型电子天平,最大称量值 15 kg,精度 0.5 g。

1.4.2 行间质量蒸发量(E_{br-m}) 利用无植物生长之蒸渗仪测定行间质量蒸发量。方法同行内质量蒸散量。

1.4.3 牧草干物质产量(Y_b) 初花期刈割,留茬高度 2 cm,全年刈割 3 次。刈割后置于 105 °C 条件下烘干 10 h,称量,为牧草干物质产量。

1.5 数据统计

1.5.1 行内深度蒸散量和行间深度蒸发量^[26-27]

$$ET_{ir-d} = 10 \times ET_{ir-m} / S \quad (1)$$

$$E_{br-d} = 10 \times E_{br-m} / S \quad (2)$$

式(1)和(2)中 ET_{ir-d} 和 E_{br-d} 分别为行内深度蒸散量和行间深度蒸发量,单位 mm; ET_{ir-m} 和 E_{br-m} 分别为行内质量蒸散量和行间质量蒸发量,单位 g; S 为蒸渗仪上口面积,单位 cm^2 。

1.5.2 水分利用效率^[26-27]

$$WUE_b = Y_{b\,pha} / ET_{-d}$$

$$= 2Y_{b\,pha} / (ET_{ir-d} + E_{br-d}) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} WUE_e &= Y_{e\,pha} / ET_{-d} \\ &= Y_{b\,pha} / [ET(1 - C_e)] \\ &= WUE_b / (1 - C_e) \end{aligned} \quad (4)$$

式(3)和(4) WUE_b 和 WUE_e 为生物产量和经济产量水分利用效率,单位为 $kg/(hm^2 \cdot mm)$; ET_{-d} 、 ET_{ir-d} 和 E_{br-d} 分别为深度蒸散量、行内深度蒸散量和行间深度蒸发量,单位为 mm; $Y_{b\,pha}$ 和 $Y_{e\,pha}$ 分别为 1 hm^2 草地生物产量(干物质)和经济产量,单位为 kg/hm^2 ; C_e 为牧草经济产量含水量,14%。

1.5.3 耗水系数^[26-27]

$$\begin{aligned} WCC_b &= W_{C-m} / Y_b \\ &= ET_{-m} / Y_b \\ &= (ET_{ir-m} + E_{br-m}) / Y_b \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} WCC_e &= W_{C-m} / Y_e \\ &= ET_{-m}(1 - C_e) / Y_b \\ &= WCC_b(1 - C_e) \end{aligned} \quad (6)$$

式(5)和(6)中 WCC_b 和 WCC_e 分别为地上部生物产量耗水系数和经济产量耗水系数,无量纲; W_{C-m} 、 ET_{-m} 、 ET_{ir-m} 和 E_{br-m} 分别为质量耗水量、质量蒸散量、行内质量蒸散量和行间质量蒸发量,单位为 g; Y_b 和 Y_e 分别为生物产量(干物质)和经济产量,单位同 ET_{ir-m} 和 E_{br-m} 。

2 结果与分析

2.1 一年生和二年生紫花苜蓿水分利用效率的差异 由表 1 可知,北京平原区二年生紫花苜蓿的水分利用效率显著高于一年生紫花苜蓿 ($P < 0.05$),全生长季约高 17%。北京平原区紫花苜蓿不同茬次的水分利用效率差异显著 ($P < 0.05$),第 3 茬最高,第 2 茬最低,2 个生长年限紫花苜蓿规律一致。

2.2 一年生和二年生紫花苜蓿耗水系数的差异 由表 2 可知,北京平原区二年生紫花苜蓿的耗水系数显著低于一年生紫花苜蓿 ($P < 0.05$),全生长季约低 17%。北京平原区紫花苜蓿不同茬次的耗水系数差异显著 ($P < 0.05$),第 2 茬最高,第 3 茬最低,2 个生长年限紫花苜蓿规律相同。

表1 一年生和二年生紫花苜蓿的

水分利用效率 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$

茬次	生物产量水分利用效率		经济产量水分利用效率	
	一年生	二年生	一年生	二年生
1	13.5 ^{Bb}	14.6 ^{Ab}	15.7 ^{Bb}	16.9 ^{Ab}
2	10.4 ^{Bc}	13.7 ^{Ac}	12.1 ^{Bc}	16.0 ^{Ac}
3	14.5 ^{Ba}	15.9 ^{Aa}	16.9 ^{Ba}	18.5 ^{Aa}
13	12.6 ^B	14.7 ^A	14.7 ^B	17.1 ^A

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),同行不同大写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

表2 一年生和二年生紫花苜蓿耗水系数

茬次	生物产量耗水系数		经济产量耗水系数	
	一年生	二年生	一年生	二年生
1	741 ^{Ab}	687 ^{Bb}	637 ^{Ab}	591 ^{Bb}
2	959 ^{Aa}	729 ^{Ba}	825 ^{Aa}	627 ^{Ba}
3	688 ^{Ac}	631 ^{Bc}	591 ^{Ac}	542 ^{Bc}
1~3	793 ^A	679 ^B	682 ^A	584 ^B

3 讨论与结论

研究表明二年生紫花苜蓿的水分利用效率明显高于一年生紫花苜蓿,耗水系数明显低于一年生紫花苜蓿,支持孙洪仁等^[1-2]的推断,即二年生及生长多年紫花苜蓿的水分利用效率明显高于一年生紫花苜蓿,二年生及生长多年紫花苜蓿的耗水系数明显低于一年生紫花苜蓿。

关于二年生及生长多年紫花苜蓿的水分利用效率高于一年生紫花苜蓿、耗水系数低于一年生紫花苜蓿的原因可能有二。一是一年生紫花苜蓿根系生长较为旺盛,消耗了大量养分,枝条生长受到抑制,因产草量低而导致水分利用效率降低、耗水系数升高。二是一年生紫花苜蓿枝条生长较为缓慢,草地植被盖度较低,基本上属于无效耗水的棵间蒸发比例较高,从而导致牧草水分利用效率降低、耗水系数升高。

研究表明一年生紫花苜蓿和二年生及生长多年紫花苜蓿的水分利用效率及耗水系数存在明显差异,因而在研究紫花苜蓿水分利用效率和耗水系数时,应该对其进行生长年限的区分。依据以一年生紫花苜蓿为试验材料测得的数据,认为紫花苜蓿的耗水系数高于粮食作物、水分利用效率低于粮食作物的观念也应该改变。

研究中2个生长年限之间水分利用效率及耗水系数的差距相对较小(约17%),而Sun等^[24]的1茬结果差距较大(约37%),但皆低于孙洪仁等^[1-2]总结的差距比例。研究中一年生紫花苜蓿的耗水系数略低于孙洪仁等^[1-2]总结的数值范围,水分利用效率则略高于该范围,而Sun等^[24]的研究结果为一年生紫花苜蓿第1茬的耗水系数明显低于该范围。关于一年生紫花苜蓿和二年生及生长多年紫花苜蓿的水分利用效率及耗水系数的差值及其比例有必要进行深入探讨。

参考文献

- [1] 孙洪仁,刘国荣,张英俊,等. 紫花苜蓿的需水量、耗水量、需水强度、耗水强度和水分利用效率研究[J]. 草业科学,2005,22(12):24-30.
- [2] 孙洪仁,张英俊,韩建国,等. 紫花苜蓿的蒸腾系数和耗水系数[J]. 中国草地,2005,27(3):65-70.
- [3] Bourget S J, Carson R B. Effects of soil moisture stress on yield, water-use efficiency and mineral composition of oats and alfalfa grown at two fertility levels[J]. Canadian Journal of Soil Science, 1962, 42:7-12.
- [4] Daigger L A, Axthelm L S, Ashburn C L. Consumptive use of water by alfalfa in Western Nebraska[J]. Agronomy Journal, 1970, 62:507-508.
- [5] Hanson C H. Alfalfa Science and Technology[M]. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Inc., Publisher, 1972:471, 474.
- [6] Bauder J W, Bauer A, Ramirez J M, et al. Alfalfa water use and production on dryland and irrigated sandy loam[J]. Agronomy Journal, 1978, 70:95-99.
- [7] Sammis T W. Yield of alfalfa and cotton as influenced by irrigation[J]. Agronomy Journal, 1981, 73:323-329.
- [8] Metochis Chr, Orphanos P I. Alfalfa yield and water use when forced into dormancy by withholding water during the summer[J]. Agronomy Journal, 1981, 73:1048-1050.
- [9] Guitjens J C. Models of alfalfa yield and evapotranspiration[J]. Journal of the Irrigation and Drainage Division; the American Society of Civil Engineers, 1982, 108(IR3):212-222.
- [10] Donovan T J, Meek B D. Alfalfa response to irri-

- gation treatment and environment [J]. *Agronomy Journal*, 1983, 75: 461-464.
- [11] Carter P R, Sheaffer C C. Alfalfa response to soil water deficits. I. Growth, forage quality, yield, water use, and water-use efficiency [J]. *Crop Science*, 1983, 23: 669-675.
- [12] Wright J L. Daily and seasonal evapotranspiration and yield of irrigated alfalfa in southern Idaho [J]. *Agronomy Journal*, 1988, 80: 662-669.
- [13] Hanson A A. Alfalfa and alfalfa improvement [M]. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Inc., Publisher, 1988: 390-391.
- [14] Bolger T P, Matches A G. Water-use efficiency and yield of sainfoin and alfalfa [J]. *Crop Science*, 1990, 30: 143-148.
- [15] Stewart B A, Nielsen D R. Irrigation of agricultural crops [M]. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Inc., Publisher, 1990: 561-563.
- [16] Grimes D W, Wiley P L, Sheesley W R. Alfalfa yield and plant water relations with variable irrigation [J]. *Crop Science*, 1992, 32: 1381-1387.
- [17] 王立祥, 王留芳, 范芳强, 等. 西北黄土高原半干旱一半湿润地区旱作农田降水生产潜力及开发途径 [J]. *自然资源学报*, 1989, 4(1): 19-26.
- [18] 甘允平, 张珍余, 裴素萍. 准噶尔南缘荒漠绿洲接壤带农田水分平衡的研究及节水技术 [J]. *新疆环境保护*, 1994, 16(4): 73-77.
- [19] 李代琼, 姜峻, 梁一民, 等. 安塞黄土丘陵区人工草地水分有效利用研究 [J]. *水土保持研究*, 1996, 3(2): 66-74.
- [20] 尹雁峰, 王新元. 苜蓿地土壤水分动态及苜蓿耗水规律的研究 [J]. *海河水利*, 1997(4): 9-11.
- [21] 李玉山. 苜蓿生产力动态及其水分生态环境效应 [J]. *土壤学报*, 2002, 39(3): 404-411.
- [22] 李桂荣. 苜蓿需水量及水分利用效率的研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2003.
- [23] 孙洪仁. 紫花苜蓿花前蒸腾系数及紫花苜蓿和玉米经济产量耗水系数比较 [J]. *草地学报*, 2003, 11(4): 346-349.
- [24] Sun H, Han J, Chen L, *et al.* The water consumption coefficients of alfalfa in different growing years [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2006, 15(9): 234-235.
- [25] 孙强, 韩建国, 姜丽, 等. 草坪蒸散量及水分管理的研究 [J]. *草地学报*, 2004, 12(1): 51-56.
- [26] 孙洪仁, 张英俊, 韩建国, 等. 北京平原区建植当年紫花苜蓿的需水规律 [J]. *中国草地学报*, 2006, 28(4): 35-38, 44.
- [27] 孙洪仁, 张英俊, 厉卫宏, 等. 北京地区紫花苜蓿建植当年的耗水系数和水分利用效率 [J]. *草业学报*, 2007, 16(1): 41-46.

Difference of water use efficiency and water consumption coefficient of alfalfa different in growing season

SUN Hong-ren, GUAN Tian-fu, SUN Jian-yi, WU Rui-xin, LI Pin-hong

(Institute of Grassland Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Difference of water use efficiency (WUE) and water consumption coefficient (WCC) of alfalfa (*Medicago sativa*) between the first growing season and the second growing season was studied in Beijing plain with micro-lysimeter. The results showed that the WUE based on biological and economic yields [14.7 and 17.1 kg/(hm² · mm)] of the second growing season were significantly ($P < 0.05$) higher than that of the first growing season [12.6 and 14.7 kg/(hm² · mm)], the WCC based on biological yield and economic yield (679 and 584) of the second growing season were significantly ($P < 0.05$) lower than that of the first growing season (793 and 682). This proved that the growing years affected the WUE and WCC.

Key words: alfalfa; water use efficiency; water consumption coefficient; growing year; micro-lysimeter; Beijing plain