

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0203

关正翾, 娜尔克孜, 朱亚琼, 郑伟, 刘岳含, 艾丽菲热. 群体密度和混播群体结构对箭筈豌豆种子产量和质量的影响. 草业科学, 2019, 36(2): 458-467.

GUAN Z X, Naerkezi, ZHU Y Q, ZHENG W, LIU Y H, Ailifeire. Effect of different densities and mixed community structures on seed yield and quality of *Vicia sativa* in *Vicia sativa-Avena sativa* mixtures. Pratacultural Science, 2019, 36(2): 458-467.

群体密度和混播群体结构对箭筈豌豆种子 产量和质量的影响

关正翾¹, 娜尔克孜¹, 朱亚琼¹, 郑伟^{1,2}, 刘岳含¹, 艾丽菲热¹

(1. 新疆农业大学草业与环境科学学院, 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)

摘要: 本研究综合分析了群体密度和混播群落结构对箭筈豌豆 (*Vicia sativa*) 的种子产量、质量和种子产量构成等性状的影响。将播量作为群体密度控制因素, 将混播方式(同行混播、异行混播)和混播比例作为群落结构的控制因素。结果表明: 1) 随着播量的增加, 种子产量呈增加趋势, 各混播处理种子产量均小于单播处理, 但发芽势有所提升; 随着箭筈豌豆混播比例的增加, 种子产量和种子发芽势均呈增加趋势, 混播方式(同行、异行混播)对种子产量和质量的影响较小。2) 群体密度和群落结构主要通过影响箭筈豌豆分枝数和结荚数来影响其种子产量; 而荚长、每荚籽粒数、发芽率等生物学性状变化较小。3) 燕麦 (*Avena sativa*) 在混播系统中处于强竞争者的地位, 提高箭筈豌豆混播比例和采用异行混播有利于增加其竞争率, 也有利于提高种子产量。因此, 在冷凉地区进行箭筈豌豆种子生产, 其播量应高于 120 kg·hm⁻² 为宜; 为了提高箭筈豌豆种子产量和质量, 防止倒伏, 可采用箭筈豌豆混播比例高于 75% + 异行混播方式进行种子田建设。

关键词: 播量; 同行混播; 异行混播; 混播比例; 分枝数; 结荚数; 种间竞争

中图分类号: S551⁺.904

文献标志码: A

文章编号: 1001-0629(2019)02-0458-10

Effect of different densities and mixed community structures on seed yield and quality of *Vicia sativa* in *Vicia sativa-Avena sativa* mixtures

GUAN Zhengxuan¹, Naerkezi¹, ZHU Yaqiong¹, ZHENG Wei^{1,2}, LIU Yuehan¹, Ailifeire¹

(1. College of Pratacultural and Environmental Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China;

2. Xinjiang Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology, Urumqi 830052, Xinjiang, China)

Abstract: This study investigated the effects of population density and community structure on seed production of *Vicia sativa* in a cool climate region. We analysed and compared the seed yield, seed quality, seed yield components, and other biological characteristics of different sowing rates, sowing ratios, and patterns (mixed cropping and intercropping with *Avena sativa*). Results show that seed yield increased with increasing sowing rates. The seed yields of mixed cropping and intercropping were less than that of monoculture, but seed quality (germination potential) was better. Seed yield and quality increased with increasing *V. sativa* sowing ratios. The mixed patterns affected seed yield and quality. Population density and community structure influenced shoots per plant (Sh/P), pods per plant (Po/P), and, in some cases, pod length, seeds per pod,

收稿日期: 2018-04-09 接受日期: 2018-07-27

基金项目: 农业部“国家牧草现代产业技术体系”项目 (CARS-34); 国家自然科学基金 (31660692); 新疆农业大学-乌尔禾区合作项目 (KLMYWEH-2017-06); 国家重点研发计划“政府间国际科技创新合作”重点专项 (2017YFE0109200)

第一作者: 关正翾 (1991-), 男, 甘肃嘉峪关人, 在读硕士生, 主要从事草地生态及植物生态方面的研究。E-mail: 413999243@qq.com

通信作者: 郑伟 (1978-), 男, 湖北武汉人, 教授, 博导, 博士, 主要从事草地生态及植物生态的教学和科研工作。E-mail: zw065@126.com

and germination rate. In the mixed cropping and intercropping systems, *A. sativa* was a stronger competitor than *V. sativa*. To increase *V. sativa* seed yield and seed quality, the competition ratio of *V. sativa* in mixed communities needs to be improved by increasing the mixed ratios of *V. sativa* and using an intercropping pattern. In conclusion, *V. sativa* seed fields need higher sowing quantities (equal or more than 120 kg·ha⁻¹), 75% *V. sativa* seeding rate + intercropping pattern, and higher mixed ratios in cool climate pastoral areas.

Keywords: sowing rate; mixed cropping; intercropping; mixed ratios; shoots per plant; pods per plant; interspecific competition

Corresponding author: ZHENG Wei E-mail: zw065@126.com

箭筈豌豆 (*Vicia sativa*) 属于一年生或越年生叶卷须半攀援性豆科草本植物, 普遍种植于我国高寒冷凉地区, 因其适应性广、种子粗蛋白含量高, 成为栽培利用范围较广的豆科饲草和绿肥品种之一^[1], 在我国草地农业系统中发挥着不可替代的作用^[2-3]。在气候冷凉、降水相对较为丰富的草原牧区, 退化草地生态恢复重建、退牧还草、种草养畜及人草畜三配套等生态工程建设过程中, 箭筈豌豆起着重要作用^[4-5], 其种子需求也逐年增加。因而, 开展箭筈豌豆种子生产研究, 加强种子生产过程中瓶颈技术的研发与推广, 是箭筈豌豆种子生产实践中急需解决的关键问题。

生态位原理表明, 当植物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), 也有种间的竞争作用 (competitive effects)^[6]。在牧草种子生产过程中, 合理的群体密度和空间结构不仅能提高种子产量^[7], 还能有效提高种子质量^[8-9], 减少营养枝与生殖枝间的营养竞争^[7], 解决豌豆类饲草倒伏落粒等问题^[10-11]。如王雁丽和郑敏娜^[8]发现, 较小的行距会导致植株个体竞争加剧, 营养生长投入过多的资源, 植株高度增加, 箭筈豌豆种子产量下降。游明鸿等^[7]则发现, 行距主要通过影响老芒麦 (*Elymus sibiricus*) 的生殖枝高度、生殖枝直径、穗柄长、穗柄直径等生物学性状影响其种子产量, 但对千粒重等种子质量参数影响较小。箭筈豌豆种子生产过程中常出现倒伏, 特别是在种子收获的成熟期, 倒伏会造成种子触地, 或被昆虫采食, 或遇水腐烂, 或直接落粒, 种子产量与质量均会受到影响^[12]。故而, 在箭筈豌豆种子生产过程中适当混播或间作其他支撑作物, 有利于解决上述问题^[13]。与此同时, 混播或间作系统中, 并不是所有作物或牧草

都能获益。如冯晓敏等^[9]就发现, 大豆 (*Glycine max*) + 燕麦 (*Avena sativa*) 间作和花生 (*Arachis hypogaea*) + 燕麦间作时, 花生受到抑制, 而大豆、燕麦在间作体系中获益。因此, 如何兼顾合理群体密度与混播/间作优势, 权衡种内竞争与种间竞争关系, 是冷凉气候牧区箭筈豌豆种子生产体系中的关键问题。

有关箭筈豌豆混播的研究, 主要集中在箭筈豌豆与燕麦和大麦 (*Hordeum vulgare*) 的混播/间作^[14-15], 主要关注的是牧草的产量与质量^[5, 16-18], 以及对土壤的改善作用^[4, 19], 较少关注箭筈豌豆的种子生产问题。因此, 本研究针对箭筈豌豆种子生产中群体密度、群落结构 (混播/间作群落) 在其种子生产中的关键调控作用, 以播量作为群体密度的控制因素, 以箭筈豌豆与燕麦混播方式 (混播比例和同行混播、异行混播、单播) 作为群落结构的变化因素, 综合分析群体密度、群落结构对箭筈豌豆种子产量及其构成因素的影响, 探讨建立冷凉气候牧区箭筈豌豆种子生产的高产、优质的技术体系。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地点位于新疆伊犁哈萨克自治州昭苏县的昭苏马场 (81°03'–81°05' E, 42°38'–43°15' N), 该区域气候类型属于温带山区半湿润易旱冷凉类型。根据国家气象数据网的数据 (站点号 51437), 2013–2015 年, 研究区年均温 4.44 °C, 年最高温均值为 31.38 °C, 年最低温均值为 -22.98 °C, 年均降水量 482.73 mm, 生长季 (5–10 月) 降水量均值为 358.20 mm, 占年降水量的 74.20%, 全年日照时长 2 499.53 h。

1.2 小区试验设计

本研究结合前期研究成果及相关文献 [1, 8], 设群体密度 (以播量来表示, a 因素) 和群落结构 (以混播方式来表示, b 因素) 两个因素, 行距固定为 22.5 cm, 播种方式为条播。其中群体密度 (播量) 设置 3 个播量水平, 分别为 90、120 和 150 kg·hm⁻²。混播群体结构在固定播量 (箭筈豌豆 120 kg·hm⁻² 和燕麦 180 kg·hm⁻²) 下设置不同混播比例 (箭筈豌豆与燕麦的混播比例分别为 50:50、67:33、75:25、80:20) 和混播方式 (分别为同行混播和异行混播)。其中异行混播以行数控制混播比例, 每行播种种子数相同, 即 1 行:1 行 = 豆禾比 50:50, 2 行:1 行 = 豆禾比 67:33, 3 行:1 行 = 豆禾比 75:25, 4 行:1 行 = 豆禾比 80:20。混播群体结构试验设计中以单播燕麦和箭筈豌豆为对照, 播量分别为 180 和 120 kg·hm⁻²。试验共 12 个处理, 每个处理 3 次重复 (N = 3), 完全随机区组设计, 36 个小区, 混播比例按种子占单播重量的实际用价来计算, 混播与单播密度相同。每个小区面积均为 4.5 m × 5.0 m。具体处理设计如表 1 所列。2017 年 4 月下旬土壤解冻时进行试验地准备工作, 包括翻耕、平整、小区设置等。2017 年 5 月 1 日播种, 在箭筈豌豆种子成熟时 (2017 年 9 月中

旬) 进行收获。试验期间不施用任何肥料, 不灌溉, 中耕松土一次, 每年人工除杂草两次。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 种子产量及种子产量构成等性状的测定

单株分枝数 (shoots per plant, Sh/P)、开花数 (blooms per plant, Bl/P) 和结荚数 (pods per plant, Po/P): 在箭筈豌豆花期, 每小区随机选取长势均匀一致的 20 株单株, 测定箭筈豌豆单株开花数, 在箭筈豌豆的成熟期, 每小区随机选取长势均匀一致的 20 株单株, 数每个单株的单株分枝数和结荚数, 重复 3 次。

荚长 (length of pod, LP) 和每荚籽粒数 (seeds per pod, S/Po): 在测定完分枝数和结荚数的 20 个单株上, 每个单株上随机选取 3 个豆荚, 测定单株所对应的荚长和每荚籽粒数, 取其平均值, 重复 3 次。

种子产量 (seeds yield, SY): 箭筈豌豆和燕麦种子成熟后, 各小区分别收获、晾干、脱粒、去杂、风干, 测定种子产量。

利用结荚数/开花数 (pods/blooms, Po/Bl, 单株结荚数/单株开花数)、每荚籽粒数/开花数 (seeds/blooms, S/Bl, 每荚籽粒数/单株开花数) 和种子数/开花数 (total seed/blooms, TS/Bl, 每荚籽粒数 ×

表 1 箭筈豌豆群体密度和箭筈豌豆-燕麦混播群落结构的播量、播种方式和混播比例
Table 1 Sowing quantity, mixed sowing ratios and sowing patterns in common vetch-oat mixtures

处理 Treatment	播种方式 Sowing pattern	行距 Row spacing/cm	混播比例 Mixed sowing ratio	播量 Sowing quantity/(kg·hm ⁻²)	
				箭筈豌豆 <i>Vicia sativa</i>	燕麦 <i>Avena sativa</i>
A ₁	单播 Monoculture	22.5	—	90	—
A ₂ (CK _J)	单播 Monoculture	22.5	—	120	—
A ₃	单播 Monoculture	22.5	—	150	—
CK _Y	单播 Monoculture	22.5	—	—	180
BT ₅₀	同行混播 Mixed cropping	22.5	50:50	60	90
BT ₆₇	同行混播 Mixed cropping	22.5	67:33	80	60
BT ₇₅	同行混播 Mixed cropping	22.5	75:25	90	45
BT ₈₀	同行混播 Mixed cropping	22.5	80:20	96	36
BY ₅₀	异行混播 Intercropping	22.5	50:50	60	90
BY ₆₇	异行混播 Intercropping	22.5	67:33	80	60
BY ₇₅	异行混播 Intercropping	22.5	75:25	90	45
BY ₈₀	异行混播 Intercropping	22.5	80:20	96	36

单株结荚数/单株开花数)测定其与种子产量相关的功能性状。

1.3.2 种子质量的测定

千粒重 (thousand seeds weight, TSW): 待种子收获风干后, 用百粒法测定千粒重, 重复3次。

发芽势 (germination potential, GP) 和发芽率 (germination rate, GR): 将每个处理不同小区风干后的箭筈豌豆种子混合, 从每个处理中随机选取200粒置于4℃冰箱中冷藏处理15d后取出, 用75%浓度乙醇消毒后做发芽试验。每个处理设6个重复, 每个重复16粒种子, 置于20℃恒温培养箱黑暗环境下培养, 每天统计发芽种子数, 第4天计算发芽势, 直至种子发芽数量连续3d未发生变化时, 计算种子发芽率^[20]。

1.3.3 混播群落种间竞争及混播优势的测度

利用相对产量总和 (relative yield total, RYT) 和种间竞争率 (competition ratio, CR) 测度箭筈豌豆-燕麦混播群落的种间竞争强度及竞争格局。

$$RYT = \frac{Y_{ij}}{Y_{ii}} + \frac{Y_{ji}}{Y_{jj}}$$

式中: Y_{ij} 为种 i 与种 j 混播时种 i 的草产量; Y_{ii} 为种 i 单播时的草产量; Y_{ji} 为种 j 与种 i 混播时种 j 的草产量; Y_{jj} 为种 j 单播时的草产量^[21]。 $RYT = 1$, 说明在该组分下种间和种内干扰相等; $RYT < 1$, 说明在该组分下种间干扰大于种内干扰, 环境资源没有得到充分利用; $RYT > 1$ 说明种间干扰小于种内干扰, 各个竞争种可能有某种程度的生态位分化, 环境资源得到充分利用。

$$CR_i = \frac{(Y_{ij}/Y_{ii}) \times Z_{ij}}{(Y_{ji}/Y_{jj}) \times Z_{ji}}$$

式中: CR_i 为种 i 的竞争率; Y_{ij} 为混播中种 i 的草产量; Y_{ii} 为种 i 单播时的草产量; Y_{ji} 为混播中种 j 的草产量; Y_{jj} 为单播种 j 的草产量; Z_{ij} 为混播中种 i 的比例; Z_{ji} 为混播中种 j 的比例^[22]; $Z_{ij} + Z_{ji} = 1$ 。

利用土地当量比 (land equivalent ratio, LER) 衡量混播优势。

$LER = L_O + L_P$; L_O = 混播燕麦籽粒产量/单播燕麦籽粒产量; L_P = 混播箭筈豌豆籽粒产量/单播箭筈豌豆籽粒产量^[23]。当 $LER > 1$ 时, 表示有混播优势; 当 $LER < 1$ 则无混播优势。

牧草产量: 在箭筈豌豆成熟期, 每小区选取长

势均匀的 1 m^2 样方, 留茬 5 cm 刈割, 测定其牧草产量, 重复3次; 对于混播小区, 需将箭筈豌豆和燕麦分离, 分别测定二者牧草产量。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010、SPSS 20.0 对数据进行统计分析, 统计完成后制图用 Origin8.0。采用 q 检验法 (SNK) 和最小差异显著法 (LSD) 进行不同处理间种子产量、种子质量、与种子产量构成、种间竞争和混播优势的差异显著性检验 ($P < 0.05$), 采用最小二乘法进行种子产量、种子质量和与种子产量构成进行回归分析。

2 结果与分析

播量对箭筈豌豆种子产量影响显著, 而对种子质量、与种子产量相关的生物学性状影响较小 (表2), 而不同混播群落结构不仅能显著影响种子产量, 还能影响种子质量及与种子产量相关的生物学性状 (表3)。回归分析表明, 播量和群落结构均能够通过影响相关生物学性状来影响种子产量 (表4)。另外, 箭筈豌豆与燕麦混播/间作, 不仅能提高资源利用效率, 降低种间竞争强度, 充分利用资源, 还能提高整个混播/间作系统的籽粒产量 (图1)。

2.1 播量对箭筈豌豆种子产量、质量及产量构成等的影响

单播3个播量处理下的 Sh/P、Bl/P、Po/P、LP、S/Po、Po/Bl、S/Bl、TS/Bl、TSW、GR 和 GP 彼此间均无显著差异 ($P > 0.05$) (表2); A_3 处理的种子产量显著高于 A_1 处理的 ($P < 0.05$), 且在单播情况下, 随着播量的减少, 种子产量也随之减少。单播3个播量处理下的 Sh/P、Po/P、SY 显著高于各混播群落播量处理; BT_{67}/BY_{67} 处理的 TS/Bl 显著小于各单播群落播量处理; 而 BT_{80}/BY_{80} 处理的 GP 显著高于各单播群落播量处理; 其他参数在各处理间无显著差异 ($P > 0.05$)。将不同播量与种子产量、质量及相关生物学性状等参数进行回归分析, 则发现播量与 Sh/P、Bl/P、LP、TSW 呈显著正相关关系 ($P < 0.05$), 与 Po/P、SY 呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$), 与 S/Bl 呈显著负相关关系 ($P < 0.05$), 与 GP 呈极显著负相关关系 ($P < 0.01$), 与其他参数相关性不显著 ($P > 0.05$) (表4)。

表 2 不同播量下箭筈豌豆种子产量与质量相关性状的多重比较

Table 2 Multiple comparison of seed yield, seed quality and relative characteristics under different sowing quantities

处理 Treatment	单株分枝数 Sh/P	开花数 B/P	结荚数 Po/P	荚长 LP/cm	每荚籽粒数 S/Po	结荚数/ 开花数 Po/B	每荚籽粒数/ 开花数 S/B	种子数/开 花数 TS/B	种子产量 SY/(kg·hm ⁻²)	千粒重 TSW/g	发芽率 GR/%	发芽势 GP/%
A ₁	2.32 ± 0.11a	12.15 ± 2.47ab	15.92 ± 2.56a	5.36 ± 0.17a	5.87 ± 0.52a	0.76 ± 0.26a	0.37 ± 0.10a	4.48 ± 1.59a	812.35 ± 454.39b	72.37 ± 3.79a	70.83 ± 3.11a	59.38 ± 3.21bc
A ₂ (CK ₁)	2.30 ± 0.10a	13.27 ± 4.22a	13.85 ± 1.83a	5.23 ± 0.26a	5.57 ± 0.25a	0.96 ± 0.06a	0.41 ± 0.11a	5.34 ± 0.56a	986.67 ± 34.72ab	81.79 ± 5.30a	80.21 ± 7.42a	59.38 ± 3.01bc
A ₃	2.18 ± 0.09a	10.63 ± 1.77ab	15.98 ± 0.81a	5.33 ± 0.06a	5.67 ± 0.40a	0.70 ± 0.16a	0.37 ± 0.09a	4.06 ± 1.68a	1 176.47 ± 69.19a	79.02 ± 3.00a	79.17 ± 11.40a	53.13 ± 9.00c
BT ₅₀ /BY ₅₀	1.66 ± 0.14b	9.90 ± 0.95b	6.86 ± 1.86b	4.97 ± 0.16a	5.53 ± 0.36a	0.72 ± 0.25a	0.58 ± 0.13a	4.01 ± 1.56a	322.74 ± 26.71c	74.05 ± 3.60a	77.08 ± 7.31a	50.00 ± 8.50c
BT ₆₇ /BY ₆₇	1.67 ± 0.16b	14.05 ± 4.20a	6.09 ± 0.90b	5.22 ± 0.17a	5.63 ± 0.44a	0.46 ± 0.15a	0.42 ± 0.11a	2.59 ± 0.98b	312.75 ± 17.62c	70.85 ± 3.79a	77.60 ± 6.68a	55.21 ± 9.01c
BT ₇₅ /BY ₇₅	1.72 ± 0.18b	11.35 ± 1.42ab	7.58 ± 1.69b	5.23 ± 0.32a	5.52 ± 0.24a	0.67 ± 0.18a	0.49 ± 0.07a	3.76 ± 0.72ab	353.92 ± 23.33c	74.80 ± 2.71a	82.29 ± 5.87a	66.67 ± 7.11ab
BT ₈₀ /BY ₈₀	1.73 ± 0.13b	12.53 ± 1.17ab	7.89 ± 1.78b	5.14 ± 1.57a	5.25 ± 0.19a	0.64 ± 0.16a	0.43 ± 0.06a	3.35 ± 0.71ab	460.29 ± 153.46c	75.61 ± 1.40a	84.38 ± 10.20a	71.88 ± 10.24a
F	12.781	4.196	6.049	1.456	1.598	0.811	0.920	3.055	5.793	1.792	0.531	5.394
P	0.000	0.005	0.001	0.241	0.194	0.602	0.523	0.026	0.001	0.148	0.751	0.001

同列不同小写字母表示不同处理间在0.05水平下差异显著。下同。
Sh/P, shoots per plant; B/P, blooms per plant; Po/P, pods per plant; LP, length of pod; S/Po, seeds per pod; Po/B, pods/blooms; S/B, seeds/blooms; TS/B, Total seed/blooms; SY, seeds yield; TSW, thousand seeds weight; GR, germination rate; GP, germination potential. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between different treatments at the 0.05 level; similarly for the following tables.

表 3 不同群体结构下箭筈豌豆种子产量相关性状的多重比较

Table 3 Multiple comparison of seed yield, seed quality and relative characteristics under different sowing ratios and patterns

处理 Treatment	单株分枝数 Sh/P	开花数 B/P	结荚数 Po/P	荚长 LP/cm	每荚籽粒数 S/Po	结荚数/ 开花数 Po/B	每荚籽粒数/ 开花数 S/B	种子数/开 花数 TS/B	种子产量 SY/(kg·hm ⁻²)	千粒重 TSW/g	发芽率 GR/%	发芽势 GP/%
A ₂ (CK ₁)	2.30 ± 0.10a	13.27 ± 4.22ab	13.85 ± 1.83a	5.23 ± 0.26a	5.57 ± 0.25a	0.96 ± 0.06a	0.41 ± 0.11a	5.34 ± 0.56a	986.67 ± 34.72a	81.79 ± 5.30a	80.21 ± 7.42a	59.38 ± 3.01bc
BT ₅₀	1.40 ± 0.18b	8.65 ± 1.85c	6.42 ± 1.34b	4.94 ± 0.28a	5.33 ± 0.31a	0.78 ± 0.32a	0.64 ± 0.17a	4.22 ± 1.95a	300.00 ± 8.06d	74.85 ± 1.52ab	79.17 ± 7.86a	56.25 ± 6.25bc
BT ₆₇	1.45 ± 0.18b	16.10 ± 2.69a	5.88 ± 0.88b	5.09 ± 0.25a	5.48 ± 0.29a	0.37 ± 0.07a	0.35 ± 0.06a	2.02 ± 0.26a	326.47 ± 5.09d	69.92 ± 2.00b	83.33 ± 6.51a	58.33 ± 12.63bc
BT ₇₅	1.61 ± 0.22b	11.40 ± 1.42b	7.40 ± 0.58b	5.01 ± 0.18a	5.10 ± 0.48a	0.66 ± 0.11a	0.45 ± 0.09a	3.38 ± 0.88a	353.92 ± 3.55cd	72.76 ± 4.17ab	84.38 ± 13.62a	65.63 ± 5.41ab
BT ₈₀	1.43 ± 0.10b	11.47 ± 2.63b	6.52 ± 0.58b	5.14 ± 0.18a	5.35 ± 0.43a	0.59 ± 0.15a	0.49 ± 0.15a	3.20 ± 1.03a	487.43 ± 11.05b	76.25 ± 3.00ab	77.08 ± 7.22a	68.75 ± 8.27ab
BY ₅₀	1.92 ± 0.10ab	11.15 ± 0.15b	7.30 ± 2.50b	5.08 ± 0.09a	5.73 ± 0.33a	0.65 ± 0.22a	0.51 ± 0.03a	3.79 ± 1.47a	345.49 ± 12.58c	73.26 ± 2.67ab	75.00 ± 6.25a	43.75 ± 6.25c
BY ₆₇	1.88 ± 0.15ab	12.00 ± 2.10b	6.30 ± 1.05b	5.34 ± 0.41a	5.78 ± 0.51a	0.54 ± 0.17a	0.49 ± 0.10a	3.16 ± 1.15a	299.02 ± 13.59d	71.78 ± 3.17ab	71.88 ± 8.27a	52.08 ± 3.61bc
BY ₇₅	1.83 ± 0.14ab	11.30 ± 0.20b	7.75 ± 2.89b	5.44 ± 0.30a	5.93 ± 0.35a	0.69 ± 0.27a	0.53 ± 0.04a	4.14 ± 1.84a	353.93 ± 7.01cd	76.83 ± 1.20ab	80.21 ± 6.51a	67.71 ± 7.86ab
BY ₈₀	2.03 ± 0.13a	13.58 ± 1.20ab	9.27 ± 1.03ab	5.14 ± 0.17a	5.15 ± 0.51a	0.68 ± 0.04a	0.38 ± 0.01a	3.51 ± 0.39a	442.16 ± 15.89bc	74.98 ± 1.67ab	91.67 ± 4.77a	75.00 ± 12.50a
F	12.781	4.196	6.049	1.456	1.598	0.811	0.920	1.327	348.768	3.701	1.758	3.630
P	0.000	0.005	0.001	0.241	0.194	0.602	0.523	0.227	0.000	0.005	0.130	0.006

表 4 播量、群落结构与种子产量、质量相关参数的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of parameters under different sowing quantities or sowing ratios and patterns

处理 Treatment	指标 Item	单株分枝 数 Sh/P	开花数 Bl/P	结荚数 Po/P	荚长 LP/cm	每荚籽 粒数 S/Po	结荚数/开 花数 Po/Bl	每荚籽粒数/ 开花数 S/Bl	种子数/开 花数 TS/Bl	种子 产量 SY	千粒重 TSW	发芽率 GR	发芽势 GP
播量 Sowing quantity	R	0.489	0.504	0.542	0.385	0.095	0.205	-0.494	0.205	0.879	0.541	-0.179	-0.598
	P	0.020	0.012	0.009	0.036	0.612	0.269	0.017	0.273	0.000	0.011	0.351	0.004
群落结构 Community structure	R	0.732	0.559	0.792	0.469	0.184	0.459	-0.513	0.451	0.954	0.475	-0.232	-0.538
	P	0.000	0.008	0.000	0.046	0.349	0.048	0.011	0.053	0.000	0.044	0.279	0.010

2.2 混播群体结构对箭筈豌豆种子产量、质量及产量构成等的影响

同行混播各处理的 Sh/P 显著小于单播 (CK_J) 和 BY₈₀ ($P < 0.05$) (表 3); BT₆₇ 的 Bl/P 与 CK_J 和 BY₈₀ 无显著差异 ($P > 0.05$), 但显著大于其他混播处理; CK_J 的 Po/P 与 BY₈₀ 无显著差异, 但显著大于其他混播处理; 各处理的 LP、S/Po、Po/Bl、S/Bl、TS/Bl 和 GR 均无显著差异; CK_J 的 SY 显著高于各混播处理 ($P < 0.05$), BT₈₀ 的 SY 显著高于 BT₅₀、BT₆₇、BY₅₀、BY₆₇、BT₇₅ 和 BY₇₅, 但与其他混播处理无显著差异; CK_J 的 TSW 显著高于 BT₆₇, 但与其他混播处理无显著差异 ($P > 0.05$); BY₈₀ 的 GP 与 BT₇₅、BT₈₀ 和 BY₇₅ 均无显著差异, 但显著大于其他混播处理。将不同群落结构与种子产量、质量及相关生物学性状等参数进行回归分析, 则发现群落结构与 LP、Po/Bl、TSW 呈显著正相关关系 ($P < 0.05$), 与 Sh/P、Bl/P、Po/P、SY 呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$), 与 S/Bl、GP 呈显著负相关关系 ($P < 0.05$), 与其他参数相关性不显著 ($P > 0.05$) (表 4)。

对种子产量、质量和相关生物学性状参数进行偏相关分析表明 (表 5), 播量与群落结构变量固定时, Sh/P 与 Po/P、SY 呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$), 与 LP、Po/Bl、TS/Bl 呈显著正相关关系 ($P < 0.05$); Bl/P 与 Po/Bl、S/Bl、TS/Bl 呈极显著负相关关系 ($P < 0.01$); Po/P 与 Po/Bl、TS/Bl、SY 呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$), 与 LP 呈显著正相关关系 ($P < 0.05$); LP 与 S/Po、TS/Bl 呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$); S/Po 与 TS/Bl 呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$), 与 S/Bl 呈显著正相关关系 ($P < 0.05$); Po/Bl 与 S/Bl、TS/Bl 呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$); S/Bl 与 TS/Bl 呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$)。因此, 能显著影响箭筈豌豆种子产量的生物学性状

主要为分枝数和结荚数, 而且分枝数能显著影响结荚数、荚长和结荚数/开花数, 结荚数则能显著影响荚长、结荚数/开花数、种子数/开花数。

2.3 种间竞争格局对箭筈豌豆种子产量、质量及产量构成等性状的影响

所有混播群落结构处理相对产量总和 (RYT) 均大于 1, 籽粒产量的土地当量比 (LER) 也均大于 1 (图 1)。BT₅₀、BY₅₀ 和 BT₇₅ 具有较高的 RYT 值, 且 BT₅₀ 和 BT₇₅ 的 RYT 值显著大于除 BY₅₀ 外的其他混播结构处理 ($P < 0.05$)。BT₅₀ 和 BY₅₀ 也具有较高的 LER 值, 且 BT₅₀ 和 BY₅₀ 的 LER 值显著大于 BY₆₇ ($P < 0.05$)。BY₈₀ 具有较高的箭筈豌豆牧草竞争率 (CR_J), 显著大于其他混播结构处理 ($P < 0.05$); BT₅₀BY₅₀ 则具有较低的 CR_J 值, 显著小于其他混播结构处理 ($P < 0.05$)。BT₅₀、BY₅₀ 具有较高的燕麦牧草竞争率 (CR_Y), 显著大于其他混播结构处理 ($P < 0.05$)。进一步分析箭筈豌豆种子产量与 RYT、LER、CR_J 和 CR_Y 的关系 (图 2), 可发现 RYT 值较低或较高时, 具有较高的箭筈豌豆种子产量; CR_J 值则与箭筈豌豆种子产量呈同步增加的关系; LER 和 CR_Y 值均与箭筈豌豆种子产量呈双峰曲线关系, 在 LER 值处于中间时, 或 CR_Y 值较低时, 箭筈豌豆种子产量较高。因此, 较强的箭筈豌豆牧草竞争率 (BY₈₀) 可增强箭筈豌豆组分的竞争力, 利于其种子生产潜力的发挥; 而较弱的箭筈豌豆牧草竞争率 (BT₅₀、BY₅₀) 受到燕麦的强烈竞争, 种子生产能力受到影响。

3 讨论

3.1 不同播种方式对种子产量、质量的影响

播量不仅调节了植株密度, 也能影响水分、光

表 5 相关参数的偏相关性分析
Table 5 Partial correlation analysis of parameters under different sowing quantities or sowing ratios and patterns

参数 Parameter	单株分枝数 Sh/P	开花数 Bl/P	结荚数 Po/P	荚长 LP	每荚籽 粒数 S/Po	结荚数/开 花数 Po/Bl	每荚籽粒数/ 开花数 S/Bl	种子数/ 开花数 TS/Bl	种子 产量 SY	千粒重 TSW	发芽率 GR
Bl/P	0.214										
Po/P	0.745**	0.089									
LP	0.358*	0.174	0.451*								
S/Po	0.193	-0.048	0.195	0.737**							
Po/Bl	0.380*	-0.588**	0.701**	0.317	0.241						
S/Bl	-0.208	-0.872**	-0.101	0.127	0.381*	0.599**					
TS/Bl	0.389*	-0.550**	0.689**	0.454**	0.446**	0.975**	0.635**				
SY	0.677**	0.271	0.606**	0.345	0.189	0.189	-0.314	0.207			
TSW	0.169	-0.101	0.289	0.130	0.118	0.218	0.043	0.221	0.333		
GR	0.122	0.125	0.201	-0.007	-0.235	0.145	-0.073	0.080	-0.054	0.116	
GP	-0.019	0.158	0.164	0.201	-0.123	0.095	-0.116	0.056	0.286	-0.101	0.214

*表示0.05水平下双侧偏相关显著，**表示0.01水平下双侧偏相关显著。
* indicate significant correlation of partial correlation at the 0.05 level; ** indicate significant correlation of partial correlation at the 0.01 level.

照、土壤养分、空间等生态因素^[7,24]，使箭筈豌豆生长环境发生变化，从而使箭筈豌豆生物学性状发生改变。游明鸿等^[7]、王雁丽和郑敏娜^[8]均发现了不同群体密度对牧草种子产量影响较大，过高的群体密度会导致营养生长增加资源投入，而生殖生长投入资源不足，从而降低种子产量；过低的群体密度则无法在单位面积上提供足够的生殖生长器官，也影响种子产量潜力的发挥。本研究中，群体密度(播量)可以正向影响箭筈豌豆单株分枝数、开花数、结荚数荚长，负向影响每荚籽粒数/开花数，群落结构可以正向影响箭筈豌豆单株分枝数、开花数、结荚数、荚长以及结荚数/开花数，负向影响每荚籽粒数/开花数；在不考虑群体密度和群落结构时，箭筈豌豆种子产量与单株分枝数和结荚数密切相关，而单株分枝数与结荚数、荚长和结荚数/开花数关系密切，结荚数则与荚长、结荚数/开花数、种子数/开花数关系密切。这与游明鸿等^[7]、王雁丽和郑敏娜^[8]的研究结果类似。因而，群体密度(播量)主要通过影响分枝数、结荚数，继而影响荚长、结荚数/开花数、种子数/开花数等性状影响种子产量。群体密度过高则会导致箭筈豌豆每荚籽粒数/开花数减少，还会影响种子质量(发芽势)。因此，适宜的群体密度可提高种子产量、改善种子质量^[25-26]。

从分枝到开花、结荚，再到种子成熟，在箭筈豌豆种子形成过程中，群体密度仅仅是影响因素之一，群落结构，特别是种间竞争过程和结局也能影响种子产量的形成。于辉等^[27]和朱亚琼等^[28]在伊犁昭苏的试验表明，无论在水平方向上还是在垂直方向上，禾草相对豆科牧草具有竞争优势，抑制了豆科牧草的生长。因而，也会对种子生产造成影响。本研究中，同行混播、箭筈豌豆播种比例为80%(BT₈₀)和异行混播、箭筈豌豆播种比例为75%和80%时(BY₇₅、BY₈₀)具有较高的种子产量和种子质量(发芽势)，且箭筈豌豆牧草竞争率较高；群落结构还可以显著影响箭筈豌豆单株分枝数、开花数、结荚数、荚长、结荚数/开花数。因此，箭筈豌豆与燕麦混播系统需要关注种间竞争格局，防止燕麦竞争力过强，抑制箭筈豌豆生长，进而影响其种子产量的形成。

3.2 箭筈豌豆种子产量与质量提升的途径

箭筈豌豆种子生产过程中需要选择适宜的气候、土壤及种质资源，合理的群体密度管理，有一定的支撑作物或牧草，但竞争力不能太强，结合杂草管理、灌溉、施肥等措施，才能获得高产优质的种子。如果进一步考虑箭筈豌豆种子的商品化或经济竞争性，还得考虑机械化种植、施

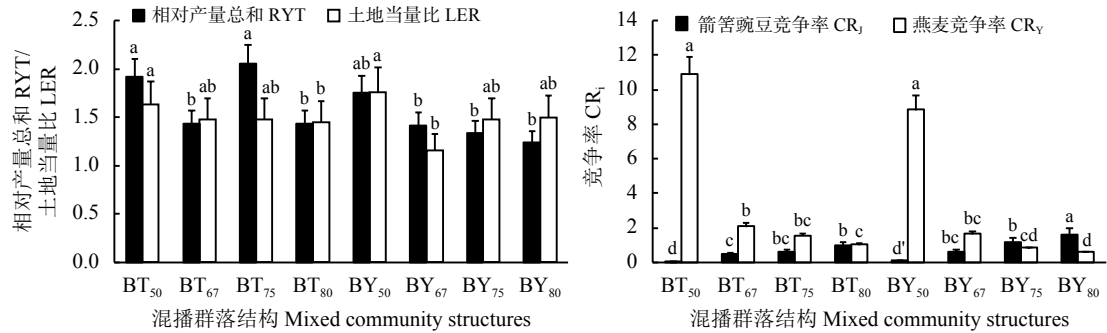


图 1 不同混播群落结构下牧草相对产量总和、土地当量比与混播牧草竞争率的比较

Figure 1 Comparison of forage relative yield total, land equivalent ratio and forage competition ratios under different mixed community structures

不同小写字母表示同一指标不同混播群落结构间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters for the same parameter indicate significant different mixed community structures at the 0.05 level; RYT, relative yield total; LER, land equivalent ratio; CR_j , the CR of *V. sativa*, CR_y , the CR of *A. sativa*; similarly for the Figure 2.

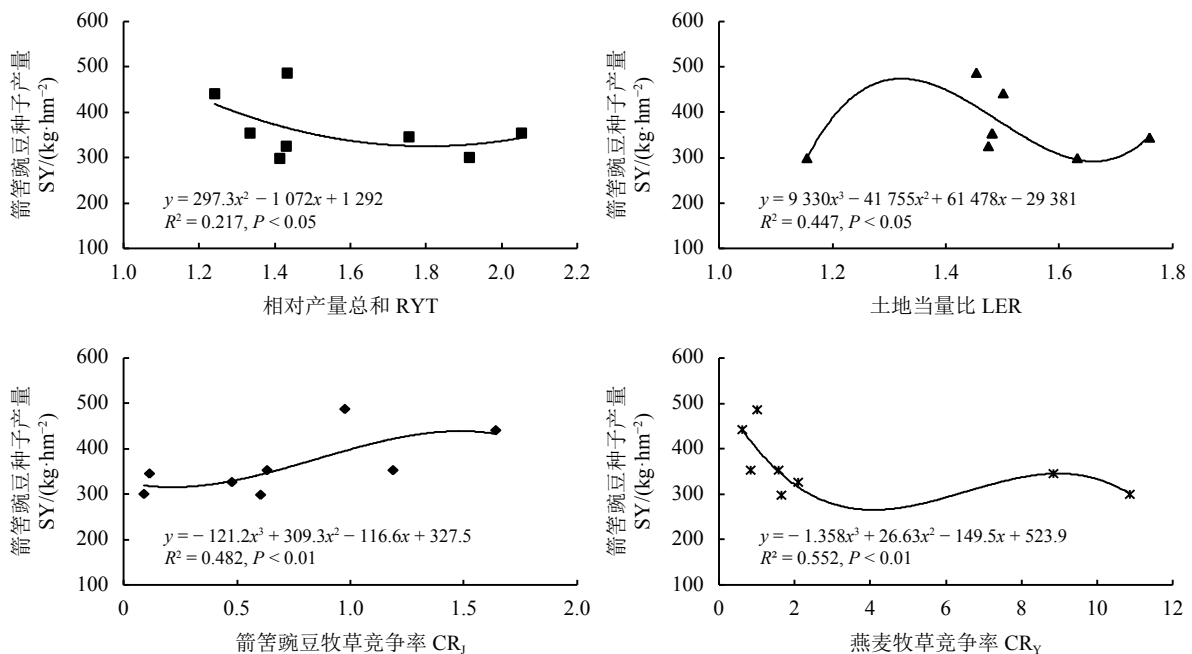


图 2 箭筈豌豆种子产量与相对产量总和、土地当量比、混播牧草竞争率的关系

Figure 2 The relationship between the seed yield of *V. sativa* and RYT, LER, CR_j and CR_y

肥、杂草防除、种子收获、清选等机械的特点，对种植、田间管理和收获方法进行调整。现有研究中，对牧草种子田群体密度控制途径主要通过行距的调整来完成，但主要针对多年生牧草^[7,11]，多年生牧草种植初期较低的群体密度反而有利于后期的种子高产；一年生(或越年生)的牧草无法像多年生的牧草通过多年营养生长，储备足够营养来实现生殖生长，因而可通过播量来控制群体密度。箭筈豌豆的攀援特性使得其生长过程中需要支撑作物或牧草来完成其生活史。但与其混播

间作的作物或牧草竞争力太强，侵占了混播群落的生存空间、光照、土壤养分等资源，就会使箭筈豌豆的种子生产受到严重影响。本研究中，同行混播、燕麦混播比例大于 25% 的组合，以及异行混播、燕麦混播比例大于 33% 的组合均产生了上述现象，箭筈豌豆种子生产能力下降。故而，另一个提升箭筈豌豆种子生产的途径是寻找合适的支撑作物或牧草，再加上合理的混播群落结构，调整混播组分的竞争格局，使箭筈豌豆种群在群落中处于强竞争者的地位。

4 结论

随着播量的增加,分枝数、结荚数等与种子产量相关的生物学性状提高,箭筈豌豆种子产量呈增加趋势;混播群落结构则通过结荚数、开花数、分枝数等生物学性状影响种子产量。混播对于提升混播群落的牧草产量和籽粒产量均有明显帮助,但以箭筈豌豆种子生产为目的,则需要扩

大混播群落中箭筈豌豆播种比例,采用异行混播,降低燕麦的牧草竞争率,增强箭筈豌豆的牧草竞争率。因此,在气候冷凉的牧区进行箭筈豌豆种子生产,需要较高的播量,利用合适的支撑牧草或作物,通过混播比例和混播方式来调控支撑牧草或作物与箭筈豌豆的竞争格局,使箭筈豌豆处于较强竞争者地位,有利于获得高产优质的箭筈豌豆种子。

参考文献 References:

- [1] 陈默君, 贾慎修. 中国饲用植物. 北京: 中国农业出版社, 2002: 673-675.
CHEN M J, JIA S X. Chinese Forage Plants. Beijing: China Agriculture Press, 2002: 673-675.
- [2] 南志标, 张吉宇, 王彦荣, 李春杰, 聂斌, 张健全, 赵宏. 五个箭筈豌豆品系基因型与环境互作效应及农艺性状稳定性. *生态学报*, 2004, 24(3): 395-401.
NAN Z B, ZHANG J Y, WANG Y R, LI C J, NIE B, ZHANG J Q, ZHAO H. Genotype $\times$ environment interactions and consistency analysis for agronomic characteristics of five *Vicia sativa* lines. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(3): 395-401.
- [3] 马春晖, 韩建国, 李鸿祥, 毛培胜, 戎郁萍. 冬牧 70 黑麦 + 箭豌豆混播草地生物量、品质及种间竞争的动态研究. *草业学报*, 1999, 8(4): 56-64.
MA C H, HAN J G, LI H X, MAO P S, RONG Y P. The dynamical studies on biomass, qualities and interspecific competition of the rye and vetch mixture. *Acta Prataculturae Sinica*, 1999, 8(4): 56-64.
- [4] 蒋海亮, 张清平, 沈禹颖. 黄土高原旱塬区间作比例对燕麦/箭筈豌豆系统的影响. *草业科学*, 2014, 31(2): 272-277.
JIANG H L, ZHANG Q P, SHEN Y Y. Effects of intercropping ratio on autumn-sowing oats/common vetch system on the Loess Plateau. *Pratacultural Science*, 2014, 31(2): 272-277.
- [5] 杨文才, 拉巴, 魏巍. 氮磷配施对西藏河谷农区燕麦与箭筈豌豆混播产量及品质的影响. *作物杂志*, 2016(5): 75-80.
YANG W C, Laba, WEI W. Effects of combined application of N and P fertilizers on the yield and quality of oat-pea mixture in agricultural areas of river valleys in Tibet. *Crops*, 2016(5): 75-80.
- [6] WIT C T de, BERGH J P van den. Competition between herbage plants. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 1965, 13: 212-221.
- [7] 游明鸿, 刘金平, 白史且, 张新全, 李达旭. 行距对“川草 2 号”老芒麦生殖枝及种子产量性状的影响. *草业学报*, 2011, 20(6): 299-304.
YOU M H, LIU J P, BAI S Q, ZHANG X Q, LI D X. Influences of row spacing on fertile tillers and characters of seed yield of *Elymus sibiricus* cv. Chuancao No.2. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(6): 299-304.
- [8] 王雁丽, 郑敏娜. 播种行距和灌水量对春箭筈豌豆种子产量及其构成因素的影响. *中国农学通报*, 2014, 30(26): 6-10.
WANG Y L, ZHENG M N. Influence of row spacing and irrigation rate on seed yield of *Vicia sativa*. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(26): 6-10.
- [9] 冯晓敏, 杨永, 任长忠, 胡跃高, 曾昭海. 豆科-燕麦间作对作物光合特性及籽粒产量的影响. *作物学报*, 2015, 41(9): 1426-1434.
FENG X M, YANG Y, REN C Z, HU Y G, ZENG Z H. Effects of legumes intercropping with oat on photosynthesis characteristics of and grain yield. *Acta Agronomica Sinica*, 2015, 41(9): 1426-1434.
- [10] 陈功, 李锦华, 周青平. 高寒牧区春箭筈豌豆生产性能的研究. *青海草业*, 1991, 8(3): 10-12.
CHEN G, LI J H, ZHOU Q P. The study of vetch production in the cold pastoral area. *Qinghai Prataculturae*, 1991, 8(3): 10-12.
- [11] 毛培胜, 侯龙鱼, 王明亚. 中国北方牧草种子生产的限制因素和关键技术. *科学通报*, 2016, 61(2): 250-260.
MAO P S, HOU L Y, WANG M Y. Limited factors and key technologies of forage seed production in the northern of China. *Chinese Science Bulletin*, 2016, 61(2): 250-260.
- [12] 游永亮, 李源, 赵海明, 武瑞鑫, 刘贵波, 翟兰菊. 种植密度对饲用小黑麦、饲用黑麦种子生产性能的影响. *草业科学*, 2017, 34(7): 1522-1529.
YOU Y L, LI Y, ZHAO H M, WU R X, LIU G B, ZHAI L J. Effect of planting density on $\times$ *Triticale* Wittmack and *Secale cereale* seed productivity. *Pratacultural Science*, 2017, 34(7): 1522-1529.

- [13] 苟久兰, 秦松, 孙锐锋, 肖厚军, 王文华. 箭筈豌豆旱地留种技术规程. *贵州农业科学*, 2012, 40(10): 79-80.
GOU J L, QIN S, SUN R F, XIAO H J, WANG W H. Technical regulation of vetch seed production in dry land. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2012, 40(10): 79-80.
- [14] LITHOURGIDIS A S, VASILAKOGLU I B, DHIMA K V, DORDAS C A, YIAKOULAKI M D. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research*, 2006, 99: 106-113.
- [15] DHIMA K V, LITHOURGIDIS A S, VASILAKOGLU I B, DORDAS C A. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research*, 2007, 100: 249-256.
- [16] BINGÖL N T, KARSLI M A, YILMAZ I H, BOLAT D. The effects of planting time and combination on the nutrient composition and digestible dry matter yield of four mixtures of vetch varieties intercropped with barley. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 2007, 31(5): 297-302.
- [17] 李估恺, 孙涛, 旺扎, 李洪影, 崔国文. 西藏地区燕麦与箭筈豌豆不同混播比例对牧草产量和质量的影响. *草地学报*, 2011, 19(5): 830-833.
LI J K, SUN T, Wangzha, LI H Y, CUI G W. Effects on mixture sowing ratio on the yield and quality of both vetch and oat in Tibet. *Acta Agrestia Sinica*, 2011, 19(5): 830-833.
- [18] 赵彩霞, 何文清, 胡跃高, 董慧明, 余小玲. 低氮环境下燕麦与箭筈豌豆间混作与刈割时间对饲草产量及质量特性的影响. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(5): 5-9.
ZHAO C X, HE W Q, HU Y G, DONG H M, SHE X L. Effect of intercropping or mixture and harvest time on forage yield and quality of oat and pea under low soil nitrogen environment. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(5): 5-9.
- [19] 曹仲华, 魏军, 杨富裕, 曹社会. 西藏山南地区箭筈豌豆与春青稞混播效应的研究. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2008, 36(1): 73-78.
CAO Z H, WEI J, YANG F Y, CAO S H. Study on the effects of the common vetch-spring barley mixture in the Shannan Area of Tibet. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2008, 36(1): 73-78.
- [20] 中华人民共和国国家标准. 牧草种子检验规程. 北京: 技术标准出版社, 2011, 31-49: 85-89.
State Bureau of Quality Control of China (SBQCC). Rules for Forage Seed Testing. Beijing: Standards Press of China, 2011, 31-49: 85-89.
- [21] JONATHAN S, DEBORAH C. Introduction to Plant Population Ecology. New Jersey: Wiley-Blackwell, 1982: 147-155.
- [22] WIT C T de. On Competition. Versl. Londerbouwk Orderzoek, Wageningen, 1960, 66(8): 1-82.
- [23] KARPENSTEIN-MACHAN M, STUELPNAGEL R. Biomass yield and nitrogen fixation of legumes monocropped and intercropped with rye and rotation effects on a subsequent maize crop. *Plant and Soil*, 2000, 218: 215-232.
- [24] 韩文斌, 任胜茂, 罗阳春, 马雪清, 谢树果, 曹卫东. 播期和播量对橘园间作下山豇豆产量及农艺性状的影响. *草业科学*, 2015, 32(12): 2089-2093.
HAN W B, REN S M, LUO Y C, MA X Q, XIE S G, CAO W D. Effects of sowing date and sowing rate on yields and agronomic traits of grass pea intercropped with citrus. *Pratacultural Science*, 2015, 32(12): 2089-2093.
- [25] Askarian M, Hampton J G, Hill M J. Effect of row spacing and sowing rate on seed production of Lucerne. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, 1995, 38(2): 289-295.
- [26] ZHANG Z, YUN J F, WEN C. Effect of Different Plant Diversity on Seed Yield of Mongolia Wheatgrass. Multifunctional Grasslands in a Changing World (Volume II). Guangzhou: Guangdong People's Publishing House, 2008, 618.
- [27] 于辉, 郑伟, 张鲜花, 唐高溶, 王祥, 朱进忠. 群落空间结构对豆禾混播草地种间竞争关系的影响. *新疆农业大学学报*, 2015, 38(2): 87-92.
YU H, ZHENG W, ZHANG X H, TANG G R, WANG X, ZHU J Z. Effects of spatial structure on the relationship of interspecific competition in legume-grass mixtures community. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2015, 38(2): 87-92.
- [28] 朱亚琼, 郑伟, 王祥, 关正翾, 刘美君. 混播方式对无芒雀麦 + 红豆草混播草地植物生长效率及混播效应的影响. *草业科学*, 2017, 34(11): 2335-2346.
ZHU Y Q, ZHENG W, WANG X, GUAN Z X, LIU M J. Effect of mixed pattern on growth efficiency and mixed advantage of *Bromus innermis* + *Onobrychis viciaefolia* mixture pasture. *Pratacultural Science*, 2017, 34(11): 2335-2346.

(责任编辑 张瑾)