

柳枝稷与苜蓿混作生长特征及竞争作用研究

高 阳¹, 安 雨^{2,3}, 王志锋¹, 任 伟¹, 徐安凯¹

(1. 吉林省农业科学院, 吉林 长春 130124; 2. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130102;

3. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:豆科和禾本科混播草地是人工草地的主要建植方式之一,探究其间的产量表现和竞争作用,对于维持混播草地的稳定生产具有重要意义。以禾本科牧草柳枝稷和豆科牧草苜蓿为试验材料,按照不同种植密度进行混作盆栽控制试验,测定柳枝稷和苜蓿各生长特征指标的变化,以相对竞争指数(RCI)与相对总产量指数(RYT)揭示二者之间的竞争作用和混作产量表现。结果表明:不同种植密度和种植方式下柳枝稷和苜蓿株高变化不明显,即种内和种间竞争作用对株高的影响较小。柳枝稷的分蘖数和地上部分生物量随种植密度的加大持续降低,而相同种植密度下,二者在单作和混作处理下无显著差异($P>0.05$),表明上述2个指标主要受种内竞争的作用。而柳枝稷的地下部生物量和苜蓿的茎粗、根粗、地上地下部生物量等指标同时受种内和种间竞争的约束,尤其是低、高密度混作时根冠比显著下降,表明柳枝稷和苜蓿的种间竞争主要体现在地下部分。柳枝稷 RCI 值在中低混作密度下均低,而苜蓿在各混作密度下均较高,表明苜蓿生长受到柳枝稷的抑制作用。柳枝稷与苜蓿混作虽然存在种间竞争作用,但在二者之间的互补效应下该模式可获得较高的生物量($RYT>1$)。上述结果可为优化人工草地栽培制度,提高牧草产量、土地利用率及维持草地生产力,提供新思路 and 参考。

关键词:柳枝稷;苜蓿;混作;生物量;种内竞争;种间竞争

中图分类号:S 812.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)03-0061-05

柳枝稷(*Panicum virgatum* L.)属多年生禾本科牧草,源于北美,具有优良牧草特性和较强的生态适应性,在多数地区和国家均可种植^[1-2]。苜蓿(*Medicago sativa* L.)属多年生豆科牧草,具有产量高、营养丰富等特点,被广泛应用在牧草-农作物轮作系统中^[3]。柳枝稷-苜蓿混作的优势在于:二者根系分布在不同土层,充分利用水分及养分,能提高人工草地生产力^[4]。另外,豆科植物对土壤中氮素需求较少,可通过自身生物固氮作用来维持自身对氮素的需求,并为柳枝稷提供氮素营养^[5]。柳枝稷属 C₄ 植物,相比苜蓿具有较长的生长期,能提高

人工草地利用效率^[6]。

与单作相比,混作的优势在于植物可以高效利用环境资源,例如光、水分及养分^[7],但同时存在竞争作用。当植物种内竞争大于种间竞争时,2种植物易于共存。研究植物之间的种内及种间竞争作用,以及二者之间的互补效应,不仅可以揭示伴生植物之间的相互作用机制,也是评价牧草混播优劣的主要标准^[8]。关于柳枝稷竞争作用的研究包括与本土草本与非草本植物之间的相互作用^[9-10]。鉴于此,该研究基于竞争原理,按照不同种植密度进行柳枝稷单作、苜蓿单作和二者混作的盆栽控制试验,评价生长指标的差异性,筛选种植密度,探究柳枝稷-苜蓿混作模式下的竞争作用和产量表现,揭示二者之间的相互作用,为豆禾混作人工草地的管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在宁夏回族自治区固原市西北农林科技大学固原野外试验站(东经 105°10′~106°58′,北纬 35°14′~37°04′)试验棚内进行。该地区平均海拔 1 750 m,年均温度 7℃,年降雨量 350 mm,年≥10℃积温 2 573℃,无霜期 152 d。典型土壤类型包括黄绵土、普通黑垆土和

第一作者简介:高阳(1985-),女,河北容城人,博士,助理研究员,现主要从事牧草育种和栽培生态等研究工作。E-mail:gaoyang2302@126.com.

责任作者:徐安凯(1959-),男,吉林蛟河人,博士,研究员,硕士生导师,现主要从事牧草育种和种质资源等研究工作。E-mail:xuan-kai0167@163.com.

基金项目:国家牧草产业技术体系资助项目(CARS-35-02);国家“十二五”科技计划资助项目(2011BAD17B04-3);国家自然科学基金资助项目(41401102);吉林省农业科学院博士后科研经费资助项目(2060599-c5282010320)。

收稿日期:2015-09-24

淡黑垆土。

1.2 试验材料

柳枝稷品种为‘Pathfinder’,种子来源于日本宇都宫大学杂草科学中心一前宣正教授,于2007年春播种于西北农林科技大学固原野外试验站内。苜蓿为地方品种,种子选购于固原市。

1.3 试验方法

采用盆栽控制试验方法,盆栽土壤采集于固原耕地

表 1

各试验处理种植密度

Table 1

Plant density of each treatment

处理类型	种植密度 Plant density/(株·小区 ⁻¹)								
Treatment type	柳枝稷单作 Switchgrass in monoculture			柳枝稷-苜蓿混作 Switchgrass-alfalfa in mixed planting			苜蓿单作 Alfalfa in monoculture		
编号 No.	P2	P4	P6	P2M2	P4M4	P6M6	M2	M4	M6
柳枝稷 Switchgrass	2	4	6	2	4	6	0	0	0
苜蓿 Alfalfa	0	0	0	2	4	6	2	4	6

1.4 项目测定

于生长 70 d 后测量苜蓿及柳枝稷株高,记录柳枝稷单株分蘖数及苜蓿单株根瘤数。将苜蓿及柳枝稷的地上部及根系分开,根系用流水洗净,烘箱内(70℃)烘干至恒重。称量单株各部位生物量以及每处理总生物量。

竞争作用通过计算相对竞争指数(relative competition index,RCI)评价,具体计算方法如下^[11]:

$$RCI_{ab}(\%) = (Y_{aa} - Y_{ab})/Y_{aa} \times 100.$$

式中, Y_{aa} 是物种 a 在单作时每盆总生物量,而 Y_{ab} 是物种 a 与物种 b 混作时每盆总生物量,a 和 b 分别表示柳枝稷和苜蓿。当 $RCI=0$ 时,说明柳枝稷(苜蓿)的生长没有受到苜蓿(柳枝稷)的影响;当 $RCI<0$ 时,说明在混作对柳枝稷(苜蓿)的生长具有促进作用;如果 $RCI>0$,说明柳枝稷(苜蓿)的生长受到苜蓿(柳枝稷)的抑制作用。

采用相对总产量指数(relative yield total,RYT)用于精确衡量混作模式的生物有效性,由以下公式计算^[12]:

$$RYT = RY_{ab} + RY_{ba} = Y_{ab}/Y_{aa} + Y_{ba}/Y_{bb}.$$

式中, RY_{ab} 是物种 a 在与物种 b 混作时的生物量,a 和 b 分别表示柳枝稷和苜蓿。当 $RYT=1$,说明二者在有限资源及空间下表现出相同的种间竞争作用;当 $RYT>1$,说明混作模式的生物量高于单作,当 $RYT<1$,说明二者形成对抗效应,降低产量。

1.5 数据分析

采用 SPSS 18.0 软件进行数据分析,对各处理柳枝稷和苜蓿的生长指标、地上和地下部生物量进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),多重比较采用新复极差法(SSR)。

2 结果与分析

2.1 混作对柳枝稷生长和产量的影响

从表 2 可以看出,柳枝稷株高在单作时随着种植密

表层土壤,孔隙度 55%,容重 1.2 g/cm³,有机质含量 3.30 g/kg,全氮含量 0.19 g/kg、全磷含量 0.61 g/kg,全钾含量 2.01 g/kg,速效氮含量 27.72 mg/kg,有效磷含量 3.99 mg/kg,速效钾含量 83.40 mg/kg。每盆(直径 25 cm×深度 30 cm)装入 8 kg 土,挑选大小一致的柳枝稷分蘖株和苜蓿幼苗按照不同种植密度移栽到试验盆中(表 1),每处理 6 次重复。盆栽定期称重浇水,人工除草。

度增加呈降低趋势。而柳枝稷-苜蓿混作时,中等种植密度下株高最高,分别比低密度和高密度时高出 12.38%和 29.18%。但柳枝稷株高在 6 个处理间的差异未达到显著水平($P>0.05$),说明种内和种间竞争对柳枝稷株高的影响较小。在单作及混作处理下,柳枝稷的分蘖数随种植密度的加大持续降低,低密度处理的分蘖数显著高于其它 2 个种植密度($P<0.05$)。而相同种植密度下,柳枝稷分蘖数在单作和混作处理下无显著差异($P>0.05$),表明柳枝稷的分蘖数主要受种内竞争作用影响。

表 2 不同混作比例下柳枝稷生长特征

Table 2 Growth characteristics of switchgrass for different mixed ratios treatments

处理 Treatment	株高 Plant height /mm	分蘖数 Tiller number	单株生物量 Biomass per plant/g		根冠比 Root-shoot ratio	
			地上部 Aboveground			地下部 Underground
P2	66.55±1.06 a	7.50±2.12 a	2.04±0.04 a	3.01±0.22 a	1.47±0.08 a	
P4	63.95±13.48 a	4.50±1.00 b	2.30±0.19 a	2.33±0.39 b	1.01±0.11 b	
P6	54.28±10.97 a	4.83±0.98 b	1.08±0.17 b	1.66±0.16 c	1.56±0.19 a	
P2M2	63.65±11.10 a	7.50±0.71 a	2.39±0.60 a	2.68±0.85 ab	1.11±0.08 b	
P4M4	71.53±4.25 a	5.25±1.71 b	2.18±0.17 a	2.39±0.28 b	1.11±0.17 b	
P6M6	55.37±12.04 a	4.33±0.82 b	1.23±0.33 b	0.99±0.15 d	0.84±0.17 b	

注:表中数据为均值±标准差,同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Data are mean±standard deviation; different lowercase letters within the same column show significant differences among treatments ($P<0.05$), the same below.

在单作和混作处理下,柳枝稷地上部生物量随种植密度的增加显著降低,从低密度到高密度降幅达到 47.06%和 48.49%。同分蘖数一致,柳枝稷地上部生物量主要受种内竞争作用调控。柳枝稷地下部生物量的变化与地上部相似,随着种植密度的增加,地下部生物量逐渐降低。除 P2M2 和 P4M4 之间差异不显著外,相同种植模式的各密度间的差异均达到显著水平($P<0.05$)。混作时柳枝稷的地下部生物量在高密度下显著

低于单作($P<0.05$),表明此时柳枝稷地下部生物量同时受种内竞争和种间竞争的作用。从根冠比的变化可以看出,低、高密度柳枝稷与苜蓿混作降低了柳枝稷的根冠比,而中密度下根冠比无显著变化。以上结果表明,在地上部分生物量无显著差异的前提下,柳枝稷与苜蓿地下部分的竞争作用更为激烈。

2.2 混作对苜蓿生长和产量的影响

由表3可知,苜蓿中密度种植时,植株高度达到最大值,该密度下单作和混作的株高显著高于P2M2处理($P<0.05$),但相同种植密度下单作和混作之间的苜蓿株高无显著差异($P>0.05$)。苜蓿的茎粗在与柳枝稷混作情况下显著降低,低、中、高3种密度下,分别比单作降低了28.10%、17.46%和36.63%。苜蓿根粗与茎粗的

表3 不同混作比例下苜蓿生长特征

Table 3 Growth characteristics of alfalfa at different mixed ratios treatments

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	根粗 Root diameter/mm	根瘤菌数量 Rhizobium number	单株生物量 Biomass per plant/g		根冠比 Root/shoot ratio
					地上部 Aboveground	地下部 Underground	
M2	19.35±3.61 ab	1.53±0.30 ab	1.55±0.01 b	67.00±0.13 a	0.38±1.41 a	0.50±0.26 a	1.31±0.03 a
M4	24.50±2.36 a	1.26±0.16 bc	1.62±0.40 b	24.75±0.07 b	0.21±12.95 bc	0.26±0.18 b	1.24±0.04 a
M6	22.68±8.54 ab	1.72±0.35 a	2.47±0.44 a	26.83±0.06 b	0.25±6.15 b	0.32±0.16 b	1.29±0.05 a
P2M2	12.30±1.84 b	1.10±0.18 c	0.83±0.10 c	28.50±0.00 b	0.19±2.12 c	0.14±0.02 b	0.75±0.00 b
P4M4	25.05±11.34 a	1.04±0.06 c	1.22±0.30 bc	13.50±0.01 c	0.12±1.91 d	0.10±0.19 c	0.83±0.03 b
P6M6	15.68±1.03 ab	1.09±0.21 c	1.21±0.17 bc	10.67±0.01 c	0.09±2.34 d	0.07±0.07 c	0.82±0.02 b

2.3 不同混作比例下柳枝稷和苜蓿的竞争作用

由图1可知,单盆生物量在P4M4处理下最高,达到19.39 g,其次为P4和P6处理,分别为17.36 g和16.40 g。在中低种植密度下,柳枝稷与苜蓿混作的总生物量同柳枝稷单作差异较小,但高密度下略低于后者。苜蓿单作的总生物量较低,随着种植密度的增加有所升高,高密度下达到最高值3.44 g,远低于同密度下与柳枝稷混作获得的生物量14.30 g。

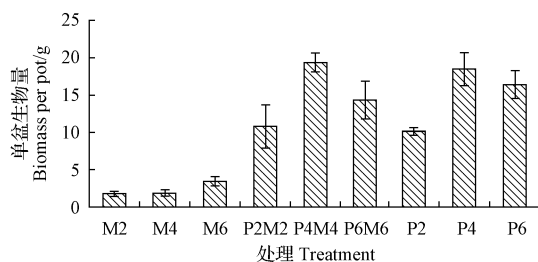


图1 不同处理下单盆生物量

Fig. 1 Biomass per pot of different treatments

表4表明,中低密度混作条件下,柳枝稷的相对竞争指数较低,受苜蓿种间竞争的影响甚微。但在高密度混作下,柳枝稷的相对竞争指数显著升高($P<0.05$)。而苜蓿的相对竞争指数较高,即使在低密度混作处理下,柳枝稷对苜蓿的影响也较明显。3个密度处理下相对产量指数RYT均大于1,表明柳枝稷与苜蓿混作,尤其是在中低密度下,可以达到提高产量的目的。

变化规律相似,在高密度单作处理下最高,达到2.47 mm,显著高于其它2个单作处理($P<0.05$)。混作可显著降低苜蓿茎粗大小。但不同混作种植密度下苜蓿茎粗和根粗无显著差别,表明二者主要受种间竞争的影响。

苜蓿根瘤数量在M2处理下最高,M4和M6处理分别降低了63.06%和59.96%。同时,P2M2的苜蓿根瘤数量也显著高于其它2个混作处理($P<0.05$)。相同种植密度下,苜蓿单作的根瘤数量高于混作处理($P<0.05$),表明苜蓿的根瘤数量同时受种内和种间竞争作用的影响。苜蓿的地上部和地下部生物与根瘤数量的标化规律相似,而根冠比的变化则表明该指标主要受种间竞争作用调控。

表4 基于苜蓿与柳枝稷总生物量的竞争指数RCI及相对总产量指数(RYT)

Table 4 RCI and RYT for total biomass of alfalfa and switchgrass in various mixed ratio treatments

处理 Treatment	相对竞争指数 Relative competition index (RCI)/%		相对总产量指数 Relative yield total (RYT)
	柳枝稷 Switchgrass	苜蓿 Alfalfa	
P2M2	0.51±23.76 b	61.83±7.02 ab	1.38±0.18 a
P4M4	-0.73±10.36 b	52.97±9.66 b	1.46±0.08 a
P6M6	19.10±9.60 a	70.58±6.40 a	1.10±0.15 a

3 讨论

豆禾混作或间作,是可持续农业发展的重要方面^[13]。与单作相比,豆禾间作可促进高产,提高土地利用效率、高效利用有限资源进而增加经济效益^[14]。然而,在间作过程中,种内及种间竞争是产量的主要限制因子。该研究结果也证实,在不同比例混作处理下,存在种间竞争及种内竞争。在高密度处理下,柳枝稷株高有降低趋势,在混作处理中变化较小,说明株高对种间竞争作用的响应不敏感。相比于株高,生物量竞争的响应较为敏感。在种内竞争下,柳枝稷地上部生物量有所降低,而对种间竞争的响应不敏感。另外,苜蓿在混作过程中也有可能缓解了柳枝稷的种内竞争,相关报道表明,柳枝稷的种内竞争作用在单作时比在与芒草混作时表现较强^[15]。另有报道指出,植物受到种

间竞争主要表现为 2 种形式:首先,某种植物与伴生植物竞争养分及空间等,进而抑制伴生植物密度及生物量积累;另一形式是对伴生种间竞争的耐受性,尽管存在种间竞争却能维持自身较高产量^[16]。

与柳枝稷表现相似,苜蓿的株高受种内和种间竞争作用影响较小,但茎粗、根粗、根瘤数量、地上部和地下部生物量等指标所受影响较大。另外,与苜蓿地上部相比,根系生物量在混作时降低幅度更大,说明苜蓿根系对种间竞争作用响应较为敏感。这一结果产生的原因,可能由于柳枝稷影响了苜蓿的根系密度或根瘤数量,而植株地上部有较为明显的空间分布,柳枝稷植株较高而苜蓿相对较低,因此这种空间分布减缓了种间竞争,因此地上部对竞争的相应较小^[17]。豆科植物可通过生物固氮方式来缓解对土壤中氮素的消耗,并且豆科作物相对其它作物来说对氮素的需求较少^[18]。因此在栽培过程中也应该优化栽培密度,削弱种内竞争及种间竞争进而达到高产的目的^[19]。

RCI 是表示植物与伴生植物之间的竞争强度的重要参数。苜蓿在与柳枝稷混作时,竞争指数较大,在高密度处理下(P6M6)达到最高,说明柳枝稷对苜蓿的生长起到了明显的抑制作用,混作密度达到一定程度时,柳枝稷与苜蓿的种间竞争增强^[10]。相反,柳枝稷的生长受到苜蓿的影响较小。RYT 值在 3 个密度处理下均大于 1,说明柳枝稷与苜蓿混作时,密度影响不大,但结合总生物量产值,P4M4 可作为优选混作方式及比例。尽管在柳枝稷-苜蓿混作模式中柳枝稷表现出较强的竞争能力,但对养分及空间利用的互补效应使得该处理下产量较高^[9]。柳枝稷属 C₄ 植物而苜蓿属 C₃ 植物,在有限资源和空间下,柳枝稷对养分的利用率较高,因此获得较高产量^[20]。‘Pathfinder’属高地品种,在干旱半干旱的黄土高原地区具有较强的生态适应性,主要体现在生物学产量较高,光合作用及水分利用效率较高^[21],因此在黄土高原地区的适应性较强可能是该混作模式下生物量较高的原因。

参考文献

- [1] MCLAUGHLIN S B, KSZOS L A. Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States[J]. Biomass Bioenergy, 2005, 28: 515-535.
- [2] CLIFTON-BROWN J C, STAMPFL P F, JONES M B. Miscanthus biomass production for energy in Europe and its potential contribution to decreasing fossil fuel carbon emissions[J]. Global Change Biology, 2004, 10: 509-518.
- [3] 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.
- [4] HERRIDGE D F, MARCELLOS H, FELTON W L, et al. Chickpea increases soil-N fertility in cereal systems through nitrate sparing and N₂ fixation[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1995, 27: 545-551.
- [5] NIU S L, ZHANG Y F, YUAN Z Y, et al. Effects of interspecific competition and nitrogen seasonality on the photosynthetic characteristics of C₃ and C₄ grasses[J]. Environmental and Experimental Botany, 2006, 57: 270-277.
- [6] SEMERE T, FROUD-WILLIAMS R J. The effect of pea cultivar and water stress on root and shoot competition between vegetative plants of maize and pea[J]. Journal of Applied Ecology, 2001, 38: 137-145.
- [7] 谢开云, 赵云, 李向林, 等. 豆-禾混播草地种间关系研究进展[J]. 草业学报, 2013, 22(3): 284-296.
- [8] XU B C, XU W Z, HUANG J, et al. Biomass production and relative competitiveness of a C₃ legume and a C₄ grass co-dominant in the semiarid Loess Plateau of China[J]. Plant and Soil, 2011, 347: 25-39.
- [9] SANDERSON M A, REED R L. Switchgrass growth and development: water, nitrogen, and plant density effects[J]. Journal of Range Management, 2000, 53: 221-227.
- [10] MUIR J P, SANDERSON M A, OCUMPAUGH W R, et al. Biomass production of ‘Alamo’ switchgrass in response to nitrogen, phosphorous, and row spacing[J]. Agronomy Journal, 2001, 93: 896-901.
- [11] JOLLIFFE P A, MINJAS A N, RONECKLES V C. A reinterpretation of yield relationships in replacement series experiments[J]. Journal of Applied Ecology, 1984, 21: 227-243.
- [12] KEDDY P A, FRASER L H, WISHEU I. A comparative approach to examine competitive response of 48 wetland plant species[J]. Journal of Vegetation Science, 1998, 9: 777-786.
- [13] BIABANI A. Agronomic performance of intercropped wheat cultivars[J]. Asian Journal of Plant Science, 2009, 8: 78-81.
- [14] HARTVIGSEN G. Competition between co-dominant plants of the Serengeti plains depends on competitor identity, water, and urine[J]. Plant Ecology, 2000, 148: 31-41.
- [15] MEYER M H, PAUL J, ANDERSON N O. Competitive ability of invasive *Miscanthus* biotypes with aggressive switchgrass[J]. Biological Invasions, 2010, 12: 3809-3816.
- [16] DARWINKEL A. Ear development and formation of grain yield in winter wheat[J]. Netherlands Journal of Agricultural Science, 1980, 28: 156-163.
- [17] BUSSAN A J, BURNSIDE O C, ORF J H, et al. Field evaluation of soybean (*Glycine max*) genotype for weed competitiveness[J]. Weed Science, 1997, 45: 31-37.
- [18] LITHOURGIDIS A S, VLACHOSTERGOS D N, DORDAS C A, et al. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems[J]. European Journal of Agronomy, 2011, 34: 287-294.
- [19] CHALK P M, SMITH C J, HAMILTON S D, et al. Characterization of the N benefit of a grain legume (*Lupinus angustifolius* L.) to a cereal (*Hordeum vulgare* L.) by an *in situ* 15N isotope dilution technique[J]. Biology and Fertility of Soils, 1993, 15: 39-44.
- [20] van der WAAL C, de KROON H, de BOER W F, et al. Water and nutrients alter herbaceous competitive effects on tree seedlings in a semi-arid savanna [J]. Journal of Ecology, 2009, 97: 430-439.
- [21] AN Y, MA Y Q, SHUI J F. Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) plants and switchgrass residue reduce the biomass and density of associated weeds[J]. Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science, 2013, 63: 107-113.

Growth Characteristics and Competitive Ability of Switchgrass and Alfalfa in Mixed Planting

GAO Yang¹, AN Yu^{2,3}, WANG Zhifeng¹, REN Wei¹, XU Ankai¹

(1. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun, Jilin 130124; 2. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130102; 3. College of Resource and Environment, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Legumes and grass mixed planting is one of the main patterns of pasture. To understand the yield performance and competition of mixed pasture is significant for maintaining its stable productivity. Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) were mixed planting at different densities in this pot experiment. Growth indexes of switchgrass and alfalfa were measured. Relative competition indices (RCI) and relative yield totals (RYT) were calculated to assess the effects of competition and production when the two species mixed planting. The results showed that the height of switchgrass and alfalfa had insignificant differences among planting density and forms which indicated slight effect from intra- and interspecific competition. The tiller number and aboveground biomass of switchgrass were decreasing with increase of planting density, but had insignificant difference between monoculture and mixed planting treatment under the same planting density ($P > 0.05$), showing that the above two indicators mainly affected by intraspecific competition. The belowground biomass of switchgrass, as well as stem diameter, root diameter, above- and belowground biomass of alfalfa were bounded by intraspecific and interspecific competition. Especially the root-shoot ratio of switchgrass and alfalfa, which dramatically decreased under low and high mixed planting density, indicated that the interspecific competition mainly impacted underground part of switchgrass and alfalfa. The RCI values of switchgrass were relatively small under low and medium mixed planting densities, while the RCI values of alfalfa were high under each density, suggesting that the growth of alfalfa was suppressed by switchgrass. Although there was interspecific competition between the two species in their mixtures, there was some degree of resource complementarity (e. g. $RYT > 1$). In conclusion, the results observed in the study should provide a new insight in optimizing the cultivation of artificial grasslands and facilitate prediction of biomass production.

Keywords: switchgrass; alfalfa; mixed planting; biomass; interspecific competition; intraspecific competition

黑麦草主要价值

知识窗

饲料 黑麦草生长快、分蘖多、能耐牧,是优质的放牧用牧草,也是禾本科牧草中可消化物质产量最高的牧草之一。常以单播或与多种牧草作物如紫云英、白三叶、红三叶、苕子等混播。牛、羊、马尤喜欢其混播草地,不仅增膘长肉快,产奶多,还能节省精料。牛、马、羊一般在播后2个月即可轻牧一次,以后每隔1个月可放牧一次。放牧时应分区进行,严防重牧。每次放牧的采食量,以控制在鲜草总量的60%~70%为宜。每次放牧后要追肥和灌水一次。黑麦草营养价值高,富含蛋白质、矿物质和维生素,其中干草粗蛋白含量高达25%以上,且叶多质嫩,适口性好,可直接喂养牛、羊、马、兔、鹿、猪、鹅、鸵鸟、鱼等。牛、马、羊、鹿饲用尤以孕穗期至抽穗期刈割为佳,可采取直接投喂或切段饲喂;用以饲喂猪、兔、家禽和鱼,则在拔节至孕穗期间刈割为佳,以切碎或打浆拌料喂给。青刈舍饲应现刈现喂,不要刈割太多,以免浪费。

商用 黑麦草为高尔夫球道常用草,在温带和寒带地区则用针叶树等,常绿树种造景,草坪草以剪股颖、紫羊茅、黑麦草、早熟禾等草种。我国华东、华中属于温暖潮湿带,具有夏季高温冬季寒冷的特点,该地区球场球道和发球台大多选用暖季型草坪草,部分球场果岭也使用了暖季型草坪草。高尔夫球场草坪交播分为果岭交播和球道、发球台交播2种。果岭多选用粗茎早熟禾(Rough Bluegrass),粗茎早熟禾具有出芽快、质地细腻和耐低修剪的特性,常用品种有过渡性好的“萨伯2号”(Sabre II)等;球道、发球台选用多年生黑麦草(Perennial Ryegrass)交播较合适,常用有“夜影”(Evening Shade)、“补播王2号”(Overseeder II)等品种。有一点需要提醒的是切勿选用一年生黑麦草,一年生黑麦草质地粗大,不耐低修剪,远不能满足球场品质的需要。