

网络出版时间:2017-03-31 16:08 DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2017.05.009
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20170331.1608.018.html

苜蓿与禾本科牧草混作对牧草器官间物质分配和产量的影响

巴图,赵萌莉,王成杰,李倩

(内蒙古农业大学 生态环境学院,内蒙古 呼和浩特 010019)

[摘要] 【目的】研究盐渍化草场的苜蓿和禾本科牧草混作对牧草各器官间物质分配,全碳、全氮含量及产量的影响,筛选出适合盐渍化土壤的苜蓿种植方式。【方法】以苜蓿品种中草 3 号、草原 3 号和禾本科牧草老芒麦、无芒雀麦为试验材料,设 4 种牧草单作及 2 种苜蓿分别与老芒麦和无芒雀麦混作处理,测定不同处理、不同生育期牧草的株高、鲜质量、干质量、全氮含量、全碳含量及产量等指标。【结果】苜蓿与老芒麦、无芒雀麦混作有利于提高其株高。苜蓿生长初期以茎部器官鲜、干质量积累为主,中期以茎部和叶部积累为主,开花期后逐渐向花积累。老芒麦和无芒雀麦各器官中的全碳总含量小于中草 3 号和草原 3 号,全氮含量低于二者;混作处理提高了老芒麦和无芒雀麦的全氮含量。中草 3 号与老芒麦混作处理显著提高了牧草产量($P<0.05$),2 次刈割时干草产量分别较中草 3 号单作处理提高了 15.63%和 21.95%,较老芒麦单作处理提高了 1.23%和 8.48%,且中草 3 号单作处理的牧草产量高于草原 3 号。叶、茎、花干质量和花全碳含量均与干草产量呈极显著正相关($P<0.01$)。【结论】中草 3 号与老芒麦混作处理适合在盐渍化偏重地区推广种植。

[关键词] 苜蓿;禾本科牧草;混作;物质分配;牧草产量
[中图分类号] S540.4 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2017)05-0057-09

Effect of different cropping patterns on forage organs matter distribution and yield in saline-alkali soil

BA Tu,ZHAO Mengli,WANG Chengjie,LI Qian

(College of Ecological Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China)

Abstract: 【Objective】 This paper studied the effect of mixed cropping on forage organs matter distribution, carbon content, nitrogen content and yield changes in alfalfa saline pasture to select proper planting patterns on saline land. 【Method】 Artificial grasslands with legume-graminaceous crop mixed cropping patterns using alfalfa varieties Zhongcao No. 3, Caoyuan No. 3, *Elymus sibiricus* and *Bromus inermis* were selected and monoculture and mixed cropping patterns were established. Plant height, fresh weight, dry weight, nitrogen content, and carbon content were measured. 【Result】 Mixed cropping with alfalfas and *Elymus sibiricus* and *Bromus inermis* improved plant height. The stem organ matter accumulated mostly at early growth period of alfalfa, leaf and stem organ matter accumulation increased at middle stage, and the matter transferred to flower gradually after flowering period. Total carbon and nitrogen contents of different organs of *Elymus sibiricus* and *Bromus inermis* were lower than that of Zhongcao No. 3 and Caoyuan

[收稿日期] 2016-03-18
[基金项目] 公益性行业(农业)科研专项(201003023);科技部科技支撑计划项目(2012BAD13B02)
[作者简介] 巴图(1984—),男(蒙古族),内蒙古乌兰察布人,在读博士,主要从事草地生态及抗旱生理研究。
E-mail: batub@163.com
[通信作者] 赵萌莉(1963—),女,陕西华阴人,教授,博士,博士生导师,主要从事草业生态与管理研究。
E-mail: nmglmzh@126.com

No. 3. Mixed cropping treatments improved the total nitrogen contents of *Elymus sibiricus* and *Bromus inermis*. Zhongcao No. 3 and *Elymus sibiricus* mixed cropping treatment improved forage yield significantly ($P < 0.05$). In the two cutting production processes, dry grass productions of Zhongcao No. 3 in Zhongcao No. 3 and *Elymus sibiricus* mixed cropping were 15.63% and 21.95% higher than those of monoculture Zhongcao No. 3, and 1.23% and 8.48% higher than those of monoculture *Elymus sibiricus*, respectively. The yield of monoculture Zhongcao No. 3 was higher than that of Caoyuan No. 3. Dry weights of leaf, stem and flower, total carbon content of flower, and dry grass yield all had very significantly positive correlation ($P < 0.01$). 【Conclusion】 Zhongcao No. 3 and *Elymus sibiricus* mixed cropping treatment is suitable for planting on heavy saline-alkali areas.

Key words: alfalfa; graminaceous forage; mixed cropping; matter distribution; yield

土壤盐化是世界性普遍关注的环境生态问题之一^[1],我国盐渍化土壤总面积约 3 667 万 hm^2 ,其中内蒙古地区的盐渍化土壤面积已经扩大至 316 万 hm^2 ^[2],成为限制农牧业发展的重要因素。改良土壤盐化的途径很多,种植苜蓿被普遍认为是最有效的措施之一^[3],目前,我国的苜蓿种植面积已达 183 万 hm^2 ^[4]。

国外对苜蓿根瘤菌^[5-7]和分子生物技术^[8-9]等方面进行了研究。国内对苜蓿的研究主要集中在引种试验^[10]、品种生长特性^[11]、豆科牧草固氮作用研究^[12-13]等方面;对禾-豆牧草混作草地产量研究也较多^[14-17],郭孝^[18]研究发现,禾本科牧草与豆科牧草混作草地生产力较大,刘美玲等^[19]对老芒麦与草原 2 号混作研究认为,混作处理比单作处理的人工草地具有显著增产作用。但有关盐渍化土壤禾豆混作牧草各器官间物质分配对不同种植模式的响应研究却鲜见报道。本研究对盐渍化土壤的苜蓿与禾本科牧草单、混作处理各器官间物质积累、转移和分配进行研究,筛选出盐渍化土壤牧草在不同种植模式下鲜、干草产量较高的处理,从而为盐渍化土壤牧草种植提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

苜蓿品种:中草 3 号、草原 3 号,由内蒙古农业大学生态环境学院提供。

禾本科牧草:无芒雀麦、老芒麦,由内蒙古农业大学生态环境学院提供。

1.2 试验地概况

试验地选择内蒙古呼和浩特市南部地区和林格尔县公喇嘛村,该地属内蒙古高原与山西黄土高原过渡带,半干旱中温带大陆性季风气候($39^{\circ}58' \sim 40^{\circ}41' \text{N}$, $111^{\circ}26' \sim 112^{\circ}18' \text{E}$),年平均气温 6.2°C 左右,年平

均降水量为 392.8 mm。土壤 pH 值 8.31,盐度 1.5,为盐渍化程度严重的人工草场。土壤全氮含量 0.38 g/kg,全磷含量 1.42 g/kg,全钾含量 39.64 g/kg,碱解氮含量 64.00 mg/kg,有效磷含量 12.01 mg/kg,速效钾含量 15.10 mg/kg,有机质含量 5.1 g/kg。

1.3 试验设计

试验设 8 个处理,分别为中草 3 号(T1)、草原 3 号(T2)、老芒麦(T3)、无芒雀麦(T4)单作处理,中草 3 号+老芒麦(T5)、中草 3 号+无芒雀麦(T6)、草原 3 号+老芒麦(T7)、草原 3 号+无芒雀麦(T8)混作处理,其中中草 3 号+老芒麦混作中的中草 3 号标记为 T5-1、老芒麦标记为 T5-2,中草 3 号+无芒雀麦混作中的中草 3 号标记为 T6-1、无芒雀麦标记为 T6-2,草原 3 号+老芒麦混作中的草原 3 号标记为 T7-1、老芒麦标记为 T7-2,草原 3 号+无芒雀麦混作中的草原 3 号标记为 T8-1、无芒雀麦标记为 T8-2。播前施复合肥 0.75 t/hm^2 , $m(\text{N}) : m(\text{P}_2\text{O}_5) : m(\text{K}_2\text{O})$ 为 17 : 6 : 22;单作苜蓿用量为 0.15 t/hm^2 ,老芒麦、无芒雀麦用量为 0.03 t/hm^2 ,混作为隔行混作,每行用种量同单作,播种方式为机播,行距 30 cm,小区面积 20 m^2 ,随机区组排列,重复 3 次。生育期间不进行灌水,依靠自然降水。

1.4 测定项目及方法

2013—2014 年,在苜蓿苗期(05-06)、分枝期(05-20)、现蕾期(06-02)、开花期(06-12)、成熟期(07-01) 5 个生育期,每处理取具有代表性的 10 株牧草,用直尺测量株高;在上述 5 个生育期,分茎、叶测定老芒麦和无芒雀麦植株鲜质量、干质量,在苜蓿苗期、分枝期、现蕾期分茎、叶测定苜蓿植株鲜质量、干质量,苜蓿开花期后,分茎、叶、花测定苜蓿植株鲜质量、干质量,每小区取样 0.5 m^2 ,重复 3 次;成熟期各处理分器官取样,自然风干后磨碎,使用 Elementar 有机元素分析仪测定中草 3 号、草原 3 号的

叶、茎和花及老芒麦、无芒雀麦叶和茎的全碳含量、全氮含量和碳氮比。分别于 07-01 和 10-01 对各处理牧草进行刈割、收获,每处理取 2 m² 测定鲜、干草产量,重复 3 次。

1.5 数据处理

试验数据采用 Excel 2003 作图和表,用 SAS

9.0 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理牧草株高的变化

各处理牧草株高的变化如图 1 和图 2 所示。

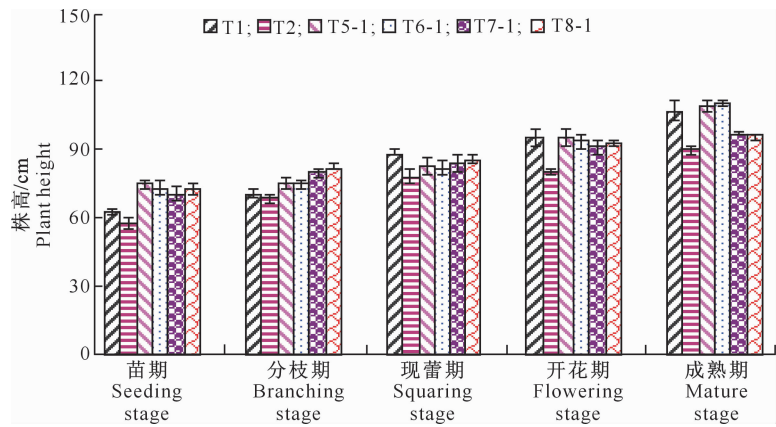


图 1 不同处理苜蓿株高的变化

Fig. 1 Changes of alfalfas height in different treatments

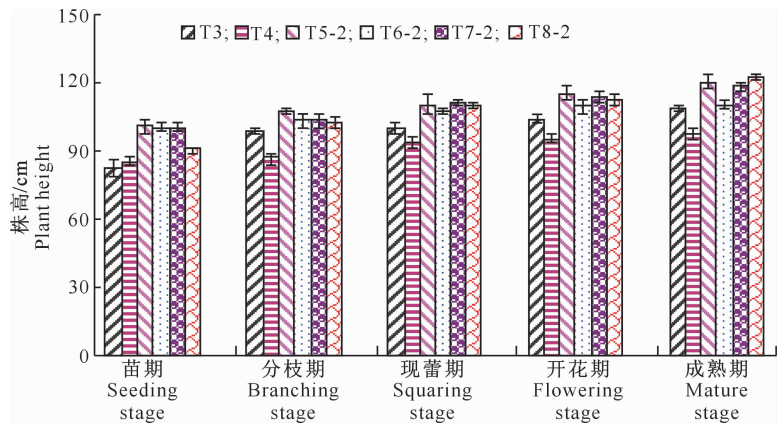


图 2 不同处理老芒麦和无芒雀麦株高的变化

Fig. 2 Changes of plant heights of *Elymus sibiricus* and *Bromus inermis*

由图 1 和图 2 可以看出,随生育期的推进,中草 3 号、草原 3 号、无芒雀麦、老芒麦株高均呈现逐渐增加的趋势,且混作处理的株高高于相应单作处理。由图 1 可知,苜蓿成熟期,T5-1、T6-1 处理株高分别比 T1 处理高 2.50% 和 2.70%,T7-1、T8-1 处理株高分别比 T2 处理高 7.96% 和 6.56%。由图 2 可知,T5-2、T7-2 处理株高分别比 T3 处理高 23.18% 和 9.07%,T6-2、T8-2 处理株高分别比 T4 处理高 2.03% 和 25.32%。由此可见,苜蓿和老芒麦、无芒雀麦混作有利于提高其株高。

2.2 不同处理牧草各器官鲜质量的动态变化

如表 1 所示,随着生育期的推进,各处理牧草的鲜质量呈逐渐增长趋势,苜蓿开花期之前鲜质量增

长速率较快,之后趋缓。苜蓿开花期,T5-1、T6-1 处理的鲜质量分别比 T1 处理高 9.68% 和 5.81%;T7-1、T8-1 处理的鲜质量分别比 T2 处理高 10.00% 和 14.29%;T5-2、T7-2 处理的鲜质量分别比 T3 处理高 12.78% 和 4.14%;T6-2、T8-2 处理的鲜质量分别比 T4 处理高 9.41% 和 7.84%。由此可见,混作处理牧草的鲜质量明显高于相应的单作处理,且混作对中草 3 号鲜质量的增加幅度小于草原 3 号,这可能是中草 3 号的耐盐性相对较强,鲜质量变化幅度较草原 3 号小。

由表 1 可以看出,对不同器官而言,苜蓿苗期,T1、T2、T3、T4、T5-1、T5-2、T6-1、T6-2、T7-1、T7-2、T8-1 和 T8-2 处理的茎鲜质量在总鲜质量中所占

比例分别为 83.07%,83.49%,82.92%,83.26%,80.69%,80.68%,81.38%,79.37%,78.71%,79.76%,80.81%和80.14%,现蕾期分别为67.43%,68.74%,57.76%,58.11%,66.65%,55.81%,66.22%,62.70%,71.42%,60.01%,71.81%和59.85%,下降幅度分别为18.83%,17.67%,30.34%,30.20%,17.40%,30.83%,18.64%,21.01%,9.25%,24.76%,11.13%和25.31%。而成熟期,T1、T2、T5-1、T6-1、T7-1、T8-1

处理的花鲜质量占总鲜质量的比例分别为1.15%,2.65%,1.59%,1.80%,0.56%和0.27%。由此可见,各处理茎鲜质量占总鲜质量的比例随生育期的推进逐渐减小,现蕾期茎鲜质量在总鲜质量中所占比例下降较苗期多,部分向叶片转移,其中苜蓿鲜质量下降的幅度小于禾本科牧草老芒麦和无芒雀麦,混作处理下降的幅度小于相应的单作处理,草原3号下降的幅度小于中草3号。

表 1 不同处理牧草各器官鲜质量

Table 1 Fresh weights of different forage organs		kg/m ²				
器官 Organ	处理 Treatment	苗期 Seeding stage	分枝期 Branching stage	现蕾期 Squaring stage	开花期 Flowering stage	成熟期 Mature stage
叶 Leaf	T1	0.30 de	0.57 bcd	0.86 cd	1.25 abc	1.26 ab
	T2	0.27 ef	0.53 cde	0.78 d	0.98 d	1.18 cd
	T3	0.26 f	0.60 bc	1.03 b	1.22 abc	1.23 bc
	T4	0.25 f	0.64 b	1.05 b	1.08 bcd	1.18 cd
	T5-1	0.37 a	0.73 a	0.99 b	1.31 a	1.31 a
	T5-2	0.31 cd	0.63 b	1.22 a	1.27 abc	1.30 ab
	T6-1	0.30 ab	0.73 a	0.99 b	1.24 abc	1.28 ab
	T6-2	0.33 bcd	0.46 e	0.94 bc	1.16 abcd	1.28 ab
	T7-1	0.33 bcd	0.52 de	0.78 d	1.08 bcd	1.09 e
	T7-2	0.32 bcd	0.53 cde	0.98 bc	1.16 abcd	1.14 de
	T8-1	0.34 abc	0.57 bcd	0.77 d	1.05 cd	1.08 e
	T8-2	0.31 cd	0.47 e	1.04 b	1.15 abcd	1.28 ab
茎 Stem	T1	1.49 a	1.56 b	1.78 ab	1.83 e	2.18 d
	T2	1.37 c	1.46 cd	1.72 abc	1.78 f	2.14 d
	T3	1.26 de	1.28 f	1.41 c	1.44 k	1.50 g
	T4	1.25 de	1.45 cd	1.46 bc	1.48 j	1.49 g
	T5-1	1.54 a	1.69 a	1.98 a	2.06 b	2.42 bc
	T5-2	1.30 d	1.36 e	1.54 bc	1.73 g	1.75 e
	T6-1	1.53 a	1.68 a	1.94 a	2.02 c	2.40 c
	T6-2	1.27 de	1.42 d	1.58 bc	1.63 hi	1.65 f
	T7-1	1.22 e	1.29 f	1.95 a	1.98 d	2.46 b
	T7-2	1.26 de	1.31 ef	1.47 bc	1.61 h	1.72 e
	T8-1	1.43 b	1.48 c	1.96 a	2.14 a	2.59 a
	T8-2	1.25 de	1.44 cd	1.55 bc	1.60 i	1.61 f
花 Flower	T1	—	—	—	0.02 c	0.04 c
	T2	—	—	—	0.04 a	0.09 a
	T5-1	—	—	—	0.03 b	0.06 b
	T6-1	—	—	—	0.02 c	0.04 c
	T7-1	—	—	—	0.02 c	0.02 d
	T8-1	—	—	—	0.01 d	0.01 e

注:同列数据后标不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著;“—”表示无。表 2~4 同。

Note: Different small letters mean significant difference at $P<0.05$ level, “—” stands for not detected. The same for tables 2—4.

2.3 不同处理牧草各器官干质量的动态变化

由表 2 可知,各处理牧草的干质量与鲜质量变化趋势相似,随着生育期推进牧草干质量呈现递增趋势,至苜蓿开花期各处理牧草的干质量增加速度较快,之后变缓。混作处理牧草干质量大于单作处理,并且混作处理中苜蓿在各生育期的干物质积累量最大。苗期,各处理茎干质量积累较多;分枝期,

叶片干物质积累量大于茎部;现蕾期营养器官干物质质量积累较多,为生殖生长奠定了物质基础;开花期之后,苜蓿进入生殖生长期,花器官干质量增加。在苜蓿开花期,T5-1、T6-1 处理的干质量分别比 T1 处理高 9.86%和 11.27%,T7-1、T8-1 处理的干质量分别比 T2 处理高 7.46%和 8.96%,T5-2、T7-2 处理的干质量分别比 T3 处理高 14.29%和 6.35%,

T6-2、T8-2 处理的干质量分别比 T4 处理高 12.7%和 9.52%。由此可见,混作明显提高了各处理牧草的干质量,且 T5-2 较 T3 处理干质量增长的幅度最大。

由表 2 可以看出,对于不同器官而言,苜蓿苗期,T1、T2、T3、T4、T5-1、T5-2、T6-1、T6-2、T7-1、T7-2、T8-1 和 T8-2 处理叶干质量占总干质量的比例分别为 21.30%,20.46%,19.98%,19.47%,26.40%,23.90%,22.50%,19.02%,24.49%,22.15%,23.32% 和 20.88%,开花期分别为 32.87%,30.32%,30.12%,28.62%,33.31%,

34.78%,35.09%,35.22%,32.24%,34.33%,30.46%和 33.33%,增长幅度分别为 54.33%,48.17%,50.81%,47.03%,26.14%,45.49%,55.95%,85.17%,31.67%,55.04%,30.62%和 59.64%。由此可见,叶干质量占总干质量的比例随牧草生育期的推进逐渐增大,茎干质量所占比例逐渐减小,开花期后,苜蓿生殖器官花的干质量所占比例有所增大。开花期叶器官在干物质中所占比例增长较苗期快,禾本科牧草老芒麦和无芒雀麦增长的幅度大于苜蓿,中草 3 号增长的幅度大于草原 3 号。

表 2 不同处理牧草各器官干质量

Table 2 Dry weights of different forage organs							kg/m ²
器官 Organ	处理 Treatment	苗期 Seeding stage	分枝期 Branching stage	现蕾期 Squaring stage	开花期 Flowering stage	成熟期 Mature stage	
叶 Leaf	T1	0.10 bc	0.16 abc	0.22 abc	0.23 abc	0.24 bcd	
	T2	0.09 bc	0.15 abc	0.19 abc	0.20 bc	0.22 cd	
	T3	0.08 c	0.14 bc	0.18 bc	0.19 c	0.20 d	
	T4	0.09 c	0.13 c	0.17 c	0.18 c	0.20 d	
	T5-1	0.14 a	0.19 a	0.24 ab	0.26 a	0.30 a	
	T5-2	0.11 abc	0.16 abc	0.20 abc	0.25 ab	0.27 abc	
	T6-1	0.11 abc	0.18 ab	0.25 a	0.27 a	0.29 ab	
	T6-2	0.08 c	0.14 bc	0.24 ab	0.25 ab	0.26 abc	
	T7-1	0.12 ab	0.18 ab	0.22 abc	0.23 abc	0.29 ab	
	T7-2	0.10 bc	0.15 abc	0.20 abc	0.23 abc	0.25 abcd	
	T8-1	0.11 abc	0.17 abc	0.21 abc	0.22 abc	0.28 ab	
	T8-2	0.09 bc	0.14 bc	0.21 abc	0.22 abc	0.25 abcd	
茎 Stem	T1	0.37 abc	0.39 a	0.45 b	0.47 cd	0.48 abc	
	T2	0.35 abc	0.38 a	0.44 bc	0.46 de	0.47 bc	
	T3	0.32 c	0.37 a	0.43 bc	0.44 f	0.45 c	
	T4	0.33 bc	0.36 a	0.42 c	0.45 ef	0.45 c	
	T5-1	0.39 a	0.42 a	0.50 a	0.52 a	0.53 a	
	T5-2	0.35 abc	0.40 a	0.45 b	0.47 cd	0.47 bc	
	T6-1	0.38 ab	0.42 a	0.49 a	0.50 b	0.53 a	
	T6-2	0.34 abc	0.38 a	0.44 bc	0.46 de	0.46 bc	
	T7-1	0.37 abc	0.40 a	0.49 a	0.48 c	0.50 abc	
	T7-2	0.35 abc	0.38 a	0.44 a	0.44 f	0.45 c	
	T8-1	0.36 abc	0.39 a	0.48 a	0.50 b	0.51 ab	
	T8-2	0.34 abc	0.37 a	0.43 bc	0.44 f	0.45 c	
花 Flower	T1	—	—	—	0.01 a	0.01 b	
	T2	—	—	—	0.01 a	0.01 b	
	T5-1	—	—	—	0.01 a	0.02 a	
	T6-1	—	—	—	0.01 a	0.01 b	
	T7-1	—	—	—	0.01 a	0.01 b	
	T8-1	—	—	—	0.01 a	0.01 b	

2.4 不同处理牧草各器官碳氮含量的变化

由表 3 可见,各处理牧草叶、茎和花中全碳含量、全氮含量和碳氮比的差异较大。中草 3 号、草原 3 号的各器官全碳总含量大于老芒麦和无芒雀麦;不同器官中,老芒麦与无芒雀麦茎部的全碳含量大于叶片,中草 3 号与草原 3 号的各器官间差异较小;不同种植方式下,混作处理中的无芒雀麦、老芒麦的全碳含量低于相应的单作处理,T3 处理叶片、茎部

全碳含量分别较 T5-2 处理高 14.99%和 79.27%,较 T7-2 处理高 0.03%和 42.58%,T4 处理叶片、茎部全碳含量分别较 T6-2 处理高 8.32%和 56.65%,较 T8-2 处理高 13.85%和 95.50%,中草 3 号与草原 3 号的单作、混作处理差异较小。

由表 3 可见,就全氮含量而言,不同种植方式下,混作处理老芒麦与无芒雀麦的全氮含量均大于单作处理,中草 3 号、草原 3 号单作、混作处理的全

氮含量大于禾本科牧草无芒雀麦、老芒麦;不同器官中,混作处理的中草 3 号与草原 3 号的茎部中全氮含量最大,其次是花,叶片最小,而老芒麦与无芒雀麦叶片的全氮含量最大,茎部次之。T5-2 处理的叶、茎全氮含量比 T3 处理高 422.22%和392.86%,比 T7-2 处理高 9.62%和 15.97%,T6-2 处理的叶、茎全氮含量比 T4 处理高 326.10%和157.02%,比 T8-2 处理高 6.52%和 0.34%。

由表 3 可见,就碳氮比而言,不同牧草种类中,

单作处理的中草 3 号与草原 3 号的碳氮比小于老芒麦与无芒雀麦;不同器官中,单作处理的老芒麦与无芒雀麦、中草 3 号与草原 3 号茎部的碳氮比均小于叶片;不同种植方式下,混作处理的无芒雀麦与老芒麦的碳氮比均低于相应单作处理,中草 3 号与草原 3 号的碳氮比均略低于相应单作处理。T5-1 处理叶片的碳氮比分别较 T1、T6-1 处理高 31.46%和 59.54%,T8-1 处理叶片的碳氮比分别较 T2、T6-1 处理高 71.99%和 66.71%。

表 3 不同处理牧草各器官的全碳、全氮含量和碳氮比

Table 3 Contents of total carbon,total nitrogen and carbon-nitrogen ratios of different forage organs

处理 Treatment	全碳含量/% Total carbon			全氮含量/% Total nitrogen			碳氮比 Carbon-nitrogen ratio		
	叶 Leaf	茎 Stem	花 Flower	叶 Leaf	茎 Stem	花 Flower	叶 Leaf	茎 Stem	花 Flower
T1	63.48 a	52.60 ab	51.44 a	1.41 bc	5.08 a	4.66 ab	32.45 b	19.06 bc	11.03 a
T2	74.50 a	52.51 ab	50.27 a	2.95 abc	1.50 b	4.85 a	25.28 b	24.34 bc	39.86 a
T3	59.08 a	111.27 a	—	0.72 c	0.56 b	—	97.36 a	70.47 a	—
T4	55.57 a	98.16 ab	—	1.15 c	1.14 b	—	49.53 b	48.37 ab	—
T5-1	86.09 a	49.95 b	38.29 a	2.02 abc	3.51 ab	2.16 abc	42.66 b	14.25 bc	10.61 a
T5-2	51.38 a	62.07 ab	—	3.76 abc	2.76 ab	—	19.71 b	46.16 abc	—
T6-1	52.69 a	51.06 ab	49.96 a	2.32 abc	2.61 ab	2.48 abc	26.74 b	12.51 c	20.67 a
T6-2	51.30 a	62.66 ab	—	4.90 a	2.93 ab	—	23.12 b	24.42 bc	—
T7-1	54.11 a	53.16 ab	50.73 a	1.19 c	1.65 b	1.47 bc	26.08 b	30.20 bc	10.45 a
T7-2	59.06 a	78.04 ab	—	3.43 abc	2.38 ab	—	41.77 b	32.78 bc	—
T8-1	113.37 a	53.44 ab	49.95 a	1.15 c	2.45 ab	1.33 c	43.48 b	35.53 abc	34.26 a
T8-2	48.81 a	50.21 ab	—	4.60 ab	2.92 ab	—	15.61 b	17.23 bc	—

2.5 不同处理牧草产量的变化

由表 4 可见,第 1 次刈割时,混作处理的牧草产量均高于相应的单作处理。其中,T5-1 和 T6-1 处理的鲜草产量分别比 T1 处理高 9.05%和 6.90%,T7-1 和 T8-1 处理分别比 T2 处理高 4.85%和 7.93%,T5-2 和 T7-2 处理分别比 T3 处理高 12.64%和 4.69%,T6-2 和 T8-2 处理分别比 T4 处理高 9.55%和 8.43%。混作处理中草 3 号的鲜草增产幅度高于草原 3 号,T5-2 和 T6-2 处理的鲜草

增产幅度高于 T7-2 和 T8-2 处理。T5-1 和 T6-1 处理的干草产量分别比 T1 处理高 15.64%和 13.17%,T7-1 和 T8-1 处理分别比 T2 处理高 13.55%和 14.41%,T5-2 和 T7-2 处理分别比 T3 处理高 13.89%和 8.02%,T6-2 和 T8-2 处理分别比 T4 处理高 11.42%和 7.72%。由此可见,中草 3 号与老芒麦混作处理有效地提高了牧草的鲜草、干草产量。

表 4 不同处理的牧草产量

Table 4 Forage biomass differences among different treatments

t/hm²

处理 Treatment	第 1 次刈割 The first cutting		第 2 次刈割 The second cutting	
	鲜草产量 Fresh yield	干草产量 Hay yield	鲜草产量 Fresh yield	干草产量 Hay yield
T1	34.80 ab	7.29 bcd	19.14 bc	4.01 cde
T2	34.05 bc	7.01 cd	19.07 bc	3.93 cde
T3	27.30 e	6.48 d	15.56 e	3.69 e
T4	26.70 e	6.48 d	15.49 e	3.76 de
T5-1	37.95 a	8.43 a	22.01 a	4.89 a
T5-2	30.75 cd	7.38 bc	18.14 cd	4.35 abc
T6-1	37.20 ab	8.25 a	21.58 a	4.79 ab
T6-2	29.25 de	7.22 bcd	17.26 cde	4.26 bcd
T7-1	35.70 ab	7.96 ab	21.06 ab	4.70 ab
T7-2	28.58 de	7.00 cd	16.58 de	4.06 cde
T8-1	36.75 ab	8.02 ab	21.68 a	4.73 ab
T8-2	28.95 de	6.98 cd	16.79 de	4.05 cde

由表4还可以看出,第2次刈割时,混作处理的牧草产量高于相应的单作处理。T5-1处理的鲜草、干草产量分别比T1处理高15.00%和21.95%,T5-2处理分别比T3处理高16.59%和17.88%,T7-1处理分别比T2处理高12.73%和19.34%,T7-2处理分别比T3处理高11.44%和13.34%。T7-1处理的鲜草、干草产量分别比T2处理高10.46%和19.64%,T7-2处理分别比T3处理高6.53%和9.92%,T8-1处理分别比T2处理高13.71%和20.54%,T8-2处理分别比T4处理高8.43%和7.72%。由此可见,中草3号与老芒麦混作处理明显提高了牧草的鲜草、干草产量,且混作中草3号的鲜草、干草产量增加幅度高于草原3号。

表5 牧草各器官全氮含量、全碳含量、碳氮比与干草产量间的相关性($n=12$)

Table 5 Correlation analysis of total carbon, total nitrogen, carbon-nitrogen ratio and dry grass yield($n=12$)											
指标 Index	叶全碳 含量 Total carbon content of leaf	茎全碳 含量 Total carbon content of stem	花全碳 含量 Total carbon content of flower	叶全氮 含量 Total nitrogen content of leaf	茎全氮 含量 Total nitrogen content of stem	花全氮 含量 Total nitrogen content of flower	叶 碳氮比 Carbon- nitrogen ratio of leaf	茎 碳氮比 Carbon- nitrogen ratio of stem	花碳氮比 Carbon- nitrogen ratio of flower	第1次刈割 干草产量 Dry grass yield of the first cutting	第2次刈割 干草产量 Dry grass yield of the second cutting
叶全碳含量 Total carbon content of leaf	1										
茎全碳含量 Total carbon content of stem	-0.242	1									
花全碳含量 Total carbon content of flower	0.511	-0.624 *	1								
叶全氮含量 Total nitrogen content of leaf	-0.340	-0.328	0.458	1							
茎全氮含量 Total nitrogen content of stem	0.088	-0.635 *	0.281	0.257	1						
花全氮含量 Total nitrogen content of flower	0.312	-0.517	0.828 **	-0.263	0.383	1					
叶碳氮比 Carbon-nitrogen ratio of leaf	0.186	0.809 **	-0.220	-0.625 *	-0.495	-0.227	1				
茎碳氮比 Carbon-nitrogen ratio of stem	-0.069	0.862 **	-0.507	-0.378	-0.669 *	-0.504	0.738 **	1			
花碳氮比 Carbon-nitrogen ratio of flower	0.677 *	-0.486	0.821 **	-0.262	-0.020	0.714 **	-0.165	-0.322	1		
第1次刈割干草产量 Dry grass yield of the first cutting	0.422	-0.722 **	0.672 *	-0.108	0.416	0.307	-0.364	-0.599 *	0.414	1	
第2次刈割干草产量 Dry grass yield of the second cutting	0.384	-0.665 *	0.549	-0.046	0.317	0.125	-0.371	-0.527	0.329	0.978 **	1

注: ** 和 * 分别表示在 0.01 和 0.05 水平上差异显著。下表同。

Note: ** and * mean significant coefficient at 0.01 level and 0.05 level, respectively. The same below.

2.6.2 株高、干质量与干草产量间的相关性 牧草株高、干质量与干草产量间的相关性分析结果见表6。由表6可知,叶干质量与茎干质量、第1次刈割干草产量、第2次刈割干草产量均呈极显著正相关($P<0.01$);茎干质量与花干质量、第1次刈割干草产量、第2次刈割干草产量均呈极显著正相关($P<0.01$);

花干质量与第 1 次刈割干草产量呈极显著正相关 ($P<0.01$),与第 2 次刈割干草产量呈显著正相关 ($P<0.05$);2 次刈割产量呈极显著正相关 ($P<$

0.01)。因此,叶片干质量、茎干质量、花干质量对 2 次刈割产量有积极影响,2 次刈割产量的关系密切。

表 6 牧草株高、干质量与干草产量间的相关性($n=12$)

Table 6 Correlation analysis of height,dry weight and dry grass yield ($n=12$)

指标 Index	株高 Plant height	叶干质量 Dry weight of leaf	茎干质量 Dry weight of stem	花干质量 Dry weight of flower	第 1 次刈割 干草产量 Dry grass yield of the first cutting	第 2 次刈割 干草产量 Dry grass yield of the second cutting
株高 Plant height	1					
叶干质量 Dry weight of leaf	0.190	1				
茎干质量 Dry weight of stem	-0.215	0.798**	1			
花干质量 Dry weight of flower	-0.395	0.568	0.861**	1		
第 1 次刈割干草产量 Dry grass yield of the first cutting	-0.054	0.938**	0.955**	0.785**	1	
第 2 次刈割干草产量 Dry grass yield of the second cutting	-0.013	0.963**	0.904**	0.670*	0.978**	1

3 结论与讨论

由于牧草混作能够有效地利用空间及土壤肥力与水分,比单作牧草具有产量高和给土培肥的优越性^[7]。本研究结果表明,混作苜蓿处理的干、鲜质量和产量均高于相应的单作处理,中草 3 号与老芒麦混作处理的鲜草、干草质量和产量均明显高于其他混作处理。

在混作处理中,株高大小表现为中草 3 号与老芒麦混作处理>中草 3 号与无芒雀麦混作处理>草原 3 号与无芒雀麦混作处理>草原 3 号与老芒麦混作处理,且高于相应的单作处理,这可能是中草 3 号与禾本科混作对光资源的利用更加充分,该结论与王丹等^[20]的研究结果有相似之处,但也存在不同:王丹等^[20]研究认为,建植第 3 年各混作牧草处理均表现为苜蓿株高显著高于单播,而冰草株高显著低于单播,得出不同结论可能是由于本研究混作处理的禾本科牧草为老芒麦和无芒雀麦,与冰草生长特性不同;而与南红梅等^[21]的研究结论基本一致。

混作苜蓿平衡地上、地下空间及营养等方面的关系,提高各处理牧草对土壤肥力和空间光能的利用率,但不同混播组合增产的效果不同^[7]。Weigelt 等^[22]研究认为,播种 3 年的人工草场混作草地具有较单作草地产量高而且稳定的特点。本研究结果表明,混作苜蓿鲜、干质量和生物产量高于单作苜蓿,并在成熟期达到最高。对苜蓿而言,茎部是输导和机械组织,也是苜蓿产量形成的主要器官,干物质的分配比率一定程度上反映作物在盐胁迫下的生存对

策^[23]。本研究结果表明,随着生育期的推进,牧草各器官的鲜质量发生转移,前期以茎部鲜物质积累为主,中期以茎、叶积累为主,开花期以后逐渐向花部分配,成熟期鲜物质积累量达最大,这与王燕等^[23]的研究结论苜蓿在返青后进入营养生长期,干物质在各器官中的分配比率大小顺序为茎>叶>根,随着盐渍化程度加深,干物质向茎部的分配比率逐渐减少,而向根部和叶片分配增大相似。这可能是由于牧草混作模式能够更好地适应盐胁迫,促使鲜、干物质向营养、生殖生长更需要的器官分配。老芒麦与无芒雀麦茎部和叶片中的全碳含量分别较中草 3 号和草原 3 号高,全氮含量低于二者;混作处理提高了老芒麦与无芒雀麦的全氮含量。本研究认为在混作处理中苜蓿产量较高,这与孙建华等^[24]研究结果一致,中草 3 号与老芒麦混作处理产量较高,鲜草、干草质量高于其他处理,这与张学洲等^[14]的研究结论相似。2 次刈割中,中草 3 号与老芒麦混作处理的中草 3 号鲜草产量分别比中草 3 号单作处理、与无芒雀麦混作处理的中草 3 号高 9.05%,2.02%和 15.00%,21.95%,干草产量分别高 14.99%,1.99%和 1.99%,2.09%。

[参考文献]

[1] 高占武. 紫花苜蓿对复合盐碱胁迫的适应性响应 [D]. 长春: 东北师范大学, 2006.
Gao Z W. Adaptive responses of *Medicago sativa* to the stress of mixed salt-alkali [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2006.

[2] 褚冰倩, 乔文峰. 土壤盐碱化成因及改良措施 [J]. 现代农业科

- 技,2011(14):309-311.
- Zhu B Q,Qiao W F. Causes and improvement measures of soil salinity [J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2011(14):309-311.
- [3] 郑普山,郝保平,冯悦晨,等. 紫花苜蓿对盐碱地的改良效果 [J]. 山西农业科学,2012,40(11):1204-1206.
- Zheng P S,Hao B P,Feng Y C,et al. Preliminary study on the ameliorating effect of alfalfa to saline-alkali land [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences,2012,40(11):1204-1206.
- [4] 云锦凤,孙启忠. 抓住机遇开创我国苜蓿产业化新局面 [C]. [出版地不祥]:中国草原学会和中国畜牧业协会,2003:42-61.
- Yun J F,Sun Q Z. Seized the opportunity to create a new situation of alfalfa industrialization in our country [C]. [S. l.]:Chinese Grassland Society and China Animal Agriculture Association,2003:42-61.
- [5] Nieves G,Marouane B,Gorka E,et al. Increased photosynthetic acclimation in alfalfa associated with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and cultivated in greenhouse under elevated CO₂ [J]. Journal of Plant Physiology,2014,171(18):1774-1781.
- [6] Marouane B,Gorka E,Nieves G. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and atmospheric CO₂ concentration on the biomass production and partitioning in the forage legume alfalfa [J]. Symbiosis,2012,58(1):171-181.
- [7] Alvaro S S,Gorka E,Aranjuelo L,et al. Photosynthetic down-regulation under elevated CO₂ exposure can be prevented by nitrogen supply in nodulated alfalfa [J]. Journal of Plant Physiology,2010,167(18):1558-1565.
- [8] Alvaro S S. Photosynthetic and molecular markers of CO₂-mediated photosynthetic downregulation in nodulated alfalfa [J]. Journal of Integrative Plant Biology,2013,55(8):721-734.
- [9] Gorka E,Alvaro S S,Ricardo A,et al. Photosynthetic down-regulation in N₂-fixing alfalfa under elevated CO₂ alters rubisco content and decreases nodule metabolism via nitrogenase and tricarboxylic acid cycle [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2014,36(10):2607-2617.
- [10] 王成章,田玮,杨雨鑫,等. 国内外10种紫花苜蓿引种试验研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2004,32(3):28-32.
- Wang C Z,Tian W,Yang Y X,et al. Introducing research on ten alfalfa varieties home and abroad [J]. Journal of Northwest A&F University(Natural Science Edition),2004,32(3):28-32.
- [11] 杨建军. 苜蓿经济性状与水分生态环境关系研究 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2004.
- Yang J J. Study on the relationship between alfalfa economic property and water ecological environment [D]. Yangling, Shaanxi:Northwest A&F University,2004.
- [12] 慈恩,高明. 环境因子对豆科共生固氮影响的研究进展 [J]. 西北植物学报,2005,25(6):1269-1274.
- Ci E,Gao M. Research advances in the effects of environmental factors on the symbiotic nitrogen of fixation of legumes [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2005,25(6):1269-1274.
- [13] 包成兰. 多年生牧草混播试验初报 [J]. 青海畜牧兽医杂志,2003,33(2):18.
- Bao C L. The primary experiment on mixed sowing experiment of perennial grasses [J]. Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences,2003,33(2):18.
- [14] 张学洲,李学森,兰吉勇. 豆科与禾本科牧草混作组合筛选试验研究 [J]. 草食家畜,2012(2):41-45.
- Zhang X Z,Li X S,Lan J Y. The screening tests of legume and grass mixed sowing combination [J]. Grass-Feeding Livestock,2012(2):41-45.
- [15] 万里强,李向林,何峰. 扁穗牛鞭草与紫花苜蓿混作草地生物量和种间竞争的动态研究 [J]. 西南农业学报,2011,24(4):281-289.
- Wan L Q,Li X L,He F. The dynamical on biomass and interspecific competition in mixed pasture of *Hemarthria compressa* and *Medicago sativa* [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences,2011,24(4):281-289.
- [16] 吴姝菊. 紫花苜蓿与无芒雀麦、扁穗冰草混作效果研究 [J]. 中国草地学报,2010,32(2):15-18.
- Wu S J. Effect of mixed seeding alfalfa with smooth brome-grass and crested wheat grass [J]. Chinese Journal of Grassland,2010,32(2):15-18.
- [17] 王建光. 农牧交错区苜蓿-禾草混作模式研究 [D]. 北京:中国农业科学院,2012.
- Wang J G. Study on alfalfa-grass mixed model in farming-pastoral zone [D]. Beijing:The Chinese Academy of Agricultural Sciences,2012.
- [18] 郭孝. 无芒雀麦与紫花苜蓿混作草地生长动态的研究 [J]. 家畜生态,2004,25(2):29-31.
- Guo X. Studies on growth dynamics of mixed grassland of brome-grass and alfalfa [J]. Ecology of Domestic Animal, 2004,25(2):29-31.
- [19] 刘美玲,宝音陶格涛. 老芒麦与草原2号苜蓿混播试验 [J]. 中国草地,2004,26(1):22-28.
- Liu M L,Bao Y T G T. An experiment on mix-sowing of *Elymus sibiricus* and *Medicago varia* [J]. Chinese Journal of Grassland,2004,26(1):22-28.
- [20] 王丹,王俊杰,李凌浩,等. 旱作条件下苜蓿与冰草不同混作方式的产草量及种间竞争关系 [J]. 中国草地学报,2014,36(5):27-31.
- Wang D,Wang J J,Li L H,et al. Forage yield and interspecific competition of mixed sowing of alfalfa and wheatgrass under dry farming [J]. Chinese Journal of Grassland,2014,36(5):27-31.
- [21] 南红梅,王俊鹏,闫建波. 8个引进苜蓿品种的生长特性比较研究 [J]. 西北植物学报,2004,24(12):2261-2265.
- Nan H M,Wang J P,Yan J B. Comparative study on the growth characteristics of 8 foreign alfalfa cultivars [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2004,24(12):2261-2265.

Wang J Q, Wu W M, Li Z J, et al. Remote sensing modeling research of natural *Populus euphratica* chlorophyll based on hyperspectral indices [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(10): 95-99.

[12] 陈 兵, 徐 丽, 刘 政, 等. 棉花黄萎病叶片氮素含量与高光谱数据相关性分析 [J]. 新疆农业科学, 2015, 52(7): 170-175.
Chen B, Xu L, Liu Z, et al. The relationship between nitrogen contents and hyper spectra data in leaves of cotton under *Verticillium wilt* [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2015, 52(7): 170-175.

[13] 李 珺, 宋文龙. 基于光谱指数的仙客来叶片含水率检测方法研究 [J]. 北方园艺, 2014(12): 75-77.
Li J, Song W L. Study on detection method of cyclamen leaf water content based on spectral index [J]. Northern Horticulture, 2014(12): 75-77.

[14] 宫兆宁, 赵雅莉, 赵文吉, 等. 基于光谱指数的植物叶片叶绿素含量的估算模型 [J]. 生态学报, 2014, 34(20): 5736-5745.
Gong Z N, Zhao Y L, Zhao W J, et al. Estimation model for plant leaf chlorophyll content based on the spectral index content [J]. Acta Ecology Sinica, 2014, 34(20): 5736-5745.

[15] 赵佳佳, 冯美臣, 王 超, 等. 基于光谱植被指数的冬小麦叶绿素含量反演 [J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2014, 34(5): 391-396.
Zhao J J, Feng M C, Wang C, et al. Simulating the content of chlorophyll in winter wheat based on spectral vegetation index [J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Nature Science Edition), 2014, 34(5): 391-396.

[16] 张 苏, 刘良云, 黄文江. 基于植被指数的叶绿素密度遥感反演建模与适用性研究 [J]. 遥感信息, 2013, 28(3): 94-101, 111.
Zhang S, Liu L Y, Huang W J. Retrieval of canopy chlorophyll density based on hyperspectral vegetation indices [J]. Remote Sensing Information, 2013, 28(3): 94-101, 111.

[17] 雷 彤, 赵庚星, 朱西存, 等. 基于高光谱的苹果果冠层光谱特征及其果量估测 [J]. 生态学报, 2010, 30(9): 2276-2285.

Lei T, Zhao G X, Zhu X C, et al. Canopy spectral features and fruit amount estimation of apple tree at fruit stage based on hyperspectral data [J]. Acta Ecology Sinica, 2010, 30(9): 2276-2285.

[18] 张玉萍, 李桂芝, 王海光, 等. 不同氮素量与小麦条锈病条件下小麦生理及冠层光谱研究 [J]. 中国植保导刊, 2014, 34(1): 21-26.
Zhang Y P, Li G Z, Wang H G, et al. Research on wheat physiological and spectral characteristics under the conditions of different nitrogen level and wheat stripe rust [J]. China Plant Protection, 2014, 34(1): 21-26.

[19] 张文英, 王凯华. 甘蓝型油菜 SPAD 值与叶绿素含量关系分析 [J]. 中国农学通报, 2012, 28(21): 92-95.
Zhang W Y, Wang K H. The analysis of relationship between SPAD reading and chlorophyll content in *Brassica napus* L [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(21): 92-95.

[20] 丁希斌, 刘 飞, 张 初, 等. 基于高光谱成像技术的油菜叶片 SPAD 值检测 [J]. 光谱学与光谱分析, 2015, 35(2): 486-491.
Ding X B, Liu F, Zhang C, et al. Prediction of SPAD value in oilseed rape leaves using hyperspectral imaging technique [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2015, 35(2): 486-491.

[21] 张晓华, 常庆瑞, 章 曼, 等. 基于高光谱植被指数的西北玉米不同时期叶绿素含量估测 [J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(4): 75-81.
Zhang X H, Chang Q R, Zhang M, et al. Hyperspectral vegetation index monitoring of chlorophyll content of different corn growth stage in Northwest China [J]. Journal of China Agricultural University, 2015, 20(4): 75-81.

[22] 白雪娇. 冬小麦氮素营养及其冠层生物理化参量高光谱遥感监测 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
Bai X J. Monitoring nitrogen status and physicochemical parameters with hyperspectral sensing in winter wheat [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2013.

(上接第 65 页)

[22] Weigelt A, Jolleffe P. Indices of plant competition [J]. Journal of Ecology, 2003, 9(1): 707-720.

[23] 王 燕, 赵哈林, 赵学勇, 等. 干旱绿洲农田盐渍化对大麦和苜蓿干物质分配的影响 [J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(3): 61-67.
Wang Y, Zhao H L, Zhao X Y, et al. Influence of salinization on dry matter partitioning of *Medicago sativa* and *Hordeum vulgare* in arid oasis [J]. Journal of China Agricultural University, 2013, 18(3): 61-67.

[24] 孙建华, 王彦荣, 余 玲. 紫花苜蓿品种间产量性状评价 [J]. 西北植物学报, 2004, 24(10): 1837-1844.
Sun J H, Wang Y R, Yu L. Evaluation on yield and quality characteristics of alfalfa varieties [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2004, 24(10): 1837-1844.