

# 不同间作方式对小黑麦+箭筈豌豆草地种间竞争格局和生产性能的影响

陈雪<sup>1</sup>, 黎松松<sup>1</sup>, 王宁欣<sup>1</sup>, 张晶<sup>1</sup>, 郑伟<sup>1,2\*</sup>, 祁军<sup>3</sup>, 窦梓镜<sup>1</sup>

(1. 新疆农业大学草业学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆维吾尔自治区草地资源与生态重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830052; 3. 新疆生产建设兵团第四师农科所, 新疆 可克达拉 836600)

**摘要:**【目的】探寻通过降低种间竞争作用强度达到提升禾豆间作草地生产性能的途径。【方法】以不同禾豆间作比例小黑麦(*Triticale* sp.)+箭筈豌豆(*Vicia sativa*)草地为研究对象,于2020年在新疆昭苏盆地设置4种不同的间作方式(禾豆比分别为1行:1行;2行:1行;3行:1行;4行:1行)的单因素田间试验,分析盛花期和成熟期2个时期禾豆间作草地种间竞争格局与生产性能的内在联系。【结果】(1)盛花期和成熟期禾豆比4行:1行具有较高的牧草产量,其牧草氮产量显著高于单作和其他禾豆比( $P < 0.05$ ),具有较好的生产性能;各禾豆比的土地当量比均大于1,均表现出间作优势。(2)盛花期和成熟期小黑麦的竞争率、侵占率和拥挤率随着禾豆比的增加呈现上升趋势,箭筈豌豆的竞争率、侵占率和拥挤率则呈现下降趋势;禾豆比1行:1行和2行:1行箭筈豌豆竞争力高于小黑麦,而其他禾豆比则是小黑麦占据优势。(3)以相对产量,盛花期时小黑麦和箭筈豌豆均受益,成熟期则是小黑麦占据优势;以相对氮产量,2个时期禾豆牧草均受益。盛花期间种间竞争格局对生产性能影响较小,但成熟期间种间竞争格局强烈影响着生产性能。【结论】小黑麦+箭筈豌豆间作草地具有间作优势,在盛花期禾豆比4行:1行时利用具有较高的生产性能,可一定程度上避免种间竞争的负面影响。

**关键词:** 禾豆间作; 相对产量; 相对氮产量; 种间竞争格局; 生产性能

**中图分类号:** S512.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2023)05-0005-10

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyyep.2023.05.002



禾豆牧草间混作、农作物与豆科牧草的轮作、间套作,对改善土壤质量<sup>[1]</sup>,提高农作物产量和品质<sup>[2]</sup>,促进农牧业的有机结合起到至关重要的作用;还能提供大量高质量的饲草产品<sup>[3]</sup>,可有效解决天然草原生产的季节不平衡,使退化天然草原得到休养生息,维

护了我国北方草原地区整体的生态环境。当2种或2种以上牧草种植在一起时,就会发生相互作用。这种作用既有种间的促进作用(promoted effects, ++, +0),也有种间的竞争作用(competitive effects, --)。种间促进作用是指当间作、混播牧草种植在一起时,一种牧草改善与之间作或混播牧草的生境并对其生长和发育产生有利的作用。种间竞争作用是指一种牧草获取资源的同时对间作或混播的其他牧草生长产生抑制作用。当种间的促进作用大于竞争作用时就表现为间混作优势,当促进作用小于竞争作用时就表现为间混作无优势或劣势<sup>[4]</sup>。从间作群落的稳定性来看,禾豆牧草间作时确定建植牧草的竞争作用,对于获得稳定的群落结构和动态,有重要的实践意义<sup>[5]</sup>。因此,通过降低种间竞争作用强度达到提升禾豆间作草地生产性能的目的,就亟需厘清间作牧草

**收稿日期:** 2022-04-05; **修回日期:** 2022-06-13

**基金项目:** 新疆维吾尔自治区高校科研计划重点项目(XJEDU2019I013);“国家绿肥产业技术体系”项目(CARS-22-Z-18);国家自然科学基金(32060402);国家自然科学基金“国家牧草现代产业技术体系”项目(CARS-34)

**作者简介:** 陈雪(1998-),女,新疆北屯人,硕士研究生。

E-mail: 1498925367@qq.com

\*通信作者。E-mail: zw065@126.com

种间竞争强度与格局。

禾豆牧草间作后生产性能与生态功能的提高是光、水分、氮、磷等土壤养分资源在种间通过竞争、补偿、促进等相互作用实现的。一般认为豆科牧草生物固氮作用、根系间空间分布层次的差异使得间混作系统获得了较为充足的氮素来源或可利用的氮素不同形态,减轻甚至消除了禾豆牧草间的氮素竞争,使得间混作系统生产性能得到提高<sup>[6-8]</sup>。另外,间作系统还能提高豆科牧草自身的固氮效率。如饭豆与玉米间作时,显著提高了饭豆的固氮能力,固氮效率从36%提高到86%<sup>[9]</sup>;朱树秀等<sup>[10-11]</sup>研究表明新疆大叶苜蓿与禾本科牧草老芒麦、冰草、无芒雀麦混作时,其固氮效率分别提高了12.63%、4.85%和15.69%。影响间混作豆科牧草固氮效率和整个间混作系统的生产性能,间混作比例(即禾豆混作播量比、禾豆牧草间作行数比或间套作带宽比等)被认为是竞争格局向稳定共存、双方获益转变的关键因素<sup>[12]</sup>。如提高混作系统中豆科牧草的比例,有利于增加氮素转移到禾草的量<sup>[13]</sup>;或者间作草地中保持一定的豆科牧草行数比也有利于氮素转移到禾草<sup>[14]</sup>。因而,合理的禾豆间混作比例不仅可以减少2类牧草间的资源竞争,还可以改善种间、种内关系,促进豆科牧草的生物固氮及混播系统对土壤养分的吸收。

合理的豆禾间混作比例也是生产性能提升的关键。张桂国等<sup>[15]</sup>在山东泰安进行的紫花苜蓿与玉米间套作研究发现,间套作系统较单作均能提高生产性能,其中以紫花苜蓿:玉米行数比为5:2时生产性能最高。张永亮等<sup>[16]</sup>在内蒙古进行的紫花苜蓿与禾草间作研究发现,紫花苜蓿:禾草行数比影响间作群体种间竞争格局,从而导致间作系统生产性能及其稳定性发生改变,以紫花苜蓿:禾草行数比为2:2时,具有较均衡的生产性能和稳定性。现有研究虽然很好地解释了禾豆牧草竞争的种间竞争效应或强度<sup>[5,17]</sup>、地上种间竞争格局<sup>[12]</sup>、生物固氮效果对种间竞争影响<sup>[18]</sup>等,对物种搭配或组合<sup>[16]</sup>、密度效应<sup>[5,12]</sup>、施肥对竞争格局的影响<sup>[19]</sup>、建植时间、混作比例<sup>[20-21]</sup>等因素的研究已经颇为深入,但对种间竞争格局或强度与生产性能提升间的关系关注较少<sup>[22]</sup>,特别是对不同禾豆间作比例下牧草产量提升与种间竞争格局或强度的关系

研究报道较少。因此,本研究以一年生禾豆牧草小黑麦(*Triticale* sp)和箭筈豌豆(*Vicia sativa*)为研究对象,将间作比例(禾豆行数比)作为禾豆牧草间作群体种间关系变化的因素,分析不同间作比例下牧草产量、牧草氮产量(营养产量)提升与种间竞争效应、格局的内在联系,明确合适的禾豆间作比例下实现小黑麦+箭筈豌豆草地种间竞争格局优化与生产性能提升的途径。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

试验在新疆维吾尔自治区伊犁哈萨克自治州昭苏县第77团农业发展中心试验场进行(E 80.90°~81.94°,N 42.89°~43.01°),海拔1 800 m。该区域属于温带大陆性半干旱气候,加上地处山区盆地,其特点是冬长夏短,春秋湿润、寒冷、多雾,盛夏多雷、多雨、多冰雹。年平均温度2.9℃,年极端最高温度33.5℃,最低温度-32℃;年均无霜期98 d;年均降水量达511.8 mm,降水空间分布特点是东部多于西部,山区多于盆地<sup>[23]</sup>。水份蒸发量大,年均均为1 261.6 mm。年平均日照总数为2 699 h。土壤为黑钙土,0~10 cm土层有机质含量大于100 g/kg,土壤全N、P和K含量分别为6.27、1.12和12.20 g/kg,土壤碱解氮、有效磷和有效钾含量分别为353.20、31.47和473.58 mg/kg<sup>[24]</sup>。

### 1.2 试验设计

本研究的供试材料为小黑麦和箭筈豌豆2种牧草。其中箭筈豌豆为新疆农业大学草业学院培育的新品系,暂定名为军农1号;小黑麦由山东农业大学李兴峰教授提供。小区试验以不同间作方式为影响因素,单因素随机区组设计,禾豆牧草(小黑麦:箭筈豌豆)间作比例为,1行:1行,2行:1行,3行:1行,4行:1行,每行播种种子数相同,箭筈豌豆和小黑麦单作作为对照,行距为25 cm,播种方式为条播。箭筈豌豆和小黑麦单作的播种量为120 kg/hm<sup>2</sup>,间作物种的每行播量与该物种单作播量相同,间作行与单作行密度相同(表1)。小区面积为5 m×4 m,每个处理均设置3次重复(N=3),随机区组排列,共计18个小区。在整个小区外设置1 m宽的保护行。2020年5月初在升温土壤解冻之后进行样地准备工作,其中包括了翻耕土

层、平整表层以及小区建植等。2020 年 5 月 5 日播种,并且在箭筈豌豆的苗期和开花期进行 2 次除草,分别在小黑麦开花盛期和种子成熟期进行牧草产量、营养产量(牧草氮产量)的测定。本次试验不添加任何肥料,不进行灌溉,小黑麦拔节期中耕松土 1 次。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 间作草地生产性能的测定 牧草产量于小黑麦开花盛期(2020 年 7 月 13 日左右,箭筈豌豆结荚期)和种子成熟期测定。在每小区随机选取 3 个 1 m×1 m 的样方,齐地面刈割,65℃下恒温烘干至衡重,分种称重,计算产量。

牧草氮产量的测定:将牧草的烘干样品带回室内,粉碎后过 40 目筛(0.425 mm),采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮,利用 ZDDN-II 型凯式定氮仪(中国)测定牧草样品的粗蛋白含量。并根据牧草产量换算成 CP 产量再折算成牧草 N 产量<sup>[25]</sup>。

表 1 豆禾间作草地的间作比例及各组分播量

Table 1 Mixed sowing ratios and sowing quantity of legume-grass mixtures

| 播种方式 | 行距/cm | 禾豆间作比例 | 间作组分播量/(kg·hm <sup>-2</sup> ) |                                 |
|------|-------|--------|-------------------------------|---------------------------------|
|      |       |        | 小黑麦<br>( <i>Triticale</i> sp) | 箭筈豌豆<br>( <i>Vicia sativa</i> ) |
| 单作   | 25    | 0:1    | 0                             | 120                             |
| 单作   | 25    | 1:0    | 120                           | 0                               |
| 间作   | 25    | 1:1    | 120                           | 120                             |
| 间作   | 25    | 2:1    | 240                           | 120                             |
| 间作   | 25    | 3:1    | 360                           | 120                             |
| 间作   | 25    | 4:1    | 480                           | 120                             |

利用土地当量比(LER)和牧草产量衡量间作优势<sup>[26]</sup>,间作优势被定义为当混作牧草种植在一起时,一种牧草改善了与之间作牧草的生境并对其生长和发育产生积极的影响。

$$LER = LER_G + LER_L;$$

$$LER_G = Y_{IG}/Y_{SG};$$

$$LER_L = Y_{IL}/Y_{SL}$$

式中:LER<sub>G</sub>为小黑麦的土地当量比,LER<sub>L</sub>为箭筈豌豆的土地当量比。Y<sub>IG</sub>为种间作时小黑麦的草产量;Y<sub>SG</sub>为单作时小黑麦的草产量;Y<sub>IL</sub>为间作时箭筈豌豆的草产量;Y<sub>SL</sub>单作时箭筈豌豆的草产量。

1.3.2 种间竞争效应的测度 利用相对拥挤效率(K)<sup>[27]</sup>、竞争率(CR)<sup>[12,28]</sup>和侵占率(A)<sup>[27]</sup>来测度种间

竞争关系。

$$K_G = Y_{SG} \times Z_G / (Y_{SG} - Y_{IG}) \times Z_G; \quad K_L = Y_{SL} \times Z_L / (Y_{SL} - Y_{IL}) \times Z_L$$

$$CR_G = (Y_{IG}/Y_{SG}) / (Y_{IL}/Y_{SL}) \times (Z_L/Z_G);$$

$$CR_L = (Y_{IL}/Y_{SL}) / (Y_{IG}/Y_{SG}) \times (Z_G/Z_L)$$

$$A_G = Y_{IG}/Y_{SG} \times Z_G - Y_{IL}/Y_{SL} \times Z_L;$$

$$A_L = Y_{IL}/Y_{SL} \times Z_L - Y_{IG}/Y_{SG} \times Z_G$$

式中:Z<sub>G</sub>和Z<sub>L</sub>分别代表小黑麦和箭筈豌豆间作时各自所占比例(行数比)。

相对产量(relative yield, RY)可以反映间作牧草间的竞争格局和竞争结果<sup>[22-23]</sup>,可作为养分竞争的重要参照目标。

$$\text{禾草相对产量}(RY_G) = Y_{gl}/(pY_g)$$

$$\text{豆科牧草相对产(行数比)量}(RY_L) = Y_{ll}/(qY_l)$$

式中:Y<sub>gl</sub>是在间作条件下禾草的单位面积产量或氮产量,Y<sub>g</sub>是单作条件下禾草的单位面积产量或氮产量;Y<sub>ll</sub>是间作条件下豆科牧草的单位面积产量或氮产量,Y<sub>l</sub>是单作条件下豆科牧草的单位面积产量或氮产量;p为禾草在间作中所占比例(禾草行数占比);q为豆科牧草在间作中所占比例(豆科牧草行数占比);RY<sub>G</sub>=1表明禾草的种内竞争与豆科牧草的种间竞争相似;RY<sub>G</sub>>1表明禾草的种内竞争大于其种间竞争;RY<sub>G</sub><1表明种间竞争要大于种内竞争<sup>[28-29]</sup>。

1.3.3 种间竞争格局的分析 参照王平等<sup>[12]</sup>、谢开云等<sup>[19]</sup>对混播物种竞争格局的分析,利用豆禾牧草相对产量和相对氮产量的拟合关系,判断竞争格局与结果(图1)。

1.3.4 数据分析 利用 Excel 2016 对数据进行均值处理,利用 SPSS 19.0 软件中的 One Way ANOVA 对牧草产量、氮产量、竞争效应等进行方差分析、差异显著性检验和 Duncan 多重比较。运用 Sigmaplot 10.0 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同间作方式对牧草产量、氮产量、相对产量和相对氮产量的影响

小黑麦的草产量在盛花期与成熟期均随着禾豆比例的增加呈现显著增加趋势( $P<0.05$ ),且显著低于单播产量( $P<0.05$ );小黑麦氮产量在盛花期与成熟期均随着禾豆比的增加呈现显著增加趋势( $P<$



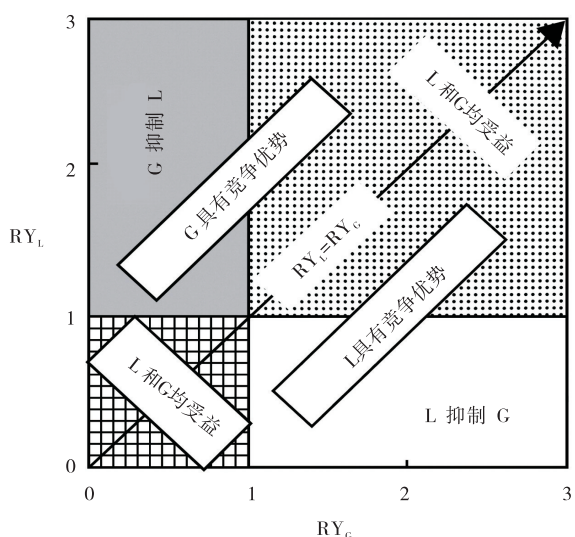


图1 豆禾牧草竞争结果模式

Fig. 1 Graphic representation of all possible outcome of a competition experiment between legume and grass species

注:L表示豆科牧草,G表示禾草。 $RY_L$ 表示豆科牧草相对产量, $RY_G$ 表示禾草相对产量。带箭头的斜线表示 $RY_G=RY_L$ ,在斜线之上的三角形区域表示物种L具有竞争优势,在斜线之下的三角形区域表示物种G具有竞争优势。(■)表示该区域内物种G和L混播时生长均受到抑制。(⋯)表示该区域内物种G和L在间作中有明显的促进作用。(■)表示物种L在间作中竞争力强,明显抑制物种G的生长。(■)表示物种G在间作中竞争力强,明显抑制物种L的生长

0.05),盛花期禾豆比3行:1行和4行:1行的小黑麦氮产量显著高于单作( $P<0.05$ ),成熟期禾豆比4行:1行的小黑麦氮产量显著高于单作( $P<0.05$ )。箭筈豌豆的草产量与氮产量在盛花期和成熟期均随着禾豆比的增加呈现显著下降趋势( $P<0.05$ ),且显著低于单作产量( $P<0.05$ )。盛花期和成熟期不同禾豆比牧草总产量、氮总产量均显著高于箭筈豌豆的( $P<0.05$ );盛花期的牧草总产量与小黑麦草产量无显著差异( $P>0.05$ ),氮总产量高于小黑麦的;成熟期的牧草总产量显著低于小黑麦草产量( $P<0.05$ ),禾豆比4行:1行和3行:1行的氮总产量显著高于小黑麦的( $P<0.05$ )(图2)。

随着禾豆比的增加,盛花期小黑麦相对产量和相对氮产量均呈下降趋势,箭筈豌豆相对产量和相对氮产量均呈上升趋势。盛花期禾豆比4行:1行和3行:1行的箭筈豌豆相对产量和相对氮产量显著高于其他豆禾比( $P<0.05$ );禾豆比1行:1行的小黑麦相对产

量显著高于其他豆禾比( $P<0.05$ ),小黑麦相对氮产量随禾豆比增加显著下降( $P<0.05$ )。成熟期禾豆比2行:1行和3行:1行的箭筈豌豆相对产量显著高于其他豆禾比( $P<0.05$ ),禾豆比3行:1行的箭筈豌豆相对氮产量显著高于其他豆禾比( $P<0.05$ );禾豆比4行:1行的小黑麦相对产量显著高于其他处理( $P<0.05$ ),禾豆比1行:1行和比4行:1行的小黑麦相对氮产量显著高于其他豆禾比( $P<0.05$ )(图2)。

## 2.2 不同间作对间作优势和种间竞争格局的影响

盛花期与成熟期小黑麦的竞争率、侵占率、土地当量比和拥挤率均随禾豆比的增加呈显著上升趋势( $P<0.05$ ),箭筈豌豆的竞争率、侵占率和土地当量比则禾豆比的增加呈显著下降趋势( $P<0.05$ ),箭筈豌豆的拥挤率均随禾豆比的增加呈下降趋势。盛花期与成熟期禾豆比4行:1行和3行:1行小黑麦的竞争率、土地当量比和拥挤率均大于箭筈豌豆,其他禾豆比则是小黑麦的竞争率、土地当量比和拥挤率均小于箭筈豌豆;2个时期所有间作处理总土地当量比均大于1。盛花期禾豆比4行:1行和3行:1行小黑麦的侵占率大于箭筈豌豆,其他禾豆比则是小黑麦的侵占率小于箭筈豌豆;成熟期禾豆比1行:1行小黑麦的侵占率小于箭筈豌豆,其他禾豆比则是小黑麦的侵占率大于箭筈豌豆。与盛花期相比,禾豆比1行:1行小黑麦的竞争率增幅较大,禾豆比1行:1行和2行:1行小黑麦的侵占率增幅较大,禾豆比1行:1行小黑麦的拥挤率降幅较大,禾豆比4行:1行箭筈豌豆的拥挤率降幅较大(图3)。

盛花期小黑麦和箭筈豌豆的相对产量在 $RY_G/RY_L$ 斜线的下方到 $RY_G=1, RY_L=1$ 右侧的区域内,表明间作系统中小黑麦和箭筈豌豆均受益,2种牧草可以稳定共存。成熟期小黑麦和箭筈豌豆的相对产量在 $RY_G/RY_L$ 斜线的下方到 $RY_G<1, RY_L=1$ 右侧的区域内,这表明间作系统中箭筈豌豆竞争力高于小黑麦,小黑麦受抑制。以相对氮产量来看,盛花期禾豆比1行:1行、2行:1行和3行:1行小黑麦和箭筈豌豆的相对氮产量在 $RY_G/RY_L$ 斜线的上方到 $RY_G>1, RY_L=1$ 右侧的区域内,禾豆比4行:1行则在 $RY_G/RY_L$ 斜线的下方到 $RY_G>1, RY_L=1$ 右侧的区域内,这表明间作系统中小黑麦和箭筈豌豆均受益,2种牧草

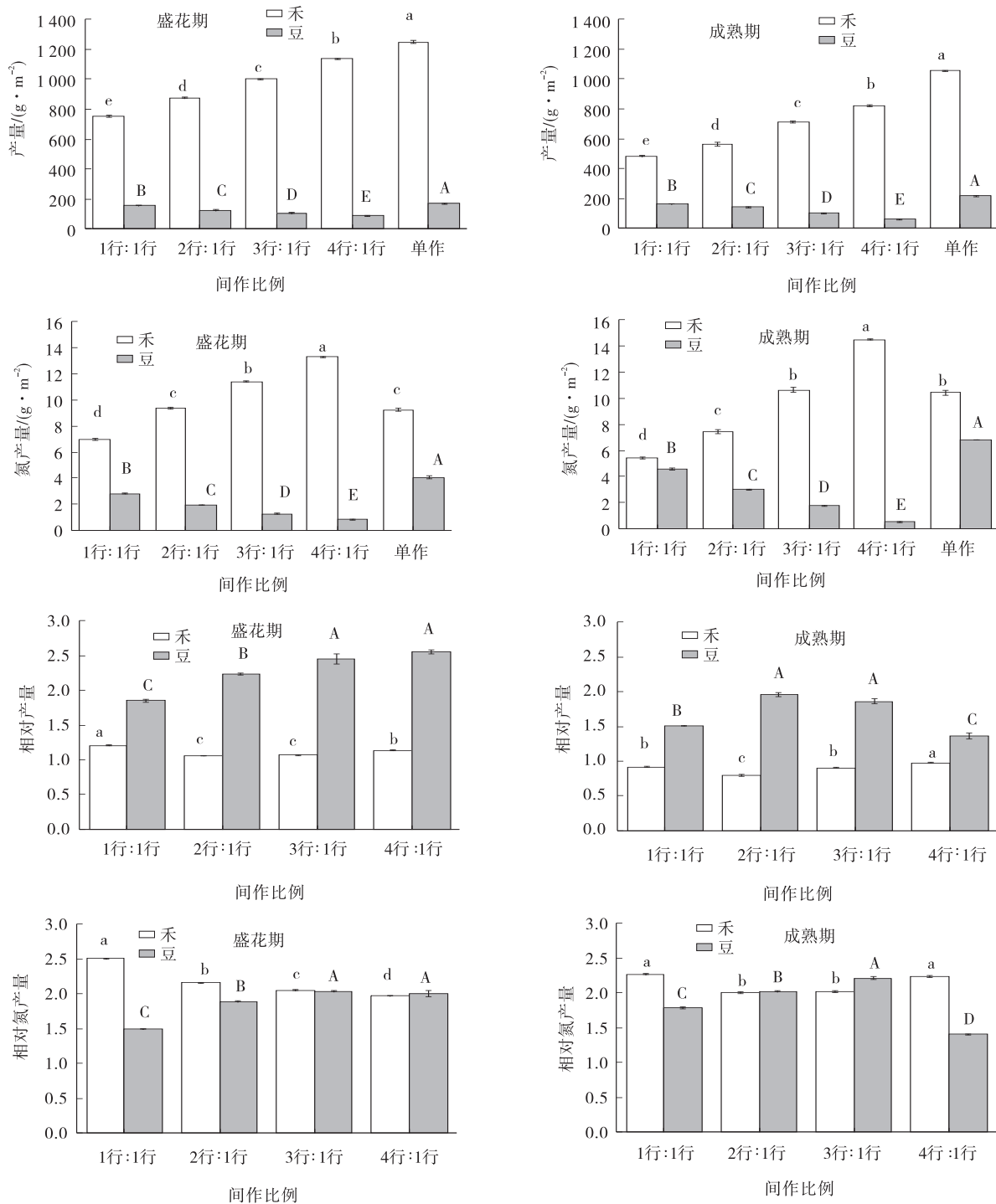


图 2 盛花期和成熟期牧草产量、氮产量、相对产量、相对氮产量的比较

Fig. 2 Comparison of forage yield, forage nitrogen yield, relative yield and relative nitrogen yield at flowering and maturity stage

注:不同小写字母表示小黑麦草产量或氮产量在不同禾豆间作比例下差异显著( $P < 0.05$ ),不同大写字母表示箭筈豌豆草产量或氮产量在不同禾豆混作比例下差异显著( $P < 0.05$ )。下同

可以稳定共存。成熟期禾豆比1行:1行和4行:1行小黑麦和箭筈豌豆的相对氮产量在 $RY_G/R_{Y_L}$ 斜线的上方到 $RY_G > 1$ 、 $RY_L = 1$ 右侧的区域内,禾豆比2行:1行和3行:1行则在 $RY_G/R_{Y_L}$ 斜线的下方到 $RY_G > 1$ 、 $RY_L = 1$ 右侧的区域内,这表明间作系统中小黑麦和箭

筈豌豆均受益,2种牧草可以稳定共存(图4)。

### 2.3 间作草地产量、氮产量、相对产量、相对氮产量与种间竞争格局的关系

盛花期小黑麦拥挤率与小黑麦产量呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),箭筈豌豆拥挤率与小黑麦氮产量呈

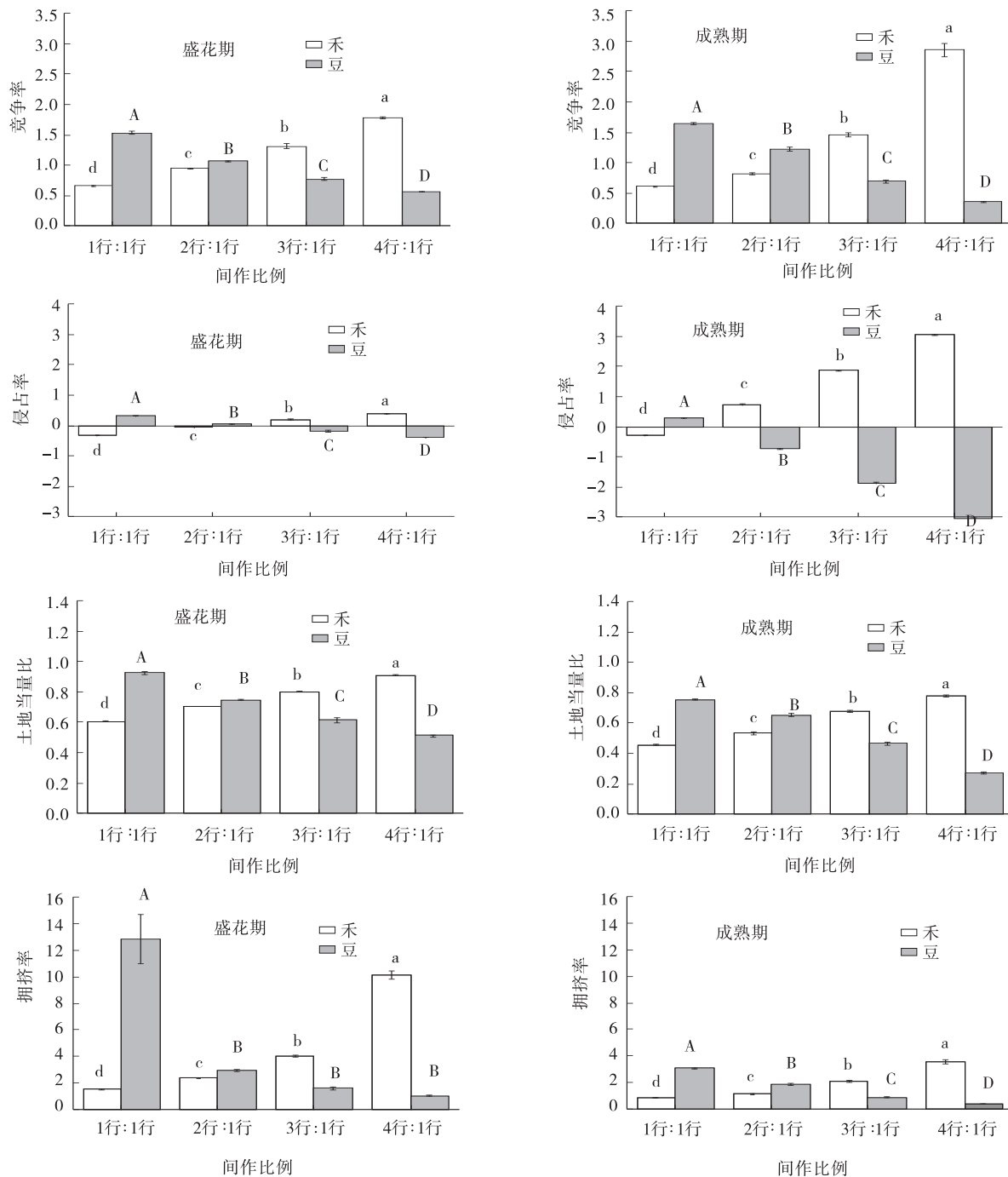


图3 盛花期和成熟期牧草竞争率、侵占率、土地当量比、拥挤率的比较

Fig. 3 Comparison of forage competition rate, encroachment rate, land equivalent ratio, crowding rate at flowering and maturity stage

显著正相关( $P < 0.05$ );小黑麦土地当量比与小黑麦产量、氮产量呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与箭筈豌豆产量、氮产量分别呈显著负相关( $P < 0.05$ )和极显著负相关( $P < 0.01$ );小黑麦侵占率与箭筈豌豆产量呈显著负相关( $P < 0.05$ ),箭筈豌豆侵占率与箭筈豌豆产量呈显著正相关( $P < 0.05$ );小黑麦竞争率与箭筈豌豆产量、氮产量分别呈极显著负相关( $P < 0.01$ )和显著负相关( $P < 0.05$ ),与小黑麦氮产量呈极显著正

相关( $P < 0.01$ );箭筈豌豆竞争率与箭筈豌豆产量、氮产量均呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与小黑麦氮产量呈极显著负相关( $P < 0.01$ )(表2)。

成熟期小黑麦拥挤率、土地当量比、侵占率和竞争率与小黑麦产量、氮产量和箭筈豌豆相对产量、相对氮产量均呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),小黑麦拥挤率、土地当量比、侵占率和竞争率与箭筈豌豆产量、氮产量和小黑麦相对氮产量均呈极显著负相关( $P < 0.01$ )。

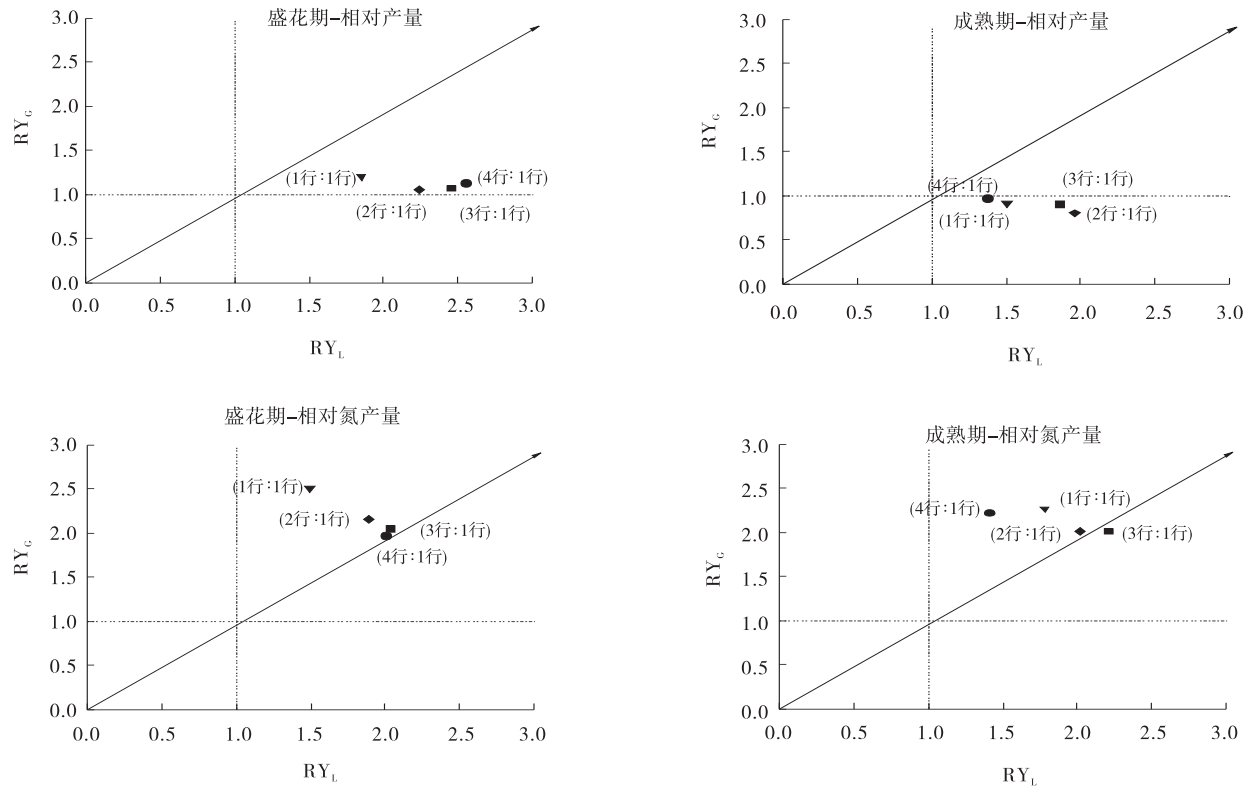


图 4 禾豆牧草相对产量与相对氮产量的拟合

Fig. 4 The fitting line of relative yield or relative nitrogen yield for grass to legume

表 2 间作草地产量、氮产量、相对产量、相对氮产量与种间竞争格局的关系

Table 2 Relationship between yield, nitrogen yield, relative yield, relative nitrogen yield and interspecific competitive patterns in mixed grasses

| 时期  | 生产性能      | 拥挤率      |          | 土地当量比    |          | 侵占率      |          | 竞争率      |          |
|-----|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|     |           | 禾        | 豆        | 禾        | 豆        | 禾        | 豆        | 禾        | 豆        |
| 盛花期 | 小黑麦产量     | 0.846**  | -0.166   | 0.957**  | -0.286   | 0.025    | -0.025   | 0.461    | -0.657   |
|     | 箭筈豌豆产量    | -0.606   | 0.611    | -0.829*  | 0.906**  | -0.770*  | 0.770*   | -0.950** | 0.988**  |
|     | 小黑麦氮产量    | 0.697    | -0.536   | 0.905**  | -0.833*  | 0.669    | -0.669   | 0.918**  | -0.976** |
|     | 箭筈豌豆氮产量   | -0.655   | 0.391    | -0.931** | 0.694    | -0.574   | 0.574    | -0.812*  | 0.936**  |
|     | 小黑麦相对产量   | 0.468    | 0.567    | 0.510    | 0.319    | -0.379   | 0.379    | 0.022    | -0.036   |
|     | 箭筈豌豆相对产量  | 0.612    | -0.102   | 0.574    | 0.158    | -0.452   | 0.452    | -0.164   | -0.213   |
|     | 小黑麦相对氮产量  | -0.450   | 0.827*   | -0.405   | 0.528    | -0.244   | 0.244    | -0.242   | 0.554    |
|     | 箭筈豌豆相对氮产量 | 0.176    | -0.485   | 0.103    | -0.064   | -0.156   | 0.156    | -0.261   | -0.138   |
| 成熟期 | 小黑麦产量     | 0.921**  | -0.822** | 1.000**  | -0.985** | 0.994**  | -0.977** | 0.995**  | -0.995** |
|     | 箭筈豌豆产量    | -0.851** | 0.889**  | -0.986** | 1.000**  | -0.972** | 0.997**  | -0.997** | 0.997**  |
|     | 小黑麦氮产量    | 0.892**  | -0.853** | 0.997**  | -0.993** | 0.984**  | -0.989** | 0.998**  | -0.998** |
|     | 箭筈豌豆氮产量   | -0.837** | 0.895**  | -0.983** | 0.998**  | -0.964** | 0.999**  | -0.995** | 0.995**  |
|     | 小黑麦相对产量   | 0.005    | 0.729**  | -0.336   | 0.462    | -0.255   | 0.514    | -0.410   | 0.410    |
|     | 箭筈豌豆相对产量  | 0.763**  | -0.886** | 0.934**  | -0.944** | 0.890**  | -0.960** | 0.943**  | -0.943** |
|     | 小黑麦相对氮产量  | -0.734** | 0.940**  | -0.926** | 0.965**  | -0.891** | 0.978**  | -0.952** | 0.952**  |
|     | 箭筈豌豆相对氮产量 | 0.601**  | -0.947** | 0.848**  | -0.902** | 0.790**  | -0.929** | 0.882**  | -0.882** |

注:\*\*表示在 0.01 水平(双侧)上极显著相关。\*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关

0.01)。箭筈豌豆拥挤率与箭筈豌豆产量、氮产量和小黑麦相对产量、相对氮产量均呈极显著正相关( $P < 0.01$ )，箭筈豌豆土地当量比、侵占率和竞争率与箭筈

豌豆产量、氮产量和小黑麦相对氮产量均呈极显著正相关( $P < 0.01$ )；箭筈豌豆拥挤率、土地当量比、侵占率和竞争率与小黑麦产量、氮产量和箭筈豌豆相对产

量、相对氮产量均呈极显著负相关( $P < 0.01$ )。

### 3 讨论

禾豆牧草间混作产生的优势具有一定的普遍意义。谢开云等<sup>[19]</sup>在室内控制条件下、张静等<sup>[30]</sup>在甘肃石羊河流域田间试验、柳茜等<sup>[22]</sup>在四川西昌凉山田间试验均发现了禾豆间混作优势。本试验也发现小黑麦与箭筈豌豆间作可产生间作优势,即在盛花期和成熟期各禾豆比下土地当量比均大于1,禾豆比4行:1行和3行:1行牧草氮产量显著高于小黑麦单作( $P < 0.05$ )(图2—3)。张静等<sup>[30]</sup>从牧草的生长形态与光资源获取的内在关系分析了燕麦与毛苕子产生间作优势的原因,即攀援型毛苕子与直立型燕麦混播可以很好地协调种内与种间对光资源的竞争。在没有直立型牧草做支撑条件下,毛苕子种内光资源竞争密集在水平空间上;有直立型做支撑条件下,毛苕子种内光资源竞争大幅减弱,形成了立体搭配。本试验中箭筈豌豆+小黑麦的间作搭配与毛苕子+燕麦混播搭配具体一定的相似性。与此同时,豆科牧草生物固氮作用增加禾豆间作系统氮素供应<sup>[31—32]</sup>,可促进豆科牧草提高本身的固氮效率,并促进禾本科牧草对氮素的吸收利用<sup>[33]</sup>。本研究中禾豆比4行:1行小黑麦氮产量显著高于单作( $P < 0.05$ ),说明禾豆间作大大减缓了间作系统对土壤氮素的竞争。因此,本研究中小黑麦+箭筈豌豆间作草地可以产生间作优势的原因与光资源竞争和土壤氮素竞争的减缓密切相关。

王平等<sup>[32]</sup>指出,最初播种时的间作比例是决定间作牧草种间竞争结果和效应重要因素之一。当强竞争种间作比例较高时,不利于形成稳定共存的竞争局面,则不可能表现出间作优势<sup>[22,32]</sup>。本研究也发现相似规律,即禾豆比小于2行:1行时,箭筈豌豆竞争能力较强,但间作优势不明显,牧草总产量和总氮产量均较低;而禾豆比大于2:1时,小黑麦竞争力较强,间作优势比较突出,牧草总产量和总氮产量较高(图2—3);禾豆比小于4行:1行在盛花期和成熟期都更易形成稳定共存、双方获益的竞争格局(图4)。这表明,箭筈豌豆是强竞争种,特别是在气温较低的生长初期,水平侵占能力强;而小黑麦在生长初期是弱竞争种,水平扩展能力有限,当间作比例较低时,激烈的种间

竞争抑制了其生长,不利于形成稳定共存的局面。只有降低强竞争种的间作比例,才能形成稳定共存的竞争格局。谢开云等<sup>[31]</sup>指出,当给强竞争种(无芒雀麦)施入氮肥后,强竞争种种间竞争力增强,更不利于形成稳定共存的竞争格局。豆科牧草生物固氮可以减缓禾豆间作系统对土壤氮素的竞争,有利于形成稳定共存的竞争格局。但这并非必要条件,需要禾豆牧草达到氮素竞争的平衡才会出现稳定共存<sup>[35]</sup>。本研究中,相对氮产量的拟合更易形成稳定共存(图4),也说明禾豆牧草氮素竞争平衡是形成稳定共存竞争格局的重要影响因素。总的来说,小黑麦+箭筈豌豆型间作草地可以通过减缓光资源和土壤氮素竞争,形成稳定共存、二者均获益的竞争格局。

### 4 结论

小黑麦+箭筈豌豆间作草地播种时的禾豆比是影响二者种间竞争能力的关键因素,并且种间竞争能力与牧草产量、牧草氮产量密切相关。箭筈豌豆在生长前期处于强竞争种地位,只有降低箭筈豌豆的间作比例,才能获得较高的牧草产量、牧草氮产量。禾豆比4行:1行降低了箭筈豌豆的侵占能力,减缓光资源竞争,并通过其生物固氮作用来减缓土壤氮素竞争,形成稳定共存、二者均获益的竞争格局,获得较大的间作优势。

#### 参考文献:

- [1] Eekerena N V, Bosa M, Wita Jan de, *et al.* Effect of individual grass species and grass species mixtures on soil quality as related to root biomass and grass yield[J]. *Applied Soil Ecology*, 2010(45):275—283.
- [2] Zhang J, Yin B J, Xie Y H, *et al.* Legume—cereal intercropping improves forage yield, quality and degradability[J]. *Plos One*, 2015, 12:1—14.
- [3] 董世魁, 丁路明, 徐敏云, 等. 放牧强度对高寒地区多年生混播禾草叶片特征及草地初级生产力的影响[J]. *中国农业科学*, 2004, 37(1):136—142.
- [4] Wit C T de, Bergh J P van den. Competition between herbaceous plants[J]. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 1965, 13:212—221.
- [5] 沈禹颖, 李昀, 陆妮. 4种牧草种间竞争力和种间关系的研究[J]. *草业学报*, 2002, 11(3):8—13.



- [6] Begon M, Harper J L, Townsend C R. Ecology: individuals, populations, and communities [M]. Blackwell Scientific Publications, 1990.
- [7] 张英俊, 任继周, 王明利, 等. 论牧草产业在我国农业产业结构中的地位和发展布局[J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(4): 61—71.
- [8] 谢开云, 何峰, 李向林, 等. 我国紫花苜蓿主产田土壤养分和植物养分调查分析[J]. 草业学报, 2016, 25(3): 202—214.
- [9] Rerkasem B, Rerkasem K, Peoples M, *et al.* Measurement of  $N_2$  fixation in maize (*Zea mays* L.)—ricebean (*Vigna umbellata* Thunb. Ohwi and Ohashi) intercrops[J]. Plant and Soil, 1988, 108: 125—135.
- [10] 朱树秀, 杨志忠. 紫花苜蓿与老芒麦混播优势的研究[J]. 中国农业科学, 1992, 25(6): 63—68.
- [11] 朱树秀, 杨志忠, 石玉珊. 新疆大叶苜蓿氮行为的研究[J]. 中国核科技报告, 1994(S1): 1—10.
- [12] 王平, 周道玮, 张宝田. 禾—豆混播草地种间竞争与共存[J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2560—2567.
- [13] Ta T C, Ffaris M A. Effects of alfalfa proportions and clipping frequencies on timothy—alfalfa mixtures [J]. Agronomy Journal, 1987, 79: 817—824.
- [14] Mariotti M, Masoni A, Ercoli L, *et al.* Above— and below—ground competition between barley, wheat, lupin and vetch in a cereal and legume intercropping system[J]. Grass and Forage Science, 2009, 64: 401—412.
- [15] 张桂国, 董树亭, 杨在宾. 苜蓿+玉米间作系统产量表现及其种间竞争力的评定[J]. 草业学报, 2016, 20(1): 22—30.
- [16] 张永亮, 张丽娟, 于铁峰, 等. 禾豆组合与间作方式对牧草产量及产量稳定性的影响[J]. 草地学报, 2019, 27(5): 1410—1418.
- [17] 兰吉勇, 张学洲, 张丽萍, 等. 混播紫花苜蓿与无芒雀麦群落种间竞争分析[J]. 江西农业学报, 2016, 28(8): 13—17.
- [18] Giambalvo D, Ruisi P, Di Miceli G, *et al.* Forage production,  $N$  uptake  $N_2$  fixation, and recovery of berseem clover grown in pure stand and in mixture with annual ryegrass under different managements[J]. Plant Soil, 2011, 342: 379—391.
- [19] 谢开云, 张英俊, 李向林, 等. 无芒雀麦和紫花苜蓿在(1:1)混播中的竞争与共存[J]. 中国农业科学, 2015, 48(18): 3767—3778.
- [20] 张小明, 来兴发, 杨宪龙, 等. 施氮和燕麦/箭筈豌豆间作比例对系统干物质质量和氮素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(2): 489—498.
- [21] 潘东, 王翠花, 张永亮. 苜蓿—禾草混播比例与组合对牧草饲用价值的影响[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2019, 34(4): 335—341.
- [22] 柳茜, 傅平, 敖学成, 等. 冬闲田多花黑麦草+光叶紫花苕混播草地生产性能与种间竞争的研究[J]. 草地学报, 2016, 24(1): 42—46.
- [23] 朱亚琼, 关正翔, 郑伟, 等. 混播种类和群体结构对豆禾牧草混播系统氮素利用效率的影响[J]. 草业学报, 2018, 27(10): 1—14.
- [24] 关正翔, 娜尔克孜, 朱亚琼, 等. 不同混播方式下燕麦+箭筈豌豆混播草地的生产性能及土壤养分特征[J]. 草业科学, 2019, 36(3): 772—784.
- [25] 杨胜. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1999: 19—61.
- [26] 朱亚琼, 于辉, 郑伟, 等. 燕麦+箭筈豌豆混播草地混播优势的测度与影响因素分析[J]. 草业学报, 2020, 29(1): 74—85.
- [27] Takim F O. Advantages of maize—cowpea intercropping over sole cropping through competition indices[J]. Journal of Agriculture and Biodiversity Research, 2012, 1(4): 53—59.
- [28] Haynes R. Competitive aspects of the grass—legume association [J]. Advances in Agronomy. 1980, 33: 227—261.
- [29] Jonathan W S. Introduction to plant population ecology [M]. London and New York: Longman, 1982: 147—155.
- [30] 张静, 赵成章, 盛亚萍, 等. 高寒山区混播草地燕麦和毛苕子种间竞争对密度的响应[J]. 生态学杂志, 2012, 31(7): 1605—1611.
- [31] 肖焱波, 李隆, 张福锁. 小麦/蚕豆间作体系中的种间相互作用及氮转移研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(5): 965—973.
- [32] 王平, 周道玮, 姜世成. 半干旱地区禾—豆混播草地生物固氮作用研究[J]. 草业学报, 2010, 19(6): 276—280.
- [33] Li L, Zhang F S, Li X, *et al.* interspecific facilitation of nutrient uptake by inter cropped maize and faba bean [J]. Nutrient Cycle—Ling in Agro ecosystems, 2003, 65: 61—71.
- [34] 刘小明, 雍太文, 刘文钰, 等. 减量施氮对玉米—大豆套作体系土壤氮素残留和氮肥损失的影响[J]. 应用生态

学报, 2014, 25(8): 2267—2274.

[35] Begon M, Harper J L, Townsend C R. Ecology: Individu-

als, Populations and Communities [M]. London: Blackwell Science Oxford, 1996.

## Effects of different intercropping patterns on interspecific competition pattern and production performance of triticale and common vetch grassland

CHEN Xue<sup>1</sup>, LI Song-song<sup>1</sup>, WANG Ning-xin<sup>1</sup>, ZHANG Jing<sup>1</sup>, ZHENG-Wei<sup>1,2\*</sup>,  
QI Jun<sup>3</sup>, DOU Zi-yi<sup>1</sup>

(1. College of Grassland Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Xinjiang Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology, Urumqi 830052, China; 3. Fourth Division Institute of Agricultural Sciences, Xinjiang Production and Construction Corps, Koidala 836600, China)

**Abstract:** 【Objective】 The aim of the study is to explore the ways to improve the production performance of mixed grass—legume pastures by reducing the intensity of interspecific competition. 【Method】 Under the condition of different mixed ratios of triticale (*Triticale* sp) + common vetch (*Vicia sativa*), the study was conducted in an experimental field at 2020 in Zhaosu, Xinjiang Uyghur Autonomous Region, China. This grassland area was characterized by fertile soil and abundant rainfall. Four types of mixed grass to legume ratios were used, namely, grass : legume 1 row:1 row; 2 row:1 row; 3 row: 1 row and 4 row:1 row. The inherent relation between interspecific competition patterns and production performance was analyzed at flowering and maturity stages of grass—legume pastures. 【Result】 (1) The mixed grass—legume pastures with 4 row:1 row ratio had higher forage yield than others at flowering and maturity stages. The nitrogen yield of triticale was significantly higher than that of single sowing and other treatments ( $P < 0.05$ ). The treatment of 4 row:1 row ratio had better production performance. The values of land equivalent ratios of all mixed grass—legume treatments were greater than 1, which showed the advantage of mixed sowing. (2) The competition rate, aggressivity and relative crowding coefficient of triticale increased with the increase of mixed grass—legume ratio at flowering and maturity stages. The competition rate, aggressivity and relative crowding of common vetch showed the decreased trend. The common vetch was more competitive than triticale at the ratios of 1 row:1 row and 2 row:1 row. The triticale was more competitive than the common vetch at other ratios. (3) In terms of relative yield, the triticale and common vetch benefited at flowering stage. At maturity stage, the triticale dominated in mixed system. In terms of relative nitrogen yield, the two periods were both beneficial. The interspecific competition patterns had little effect on production performance at flowering stage. However, the interspecific competition pattern strongly affected production performance at maturity stage. 【Conclusion】 Therefore, the triticale and common vetch mixed pastures had the mixture advantage. When the ratio of grass to legume was 4 row:1 row, the mixed pasture had the higher productive performance than other ratios and monoculture at flowering stage. The triticale + common vetch mixed at 4 row:1 row ratio can avoid the negative effects of interspecific competition to a certain extent.

**Key words:** intercropping of grass to legume; relative yield; relative nitrogen yield; interspecific competition pattern; production performance