

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2016-0303

张前兵,于磊,马春晖,鲁为华,和海秀.灌溉定额及分配对建植当年苜蓿生产性能的影响.草业科学,2017,34(3):582-591.

Zhang Q B, Yu L, Ma C H, Lu W H, He H X. Effects of irrigation quota and distribution on the production performance of alfalfa in the first growth year. Pratacultural Science, 2017, 34(3): 582-591.

灌溉定额及分配对建植当年 苜蓿生产性能的影响

张前兵^{1,2}, 于磊^{1,2}, 马春晖^{1,2}, 鲁为华^{1,2}, 和海秀³

(1.石河子大学动物科技学院,新疆 石河子 832003; 2.新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验,新疆 石河子 832003;

3.新疆建设兵团第十师农业科学研究所,新疆 阿勒泰 836000)

摘要:本研究设置了3种灌溉梯度,分别为3 750(W_1)、4 500(W_2)和5 250 $m^3 \cdot hm^{-2}$ (W_3),且在灌溉量为4 500 $m^3 \cdot hm^{-2}$ (W_2)的条件下,设置了3种灌溉定额分配模式,即刈割前、后的灌水量分别为35%+65%(Q_1)、50%+50%(Q_2)、65%+35%(Q_3),探讨不同灌溉定额及分配对滴灌条件下建植当年苜蓿(*Medicago sativa*)生产性状的影响。结果表明,苜蓿建植当年各生长性状指标中,叶茎比、茎粗对苜蓿干草产量提高及营养品质改善的影响最大,其次分别为生长速度及株高。当灌溉量达到4 500 $m^3 \cdot hm^{-2}$ 时有利于苜蓿建植当年干草产量的提高及营养品质的改善。 Q_1 灌溉模式能够显著提高滴灌苜蓿建植当年干草产量及粗蛋白含量($P < 0.05$),降低中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量,进而提高苜蓿的营养品质。

关键词:苜蓿;灌溉定额;生长第一年;产量;营养品质;滴灌;绿洲区

中图分类号:S816.11;S551+.707 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-0629(2017)3-0582-10*

Effects of irrigation quota and distribution on the production performance of alfalfa in the first growth year

Zhang Qian-bing^{1,2}, Yu Lei^{1,2}, Ma Chun-hui^{1,2}, Lu Wei-hua^{1,2}, He Hai-xiu³

(1.The College of Animal Science & Technology, Shihezi University, Shihezi 832003, China;

2.Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xinjiang Production and Construction Groups, Shihezi 832003, China;

3.Tenth Division Academy of Agricultural Sciences of Xinjiang Production and Construction Groups, Aletai 836000, China)

Abstract: This study explored the effects of irrigation quota and distribution on the production performance of alfalfa (*Medicago sativa*) in the first growth year. Three irrigation quota treatments were conducted: 3 750, 4 500, and 5 250 $m^3 \cdot hm^{-2}$. Three irrigation distribution models were conducted under the same irrigation quota of 4 500 $m^3 \cdot hm^{-2}$. The irrigation quota was divided before and after mowing at 35%+65%, 50%+50%, or 65%+35%. The leaf : stem ratio and stem diameter were most strongly affected; these increased hay yield and improved nutritional quality. The next-strongest effects were on the growth rate and height in all growth traits of alfalfa. An irrigation quota of 4 500 $m^3 \cdot hm^{-2}$ enhanced hay yield and improved nutritional quality of first-year alfalfa. The 35%+65% irrigation distribution could significantly improve the hay yield and crude protein, reduce NDF and ADF($P < 0.05$), and thus enhance the nutritional quality of alfalfa.

Key words: alfalfa; irrigation quota; first growth year; hay yield; nutritional quality; drip irrigation; oasis

Corresponding author: Ma Chun-hui E-mail: chunhuima@126.com

* 收稿日期:2016-06-03 接受日期:2016-09-26

基金项目:国家自然科学基金项目(31660693);石河子大学青年创新人才培养计划项目(CXRC201605);兵团农业技术推广专项(CZ0021);兵团博士资金专项(2012BB017);国家牧草产业技术体系项目(CARS-35)

第一作者:张前兵(1985-),男,甘肃静宁人,副教授,博士,主要从事栽培草地高效生产研究。E-mail:qbz102@163.com

通信作者:马春晖(1966-),男,新疆哈密人,教授,博士,主要从事饲草生产与加工方面的研究。E-mail:chunhuima@126.com

紫花苜蓿(*Medicago sativa*)具有产草量高、营养品质好等众多优点,被誉为“牧草之王”^[1],在我国具有悠久的栽培历史^[2],对我国西北地区农牧业产业结构调整和田土壤可持续稳定发展具有十分重要的作用,且苜蓿产业的经济效益有很大的上升空间^[3]。水分是影响紫花苜蓿生长、干草产量及营养品质的主要因素之一^[4-5]。明确作物的水分需求规律不仅是农业节水的重要途径之一,也是进一步促进农业增产的关键和最终潜力所在^[6-7]。研究表明,在水分充足的条件下,紫花苜蓿植株茎节数和茎节长度均得到增加,其叶片的光合作用也较强,而在水分胁迫下,成熟植株叶片和茎的生长速率明显减小,其产量下降^[8-9]。新疆是我国重要干旱区^[10],节水灌溉为当地的农牧业发展带来了巨大的经济效益。同时,新疆也是我国紫花苜蓿栽培种植的重要产区,目前,滴灌技术(滴灌带浅埋入土壤中8~10 cm深处)已开始大面积应用于苜蓿种植中,为苜蓿的规模化、优质高效生产创造了有利条件^[11-13]。但滴灌技术在苜蓿生产中的应用仍处于经验探索阶段,滴灌条件下苜蓿对水分的需求规律尚不明确,不同灌溉定额分配条件下苜蓿各生长性能指标如何变化鲜有报道,尤其是对滴灌苜蓿建植当年的研究相对较少。因此,本研究通过对滴灌苜蓿生长性状、干草产量及营养品质进行测定与分析,明确不同灌溉定额及分配对滴灌苜蓿建植当年产量性状与营养品质的影响机制,以期对滴灌苜蓿节水、高效生产提供理论依据与数据参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验分别于2014年在石河子大学农学院试验站(44°26' N, 85°95' E)、2015年在石河子天业集团农研所农业示范园区试验田(44°31' N, 85°52' E)进行。其

中,石河子大学农学院试验站土壤类型为灰漠土,土壤容重为 $1.48 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,土壤有机质含量 $24.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $70.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $22.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $186.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;石河子天业集团农研所农业示范园区试验田土壤类型为灰漠土,土壤容重为 $1.56 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,土壤有机质含量 $25.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $60.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $25.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $330.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。试验采用完全随机区组设计,设3个灌溉量梯度,分别为3 750(W_1)、4 500(W_2 ,当地滴灌苜蓿高产田实际采用的灌溉量)和5 250 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (W_3)。同时,为了明确灌溉定额分配对建植当年苜蓿生产性状的影响,在提高工作效率的前提下,选择当地滴灌苜蓿高产田实际采用的灌溉量4 500 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (W_2)为灌溉总定额,假设苜蓿建植当年每茬苜蓿生长发育所需灌水量均相同,将每一茬刈割前后的灌溉量设3种灌溉定额分配模式:1)刈割前灌溉本茬次总灌水量的35%+刈割后灌溉本茬次总灌水量的65%(Q_1),2)刈割前灌溉本茬次总灌水量的50%+刈割后灌溉本茬次总灌水量的50%(Q_2),3)刈割前灌溉本茬次总灌水量的65%+刈割后灌溉本茬次总灌水量的35%(Q_3),重复3次。苗期进行充分灌溉,在50%的幼苗从其基部叶腋产生侧芽,并形成分枝时开始进行灌溉处理,具体灌溉时间根据田间生长及天气情况在刈割前8~10 d、刈割后5~6 d进行。即,除苗期进行两次充分灌溉外,总共灌溉5次,具体灌溉时间分别为2014年6月24日、7月10日、7月23日、8月27日、9月10日,2015年6月19日、7月11日、7月30日、8月28日、9月19日。试验期间各月平均气温与降水量见表1,具体灌溉定额分配如表2所示。

1.2 试验材料

供试苜蓿品种为WL354。2014年4月19日播种,苜蓿建植当年刈割两茬,均在初花期(5%植株开

表1 试验期间各月平均气温与降水量

Table 1 Monthly mean temperature and precipitation during experiment

项目 Item	年份 Year	月份 Month							
		4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August	9月 September	10月 October	
平均气温 Mean temperature/°C	2014	12.2	20.6	24.4	24.5	23.4	16.3	9.2	
	2015	13.4	21.5	23.7	26.4	22.6	16.1	9.4	
降水量 Precipitation/mm	2014	38.9	17.4	6.7	7.4	3.2	23.6	27.0	
	2015	20.5	23.4	36.4	11.5	31.2	15.4	10.5	

表2 不同处理灌溉定额($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)分配Table 2 The irrigation quota distribution of different treatments ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)

处理 Treatment	第1茬 First cutting		第2茬 Second cutting	
	刈割前 Before mowing	刈割后 After mowing	刈割前 Before mowing	刈割后 After mowing
Q ₁	787.5	1 462.5	787.5	1 462.5
Q ₂	1 125.0	1 125.0	1 125.0	1 125.0
Q ₃	1 462.5	787.5	1 462.5	787.5

花)进行,留茬高度为5 cm;具体刈割日期:7月6日第1茬刈割,8月23日第2茬刈割。2015年4月26日播种,苜蓿建植当年刈割两茬:7月10日第1茬刈割,8月24日第2茬刈割。两年播种方式为均人工条播,行距20 cm,播种深度2 cm,播种量 $18 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,滴灌带浅埋于距地表8—10 cm土层,间距60 cm,具体灌溉量由试验小区的水表控制,小区面积 $5.0 \text{ m} \times 8.0 \text{ m}$,各个小区之间设1 m宽的人行通道,以防小区之间水分相互渗透。除水分因子外,其它管理按当地滴灌苜蓿高产田进行。施用肥料为尿素 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和可溶性较好的磷酸一铵 $150 \sim 240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,平均分两次在每茬刈割后第1次灌水时通过滴灌系统采用“随水滴施”的方式进行施肥。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 产量测定 用样方法测定。在每茬苜蓿初花期(开花5%左右)随机选取长势均匀一致且能够代表该小区长势的苜蓿植株,以 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 为一个样方,用剪刀剪取样方内的苜蓿植株(留茬高度5 cm),剔除灰藜(*Chenopodium album*)等杂草后称重,记录苜蓿植株鲜草产量,3次重复;另取3份300 g左右鲜草样带回实验室于阴凉通风处风干至恒重,测定其含水率并折算出苜蓿干草产量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。具体计算公式如下:

$$\text{干草产量} = \text{鲜草产量} \times (1 - \text{含水率}) \quad (1)$$

1.3.2 株高测定 测定苜蓿产量的同时,在不同处理的每个小区随机选取苜蓿植株30株,用卷尺测定其到地表的拉直高度,取其平均值(cm)。

1.3.3 茎粗测定 在株高测定的同时,对测定株高的30株单株用游标卡尺测量距离地面5 cm处的茎粗(mm)。

1.3.4 叶茎比测定 在测定苜蓿产量的同时,各小区剪取300 g左右完整植株带回实验室并风干至恒重,然后将苜蓿样品进行人工茎、叶分离并称重,进行叶茎比计算(%)。具体计算公式如下:

$$\text{叶茎比} = \text{叶片重量} / \text{茎秆重量} \times 100\% \quad (2)$$

1.3.5 品质测定 苜蓿粗蛋白质(CP)含量测定采用凯氏定氮法,酸性洗涤纤维(ADF)与中性洗涤纤维(NDF)含量根据 van Soest 方法测定^[14]。

1.3.6 数据处理与分析 采用 Excel 2007 和 SPSS 18.0 进行数据处理与分析,苜蓿生长性状、产量及营养品质的差异显著性分析采用 Duncan 法,用 Sigma-plot 10.0 作图。

苜蓿各生长性状与干草产量、营养品质关系的拟合方程中,线性方程和二次方程的拟合程度均好于其它拟合方程,故本研究选择线性方程和二次拟合方程为例进行说明;苜蓿第1茬和第2茬表现出相同的规律,故本研究以第2茬为例进行说明;在与营养品质的拟合中,由于苜蓿各生长性状与酸性洗涤纤维含量的拟合趋势和与中性洗涤纤维含量的拟合趋势相似,故本研究以苜蓿各生长性状与中性洗涤纤维含量的拟合为例进行说明。

2 结果与分析

2.1 苜蓿的株高、叶茎比、生长速度、茎粗

由于苜蓿建植当年苗期生长缓慢,持续时间40 d左右,不能准确界定苜蓿第1茬生长速度的初始测定高度,故本研究只从第1茬刈割后开始计算第2茬苜蓿的生长速度。不同灌溉量处理条件下,苜蓿的株高、叶茎比、生长速度、茎粗呈现出随灌溉量的增加而逐渐增加的趋势, W₃ 处理显著大于 W₁ 处理($P < 0.05$),除生长速度和茎粗外, W₂ 处理与 W₁、W₃ 处理的株高、叶茎比差异不显著($P > 0.05$),两茬表现出相同的变化规律。相同灌溉量不同灌溉定额分配模式下,建植当年苜蓿的株高、叶茎比、生长速度、茎粗均为 Q₁ 处理最大,其次分别为 Q₂、Q₃ 处理,且第1茬苜蓿各生长性状指标均为 Q₁、Q₂ 显著大于 Q₃ 处理,第2茬均为 Q₁ 显著大于 Q₃ 处理,两年表现出相同的规律

(表 3)。

2.2 产量

不同灌溉量条件下,除 2014 年苜蓿第 1 茬外,随灌溉量的增大苜蓿建植当年各茬次干草产量均呈增加的趋势,总干草产量表现出相同的规律,均为 W_3 处理最大,其次分别为 W_2 、 W_1 处理,且 W_3 、 W_2 处理显著大于 W_1 处理($P < 0.05$),但 W_3 、 W_2 处理间差异不显著($P > 0.05$)(表 4)。可见,灌溉量的增

加有利于苜蓿建植当年干草产量的形成,但当灌溉量达到一定额度时苜蓿干草产量增加效果不明显。相同灌溉量不同灌溉定额分配条件下,苜蓿建植当年各茬次干草产量均为 Q_1 处理最大,其次分别为 Q_2 、 Q_3 处理,且 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 处理间差异均显著($P < 0.05$),苜蓿建植当年总干草产量变化呈现相同趋势,年际间苜蓿建植当年各茬次产量及总干草产量表现出相同的变化规律。

表 3 苜蓿的株高、叶茎比、生长速度、茎粗
Table 3 Height, leaf to stem ratio, growth rate and stem diameter of alfalfa

年份 Year	处理 Treatment	第 1 茬 First cutting			第 2 茬 Second cutting			
		株高 Height/ cm	叶茎比 Leaf to stem ratio/%	茎粗 Stem diameter/ mm	株高 Height/ cm	叶茎比 Leaf to stem ratio/%	生长速度 Growth rate/cm · d ⁻¹	茎粗 Stem diameter/ mm
2014	W_1	57.9±1.7b	1.33±0.03b	2.23±0.01b	59.2±1.5b	1.08±0.01b	0.81±0.01b	2.26±0.02b
	W_2	60.6±1.8ab	1.43±0.04ab	2.31±0.02a	65.5±1.3ab	1.14±0.01ab	0.93±0.03a	2.35±0.01a
	W_3	62.9±1.3a	1.58±0.02a	2.36±0.01a	66.1±1.9a	1.18±0.03a	0.95±0.01a	2.37±0.02a
	Q_1	62.2±2.1a	1.49±0.03a	2.27±0.01a	68.3±1.2a	1.38±0.05a	0.98±0.02a	2.41±0.03a
	Q_2	61.4±1.2a	1.42±0.01a	2.21±0.04a	64.1±1.3b	1.20±0.07b	0.89±0.01a	2.35±0.01a
	Q_3	58.2±1.6b	1.16±0.01b	2.08±0.03b	59.5±1.4c	1.01±0.04c	0.73±0.01b	2.19±0.02b
2015	W_1	62.5±2.2b	1.33±0.01b	2.25±0.02b	63.4±1.2b	1.07±0.02b	0.83±0.01b	2.27±0.01b
	W_2	65.5±1.9ab	1.38±0.02ab	2.34±0.03a	66.7±1.8ab	1.16±0.01ab	0.95±0.02a	2.36±0.02a
	W_3	68.7±1.7a	1.44±0.01a	2.37±0.03a	69.8±1.4a	1.21±0.03a	0.97±0.01a	2.39±0.03a
	Q_1	65.7±1.5a	1.46±0.02a	2.41±0.05a	70.1±1.6a	1.39±0.02a	1.01±0.03a	2.46±0.05a
	Q_2	65.0±1.8a	1.34±0.02b	2.38±0.03a	67.9±1.5b	1.22±0.03b	0.97±0.02a	2.44±0.03a
	Q_3	61.4±1.4b	1.12±0.01c	2.29±0.02b	65.4±1.1c	1.03±0.01c	0.86±0.01b	2.39±0.02b

注:同列中不同小写字母表示同一年份不同处理间差异显著($P < 0.05$),表 4 同; W_1 、 W_2 和 W_3 表示灌溉量分别为 3 750、4 500 和 5 250 $m^3 \cdot hm^{-2}$, Q_1 表示刈割前灌溉本茬次总灌水量的 35%+刈割后灌溉本茬次总灌水量的 65%, Q_2 表示刈割前灌溉本茬次总灌水量的 50%+刈割后灌溉本茬次总灌水量的 50%, Q_3 表示刈割前灌溉本茬次总灌水量的 65%+刈割后灌溉本茬次总灌水量的 35%。下同。

Note: Different lowercase letters within the same column for the same year indicate a significant difference among different treatments ($P < 0.05$), similarly for the Table 4; W_1 、 W_2 and W_3 indicate irrigation quota of 3 750, 4 500 and 5 250 $m^3 \cdot hm^{-2}$, respectively; Q_1 、 Q_2 and Q_3 was the irrigation distribution before and after mowing with 35%+65%, 50%+50%, and 65%+35%, respectively; Similarly for the following tables.

表 4 2014 和 2015 年不同灌溉处理下苜蓿干草产量($kg \cdot hm^{-2}$)
Table 4 Hay yield ($kg \cdot hm^{-2}$) of alfalfa under different irrigation treatments in 2014 and 2015

处理 Treatment	2014			2015		
	第 1 茬 First cutting	第 2 茬 Second cutting	总产量 Total yield	第 1 茬 First cutting	第 2 茬 Second cutting	总产量 Total yield
W_1	3 614±108b	4 537±124b	8 151b	3 734±119b	4 273±104c	8 007b
W_2	4 450±156a	5 407±135a	9 858a	4 268±167a	5 372±159b	9 640a
W_3	4 420±144a	5 592±167a	10 012a	4 349±179a	5 695±147a	10 044a
Q_1	4 338±131a	5 834±156a	10 172a	10 172a	6 033±139a	9 916a
Q_2	4 106±105b	5 206±145b	9 312b	9 312b	5 305±116b	8 938b
Q_3	3 750±116c	4 402±108c	8 152c	8 152c	4 313±131c	7 822c

2.3 苜蓿各生长性状与干草产量之间的关系

为了分析苜蓿各生长性状与干草产量之间的关系,明确苜蓿干草产量构成中各生长性状的贡献率,选取第2茬苜蓿各生长性状与产量数据的平均值并将其拟合。结果表明(图1),在相同灌溉量条件下,苜蓿建植当年相同生长性状指标与干草产量的拟合模型二次方程的决定系数(R^2)均高于线性方程的 R^2 ,苜蓿第1茬和第2茬表现出相同的规律。两种拟合方程中各生长性状的决定系数大小均为叶茎比>茎粗>株高,叶茎比、茎粗的决定系数显著大于株高的决定系数($P < 0.05$)。说明二次方程的拟合程度好于线性方程,在苜蓿各生长性状与干草产量的模型拟合中应首选二次方程模型;各茬次中叶茎比和茎粗与苜蓿干草产量形成相关性更大。

2.4 营养品质

不同灌溉量条件下,随灌溉量的增加苜蓿建植当年各茬次粗蛋白(CP)含量均逐渐增大,且各茬次苜蓿的CP含量大小均为 W_3 处理显著大于 W_2 、 W_1 处理($P < 0.05$)(表5)。各茬次苜蓿的中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)含量均随灌溉量的增加呈先降低后升高的变化趋势,且各茬次苜蓿的NDF、ADF含量均为 W_3 处理大于 W_1 、 W_2 处理,年际间不同处理下苜蓿各茬次的CP、NDF、ADF含量表现出相同的规律。相同灌溉量不同灌溉定额分配条件下,苜蓿建植当年各茬次苜蓿CP含量均为 Q_1 处理最大,其次分别为 Q_2 、 Q_3 处理,且 Q_1 、 Q_2 处理显著大于 Q_3 处理($P < 0.05$);各茬次苜蓿的NDF、ADF含量均为 Q_1 处理最小,其次分别为 Q_2 、 Q_3 处理,且 Q_1 与 Q_2 处理、 Q_2 与 Q_3 处理间差异不显著($P > 0.05$),而 Q_1 与 Q_3 处理间差异显著($P < 0.05$)。

2.5 苜蓿生长性状与营养品质之间的关系

为了分析苜蓿各生长性状与营养品质之间的关系,明确影响苜蓿营养品质的各项具体生长性状指标,将苜蓿各生长性状与CP、NDF含量进行拟合。结果表明(图2、3),在相同灌溉量条件下,苜蓿建植当年相同生长性状指标与CP、NDF含量的拟合模型中也表现为二次方程的决定系数(R^2)均高于线性方程的 R^2 ,说明二次方程的拟合程度好于线性方程,苜蓿第1茬和第2茬表现出相同的规律。苜蓿第2茬各生长性状指标与CP含量的拟合中,拟合方程中各生长性状指标的决定系数大小顺序为叶茎比>茎粗>生长速

度>株高,叶茎比、茎粗、生长速度的决定系数显著大于株高的决定系数($P < 0.05$)(图2)。苜蓿第2茬各生长性状指标与NDF含量拟合差异不显著($P > 0.05$)(图3),且线性方程与二次方程的决定系数变化

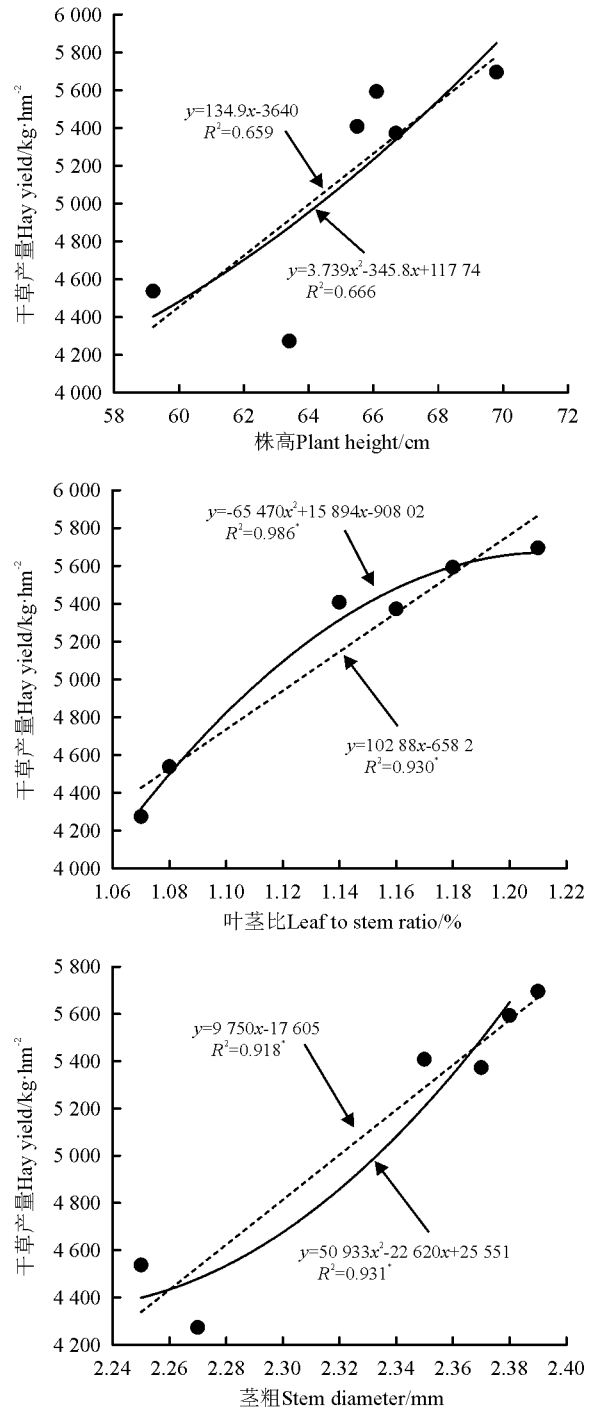


图1 苜蓿生长性状与第2茬干草产量之间的关系
Fig.1 The relationship between growth traits and the second cutting hay yield of alfalfa

注: * 表示显著相关,图2、图3同。
Note: * indicate significant correlation at the 0.05 level, similarly for the Fig.2 and Fig.3.

表 5 各茬次苜蓿的营养品质(%)

Table 5 Nutritional quality (%) of alfalfa of different cuts

年份 Year	茬次 Cutting	指标 Index	处理 Treatment					
			W ₁	W ₂	W ₃	Q ₁	Q ₂	Q ₃
2014	第 1 茬 First cutting	CP	18.01±0.26b	18.26±0.34b	18.87±0.19a	19.54±0.21a	19.47±0.32a	19.03±0.16b
		NDF	49.08±2.45b	48.34±2.19b	52.67±2.35a	49.50±2.34b	51.36±2.17ab	52.52±1.86a
		ADF	38.86±1.67a	38.21±1.08b	39.08±1.52a	39.18±1.09b	39.65±1.26ab	40.08±1.46a
	第 2 茬 Second cutting	CP	14.45±0.13c	15.35±0.17b	16.38±0.24a	17.71±0.23a	17.08±0.18a	15.42±0.19b
		NDF	48.04±1.64a	45.77±2.06b	48.38±1.82a	46.14±1.59b	46.54±2.14ab	47.78±1.67a
		ADF	36.26±1.35ab	35.85±1.14b	36.68±1.29a	36.19±1.07b	36.67±1.21ab	37.52±1.43a
2015	第 1 茬 First cutting	CP	18.23±0.15b	18.41±0.19b	19.04±0.23a	19.62±0.24a	19.45±0.18a	18.89±0.11b
		NDF	47.56±2.43b	46.23±1.98b	50.06±2.16a	48.06±1.38b	48.92±1.35ab	49.85±1.67a
		ADF	37.89±1.43b	37.15±1.35b	38.24±1.13a	37.46±1.35b	38.45±1.09ab	39.76±1.28a
	第 2 茬 Second cutting	CP	14.61±0.12c	15.43±0.18b	16.74±0.14a	17.88±0.16a	17.14±0.21a	15.69±0.17b
		NDF	45.26±1.67b	44.61±1.91b	47.86±2.08a	44.29±1.36b	45.76±1.59ab	46.53±1.76a
		ADF	35.21±1.24b	35.01±1.19b	36.14±1.25a	34.98±1.05b	35.67±1.14ab	36.48±1.21a

注:同行不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。

Note: Different lowercase letters within the same row indicate significant difference among different treatments at the 0.05 level.

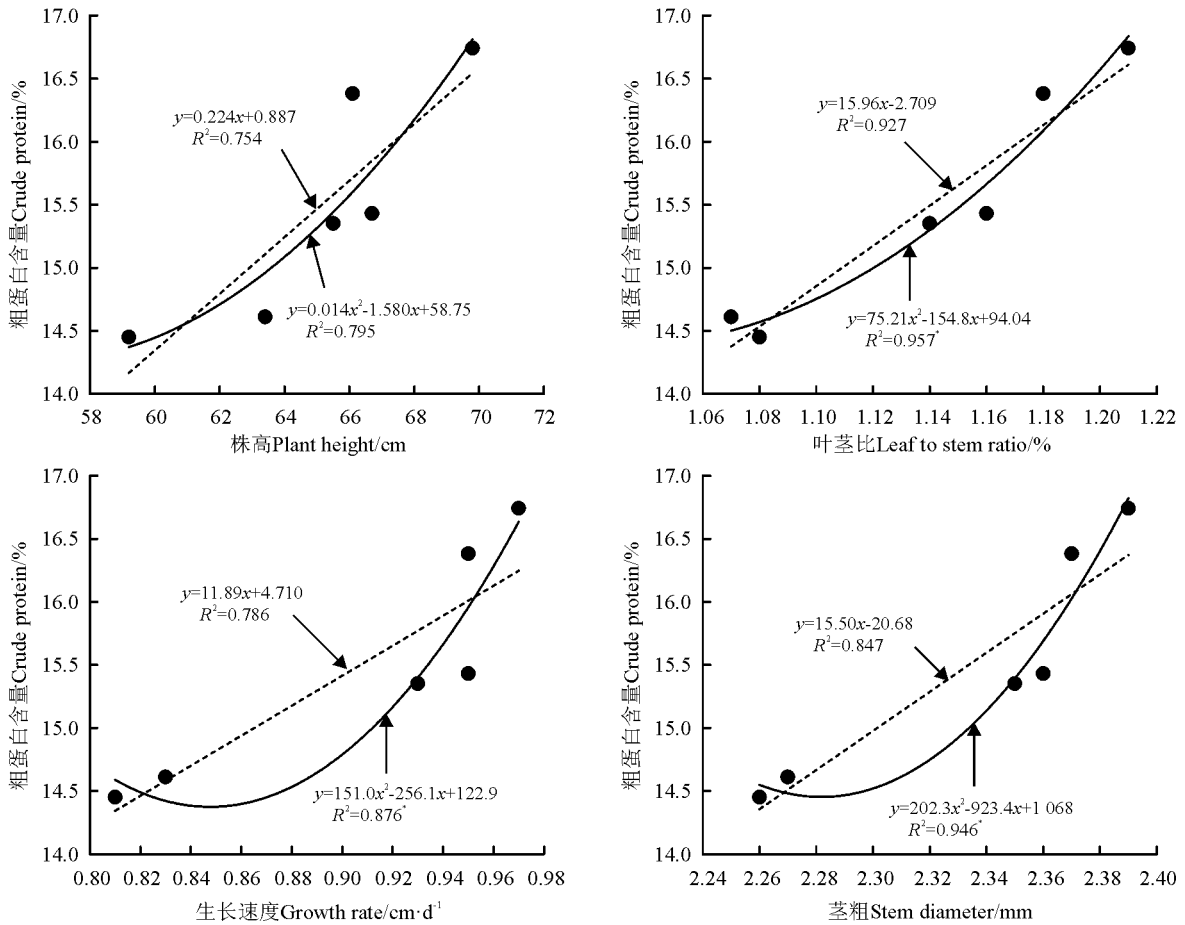


图 2 苜蓿生长性状与粗蛋白含量之间的关系

Fig.2 The relationship between growth traits and CP of alfalfa

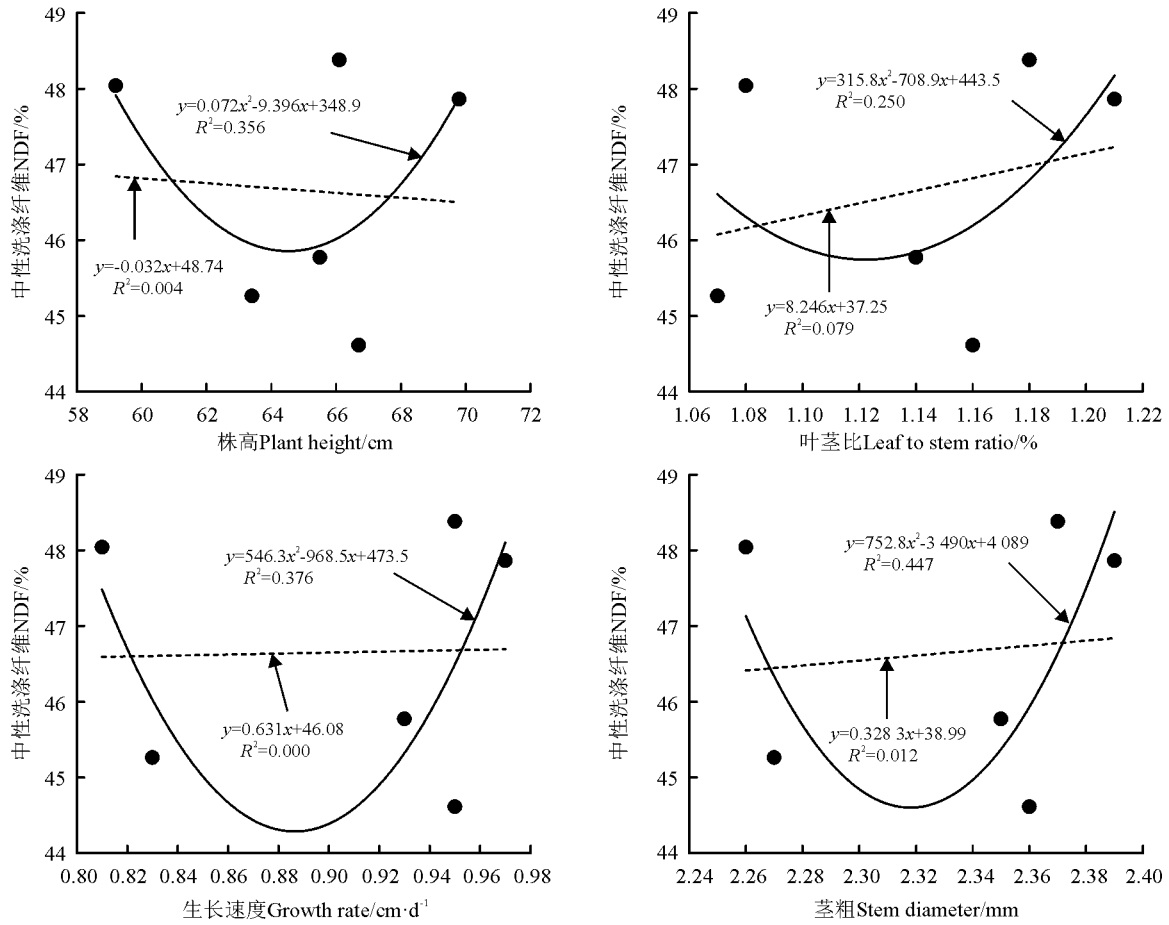


图3 苜蓿生长性状与中性洗涤纤维含量之间的关系

Fig.3 The relationship between growth traits and NDF of alfalfa

规律不一致,以二次方程为例,拟合方程中各生长性状指标的決定系数大小顺序表现为茎粗>生长速度>株高>叶茎比。

3 讨论

3.1 灌溉定额分配对苜蓿植株生长性状的影响

大田作物产量的提高与灌溉有着直接的关系^[15-16],合理的灌溉方式是干旱区实现高产节水的重要途径。在新疆干旱区棉田,滴灌技术相对于传统大水漫灌方式可增产20%~30%^[17]。而对于新疆绿洲区苜蓿,滴灌方式更有利于苜蓿干草产量的提高^[7]。对苜蓿生长性状与干草产量关系的研究表明,枝条密度、比叶重、单枝干重、株高、单枝复叶数、光合速率、茎叶比和鲜干比等生长性状与多叶型苜蓿草产量显著相关,株高、枝条密度、比叶重、节间数、鲜干比和茎叶比等生长性状与普通三叶型苜蓿草产量显著相关,且茎叶比的降低能够促进苜蓿草产量的提高^[18]。李治国等^[19]采用主成分分析法研究发现,叶片数、枝条性状、

根蘖数及根颈粗度是影响三叶型紫花苜蓿干草产量的主要构成因子。本研究表明,滴灌条件下随灌溉量的增加,苜蓿的株高、叶茎比、生长速度、茎粗呈现出明显的增加趋势,而灌溉量不变的条件下,刈割前灌溉本茬次总灌水量的35%,并在刈割后灌溉本茬次总灌水量的65%,建植当年苜蓿的株高、叶茎比、生长速度、茎粗均为最大(表3),进而影响苜蓿干草产量(表4)。说明合理的灌溉定额分配有利于苜蓿草产量构成的各生长性状指标的形成。

3.2 苜蓿各生长性状与产量之间的关系

苜蓿产量形成与植株生长性状关系密切^[20]。研究表明,苜蓿鲜草产量与茎数、株高正相关,且在鲜草产量保持一定水平时,茎数与茎高负相关^[21]。王亚玲^[22]研究发现,生长高度、生长速度、再生速度与苜蓿草产量的相关性达到极显著水平,且生长高度、生长速度、再生速度、分枝数对草产量的直接效应均为正值。本研究表明,滴灌条件下,建植当年苜蓿的叶茎比、茎粗、株高等生长性状指标与干草产量具有明显的相关

关系,二次方程拟合程度均好于线性拟合,且苜蓿第2茬各生长性状与干草产量的拟合程度均高于第1茬(图1),说明苜蓿建植当年第1茬各生长性状指标存在很大的不稳定性,其可能原因为苜蓿建植当年苗期生长缓慢,持续时间长,第1茬产量形成没有一个明确的产量记录初始界定点。苜蓿各生长性状与第2茬干草产量的相关性更高,且各茬次中对苜蓿干草产量形成贡献率最大的是叶茎比和茎粗,株高对苜蓿干草产量的贡献率较小。这与何俊彦等^[21]研究认为株高对苜蓿产量贡献率最大、刘磊等^[23]提出植株高度是苜蓿干草产量一个很好的预测指标的结论不一致,这主要是因为以上研究并没有将茎粗和株高放在一起分析其对苜蓿干草产量的贡献率,且在一定程度上苜蓿的茎粗决定了其植株的高度,对草产量而言二者具有很高的相关性。

3.3 苜蓿各生长性状与营养品质之间的关系

苜蓿各生长性状对营养品质形成具有重要的影响。研究表明,随着牧草的成熟,茎叶比逐渐增加,粗蛋白质含量明显下降,且紫花苜蓿的粗蛋白含量与株龄(半月龄)呈显著负相关关系,粗纤维含量与株龄呈显著正相关关系^[24]。王亚玲^[22]研究认为,各生长性状对苜蓿粗蛋白质含量的直接贡献大小为生长高度>茎叶比>鲜重>生长速度>分枝数>再生速度。另有研究发现,粗蛋白含量与节间数、叶茎比显著正相关,与株高、节间长显著负相关^[25-26]。本研究表明,苜蓿建植当年各生长性状指标叶茎比、茎粗、生长速度对粗蛋白含量的贡献率显著大于株高(图2),与前人研究结果一致,主要是因为粗蛋白主要集中在苜蓿叶片中,而

叶片中的粗蛋白含量比茎高2~3倍。苜蓿各生长性状不仅与粗蛋白含量密切相关,而且与中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量有着重要的关系。研究表明,苜蓿的中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量与叶茎比显著负相关^[24],紫花苜蓿的粗纤维含量与株龄和茎叶比正相关^[26],各生长性状对苜蓿中性洗涤纤维含量直接贡献大小为生长高度>分枝数>鲜重>生长速度>茎叶比>再生速度^[22]。本研究表明,苜蓿建植当年各生长性状指标与中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量拟合差异不显著,但各生长性状指标的二次方程的拟合程度大小顺序为茎粗>生长速度>株高>叶茎比(图3)。说明茎粗对建植当年苜蓿纤维含量具有决定性的作用,这可能与苜蓿茎秆的主要成分是纤维素有关。可见,茎粗可以作为苜蓿营养品质中纤维含量高低评价的一项重要指标。

4 结论

1)滴灌苜蓿建植当年,不同的灌溉量及灌溉定额分配对苜蓿干草产量及营养品质具有重要的影响。相同灌溉量条件下,刈割前灌溉本茬次总灌水量的35%,并在刈割后灌溉本茬次总灌水量的65%,能够显著提高滴灌苜蓿建植当年干草产量及粗蛋白含量,降低中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量,进而提高苜蓿的营养品质。

2)从苜蓿各生长性状与干草产量及营养品质的拟合来看,叶茎比、茎粗对苜蓿建植当年干草产量形成及营养品质改善的影响最大,其次分别为生长速度和株高。

参考文献 References:

- [1] Bouizgaren A, Farissi M, Ghoulam C, Kallida R, Faghire M, Barakate M, Al-Feddy M N. Assessment of summer drought tolerance variability in Mediterranean alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars under Moroccan fields conditions. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2013, 59(1): 147-160.
- [2] 孙启忠, 柳茜, 那亚, 李峰, 陶雅. 我国汉代苜蓿引入者考. *草业学报*, 2016, 25(1): 240-253.
Sun Q Z, Liu Q, Na Y, Li F, Tao Y. The history of the introduction of alfalfa to China in the Han dynasty. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 25(1): 240-253. (in Chinese)
- [3] 刘会芳, 南志标, 唐增, 王丽佳. 苜蓿、小麦、玉米经济效益比较. *草业科学*, 2016, 33(5): 990-995.
Liu H F, Nan Z B, Tang Z, Wang L J. Comparison of economic benefit of alfalfa, wheat and maize—A case study in Gansu Province. *Pratacultural Science*, 2016, 33(5): 990-995. (in Chinese)
- [4] Ismail S M, Almarshadi M H. Maximizing productivity and water use efficiency of alfalfa under precise subsurface drip irrigation in arid regions. *Irrigation and Drainage*, 2013, 62(1): 57-66.

- [5] 李茂娜, 王晓玉, 杨小刚. 圆形喷灌机条件下水肥耦合对紫花苜蓿产量的影响. 农业机械学报, 2016, 47(1): 133-140.
Li M N, Wang X Y, Yang X G. Effects of water-fertilizer coupling on alfalfa yield under center pivot irrigation system. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(1): 133-140. (in Chinese)
- [6] Hendrickson J R, Schmer M R, Sanderson M A. Water use efficiency by switch grass compared to a native grass or a native grass alfalfa mixture. Bioenergy Research, 2013, 6: 746-754.
- [7] 张前兵, 于磊, 艾尼娃尔·艾合买提, 鲁为华, 张凡凡. 新疆绿洲区不同灌溉方式及灌溉量对苜蓿产量及水分利用效率的影响. 中国草地学报, 2015, 37(2): 68-74.
Zhang Q B, Yu L, Anwar A, Lu W H, Zhang F F. Effects of different irrigation methods and quantities on soil water transfer characteristic in alfalfa field in Xinjiang oasis. Chinese Journal of Grassland, 2015, 37(2): 68-74. (in Chinese)
- [8] 孙洪仁, 马令法, 何淑玲, 李品红, 刘爱红. 灌溉量对紫花苜蓿水分利用效率和耗水系数的影响. 草地学报, 2008, 16(6): 636-639, 645.
Sun H R, Ma L F, He S L, Li P H, Liu A H. Effect of irrigation amount on water use efficiency and water consumption coefficient of alfalfa. Acta Agrestia Sinica, 2008, 16(6): 636-639, 645. (in Chinese)
- [9] Fiasconaro M L, Gogorcena Y, Muñoz F, Andueza D, Sánchez-Díaza M, Antolin M C. Effects of nitrogen source and water availability on stem carbohydrates and cellulosic bioethanol traits of alfalfa plants. Plant Science, 2012, 191: 16-23.
- [10] 张前兵, 杨玲, 王进, 罗宏海, 张亚黎, 张旺锋. 干旱区不同灌溉方式及施肥措施对棉田土壤呼吸及各组分贡献的影响. 中国农业科学, 2012, 45(12): 2420-2430.
Zhang Q B, Yang L, Wang J, Luo H H, Zhang Y L, Zhang W F. Effects of different irrigation methods and fertilization measures on soil respiration and its component contributions in cotton field in arid region. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(12): 2420-2430. (in Chinese)
- [11] 张凡凡, 于磊, 马春晖, 张前兵, 鲁为华. 绿洲区滴灌条件下施磷对紫花苜蓿生产性能及品质的影响. 草业学报, 2015, 24(10): 175-182.
Zhang F F, Yu L, Ma C H, Zhang Q B, Lu W H. Effect of phosphorus application under drip irrigation on the productivity and quality of alfalfa in Northern Xinjiang. Acta Prataculturae Sinica, 2015, 24(10): 175-182. (in Chinese)
- [12] 寇丹, 苏德荣, 吴迪, 李岩. 地下调亏滴灌对紫花苜蓿耗水、产量和品质的影响. 农业工程学报, 2014, 30(2): 116-123.
Kou D, Su D R, Wu D, Li Y. Effects of regulated deficit irrigation on water consumption, hay yield and quality of alfalfa under subsurface drip irrigation. Transactions of the CSAE, 2014, 30(2): 116-123. (in Chinese)
- [13] 陶雪, 苏德荣, 乔阳, 寇丹. 西北旱区灌溉方式对苜蓿产量及品质的影响. 草业科学, 2015, 32(10): 1641-1647.
Tao X, Su D R, Qiao Y, Kou D. Effects of irrigation methods on yield and quality of alfalfa in arid northwest China. Pratacultural Science, 2015, 32(10): 1641-1647. (in Chinese)
- [14] 国家技术监督局. GB/T14924.9-2001. 实验动物配合饲料常规营养成分的测定. 北京: 中国标准出版社, 2002.
State Bureau of Technical Supervision, GB/T14924.9-2001. Determination of the experimental animal feeds for conventional nutrients. Beijing: Standards Press of China, 2002. (in Chinese)
- [15] 郭学良, 李卫军. 不同灌溉方式对紫花苜蓿产量及灌溉水利用效率的影响. 草地学报, 2014, 22(5): 1086-1090.
Guo X L, Li W J. Effects of different irrigation methods on alfalfa yield and irrigation water use efficiency. Acta Agrestia Sinica, 2014, 22(5): 1086-1090. (in Chinese)
- [16] 许玉凤, 杨井, 李卫红, 方功焕, 张淑花, 邓海军, 董杰. 1982-2013年新疆不同植被生长时空变化. 草业学报, 2016, 25(1): 47-63.
Xu Y F, Yang J, Li W H, Fang G H, Zhang S H, Deng H J, Dong J. Spatial-temporal change in different vegetation growth of Xinjiang from 1982 to 2013. Acta Prataculturae Sinica, 2016, 25(1): 47-63. (in Chinese)
- [17] 张伟, 吕新, 李鲁华, 刘建国, 孙肇君, 张小伟, 杨忠平. 新疆棉田膜下滴灌盐分运移规律. 农业工程学报, 2008, 24(8): 15-19.
Zhang W, Lyu X, Li L H, Liu J G, Sun Z J, Zhang X W, Yang Z P. Salt transfer law for cotton field with drip irrigation under the plastic mulch in Xinjiang Region. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 15-19. (in Chinese)
- [18] 王雯玥, 韩清芳, 宗毓铮, 贾志宽, 聂俊峰, 闵安成, 马晓丽. 多叶型和三叶型紫花苜蓿产量与相关性状的回归分析. 中国农业科学, 2010, 43(14): 3044-3050.

- Wang W Y, Han Q F, Zong Y Z, Jia Z K, Nie J F, Min A C, Ma X L. Regression analysis on hay yield and relative characters of multifoliolate alfalfa and trifoliolate alfalfa. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(14): 3044-3050. (in Chinese)
- [19] 李治国, 王建光, 姚贵平. 紫花苜蓿与无芒雀麦混播草地产量因子的主成分分析. *中国草地*, 2005, 27(5): 79-81.
Li Z G, Wang J G, Yao G P. Principal component analysis for the character of yield in the mixture sowing grassland between alfalfa and awnless brome. *Grassland of China*, 2005, 27(5): 79-81. (in Chinese)
- [20] 韩路, 贾志宽, 韩清芳, 王海珍. 影响苜蓿产草量相关性状的通径分析. *西北农业学报*, 2003, 12(1): 15-20.
Han L, Jia Z K, Han Q F, Wang H Z. Path analysis of correlation traits affecting yield of single alfalfa plant. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2003, 12(1): 15-20. (in Chinese)
- [21] 何俊彦, 赵萍, 赵功强, 王秉龙. 半干旱地区水地紫花苜蓿鲜草产量与主要构成因素相互关系的回归与相关分析. *草业科学*, 2005, 22(7): 16-18.
He J Y, Zhao P, Zhao G Q, Wang B L. Regression and correlation between alfalfa fresh yield and its main component factors in irrigated soils of semi-arid areas. *Pratacultural Science*, 2005, 22(7): 16-18. (in Chinese)
- [22] 王亚玲. 苜蓿种质资源产量与品质构成因子相关性分析及评价. 兰州: 甘肃农业大学硕士学位论文, 2007.
Wang Y L. The correlation of analysis and evaluation on the factors of component yield and quality of alfalfa germplasm resources. Master Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- [23] 刘磊, 陈立波, 李志勇, 范洁茹, 赵海霞. 紫花苜蓿生产性能构成因子研究. *华北农学报*, 2009, 24(S1): 334-337.
Liu L, Chen L B, Li Z Y, Fan J R, Zhao H X. Study on factors of production traits in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2009, 24(S1): 334-337. (in Chinese)
- [24] 侯敏. 30 个苜蓿材料生长特性与品质的比较及综合评价. 呼和浩特: 内蒙古大学硕士学位论文, 2010.
Hou M. Comparison and evaluation of growth characteristics and quality of 30 alfalfa materials. Master Thesis. Huhhot: Inner Mongolia University, 2010. (in Chinese)
- [25] 韩路. 不同苜蓿品种的生产性能分析及评价. 杨凌: 西北农林科技大学硕士学位论文, 2002.
Han L. Analysis and evaluation of the productive power of the diverse alfalfa varieties. Master Thesis. Yangling: Northwest A & F University, 2002. (in Chinese)
- [26] 王庆锁. 苜蓿生长和营养物质动态研究. *草地学报*, 2004, 12(4): 264-267.
Wang Q S. Dynamics of alfalfa growth and nutrient in the growing period. *Acta Agrestia Sinica*, 2004, 12(4): 264-267. (in Chinese)

(责任编辑 武艳培)

2017 年第 3 期《草业科学》审稿专家

安沙舟	包爱科	曹文侠	柴琦	陈先江	陈学林	丁彦芬	董玮
段廷玉	冯固	冯琦胜	干友民	郭正刚	侯扶江	呼天明	胡龙兴
黄晓东	焦明大	金樑	李东坡	李慧霞	李玉英	李志华	刘长仲
刘华梁	刘孟君	刘文献	刘兴元	龙明秀	吕春娟	马红彬	马啸
毛培胜	彭飞	蒲小鹏	孙洪仁	王俊峰	王丽佳	王晓娟	王兆龙
翁秀秀	吴福忠	武高林	武建双	武艳培	解新明	许立新	杨成德
杨培志	于应文	鱼小军	袁明龙	张德罡	张巨明	张铁军	

承蒙以上专家对《草业科学》期刊稿件的审阅, 特此表示衷心的感谢!