

高寒区施肥和混播对燕麦人工草地植物器官碳氮储量分配的影响

刘文辉¹,魏小星¹,刘芳²,秦燕¹,张永超¹

(1.青藏高原优良牧草种质资源利用省级重点实验室,青海大学畜牧兽医科学院,青海 西宁 810016;2.全国畜牧总站,北京 100126)

摘要:为了解青藏高原高寒地区燕麦品种、施肥和箭筈豌豆混播比例对燕麦人工草地植物各器官生物 C、N 储量分配的影响,采用 4 个燕麦品种、4 个施肥水平(B1:不施任何肥料,CK₀;B2:尿素 75 kg·hm⁻²+磷酸二铵 150 kg·hm⁻²,IM;B3:有机肥 1 500 kg·hm⁻²,OM;B4:尿素 37.5 kg·hm⁻²+磷酸二铵 75 kg·hm⁻²+有机肥 750 kg·hm⁻²,IM+OM)和 4 个箭筈豌豆混播水平(C1:0 kg·hm⁻²;C2:45 kg·hm⁻²;C3:60 kg·hm⁻²;C4:75 kg·hm⁻²)的三因素四水平正交试验设计[L₁₆(4³)],研究施肥和混播对不同品种燕麦乳熟期器官 C、N 储量的影响,C、N 储量分配模式和地上、地下器官 C、N 储量相关关系。结果表明,品种、施肥和混播均对燕麦草地各器官和组分生物 C、N 储量分配具有显著影响。品种主要影响箭筈豌豆茎、根生物 C 储量分配,混播主要影响燕麦茎、叶、穗、根和箭筈豌豆叶生物 C 储量分配;品种主要影响燕麦茎、叶、穗、根生物 N 储量分配,而混播主要影响箭筈豌豆茎、叶、根生物 N 储量分配。燕麦人工草地建植时,燕麦各器官 C、N 储量分配在选用青燕 1 号、施尿素 37.5 kg·hm⁻²+磷酸二铵 75 kg·hm⁻²+有机肥 750 kg·hm⁻²,单播燕麦时,其燕麦茎、叶、穗和根生物 C、N 储量分配最高,其 C 储量分配分别达 40.21%、15.48%、23.02%和 9.89%,N 储量分配分别达 20.70%、20.79%、32.09%和 5.19%;箭筈豌豆各器官 C、N 储量分配在选用青海 444、不施肥情况下混播箭筈豌豆 75 kg·hm⁻²时,箭筈豌豆茎、叶和根生物 C、N 储量分配最高,其 C 储量分配分别达 11.27%、13.57%和 2.27%,N 储量分配分别达 13.03%、32.18%和 0.95%。燕麦人工草地总生物 C、N 储量分配分别为茎(44.39%)>叶(23.99%)>穗(20.38%)>根(11.24%)和叶(42.14)>茎(26.77%)>穗(25.96%)>根(5.13%)。燕麦和箭筈豌豆混播栽培草地中,燕麦茎和穗,箭筈豌豆叶是主要的 C、N 储藏器官。

关键词:高寒区;燕麦人工草地;施肥;混播;植物器官;碳储量分配;氮储量分配

中图分类号:S512.6 **文献标志码:**A

Effects of fertilization and mixed crops on carbon and nitrogen allocation of the different plant organs on oat cultivation grassland on alpine area

LIU Wen-Hui¹, WEI Xiao-Xing¹, LIU Fang², QIN Yan¹, ZHANG Yong-Chao¹

(1. Key Laboratory of Superior Forage Germplasm in the Qinghai-Tibetan Plateau, Qinghai Academy of Animal Science and Veterinary, Xining, Qinghai 810016, China; 2. National Animal Husbandry Service, Beijing, 100126)

Abstract: To understand the effect of oat variety, fertilizer, and legume mixture on the carbon (C) and nitrogen (N) stock and allocation of different plant organs on oat cultivation grassland, we carried out a experiment including four oats varieties and four levels of nutrient addition (B1: No addition CK₀; B2: urea 75 kg·hm⁻²+ diammonium phosphate 150 kg·hm⁻², IM; B3: organic fertilizer 1 500 kg·hm⁻², OM; B4: urea 75 kg·hm⁻²+ diammonium phosphate 150 kg·hm⁻²+ organic fertilizer 1 500 kg·hm⁻² IM+OM) and four legume mixture levels (C1:0 kg·hm⁻²; C2:45 kg·hm⁻²; C3:60 kg·hm⁻²; C4:75 kg·hm⁻²) to analyze the effect of different agronomy procedure and C and N allocation pattern and the relationship between the C and N stock below and above ground and the growth. As the results shown, three kinds of agronomy procedures significantly affected C and N allocation. The variety played an important role in legume plant stem and root carbon stock and allocation, mixture af-

收稿日期:2018-08-07

修回日期:2018-10-10

基金项目:青海省科技厅重点实验室发展专项(2017-ZJ-Y12);现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-34);青海省“高端创新人才计划”;农业部牧草种质资源保护项目(2130135);青海省饲草产业科技创新平台

作者简介:刘文辉(1979-),男,青海贵德人,研究员,主要从事青藏高原抗逆牧草育种方面的研究工作。E-mail:qhliuwenhui@163.com

通信作者:刘芳(1971-),女,内蒙古包头市人,高级畜牧师,主要从事草种质资源保护管理和草业产品质量工作。E-mail:liufang011@sina.com

affected the legume stem, leaf and root nitrogen allocation. Under the agronomy procedure (*Avena sativa* L. cv. Qingyan No.1 monoculture, urea $37.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and diammonium phosphate $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and organic fertilizer $750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), the carbon and nitrogen stock in the stem, leaf, spike and root of the oat were highest compared with other agronomy procedures (carbon stock, stem 40.21%, leaf 15.48%, spike 23.20% and root 9.89%; nitrogen stock, stem 20.70%, leaf 20.79%, spike 32.09% and root 5.19%). When mixture with *Avena sativa* L. cv. Qinghai No. 444, the cultivation of *Vicia sativa* L. under $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ without fertilization got a highest carbon and nitrogen stock and allocation in stem, leaf and root (carbon stock, stem 11.27%, leaf 13.57% and root 2.27%; nitrogen stock, stem 13.03%, leaf 32.18% and root 0.95%). The allocation pattern of the oat cultivation grassland was stem (44.39%) > leaf (23.99%) > spike (20.38%) > root (11.24%) for C and leaf (42.14) > stem (26.77%) > spike (25.96%) > root (5.13%) for N. In the oat and legume mixture grassland, the stem and spike of oats and the legume leaf were the main carbon and nitrogen stock organs.

Keywords: alpine area; oats artificial grassland; fertilization; mixture seeding; plant organ; carbon allocation; nitrogen allocation

植物通过调节各器官的生物量分配来响应环境条件的变化,以最大化地获取光、营养和水等受限资源。生物量分配格局的可塑性贯穿植物的整个生活史,决定着植物在不同环境中获取资源的能力^[1]。植物在整个生长发育过程中,不同功能器官对资源的利用始终存在着竞争,植物只有通过优化资源分配以适应环境变化,才能维持其生存。植物个体发育过程中,根、茎、叶和繁殖器官间协调发展是植物生长的一个生活史策略。这种协调发展不仅受到植物本身遗传特性的限制,而且各器官的能量和物质分配都直接或间接因外部环境的改变而发生变化^[2]。

燕麦作为青藏高原高寒地区广泛种植的优良牧草之一,已在青藏高原生态环境治理和草地畜牧业发展中发挥着重要的作用,目前有关燕麦栽培草地研究方面,国内外从燕麦单播^[3]、燕麦与箭筈豌豆混播的品种选择^[4]、混播组合^[5]、施肥水平^[6]、光能转化效率^[7]、生产性能^[8]以及营养组成^[6]等方面进行深入而细致的理论研究和生产实践^[7],有效促进了燕麦栽培草地初级生产力的提高,但在不同措施下燕麦人工草地各器官生物量分配方面的研究报道较少^[9],同时以往的研究多集中在单一因素(品种、肥料、密度)对确定最优化分配格局的影响,忽略了植物生长过程中各器官间生物量的分配格局对草地生态和生产方面的影响。本研究以青藏高原燕麦栽培草地建植过程中选用的4个燕麦品种为研究对象,采用不同的施肥措施和箭筈豌豆混播比例,建立燕麦与箭筈豌豆混播栽培草地,从草地生态和生产方面研究植物各器官C、N储量分配的动态变化,以了解植物生物C、N储量分配格局对其

的响应机制,为高寒地区燕麦人工草地建植和管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于青海省海北州西海镇,地理坐标为 $36^{\circ}59.36'N, 100^{\circ}52.848'E$,海拔3156 m,气候寒冷潮湿,无绝对无霜期,年均气温 $0.5^{\circ}C$,年降水量369.1 mm,且集中在7、8、9月,年蒸发量为1400 mm,全年日照时数为2980 h,无霜期为93 d左右。土壤为栗钙土,pH值8.43,全氮(N) $1.56 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全磷(P_2O_5) $1.39 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全钾(K_2O) $22.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮 $88.77 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $2.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 $168.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有机质 $32.48 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。试验区2014年日均温和降水量见图1。

1.2 试验设计

燕麦品种(A因素)、施肥配比(B因素)、燕麦与箭筈豌豆混播比例(C因素)三因素四水平正交设计 $[L_{16}(4^5)]$,共16个处理,3次重复。随机区组排列,共48个小区。小区面积为 $4 \text{ m} \times 5 \text{ m}$,小区间隔0.5 m。2014年5月14日播种,撒播,播深3~4 cm。肥料混合后在播前1次性施入。出苗后,人工除杂1次。

燕麦品种为高寒区主导品种:早熟品种青燕1号(A1)、中熟品种青海444(A2)、中晚熟品种青海甜燕麦(A3)和晚熟品种林纳(Lena)(A4)。其中,林纳为产籽型品种,其他为草籽兼用型品种;箭筈豌豆品种为西牧324。施肥配比为不施肥(B1, CK)、尿素 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ + 磷酸二铵 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ($61.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}N + 69 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}P_2O_5$, B2)、有机肥1500

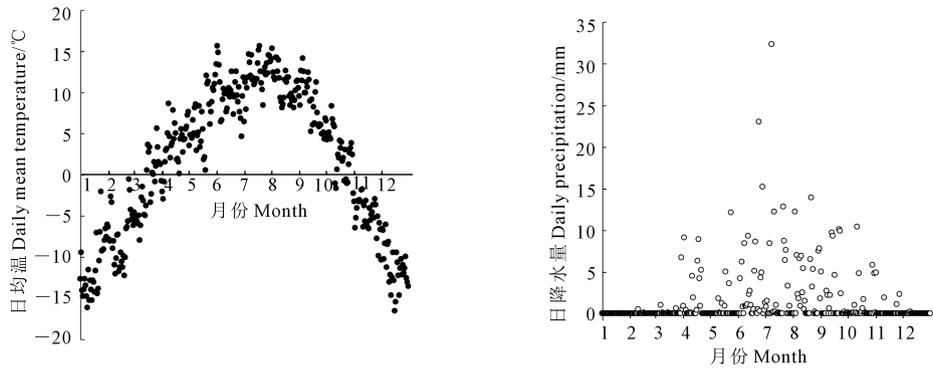


图 1 试验地日均温和降水量

Fig.1 Average daily temperature and precipitation in the experimental field

$\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (B3)、 $37.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ +磷酸二铵 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ +有机肥 $750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ($30.75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}\text{N}+34.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}\text{P}_2\text{O}_5$ +有机肥 $750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, B4)。其中, 尿素含 N 46%, 磷酸二铵含 N 18%, 含 P_2O_5 46%; 有机肥有机质含量 >40%, N+ P_2O_5 + K_2O 含量 25%, 有效活菌数含量 $0.2 \times 10^9 \text{ g}$ 。

禾豆混播配比: 即在燕麦播种量 $600 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 保苗数的前提下, 箭筈豌豆配比分别为 0 (C1)、45 (C2)、 $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (C2) 和 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (C4)。燕麦具体播种量确定: 依据燕麦千粒重、发芽率、纯净度, 计算出青燕 1 号、林纳、青海 444 和青海甜燕麦的实际播量分别为 154.3 、 150.0 、 $183.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $216.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。所有播种的燕麦和箭筈豌豆种子均为上年收获的种子。

1.3 测定指标与方法

在燕麦乳熟期各小区选取 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 样地, 连同地下根系一起挖出, 每小区 3 次重复。先将燕麦和箭筈豌豆分开, 然后带回实验室, 按根、茎、叶、穗 (燕麦) 分开, 再将植物根系冲洗干净后, 于 65°C 下烘干至恒重后, 称得燕麦和箭筈豌豆的各器官生物量, 并计算出各处理燕麦和箭筈豌豆地上、地下及地上+地下生物量。将称完干重的各植物器官样品粉碎后, 用 ELAB-TOC 总有机 C 分析仪测定植物各器官全 C 含量, 用凯氏定氮法测定各器官全 N 含量。由公式: 植物器官 C/N 储量 = 器官 C/N 含量 \times 器官生物量, 计算各器官 C、N 储量。

1.4 数据分析

采用 SPSS 11.5 中单因素方差分析 (ANOVA), 并用 Duncan 进行 0.05 水平上的多重比较。利用正交方差分析得出的 F 值, 比较燕麦品种、施肥配比、燕麦与箭筈豌豆混播比例对各器官 C、N 储量分配的影响大小。

2 结果与分析

2.1 生物 C、N 储量分配对品种、施肥和混播的响应

2.1.1 群落生物 C、N 储量分配 由表 1 可以看出, 除品种对群落地上和总根生物 N 储量分配、施肥对总茎和总叶 C 储量分配、品种和混播对总茎生物 C、N 储量分配的影响未达显著水平 ($P>0.05$) 外, 3 个因素对群落各器官 C、N 储量分配的影响均达显著 ($P<0.05$) 或极显著水平 ($P<0.01$)。其中, 地上总生物、总茎、总根 C 储量分配以品种影响最大, 总叶生物 N 储量分配以混播影响最大; 地上总生物、总叶和总根 N 储量分配以混播影响最大, 总茎 N 储量分配以施肥影响最大。

2.1.2 燕麦各器官生物 C、N 储量分配 表 1 显示, 除施肥对燕麦茎生物 N 和品种对燕麦根生物 N 储量分配的影响未达显著水平 ($P>0.05$) 外, 品种、施肥和混播对燕麦地上总生物、燕麦茎、叶、穗和根生物 C、N 储量分配的影响均达显著 ($P<0.05$) 或极显著水平 ($P<0.01$)。其中, 燕麦地上总生物和各器官生物 C、N 储量分配均以混播影响最大。

2.1.3 箭筈豌豆各器官生物 C、N 储量分配 表 1 显示, 除混播对箭筈豌豆根生物 C 储量分配和茎生物 N 储量分配的影响未达显著水平 ($P>0.05$) 外, 3 个因素对箭筈豌豆地上总生物、茎、叶和根生物 C、N 储量分配的影响均达显著 ($P<0.05$) 或极显著水平 ($P<0.01$)。其中, 箭筈豌豆地上总生物、茎、叶和根生物 C、N 储量分配均以品种影响最大 (叶生物 C 储量分配以混播影响最大)。

2.2 不同品种、施肥和混播下各器官生物 C、N 储量分配格局

2.2.1 品种 从品种因素影响下植物各器官 C 储量分配模式来看 (表 2), 不同燕麦品种地上总生物、

燕麦和箭筈豌豆地上生物 C 储量分配分别以 A1 (89.55%)、A1 (75.25%) 和 A2 (25.41%) 处理最高;总根、燕麦根和箭筈豌豆根生物 C 储量分配均以 A2 处理最高,分别为 12.33%、9.93% 和 2.40%;总茎、燕麦茎和箭筈豌豆茎生物 C 储量分配分别以 A2 (44.86%)、A1 (39.26%) 和 A2 (11.90%) 处理最高;总叶、燕麦叶和箭筈豌豆叶生物 C 储量分配分别以 A2 (26.53%)、A1 (14.19%) 和 A2 (13.51%) 最高;燕麦穗生物 C 储量分配以 A1 (21.81%) 处理最高。

从表 2 中 N 储量分配来看,不同燕麦品种地上

总生物、燕麦地上和箭筈豌豆地上生物 N 储量分配分别以 A4 (95.32%)、A1 (66.71%) 和 A2 (47.16%) 处理最高;总根、燕麦根和箭筈豌豆根生物 N 储量分配分别以 A1 (5.50%)、A1 (4.59%) 和 A2 (1.10%) 处理最高;总茎、燕麦茎和箭筈豌豆茎生物 N 储量分配分别以 A2 (27.64%)、A1 (18.77%) 和 A2 (14.38%) 处理最高;总叶、燕麦叶和箭筈豌豆叶生物 N 储量分配以 A2 (47.63%)、A1 (17.51%) 和 A2 (32.78%) 处理最高;燕麦穗生物 N 储量分配以 A1 (30.43%) 处理最高。

表 1 品种、施肥和混播对燕麦草地生物 C、N 储量分配影响的正交方差分析 (F 值)

Table 1 Orthogonal analysis of variance on the biomass carbon stock allocation (BCSAs) and biomass nitrogen stock allocation (BNSAs) under varieties, rates of fertilizations, and mixed seeding rates (F value)

项目 Items	器官 Organ	生物 C 储量分配 BCSAs			生物 N 储量分配 BNSAs		
		品种 Var.	施肥 FL	混播 ML	品种 Var.	施肥 FL	混播 ML
群落 Community	地上总生物 Total biomass	15.917 **	10.634 **	8.194 **	1.333	7.147 **	30.726 **
	总茎 Total stem	2.382	0.386	0.563	0.366	5.655 **	0.990
	总叶 Total leaf	11.261 **	0.945	88.221 **	42.457 **	6.347 **	296.365 **
	总根 Total root	15.917 **	10.634 **	8.194 **	1.333	7.147 **	30.726 **
燕麦 Oats	地上总生物 Aboveground	123.343 **	73.736 **	515.577 **	129.173 **	47.272 **	932.648 **
	茎 Stem	20.705 **	5.856 **	76.209 **	17.302 **	1.600	70.928 **
	叶 Leaf	4.183 *	19.699 **	73.696 **	11.896 **	22.584 **	237.690 **
	穗 Spike	44.812 **	14.386 **	58.027 **	24.135 **	14.179 **	117.556 **
	根 Root	12.070 **	7.242 **	46.148 **	1.388	7.592 **	51.736 **
箭筈豌豆 Common vetch	地上总生物 Aboveground	95.093 **	40.848 **	53.493 **	217.912 **	36.774 **	56.787 **
	茎 Stem	104.786 **	31.472 **	11.198 **	186.931 **	26.305 **	1.481
	叶 Leaf	19.998 **	13.570 **	39.772 **	69.945 **	14.591 **	49.080 **
	根 Root	29.293 **	26.173 **	0.818	37.336 **	10.622 **	17.914 **

注: ** 表示因素的影响达到极显著 ($P < 0.01$); * 表示因素的影响达到显著水平 ($P < 0.05$)。下同。

Note: ** and * stand for significant influence at 0.01 and 0.05 level, respectively. Var.—Varieties; FL—the rates of fertilization; ML—the mixed seeding rates. The same below.

表 2 乳熟期不同品种处理下各器官生物 C、N 储量分配模式 / %

Table 2 Patterns of biomass carbon stock allocation (BCSAs) and biomass nitrogen stock allocation (BNSAs) in the plant organs under the oat varieties at the milk stage

处理编号 Treatment	碳储量分配 BCSAs							氮储量分配 BNSAs						
	燕麦 Oats				箭筈豌豆 Common vetch			燕麦 Oats			箭筈豌豆 Common vetch			
	茎 Stem	叶 Leaf	穗 Spike	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	穗 Spike	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	根 Root
A1	39.26a	14.19a	21.81a	8.91ab	5.48b	8.82ab	1.54a	18.77a	17.51a	30.43a	4.59a	6.17b	21.63b	0.91a
A2	32.96b	13.02a	16.28b	9.93a	11.90a	13.51a	2.40a	13.26b	14.85b	19.84b	3.78a	14.38a	32.78a	1.10a
A3	33.73b	12.59a	19.33a	9.66ab	10.77a	12.21a	1.71a	14.78ab	13.55b	23.27ab	4.22a	12.81a	30.72a	0.65a
A4	34.69b	13.62a	21.71a	8.70b	8.68ab	10.63ab	1.96a	16.48ab	15.77ab	25.01ab	3.94a	10.44ab	27.62a	0.74a

注:不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。A1—青燕 1 号, A2—青海 444, A3—青海甜燕麦, A4—林纳。

Note: The different letters shows significant different between treatments at 0.05 level. The same below. A1—Qinyan No.1, A2—Qinhai 444, A3—Qinhaitianyanmai, A4—Lena.

2.2.2 施肥 从施肥因素影响下的 C 储量分配结果来看(表 3),不同施肥处理下,地上总生物、燕麦地上生物和箭筈豌豆地上生物 C 储量分配分别以

B4 (89.71%)、B4 (72.91%) 和 B1 (25.98%) 处理最高;总根、燕麦根和箭筈豌豆根生物 C 储量分配均以 B1 处理最高,分别为 11.88%、9.80% 和 2.47%;总

茎、燕麦茎和箭筈豌豆茎生物 C 储量分配分别以 B1 (44.35%)、B4 (36.62%) 和 B1 (12.01%) 处理最高;总叶、燕麦叶和箭筈豌豆叶生物 C 储量分配分别以 B1 (25.83%)、B4 (14.59%) 和 B1 (13.97%) 处理最高;燕麦穗生物 C 储量分配以 B4 (21.70%) 处理最高。

N 储量分配结果显示(表 3),不同施肥处理下,乳熟期地上总生物、燕麦地上和箭筈豌豆地上生物 N 储量分配分别以 B2 (95.35%)、B4 (60.99%) 和 B1 (46.94%) 最高;总根、燕麦根和箭筈豌豆根生物 N 储量分配分别以 B3 (5.68%)、B3 (4.75%) 和 B1 (0.94%) 处理最高;总茎、燕麦茎和箭筈豌豆茎生物 N 储量分配分别以 B3 (28.02%)、B4 (17.22%) 和 B1 (13.40%) 处理最高;总叶、燕麦叶和箭筈豌豆叶生物 N 储量分配以 B1 (46.44%)、B4 (17.66%) 和 B1

(33.54%) 处理最高;燕麦穗生物 N 储量分配以 B2 (27.14%) 处理最高。

2.2.3 混播 从混播措施影响下 C 处理分配结果来看(表 4),不同混播处理下,地上总生物、燕麦地上生物和箭筈豌豆地上生物 C 储量分配分别以 C4 (89.31%)、C1 (87.96%) 和 C4 (23.12%) 处理最高;总根、燕麦根和箭筈豌豆根生物 C 储量分配分别以 C1 (12.04%)、C1 (12.04%) 和 C4 (1.93%) 处理最高;总茎、燕麦茎和箭筈豌豆茎生物 C 储量分配分别以 C4 (44.17%)、C1 (44.75%) 和 C4 (9.89%) 处理最高;总叶、燕麦叶和箭筈豌豆叶生物 C 储量分配分别以 C4 (26.45%)、C1 (7.65%) 和 C4 (13.24%) 处理最高;燕麦穗生物 C 储量分配以 C1 (25.56%) 处理下最高。

表 3 乳熟期不同施肥处理下各器官生物 C、N 储量分配模式/%

Table 3 Patterns of biomass carbon stock allocation (BCSAs) and biomass nitrogen stock allocation (BNSAs) in the plant organs under the rates of fertilization at the milk stage

处理编号 Treatment	碳储量分配 BCSAs							氮储量分配 BNSAs						
	燕麦 Oats				箭筈豌豆 Common vetch			燕麦 Oats				箭筈豌豆 Common vetch		
	茎 Stem	叶 Leaf	穗 Spike	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	穗 Spike	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	根 Root
B1	32.34b	11.86b	17.94b	9.41a	12.01a	13.97a	2.47a	14.40a	12.90a	21.09a	3.73a	13.40a	33.54a	0.94a
B2	35.93a	13.86a	20.77a	9.13a	8.32b	10.27b	1.72b	15.32a	15.70ab	27.14a	3.92ab	9.73b	27.45b	0.73b
B3	35.53a	12.86ab	19.12a	9.80a	9.10b	11.66ab	1.93b	16.36a	14.91ab	23.74a	4.75a	11.66ab	27.65b	0.93a
B4	36.62a	14.59a	21.70a	8.73a	7.40b	9.39b	1.56b	17.22a	17.66a	26.10ab	4.04ab	9.30b	24.90b	0.78ab

注 Note: B1—CK, 不施肥 no fertilizer; B2— $61.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \text{ N} + 69 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \text{ P}_2\text{O}_5$; B3—有机肥 Organic fertilizer $1500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; B4— $30.75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \text{ N} + 34.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \text{ P}_2\text{O}_5$ + 有机肥 organic fertilizer $750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$.

表 4 乳熟期不同混播处理下各器官生物 C、N 储量分配模式/%

Table 4 Patterns of biomass carbon stock allocation (BCSAs) and biomass nitrogen stock allocation (BNSAs) in the plant organs under the mixed seeding rates at the milk stage

处理编号 Treatment	碳储量分配 BCSAs							氮储量分配 BNSAs						
	燕麦 Oats				箭筈豌豆 Common vetch			燕麦 Oats				箭筈豌豆 Common vetch		
	茎 Stem	叶 Leaf	穗 Spike	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	穗 Spike	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	根 Root
C1	44.75a	17.65a	25.56a	12.04a	/	/	/	26.11a	27.21a	39.75a	6.93a	/	/	/
C2	35.84b	13.69b	21.49b	9.63b	8.51b	9.04b	1.80b	17.17b	14.68b	27.74b	4.83b	10.61b	24.03b	0.95a
C3	36.07b	12.94b	20.10bc	9.24b	8.68b	11.04a	1.92a	16.15b	14.96b	24.31bc	3.24c	10.74b	29.84a	0.77b
C4	34.28b	13.22b	18.69c	8.76b	9.89a	13.24a	1.93a	14.68b	15.60b	23.11c	4.27b	11.32a	30.22a	0.80ab

注 Note: 箭筈豌豆混播水平 legume mixture levels; C1— $0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, C2— $45 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, C3— $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, C4— $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$.

从 N 储量分配结果来看(表 4),在不同混播处理下,地上总生物、燕麦地上和箭筈豌豆地上生物 N 储量分配分别以 C3 (95.99%)、C2 (59.58%) 和 C4 (41.53%) 最高;总根、燕麦根和箭筈豌豆根生物 N 储量分配分别以 C1 (6.93%)、C2 (4.83%) 和 C2 (0.95%) 处理最高;总茎、燕麦茎和箭筈豌豆茎生物

N 储量分配分别以 C2 (27.77%)、C2 (17.17%) 和 C4 (11.32%) 处理最高;总叶、燕麦叶和箭筈豌豆叶生物 N 储量分配以 C4 (45.82%)、C4 (15.60%) 和 C4 (30.22%) 处理最高;燕麦穗生物 N 储量分配以 C1 (39.75%) 处理最高。

2.3 燕麦人工草地植物生物 C、N 储量分配格局

从表2、表3、表4植物各器官C、N储量分配格局来看,总生物C、N储量分配策略比例分别表现为茎(44.39%)>叶(23.99%)>穗(20.38%)>根(11.24%),叶(42.14%)>茎(26.77%)>穗(25.96%)>根(5.13%)。其中,燕麦各器官生物C、N储量分配比例分别为茎(36.00%)>穗(20.38%)>叶(13.67%)>根(9.49%),穗(25.96%)>茎(16.72%)>叶(16.28%)>根(4.35%)。箭筈豌豆各器官生物C、N储量分配比例分别为叶(10.32%)>茎(8.39%)>根(1.75%),叶(25.87%)>茎(10.05%)>根(0.77%)。虽然箭筈豌豆各器官中以叶生物C、N储量为主,但由于燕麦茎生物C、N储量所占比例明显高于其它器官,因此其总生物C、N储量中茎生物C、N储量高于叶生物C、N储量所占比例。

3 讨论

3.1 品种、施肥和混播对燕麦人工草地植物 C、N 储量分配的影响

目前许多学者在玉米^[10]、燕麦^[11]等作物生物量分配方面的研究中提出,品种对生物量分配具有显著影响,本研究也得出了一致的结论。青燕1号主要通过增加燕麦地上各器官生物C、N储量的分配来实现群落地上部分C、N储量的分配,林纳主要通过增加燕麦和箭筈豌豆根生物量分配来实现群落地下生物C、N储量的分配。地下N储量分配高的燕麦品种具有较高的地上N储量,但不具有较高的C储量分配。

施肥通过增加土壤养分含量来影响植物对肥料的吸收、利用和转化。施肥对提高燕麦栽培草地上生物量的分配效果高于地下^[9],有机和无机肥配施可有效提高燕麦与箭筈豌豆混播栽培草地上生物量^[12]。施肥通过增加燕麦各器官生物C、N储量的分配来增加群落地上生物C、N储量的分配。植物地上部分生物C、N储量分配的增加,减少了地下根系分配比例^[13],但在低养分下,植物把更多的C积累分配到根系以增强必要的养分补充^[14]。本研究有机无机配施处理有利于燕麦根N储量和燕麦地上各器官C、N储量的积累,而不施肥处理有利于燕麦和箭筈豌豆地下根系C的积累。但冯蕾^[15]通过施肥对水稻不同器官分配的研究发现,施肥处理并不影响水稻植株不同器官生物量的分配,这与本研究结果不一致,可能与不同作物的吸肥特性有关。

密度是影响燕麦与箭筈豌豆混播栽培草地C、

N储量分配的重要因素^[16]。本研究发现,地上、地下生物C、N储量分配均以单播燕麦最高。燕麦单播时,减少了与箭筈豌豆在光照、温度、水分等方面的竞争,地上各器官生物C、N储量分配较高,随着混播比例的增加,燕麦与箭筈豌豆竞争加剧,促进燕麦的生长,从而增加了地上生物C、N储量的分配。

3.2 燕麦人工草地植物 C、N 储量分配模式

很多研究提出^[17-19],生物量构建分配模式不仅受土壤营养、水热条件等环境因子的影响,在一定程度上也受水肥管理等栽培措施的影响。冯蕾等^[20]研究发现,水稻植株C、N储量大部分积累在植株的地上部分,籽实C储量占整个植株C储量的44%~48%,茎叶C储量占39%~45%;籽实N储量占整个植株N储量的54%~68%,茎叶N储量占22%~37%;上述结果表明水稻的地上部分,尤其籽实是水稻C、N重要的汇。本研究发现,在品种、施肥和混播影响下,乳熟期总生物C储量分配比例表现为茎(44.39%)>叶(23.99%)>穗(20.38%)>根(11.24%),总生物N储量分配比例为叶(42.14%)>茎(26.77%)>穗(25.96%)>根(5.13%)。3种措施下,C、N储量主要集中在茎和叶中。进一步分析来看,燕麦各器官C、N储量分配比例分别表现为茎>穗>叶>根,穗>茎>叶>根,而箭筈豌豆各器官C、N储量分配比例均表现叶>茎>根。这一结论与冯蕾等^[20]、尚辉^[21]的研究结果一致。燕麦和箭筈豌豆混播栽培草地中,燕麦茎和穗,箭筈豌豆叶是主要的C、N储藏器官,是C、N重要的汇。

根据Donald的理论,在发生竞争的种群中,一种植物占有更多的有限资源以其它植株的牺牲为代价,混播种群中成功的植物具有强的竞争能力^[22]。本研究发现,燕麦与箭筈豌豆在不同燕麦品种、施肥和混播下建植的混播草地,燕麦在混播群落中始终处于优势地位,这与张雪洲等^[23]的研究结果一致。Weiner和Thomas^[24]将竞争可以分为单侧竞争和双侧竞争。当光资源受限时,植物分配更多的资源给茎和叶的生长,表现为“不对称”的单侧竞争;而营养受限时,植物往往增大根的分配,表现为“对称”的双侧竞争^[25]。燕麦、箭筈豌豆和总生物量地上部分生长高于地下部分的生长,地上部分对资源的竞争始终处于主导地位,表明在整个生育期植物一直处于对光资源的竞争上,燕麦混播群落不受营养的限制,这与宋清华等^[26]、张静等^[16]、雷占兰等^[27]的研究结果一致。

3.3 品种、施肥和混播对燕麦人工草地各器官 C、N 储量分配的影响

本研究发现,燕麦品种、施肥和混播均显著影响了燕麦栽培草地各器官和组分生物 C、N 储量分配。C 储量分配方面,品种主要影响箭筈豌豆茎、根生物 C 储量分配,混播主要影响燕麦茎、叶、穗、根和箭筈豌豆叶生物 C 储量分配;N 储量分配方面,品种主要影响燕麦茎、叶、穗、根生物 N 储量分配,而混播主要影响箭筈豌豆茎、叶、根生物 N 储量分配。品种和混播是影响燕麦栽培草地各器官生物量 C、N 储量分配的主要因素,施肥主要影响各时期对箭筈豌豆部分器官生物 C、N 储量分配。

4 结 论

品种、施肥和混播均对燕麦草地各器官和组分生物 C、N 储量分配具有显著影响,3 个因素共同作用影响 C、N 储量分配。品种主要影响箭筈豌豆茎、根生物 C 储量分配,混播主要影响燕麦茎、叶、穗、根和箭筈豌豆叶生物 C 储量分配;品种主要影响燕麦茎、叶、穗、根生物 N 储量分配,而混播主要影响箭筈豌豆茎、叶、根生物 N 储量分配。燕麦人工草地建植时,燕麦各器官 C、N 储量分配在选用青燕 1 号、施尿素 $37.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ + 磷酸二铵 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ + 有机肥 $750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 单播燕麦时,其燕麦茎、叶、穗和根生物 C、N 储量分配最高;箭筈豌豆各器官 C、N 储量分配在选用青海 444、不施肥情况下混播箭筈豌豆 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,箭筈豌豆茎、叶和根生物 C、N 储量分配最高。燕麦乳熟期总生物 C、N 储量分配分别为茎>叶>穗>根和叶>茎>穗>根。燕麦和箭筈豌豆混播栽培草地中,燕麦茎和穗,箭筈豌豆叶是主要的 C、N 储藏器官。

参 考 文 献:

- [1] Poorter H, Remkes C, Lambers H. Carbon and nitrogen economy of 24 wild species differing in relative growth rate [J]. *Plant physiology*, 1990, 94(2): 621-627.
- [2] 朱强根,金爱武,王意锬,等.不同营林模式下毛竹枝叶的生物量分配:异速生长分析[J]. *植物生态学报*, 2013, 37(9): 811-819.
- [3] 田福平,时永杰,周玉雷,等.燕麦与箭筈豌豆不同混播比例对生物量的影响研究[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(20): 29-32.
- [4] 王桃.高寒牧区 36 种燕麦营养生态特性及其生产效能评价[D].兰州:兰州大学, 2010.
- [5] 马春晖,韩建国.高寒地区燕麦及其混播草地最佳刈割期的研究[J]. *塔里木农垦大学学报*, 2000, 12(3): 15-19.
- [6] 杨丽娜,赵桂琴,侯建杰.播期、肥料种类及其配比对燕麦生长及产量的影响[J]. *中国草地学报*, 2013, 35(4): 47-51, 60.
- [7] 陈功,张自和,胡自治.高寒地区一年生人工草地地上生物量动态及光能转化效率[J]. *草业学报*, 2003, 12(1): 69-73.
- [8] 崔莹.燕麦和箭筈豌豆混播对人工草地生产性能及土壤性质的影响[D].兰州:甘肃农业大学, 2014.
- [9] 赵宏魁,马真,张春辉,等.种植密度和施氮水平对燕麦生物量分配的影响[J]. *草业科学*, 2016, 33(2): 249-258.
- [10] 宋创业,郭柯,刘高焕.播期对浑善达克沙地青贮玉米产量及生物量分配的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2008, 16(4): 865-868.
- [11] 刘佳.水分状况对裸燕麦生物量分配和产量形成的影响[D].兰州:兰州大学, 2011.
- [12] 寇明科,王安碌,张生臻,等.不同施肥处理对提高高寒人工混播草地产草量的试验研究[J]. *草业科学*, 2003, 20(4): 14-15.
- [13] Coyle D R, Coleman M D, Aubrey D P. Above- and below-ground biomass accumulation, production, and distribution of sweetgum and loblolly pine grown with irrigation and fertilization[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2008, 38(6): 1335-1348.
- [14] Haynes B E, Gower S T. Belowground carbon allocation in unfertilized and fertilized red pine plantations in northern Wisconsin [J]. *Tree physiology*, 1995, 15(5): 1134-1140.
- [15] 冯蕾.施肥对水稻植株碳氮分配与积累的影响[D].西安:西安建筑科技大学, 2011.
- [16] 张静,赵成章.高寒山区混播草地燕麦和毛苕子生物量分配格局对组分密度比的响应[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(2): 266-270.
- [17] 张莉,王长庭,刘伟,等.不同建植期人工草地优势种植物根系活力、群落特征及其土壤环境的关系[J]. *草业学报*, 2012, 21(5): 185-194.
- [18] 毛伟,李玉崔,崔夺,等.沙质草地不同生活史植物的生物量分配对氮素和水分添加的响应[J]. *植物生态学报*, 2014, 38(2): 125-133.
- [19] 雷占兰,周华坤,刘泽华,等.密度氮肥交互处理下垂穗披碱草生长与生殖特性[J]. *中国草地学报*, 2014, 36(2): 12-19.
- [20] 冯蕾,童成立,石辉,等.不同氮磷钾施肥方式对水稻碳、氮累积与分配的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(10): 2615-2621.
- [21] 尚辉.化肥减量及间作对作物碳氮储量及土壤碳氮固定的影响[D].杨凌:西北农林科技大学, 2014.
- [22] 刘琳,徐炳成,李凤民,等.土壤水分对两个冬小麦品种产量和竞争能力的影响[J]. *生态学报*, 2007, 27(8): 3442-3449.
- [23] 张学洲,李学森,张丽萍,等.复种初岛燕麦+中晚六号混播效应的动态研究[J]. *草业科学*, 2010, 27(11): 101-108.
- [24] Weiner J, Thomas S C. Size variability and competition in plant monocultures [J]. *Oikos*, 1986, 47(2): 211-222.
- [25] 黎磊,周道玮,盛连喜.密度制约决定的植物生物量分配格局[J]. *生态学杂志*, 2011, 30(8): 1579-1589.
- [26] 宋清华,赵成章,史元春,等.祁连山北坡混播草地密度制约下燕麦和毛苕子比根长分布格局[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(2): 497-503.
- [27] 雷占兰,周华坤,刘泽华,等.密度氮肥交互处理下高寒地区燕麦的生长特性与生殖分配[J]. *草业科学*, 2014, 31(6): 1110-1119.