

DOI: 10.11686/cyxb2024320

http://cyxb.magtech.com.cn

樊文娟, 宋建超, 张小娟, 等. 氮磷配施对甘肃省武威灌区扁蓿豆种子产量和质量的影响. 草业学报, 2025, 34(8): 54—65.

FAN Wen-juan, SONG Jian-chao, ZHANG Xiao-juan, *et al.* The effects of combined nitrogen and phosphorus fertilization on seed yield and quality of *Medicago ruthenica* in the Wuwei irrigation district, Gansu Province. *Acta Prataculturae Sinica*, 2025, 34(8): 54—65.

氮磷配施对甘肃省武威灌区扁蓿豆种子产量和质量的影响

樊文娟, 宋建超, 张小娟, 盛宇航, 史金涛, 张龙骥, 鱼小军*

(甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 农业农村部饲草种质创新与新品种选育重点实验室, 甘肃省草业工程实验室, 中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要:为探明氮磷配施对扁蓿豆种子产量、产量构成因子及质量的影响,为种子生产提供技术支持。在甘肃省武威灌区以陇中1号扁蓿豆为材料,采用双因素试验,设置4个氮肥水平 $0(N_0)$ 、 $47(N_1)$ 、 $94(N_2)$ 和 $141(N_3)$ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,4个磷肥水平 $0(P_0)$ 、 $60(P_1)$ 、 $120(P_2)$ 和 $180(P_3)$ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,研究了氮磷肥配施下播种当年扁蓿豆种子产量、产量构成因子及质量的变化特征。结果表明,每花序小花数、每结荚花序荚果数、每荚果种子数及千粒重是影响扁蓿豆种子产量的主要因素。单施氮肥或磷肥有一定的增产效果但不能充分发挥扁蓿豆种子的产量潜力,氮磷配施显著提高了扁蓿豆种子产量。当施肥量为 N_1P_2 时,实际种子产量最高,达 $844\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。单施氮肥可以提升扁蓿豆种子的发芽势、发芽率、活力指数,但对发芽指数无显著影响;单施磷肥可提升扁蓿豆种子的发芽率,但对发芽势、活力指数和发芽指数有一定程度的抑制作用;施肥量为 N_1P_2 时可提高扁蓿豆种子品质。因此,在武威灌区扁蓿豆种子生产的播种当年,建议施肥量为 $47\text{ kg N}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $120\text{ kg P}_2\text{O}_5\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

关键词:武威灌区;扁蓿豆;氮磷配施;种子品质;种子产量;产量构成因子

The effects of combined nitrogen and phosphorus fertilization on seed yield and quality of *Medicago ruthenica* in the Wuwei irrigation district, Gansu Province

FAN Wen-juan, SONG Jian-chao, ZHANG Xiao-juan, SHENG Yu-hang, SHI Jin-tao, ZHANG Long-ji, YU Xiao-jun*

College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory of Pratacultural Ecosystem, Ministry of Education, Key Laboratory of Forage Gerplasm Innovation and New Variety Breeding of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-U. S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China

Abstract: This research explored the effects of combined nitrogen and phosphorus application on seed yield, yield components, and seed quality in *Medicago ruthenica*, in order to provide technical support for seed production. A two factor experiment was conducted in the Wuwei irrigation district of Gansu Province, using the *M. ruthenica* cultivar Longzhong No. 1. The experiment comprised a factorial combination of four nitrogen fertilizer (N) levels: 0 (N_0), 47 (N_1), 94 (N_2), and 141 (N_3) $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, and four phosphorus fertilizer (P_2O_5) levels: 0 (P_0), 60 (P_1), 120 (P_2) and 180 (P_3) $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. The changes in seed yield, yield components, and quality of *M. ruthenica* in the year of

收稿日期:2024-08-26;改回日期:2024-11-20

基金项目:国家牧草产业技术体系(CARS-34)资助。

作者简介:樊文娟(1999—),女,甘肃陇西人,在读硕士。E-mail:2762454410@qq.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: yuxj@gsau.edu.cn

sowing under the combined application of nitrogen and phosphorus fertilizers were studied. The results showed that the number of flowers per inflorescence, the number of pods per inflorescence, the number of seeds per pod and the thousand seed weight were the main factors affecting the seed yield of *M. ruthenica*. The application of nitrogen or phosphorus fertilizer alone increased seed yield to a certain extent, but could not fully exploit the seed yield potential of *M. ruthenica*; Nitrogen and phosphorus in combination significantly increased the yield of *M. ruthenica*. The highest actual seed yield of 844 kg·ha⁻¹ was achieved under the fertilizer combination N₁P₂. Application of nitrogen fertilizer alone enhanced the germination vigor, germination rate, and vitality index of *M. ruthenica* seeds, while application of phosphorus fertilizer alone improved the germination rate of *M. ruthenica* seeds but had some degree of inhibitory effect on seed germination vigor, vitality index, and germination index. The combined application of nitrogen and phosphorus improved the seed quality of *M. ruthenica*. Therefore, while recognizing the data are specific to the Wuwei irrigation district in the year of sowing, for *M. ruthenica* seed production, the N₁P₂ fertilizer combination of 47 kg N·ha⁻¹ and 120 kg P₂O₅·ha⁻¹ is recommended.

Key words: Wuwei irrigation district; *Medicago ruthenica*; combined nitrogen and phosphorus application; seed quality; seed yield; yield components

扁蓿豆(*Medicago ruthenica*)是豆科(Leguminous)苜蓿属异花授粉多年生牧草^[1],广泛分布于我国(甘肃、内蒙古、青海)及朝鲜、蒙古,常生长于草原、沙地等生态环境中^[2]。该牧草营养价值丰富,适口性良好,即便牲畜过量采食也不会引发臃胀病,因此被视为建立人工草地和进行草原补播修复的理想草种^[3]。近年来,伴随中国种植业与畜牧业产业结构的调整,天然草原的改良与优质牧草种植面积的扩大,扁蓿豆种子的需求量呈逐年上升的趋势^[4],但是实践中扁蓿豆种子产量低,如何提高扁蓿豆种子产量已成为当前亟待解决的问题。

在植物的生长过程中,氮素和磷素是不可或缺的营养元素。氮素提高种子产量的原因在于其可以促进植株地上部的生长,使得牧草的分枝增多;磷素则在植株的分枝、花序数量、干物质累积以及提高氮素利用效率等方面具有重要影响^[5-6]。适量施肥可以促进植株的生长发育,提高作物的产量和品质,过量施肥不仅不利于作物的生长,而且于土壤、环境有害。紫花苜蓿(*M. sativa*)^[7]和达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)^[8]种子产量均随着施肥量的增加呈先增后减的变化趋势。在施氮肥 150 kg·hm⁻²、控制种植密度为 3 kg·hm⁻²时,紫花苜蓿种子产量最高^[9],氮肥可提高紫花苜蓿的千粒重和结荚率^[10]。磷肥施用量为 150 和 135 kg·hm⁻²时,新牧 1 号紫花苜蓿^[11](*M. sativa* Xinmu No. 1)和新牧 2 号紫花苜蓿^[12](*M. sativa* Xinmu No. 2)种子产量较高。氮磷肥合理配施能有效提高紫花苜蓿、杂花苜蓿(*Medicago varia*)种子产量^[13-14]。虽然扁蓿豆与紫花苜蓿亲缘关系较近,但是生物量、遗传特性等存在差异,不能照搬紫花苜蓿的施肥经验指导扁蓿豆种子生产中的施肥管理。目前已有关于扁蓿豆在育种、生态和生理学等方面的研究^[15],但通过氮磷肥配施提高扁蓿豆种子产量和质量的相关研究未见报道。

因此,本试验在甘肃河西内陆灌区的武威市研究氮磷肥配施对陇中 1 号扁蓿豆种子产量、产量构成因子及质量的影响,以筛选出扁蓿豆生产的最佳施肥量,为河西灌区扁蓿豆种子生产提供基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在甘肃省武威市凉州区黄羊镇甘肃农业大学牧草试验站进行(102°40' E, 37°55' N, 海拔 1720 m),该地为大陆性气候,干旱少雨,土壤类型为绿洲灌溉土,具备灌溉条件,土壤养分基况见表 1。2023 年,该地区的平均气温为 9.42 °C,最高温为 36.1 °C,最低温为 -25.1 °C,年平均降水量 17.89

表 1 试验地土壤特性

Table 1 Soil characteristics of the test site

pH	有机质 Organic matter (g·kg ⁻¹)	速效氮 Available nitrogen (mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available phosphorus (mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium (mg·kg ⁻¹)
8.66	10.56	56.87	9.52	128.94

mm(图1)^[16]。

1.2 试验材料

供试品种陇中1号扁蓊豆为甘肃省草品种审定委员会审定的野生栽培品种,由甘肃农业大学草业学院提供。

供试氮肥为尿素[CO(NH₂)₂(含N≥46%)],磷肥为过磷酸钙[Ca(H₂PO₄)₂(含P₂O₅≥16%)],钾肥为硫酸钾[K₂SO₄(含K₂O≥52%)]。

1.3 试验设计

试验参考田新会等^[13]对紫花苜蓿种子生产田的施肥结构设置较适施肥量,氮肥施用量分别为0(N₀)、47(N₁)、94(N₂)、141(N₃) kg·hm⁻²,磷肥施用量分别为0(P₀)、60(P₁)、120(P₂)、180(P₃) kg·hm⁻²,共16个处理(表2),每个处理3次重复,试验小区大小为20 m²(4 m×5 m),各重复之间间隔1 m,采用随机区组排列。于2023年4月30日采用穴播的方式播种,每穴8~10粒,行距为50 cm,株距20 cm。

播种前,钾肥作为基肥一次性施入,施量为30 kg·hm⁻²;氮肥和磷肥则分两次施用,每次的施用量都占总量的50%,首次施肥是苗期,第二次是在现蕾期。为确保肥料能够被充分吸收和利用,每次施肥后采用漫灌的方法充分灌溉,灌水定额为900 m³·hm⁻²^[17],各小区除了施肥不同外其他浇水除杂等管理措施均相同。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 种子产量构成因子的测定

于2023年8月14日扁蓊豆盛花期,在每个小区内远离边行处随机选

取30个扁蓊豆生殖枝测定每生殖枝花序数,并标记以便后续观察^[18];在每个小区内远离边行处的扁蓊豆上部随机挑选30个花序,统计花序上的小花数量(不选取标记过的枝条)^[18]。

于2023年10月10日扁蓊豆结荚期,在每个小区内远离边行处随机选取3个1 m²(1 m×1 m)的样方,将样方内的植株刈割,留茬高度为5 cm,统计每m²的扁蓊豆生殖枝数,并统计各小区标记过生殖枝的结荚花序数量^[18];在每个小区内远离边行处随机挑选30个结荚花序,测定结荚花序上的荚果数量,然后随机选取30个荚果,测定荚果内的种子数量^[18]。约70%的扁蓊豆荚果成熟时,在每个小区内远离边行处随机选取3个1 m²(1 m×1 m)的样方刈割后脱粒、清选,随机选取100粒种子计算平均重量和标准差,重复8次,若变异系数小于4,便可根据这些数据得到种子的千粒重^[18];在每个小区内远离边行处随机选取3个1 m²(1 m×1 m)的样方刈割,测定不同施肥处理下扁蓊豆的实际种子产量^[18]。

表现种子产量 = 单位面积生殖枝数 × 每生殖枝结荚花序数 × 每荚果种子数 × 平均单粒种子重^[19]

1.4.2 种子品质的测定 将各施肥处理下的扁蓊豆种子收获、风干和清选后,参照《牧草种子检验规程》^[20]中规定的方法,随机选取200粒种子用于纸上发芽,每个培养皿50粒,重复4次^[21]:

$$\text{发芽势} = (\text{发芽试验第5天正常发芽种子数} / \text{供试种子数}) \times 100\%$$

$$\text{发芽率} = (\text{发芽试验第12天正常发芽种子数} / \text{供试种子数}) \times 100\%$$

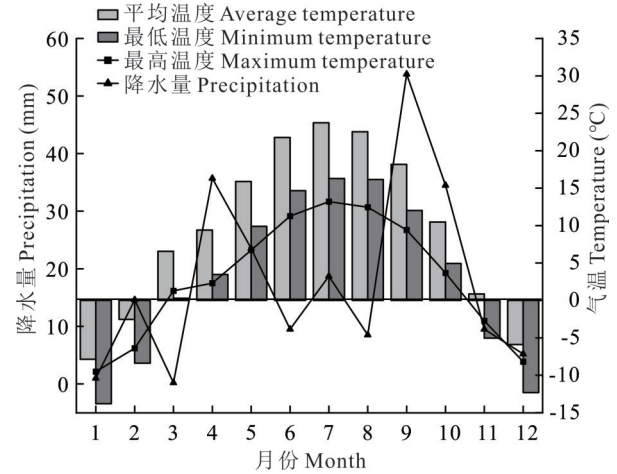


图1 黄羊镇2023年月平均气温及降水

Fig. 1 Monthly average temperature and rainfall of Huangyang Town in 2023

表2 施肥处理

Table 2 Fertilizer treatments (kg·hm⁻²)

处理 Treatment	施肥量 Fertilizer application		处理 Treatment	施肥量 Fertilizer application	
	N	P ₂ O ₅		N	P ₂ O ₅
N ₀ P ₀	0	0	N ₂ P ₀	94	0
N ₀ P ₁	0	60	N ₂ P ₁	94	60
N ₀ P ₂	0	120	N ₂ P ₂	94	120
N ₀ P ₃	0	180	N ₂ P ₃	94	180
N ₁ P ₀	47	0	N ₃ P ₀	141	0
N ₁ P ₁	47	60	N ₃ P ₁	141	60
N ₁ P ₂	47	120	N ₃ P ₂	141	120
N ₁ P ₃	47	180	N ₃ P ₃	141	180

$$\text{发芽指数} = \sum(\text{发芽数}/\text{相应发芽天数})$$

$$\text{活力指数} = \text{发芽指数} \times \text{幼苗平均苗长}$$

在完成发芽试验后,随机挑选培养皿内的 20 株幼苗,用精度为 1 mm 的直尺测定每株幼苗的芽长和根长。

1.5 统计分析

采用 Microsoft Excel 2016 对试验数据进行初步整理,用 IBM SPSS Statistics 26.0 软件进行双因素方差分析 (Two-way ANOVA) 和显著性检验,用 Duncan 法进行多重比较,评估氮、磷及其交互作用对产量构成因子的影响,用 Origin 2021 软件作图。

2 结果与分析

2.1 氮磷施肥对扁蓊豆种子产量构成因子的影响

氮磷肥配施促进了陇中 1 号扁蓊豆种子产量构成因子的提高(图 2)。与 N_0P_0 处理相比,氮肥单施后扁蓊豆生殖枝数、每生殖枝花序数、每花序小花数、每生殖枝结荚花序数、每花序荚果数、每荚果种子数、千粒重及株高均有一定程度的提升,其中 N_2P_0 处理下生殖枝数· m^{-2} 增幅为 28.3%,每生殖枝花序数增幅为 26.3%; N_3P_0 处理下每生殖枝结荚花序数增幅为 24.1%,每荚果种子数增幅为 13.9%,千粒重增幅为 6.0%,株高增幅为 6.4%; N_1P_0 处理下每花序小花数增幅为 16.0%,每花序荚果数增幅为 15.6%。与 N_0P_0 处理相比,单施磷肥后 N_0P_2 处理下生殖

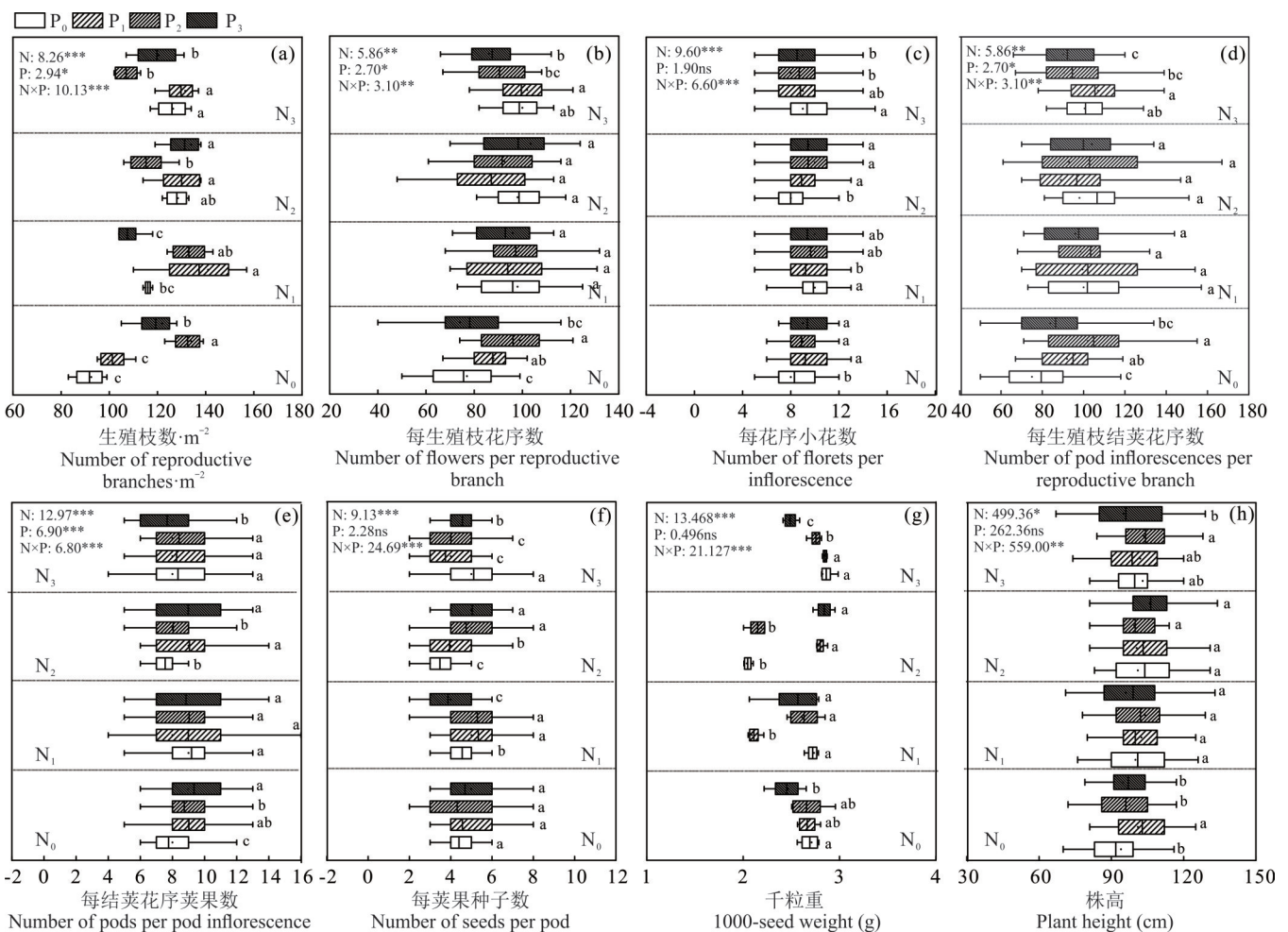


图 2 氮磷配施对扁蓊豆产量构成因子的影响

Fig. 2 Effect of nitrogen and phosphorus rationing on yield components of *M. ruthenica*

不同小写字母表示不同处理间差异达 0.05 显著性水平 Different lowercase letters indicate significant differences of 0.05 level between different treatments; ***, **, *, $P < 0.001$, $P < 0.01$, $P < 0.05$; ns: 差异不显著 No significant difference; N, P, N×P: 氮肥、磷肥及氮磷肥间的交互作用 Nitrogen fertilizer, phosphorus fertilizer, and the interaction between nitrogen and phosphorus.

枝数·m⁻²增幅为30.8%,每生殖枝花序数增幅为25.2%,每生殖枝结荚花序数增幅为22.1%;N₀P₁处理下株高增幅为11.2%;N₀P₃处理下每花序小花数增幅为11.5%,每结荚花序荚果数增幅为17.0%,每荚果种子数增幅为6.2%。与N₀P₀处理相比,氮磷配施后N₁P₁处理下生殖枝数·m⁻²增幅为33.2%;N₃P₁处理下每生殖枝花序数增幅为34.4%,每生殖枝结荚花序数增幅为24.6%,千粒重增幅为5.5%;N₁P₂处理下每花序小花数增幅为16.2%;N₂P₁处理下每结荚花序荚果数增幅为14.4%;N₁P₁处理下每荚果种子数增幅为17.5%,株高增幅为6.7%。

单施氮肥及氮磷肥间的交互作用对生殖枝数·m⁻²、每生殖枝花序数、每花序小花数、每生殖枝结荚花序数、每结荚花序荚果数、每荚果种子数、千粒重和株高均有显著影响。单施磷肥对生殖枝数·m⁻²、每生殖枝花序数、每生殖枝结荚花序数、每结荚花序荚果数有显著影响,但对每花序小花数、每荚果种子数、千粒重及株高无显著影响(图2)。

氮磷肥通过显著的主效应和交互效应影响扁蓊豆的种子产量各构成因子数值大小(图3)。生殖枝数·m⁻²、每生殖枝花序数、每花序小花数、每生殖枝结荚花序数、每结荚花序荚果数、每荚果种子数、千粒重和株高受氮肥的影响大于磷肥,氮磷肥间的交互作用对每荚果种子数和千粒重的影响较大。

2.2 氮磷配施对扁蓊豆种子产量的影响

氮磷肥配施显著提高了陇中1号扁蓊豆表现种子产量和实际种子产量($P < 0.05$),相比单施氮肥或磷肥,氮磷肥配施更能充分发挥扁蓊豆的产量潜力(表3)。除N₃P₀、N₃P₁及N₃P₃处理外,扁蓊豆的表现产量和实际产量均高于N₀P₀处理。扁蓊豆的表现产量在N₂P₃处理下最高,为16511.86 kg·hm⁻²,与N₀P₀处理相比提高了62.3%。扁蓊豆实际产量在N₁P₂处理下达到最大值,为844.30 kg·hm⁻²,较N₀P₀提高了24.9%。

与N₀P₀处理相比,单施氮肥后N₁P₀处理下扁蓊豆实际种子产量提高了56.2 kg·hm⁻²,增幅为8.9%;单施磷肥后N₀P₂处理下扁蓊豆实际种子产量提高了185.0 kg·hm⁻²,增幅为22.6%;氮磷肥配施后N₁P₂处理下扁蓊豆实际种子产量提高了210.3 kg·hm⁻²,增幅为24.9%。由方差分析可知,单施氮肥及氮磷肥间的交互作用显著影响扁蓊豆的表现种子产量和实际种子产量,单施磷肥显著影响扁蓊豆的实际种子产量,但对表现种子产量无显著影响。

2.3 氮磷配施对扁蓊豆种子质量的影响

氮磷配施对陇中1号扁蓊豆种子的萌发有明显的促进作用(图4)。与N₀P₀处理相比,单施氮肥可以提升扁蓊豆的发芽势、发芽率、活力指数、芽长以及根长,其中N₁P₀处理下发芽势增幅为6.5%,发芽率增幅为6.4%,芽长增幅为35.1%;N₃P₀处理下活力指数增幅为33.2%,根长增幅为39.7%,但单施氮肥对发芽指数并无明显提升作用,在N₂P₀处理下增幅仅为0.8%;单施磷肥后N₀P₁处理下发芽率增幅为9.4%、芽长增幅为3.9%;N₀P₂处理下根长增幅为38.4%,与单施氮肥不同的是,单施磷肥对扁蓊豆发芽势、发芽指数及活力指数有一定的抑制作用。与N₀P₀处理相比,氮磷配施提高了扁蓊豆种子质量,其中N₁P₂处理下发芽指数增幅为4.8%、发芽势增幅为17.6%、发芽率增幅为10.7%、芽长增幅为45.4%、根长增幅为42.4%;N₃P₁处理下活力指数增幅为44.0%。

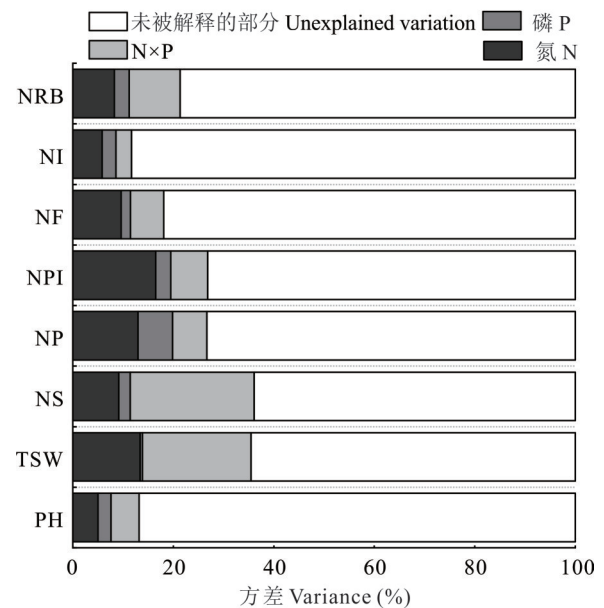


图3 氮、磷及其交互作用对扁蓊豆产量构成因子解释的方差
Fig. 3 The variance of nitrogen, phosphorus, and their interactions in explaining the yield components of *M. ruthenica*

NRB: 每m²生殖枝数 Number of reproductive branches·m⁻²; NI: 每生殖枝花序数 Number of flowers per reproductive branch; NF: 每花序小花数 Number of florets per inflorescence; PI: 每生殖枝结荚花序数 Number of pod inflorescences per reproductive branch; NP: 每结荚花序荚果数 Number of pods per pod inflorescence; NS: 每荚果种子数 Number of seeds per pod; TSW: 千粒重 1000-seed weight (g); PH: 株高 Plant height (cm).

表 3 氮磷肥配施对扁蓿豆表现种子产量和实际种子产量的影响

Table 3 Effect of combined application of nitrogen and phosphorus fertilizers on the expressed seed yield and actual seed yield of *M. ruthenica* (kg·hm⁻²)

处理 Treatment	表现种子产量 Expressed seed yield	实际种子产量 Actual seed yield	处理 Treatment	表现种子产量 Expressed seed yield	实际种子产量 Actual seed yield
N ₀ P ₀	6228.50gh	634.00ef	N ₂ P ₀	6622.64fgh	636.47ef
N ₀ P ₁	10658.44bcdefg	677.30de	N ₂ P ₁	11398.09bcdef	638.40ef
N ₀ P ₂	15288.58abc	818.97ab	N ₂ P ₂	10337.72cdefg	763.83bc
N ₀ P ₃	11319.72bcdef	716.73cde	N ₂ P ₃	16511.86a	746.67bcd
N ₁ P ₀	13563.53abcde	690.20cde	N ₃ P ₀	14938.72abcd	550.53g
N ₁ P ₁	15569.76ab	764.03bc	N ₃ P ₁	12232.85abcde	591.37fg
N ₁ P ₂	15579.61ab	844.30a	N ₃ P ₂	9827.12efg	641.13ef
N ₁ P ₃	9991.03defg	725.37cd	N ₃ P ₃	3908.10h	471.00h
方差分析 ANOVA (F)			氮×磷 N×P		
氮 N	3.95*	42.058***		7.63***	3.194**
磷 P	2.89ns	21.772***			

同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$); ***: $P < 0.001$; **: $P < 0.01$; *: $P < 0.05$; ns: 差异不显著 No significant difference; 下同 The same below.

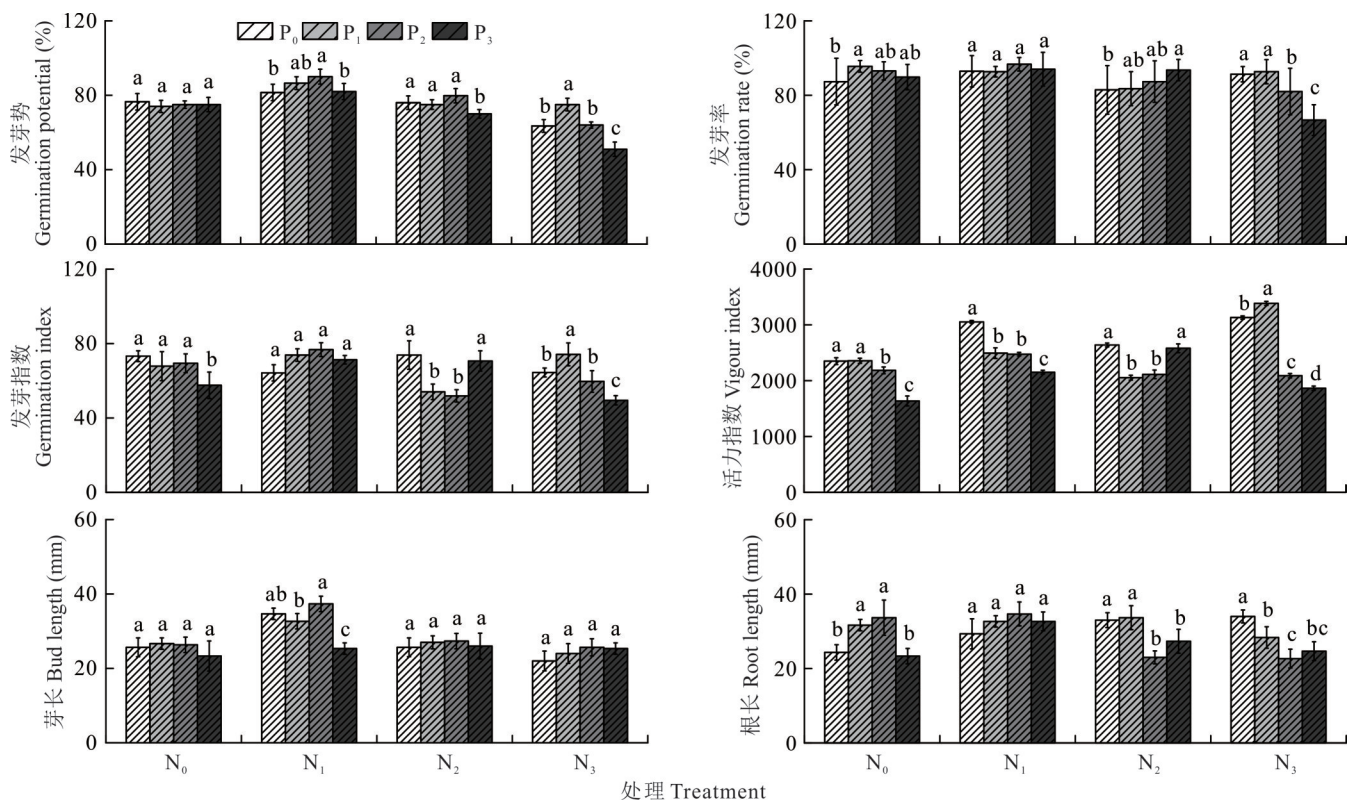


图 4 氮磷配施对扁蓿豆种子质量的影响

Fig. 4 The effect of nitrogen and phosphorus combined application on the quality of *M. ruthenica* seeds

2.4 扁蓿豆表现种子产量与产量构成因子间的相关分析与回归分析

相关分析(表 4)与回归分析(图 5)均表明,扁蓿豆表现种子产量与产量构成因子间的生殖枝数·m⁻²、每生殖枝花序数、每花序小花数、每结荚花序荚果数、每荚果种子数及千粒重均显著相关。二次回归方程($y = ax^2 + bx + c$)适合用于描述表现种子产量和生殖枝数·m⁻²、每结荚花序荚果数及株高之间的关系;三次回归方程($y = ax^3 +$

bx^2+cx+d) 适合用于描述表现种子产量和每生殖枝花序数、每花序小花数、每生殖枝结荚花序数、每荚果种子数、千粒重之间的关系。

表 4 扁蓊豆表现种子产量与产量构成因子间的相关分析

Table 4 Correlation analysis of *M. ruthenica* expressed seed yield and yield composition factor

项目 Item	生殖枝数·m ⁻² NRB	每生殖枝花 序数 NI	每花序小 花数 NF	每生殖枝结荚 花序数 NPI	每结荚花序 荚果数 NP	每荚果种 子数 NS	千粒重 TSW	株高 PH
每生殖枝花序数 NI	0.367*	1.000						
每花序小花数 NF	0.115	0.230	1.000					
每生殖枝结荚花序数 NPI	0.415**	0.871**	0.213	1.000				
每结荚花序荚果数 NP	0.122	0.099	0.623**	0.109	1.000			
每荚果种子数 NS	0.102	-0.056	0.337*	0.024	0.165	1.000		
千粒重 TSW	-0.039	-0.069	0.220	0.001	0.382**	-0.088	1.000	
株高 PH	0.058	0.115	0.009	0.227	0.126	0.203	-0.018	1.000
表现种子产量 Expressed seed yield	0.526**	0.322*	0.530**	0.380**	0.599**	0.585**	0.223	0.145

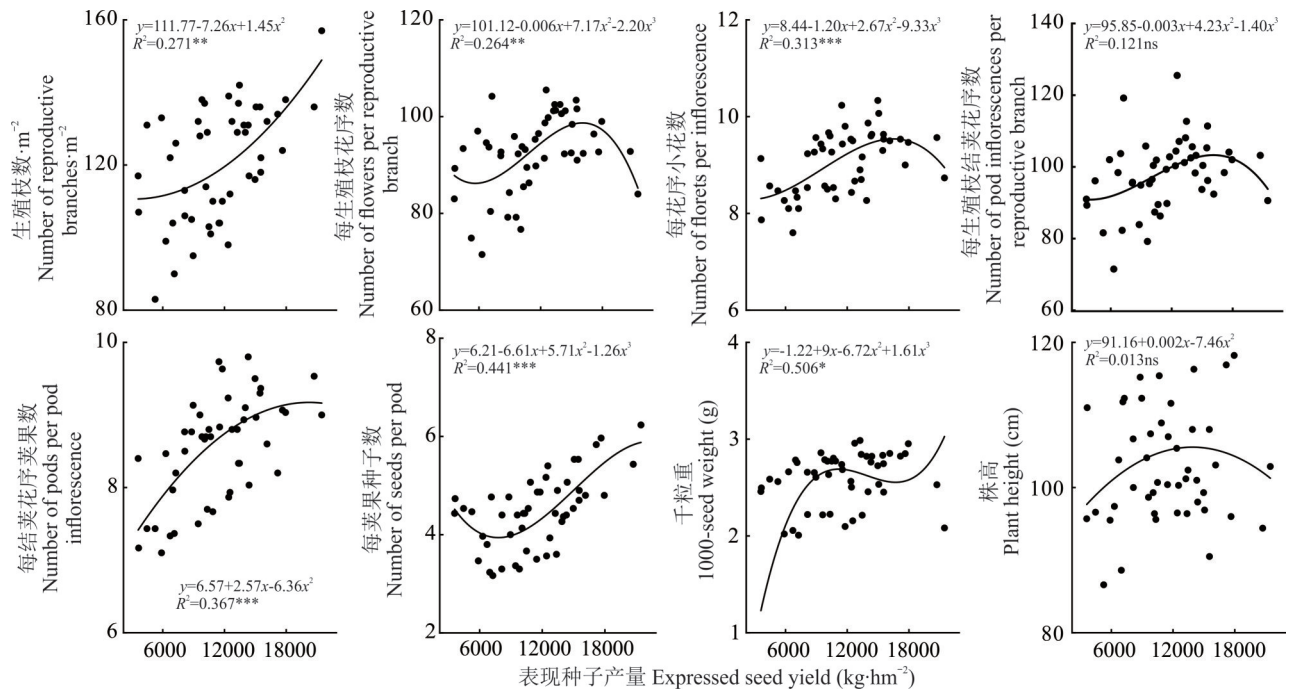


图 5 扁蓊豆表现种子产量与产量构成因子间的回归分析

Fig. 5 Regression analysis between expressed seed yield and yield composition factors of *M. ruthenica*

2.5 扁蓊豆实际种子产量与产量构成因子间的相关分析与回归分析

相关分析(表 5)与回归分析(图 6)表明,扁蓊豆的实际种子产量与每花序小花数、每结荚花序荚果数、每荚果种子数及千粒重正相关。二次回归方程($y=ax^2+bx+c$)适合用于描述实际种子产量和每花序小花数、每花序荚果数、每荚果种子数之间的关系;线性回归方程($y=ax+b$)适合用于描述实际种子产量和千粒重之间的关系。

3 讨论

3.1 氮磷配施对扁蓊豆种子产量构成因子的影响

种子产量构成因子直接影响着种子最终的收获量,不同的因子对产量的贡献各不相同,这意味着需要深入了解并合理配置这些因子,以实现种子产量的最大化^[22]。有研究表明,施氮量为 50 和 100 kg·hm⁻²时可提高东北黑

表5 扁蓿豆实际种子产量与产量构成因子间的相关分析

Table 5 Correlation analysis of *M. ruthenica* actual seed yield and yield composition factor

项目 Item	生殖枝数·m ⁻² NRB	每生殖枝花序数NI	每花序小花数 NF	每生殖枝结荚 花序数NPI	每结荚花序荚 果数NP	每荚果种子数 NS	千粒重 TSW	株高 PH
每生殖枝花序数NI	0.367*							
每花序小花数NF	0.115	0.230						
每生殖枝结荚花序数NPI	0.415**	0.871**	0.213					
每结荚花序荚果数NP	0.122	0.099	0.623**	0.109				
每荚果种子数NS	0.102	-0.056	0.337*	0.024	0.165			
千粒重TSW	-0.039	-0.069	0.220	0.001	0.382**	-0.088		
株高PH	0.058	0.115	0.009	0.227	0.126	0.203	-0.018	
实际种子产量 Actual seed yield	0.213	0.133	0.392**	0.088	0.384**	0.272	-0.157	0.081

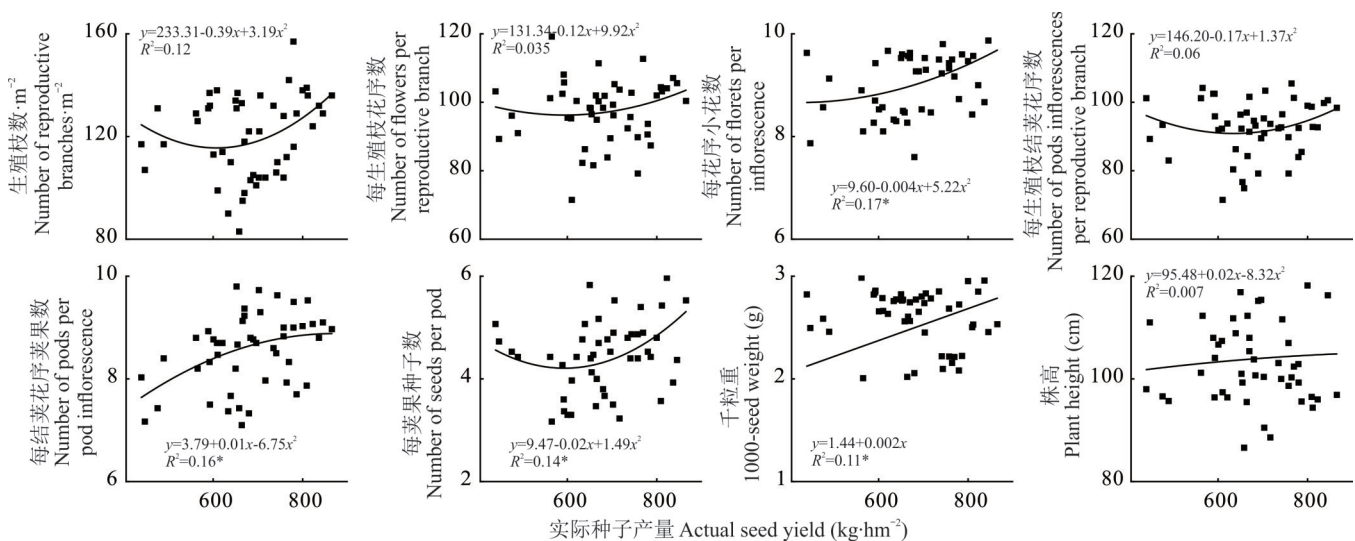


图6 扁蓿豆实际种子产量与产量构成因子间的回归分析

Fig. 6 Regression analysis between actual seed yield and yield composition factors of *M. ruthenica*

土区大豆^[23] (*Glycine max*)和新疆天山地区新牧4号紫花苜蓿^[24]种子的每结荚花序荚果数、每荚果种子数及千粒重。本试验中,施氮量为47~90 kg·hm⁻²时可使扁蓿豆每结荚花序荚果数、每荚果种子数、千粒重依次最高增长15.6%、13.9%、6.0%,且所有施氮处理均高于对照,这与其他研究中氮富集提高植物生产力的研究结果一致^[25]。

磷是植物生长和细胞代谢中所必需的营养元素^[26]。当施磷量为135 kg·hm⁻²时,新疆呼图壁地区紫花苜蓿的千粒重和单株花序数随着磷肥施用量的增加而显著增加^[12];施磷量为160~220 kg·hm⁻²时可提高晋北地区紫花苜蓿的每结荚花序荚果数^[27]。本试验中,施磷量为60~120 kg·hm⁻²时扁蓿豆每生殖枝花序数和每结荚花序荚果数依次增加25.2%、17.0%,且所有施磷处理均高于对照,这与前人对紫花苜蓿^[12]的研究结果一致。

特定的氮磷肥施用量能使得牧草种子的产量构成因子性状间达到最佳状态,从而提高种子的整体产量^[28]。当施肥量为N₄₇P₁₂₀K₃₀和N₉₀P₂₂₀K₆₀时,紫花苜蓿^[13]和扁蓿豆^[29]种子产量构成因子中的生殖枝数·m⁻²、每生殖枝花序数、每结荚花序荚果数、每荚果种子数和千粒重与实际种子产量显著相关。本试验经相关分析和回归分析可知,扁蓿豆实际种子产量与每花序小花数、每结荚花序荚果数、每荚果种子数及千粒重显著正相关,这与前人对紫花苜蓿和扁蓿豆的研究结果相似,但生殖枝数·m⁻²和每生殖枝花序数对扁蓿豆实际种子产量并无显著影响,这可能与植物种类和种植条件有关。综上所述,本试验初步确定在甘肃武威地区扁蓿豆种子田建植当年施肥量为47 kg N·hm⁻²、120 kg P₂O₅·hm⁻²时,扁蓿豆种子产量构成因子的生殖分配比率最大。

3.2 氮磷配施对扁蓿豆种子产量的影响

作物的施氮量一般根据作物的产量水平、土壤的养分条件及栽培技术来确定^[30]。有研究认为,施氮量为 $47\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,甘肃武威地区的紫花苜蓿种子田获得高产^[13]。本试验的施氮量为 $47\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时扁蓿豆种子产量最高,说明在干旱区适量施用氮肥能够满足扁蓿豆对氮素的需求,提高扁蓿豆产量。当土壤有效磷含量为 $12.47\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,春季施用 $120\text{ kg P}_2\text{O}_5\cdot\text{hm}^{-2}$ 能够显著提升紫花苜蓿的种子产量^[12],本试验中土壤有效磷含量为 $9.52\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,属于缺磷性土壤,施 $120\text{ kg P}_2\text{O}_5\cdot\text{hm}^{-2}$ 使扁蓿豆的实际种子产量较对照处理提升 22.6% ,这与前人对紫花苜蓿的研究结果一致。

氮磷肥是促进植株种子产量提高的重要营养元素^[31]。随着施肥量的增加,紫花苜蓿^[7]和无芒雀麦^[32](*Bromus inermis*)种子产量呈明显的先上升后下降的变化趋势。本试验中,当施肥量为 N_1P_2 时,扁蓿豆的营养生长与生殖生长达到了最佳分配比率,实际种子产量最高,为 $844.30\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,超过该施肥量时种子产量下降,这可能是氮磷肥的平衡施用为扁蓿豆的生长发育提供了高效的养分供应^[33],促进了扁蓿豆种子产量的提高,而较高施肥量 N_3P_3 条件下的实际种子产量最低,这可能是施氮量过多使植株“贪青徒长”,生殖枝底部接收到的光热条件较顶部差,导致底部的花序数和小花数减少,从而降低了种子产量。研究表明,施用 $47\text{ kg N}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $120\text{ kg P}_2\text{O}_5\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $30\text{ kg K}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,可提升甘肃武威地区紫花苜蓿的每荚果种子数、每花序荚果数和每枝条花序数,使其种子产量达到最高^[13];在本试验中,氮磷互作主要通过调控扁蓿豆的每花序小花数、每结荚花序荚果数、每荚果种子数及千粒重来影响最终的种子产量,当施用 $47\text{ kg N}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $120\text{ kg P}_2\text{O}_5\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,实际种子产量最高,为 $844.30\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,这与前人对紫花苜蓿的研究结果相似。

有试验表明,扁蓿豆荚果完全成熟时有 92.8% 的裂荚率,实际种子产量与表现种子产量差异巨大^[34]。本试验中,扁蓿豆实际种子产量最高是表现种子产量的 12.1% ,最低是表现种子产量的 3.7% 。原因是扁蓿豆的花期长,种子成熟度不一且成熟后裂荚性强,导致实际种子产量较低^[2],且收获过程中的损失也会造成实际种子产量的降低。未来,还需要进一步研究如何改善扁蓿豆的裂荚落果现象及降低收获过程中的损失,以实现扁蓿豆实际种子产量的最大化。

3.3 氮磷配施对扁蓿豆种子质量的影响

在种子生产中,种子质量与种子产量同样重要。种子质量可通过标准发芽率、发芽势、活力指数等指标来反映^[35]。研究表明,施氮肥可以提高紫花苜蓿^[36]和高羊茅^[37](*Festuca arundinacea*)种子标准发芽率和发芽势;施 $100\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 磷肥对紫花苜蓿种子的发芽势无明显影响^[38],但磷肥可提高蒙农4号新麦草^[39](*Psathyrostachys junca* Mengnong No. 4)种子的活力指数。本试验中, N_1P_0 处理下扁蓿豆种子的发芽势、发芽率分别提高 6.5% 、 6.4% ,单施磷肥对扁蓿豆种子的发芽势和活力指数存在一定程度的抑制作用。原因可能是氮肥能促进植物代谢产物向生殖器官转移,从而增加种子的丰满度和千粒重,但施肥对牧草种子质量的影响因物种、生长条件、收获时间而异^[35]。

氮磷肥合理配施能有效提升白芷^[40](*Angelica dahurica*)、杉木^[41](*Cunninghamia lanceolata*)和无芒雀麦^[32]种子的千粒重、发芽率、发芽势和活力指数,本试验结果表明, N_1P_2 处理下扁蓿豆种子的发芽势、发芽率最高, N_3P_1 处理下活力指数最高。种子质量最好和种子产量最高的处理不一致,这与以往对秣食豆^[42]的研究结果一致。考虑到种子产量在 N_1P_2 处理下最高,种子质量也较好,故建议在武威灌区种子生产的第一年,推荐氮肥施用量为 $47\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,磷肥施用量为 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

4 结论

在甘肃武威灌区,氮磷肥配施主要通过影响扁蓿豆种子产量构成因子中的每花序荚果数、每荚果种子数、千粒重来提高其种子产量。播种当年氮肥施用量为 $47\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,磷肥施用量为 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,扁蓿豆种子产量和品质都较好。

参考文献 References:

- [1] Xie J X, Mao J P, Li Z R, *et al.* Complete chloroplast genome of a high-quality forage in north China, *Medicago ruthenica* (Fabaceae:Trifolieae). Mitochondrial DNA Part B, 2021, 6(1): 29–30.
- [2] Guo M W, Zhu L, Li H Y, *et al.* Mechanism of pod shattering in the forage legume *Medicago ruthenica*. Plant Physiology and Biochemistry, 2022, 185: 260–267.
- [3] Li Y, Wang L L, Ma K K, *et al.* Effects of γ -aminobutyric acid on seed germination of *Medicago ruthenica* under low temperature. Grassland and Turf, 2023, 43(3): 118–125.
李颖, 汪玲玲, 马凯凯, 等. 低温条件下 γ -氨基丁酸对扁蓿豆种子萌发的影响. 草原与草坪, 2023, 43(3): 118–125.
- [4] Mao P S, Sun M, Sun S J. Research on theory of alfalfa seed production in northern China. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2023(11): 26–30.
毛培胜, 孙铭, 孙守江. 我国北方地区苜蓿种子生产的理论与技术研究进展. 黑龙江畜牧兽医, 2023(11): 26–30.
- [5] Wang Y X, Li C J, Chen S M, *et al.* Effects of nitrogen fertilizer application time on pod retention rate and seed yield of alfalfa. Pratacultural Science, 2015, 32(2): 231–235.
王玉祥, 李陈建, 陈述明, 等. 施氮肥时间对苜蓿结荚率及种子产量的影响. 草业科学, 2015, 32(2): 231–235.
- [6] Zhang W J, Yang L, Zhang L J, *et al.* The growth and phosphorus efficiency of different alfalfa varieties under low phosphours. Grassland and Turf, 2021, 41(6): 81–87.
张文杰, 杨亮, 张龙骥, 等. 低磷土壤条件对不同苜蓿品种的生长和磷效率的影响. 草原与草坪, 2021, 41(6): 81–87.
- [7] Zhao M Y, Wang B, Wang T F, *et al.* Effects of different seeding rates on seed yield and components of alfalfa. Pratacultural Science, 2023, 40(11): 2871–2878.
赵梦雨, 王斌, 王腾飞, 等. 不同播种量对紫花苜蓿种子产量及构成因素的影响. 草业科学, 2023, 40(11): 2871–2878.
- [8] Zhao Y X, Li X P, Xia F S, *et al.* Effect of fertilization on the seed yield of individual plants of *Lespedeza davurica*. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2019(7): 104–107.
赵宇星, 李小鹏, 夏方山, 等. 施肥对达乌里胡枝子单株种子产量的影响. 黑龙江畜牧兽医, 2019(7): 104–107.
- [9] Li L, Li N, Sheng J D, *et al.* Effects of nitrogen and planting density on alfalfa growth and seed yield. Acta Agrestia Sinica, 2012, 20(1): 54–57, 62.
李丽, 李宁, 盛建东, 等. 施氮量和种植密度对紫花苜蓿生长及种子产量的影响. 草地学报, 2012, 20(1): 54–57, 62.
- [10] Yang J, Sui X Q, Wang X Y, *et al.* Effect of combined application of nitrogen fertiliser and compound nitrophenol sodium on the physiological characteristics and seed yield of alfalfa. Acta Agrestia Sinica, 2024, 32(5): 1471–1478.
杨静, 隋晓青, 王鑫尧, 等. 氮肥与复硝酚钠复配施用对紫花苜蓿生理特性及种子产量的影响. 草地学报, 2024, 32(5): 1471–1478.
- [11] Liu H X, Li N, Sheng J D, *et al.* Effects of phosphorus fertilizer on the growth and seed yield of alfalfa. Acta Agrestia Sinica, 2013, 21(3): 571–575.
刘焕鲜, 李宁, 盛建东, 等. 磷肥对紫花苜蓿生长和种子产量的影响. 草地学报, 2013, 21(3): 571–575.
- [12] Chen Q, Liu W D, Li W J. Studies on the effects of treatment with different phosphorus on alfalfa seed yield. Xinjiang Agricultural Sciences, 2007, 44(2): 231–234.
陈强, 柳卫东, 李卫军. 磷肥处理对苜蓿种子产量的影响. 新疆农业科学, 2007, 44(2): 231–234.
- [13] Tian X H, Du W H. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer on seed yield and yield components of alfalfa (*Medicago sativa*). Chinese Journal of Grassland, 2008, 30(4): 16–20.
田新会, 杜文华. 氮、磷、钾肥对紫花苜蓿种子产量及产量构成因素的影响. 中国草地学报, 2008, 30(4): 16–20.
- [14] Kuerban·Nizhamiding, Zhu J Z, Li W J, *et al.* Effect of applying nitrogen and phosphorus fertilizer on alfalfa seed yield. Xinjiang Agricultural Sciences, 2009, 46(1): 152–155.
库尔班·尼扎米丁, 朱进忠, 李卫军, 等. 氮、磷肥对制种苜蓿种子增产效应的研究. 新疆农业科学, 2009, 46(1): 152–155.
- [15] Li H X. Studies on seed growth characters and seed yield components of *Ruthenian medic*. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2006.
李海贤. 扁蓿豆种子发育特性和种子产量构成因子的研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006.
- [16] Li L, Xiao R, Zhang Y L. Effects of combined application of nitrogen, phosphorus and potassium on seed maize yield and economic benefit. Crops, 2022(5): 111–117.
李龙, 肖让, 张永玲. 氮磷钾配施对制种玉米产量及经济效益的影响. 作物杂志, 2022(5): 111–117.

- [17] Du W H, Tian X H, Cao Z Z. Influence of row spacing and irrigation rate on seed yield of *Medicago sativa*. *Acta Prataculturae Sinica*, 2007, 16(3): 81–87.
杜文华, 田新会, 曹致中. 播种行距和灌水量对紫花苜蓿种子产量及其构成因素的影响. *草业学报*, 2007, 16(3): 81–87.
- [18] Chen D D. Effects of irrigation frequency and application of phosphate diamine on alfalfa seed production in the Yellow River irrigated region. Lanzhou: Lanzhou University, 2016.
陈冬冬. 灌溉次数和磷酸二铵施量对甘肃引黄灌区紫花苜蓿种子生产的影响. 兰州: 兰州大学, 2016.
- [19] Xue X K. Effect of density and harvesting period on seed yield and quality of different strains of *Medicago ruthenica*. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2023.
薛晓坤. 密度和收获期对不同株型扁蓿豆种子产量及其品质的影响. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2023.
- [20] The People's Republic of China State Bureau of Quality and Technical Supervision. The People's Republic of China national standard forage seed inspection regulations, GB/T 2930.1–11–2001. Beijing: Standards Press of China, 2001: 31–48.
国家质量技术监督局. 中华人民共和国国家标准牧草种子检验规程, GB/T 2930.1–11–2001. 北京: 中国标准出版社, 2001: 31–48.
- [21] Song J C. Effect of combined application of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer on seed yield, quality of *Elymus nutans* and soil properties of grassland in alpine region. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2022.
宋建超. 氮磷钾肥配施对高寒区垂穗披碱草种子产量、质量和土壤特性的影响. 兰州: 甘肃农业大学, 2022.
- [22] Assefa Y, Purcell L C, Salmeron M, *et al.* Assessing variation in US soybean seed composition (protein and oil). *Frontiers in Plant Science*, 2019, 10: 298.
- [23] Yan J, Han X Z, Ding J, *et al.* Responses of growth, nodulation and yield of soybean to different nitrogen and phosphorus fertilization management. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2014, 20(2): 318–325.
严君, 韩晓增, 丁娇, 等. 东北黑土区大豆生长、结瘤及产量对氮、磷的响应. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(2): 318–325.
- [24] Zhe H T. Effect of nitrogen fertilizer on reproductive allocation and seed yield of alfalfa. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2020.
哲海涛. 氮肥对苜蓿生殖分配及种子产量的影响. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2020.
- [25] Dimanno N M, Ostertag R. Reproductive response to nitrogen and phosphorus fertilization along the Hawaiian archipelago's natural soil fertility gradient. *Oecologia*, 2016, 180(1): 245–255.
- [26] Xue Y, Zhu S, Schultze-Kraft R, *et al.* Dissection of crop metabolome responses to nitrogen, phosphorus, potassium, and other nutrient deficiencies. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, 23(16): 9079.
- [27] Zheng M N, Liang X Z, Han Z S, *et al.* Effects of phosphorus application levels on phosphorus accumulation and seed yield factors of alfalfa (*Medicago sativa*). *Acta Agrestia Sinica*, 2020, 28(1): 80–87.
郑敏娜, 梁秀芝, 韩志顺, 等. 不同磷素水平对紫花苜蓿磷累积动态和种子产量构成因子的影响. *草地学报*, 2020, 28(1): 80–87.
- [28] Zhao J, Huang R, Wang X, *et al.* Effects of combined nitrogen and phosphorus application on protein fractions and nonstructural carbohydrate of alfalfa. *Frontiers in Plant Science*, 2023, 14: 112466.
- [29] Zhang Y Y. Study on rapid propagation, seed yield affecting components and the effect of fertilizer of *Medicago ruthenica* strains. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2010.
张彦艳. 扁蓿豆新品系组培快繁、种子产量构成因子及施肥效应研究. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.
- [30] Yang J, Jiang R, Zhang H, *et al.* Modelling maize yield, soil nitrogen balance and organic carbon changes under long-term fertilization in Northeast China. *Journal of Environmental Management*, 2023, 325: 116454.
- [31] Liu H, Zhao Q, Cheng Y. Composted invasive plant *Ageratina adenophora* enhanced barley (*Hordeum vulgare*) growth and soil conditions. *PLoS One*, 2022, 17(9): e0275302.
- [32] Wang Q, Wang X C, Li X Y, *et al.* Effect of “3414” fertilization on seed yield and quality of *Bromus inermis* in arid area of Ningxia. *Acta Agrestia Sinica*, 2022, 30(12): 3470–3480.
王琴, 王旭成, 李小云, 等. “3414”施肥效应对宁夏干旱区无芒雀麦种子产量和质量的影响. *草地学报*, 2022, 30(12): 3470–3480.
- [33] Yin Z, Guo W, Xiao H, *et al.* Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization to achieve expected yield and improve yield components of mung bean. *PLoS One*, 2018, 13(10): e0206285.
- [34] Wang Y X, Chai J L, Zhou Y Y, *et al.* Effects of planting method on seed yield and its components in *Medicago ruthenica* in an

- arid area of Longzhong. *Acta Prataculturae Sinica*, 2021, 30(8): 60–72.
- 王玉霞, 柴锦隆, 周洋洋, 等. 种植方式对陇中干旱区扁蓿豆种子产量及构成因素的影响. *草业学报*, 2021, 30(8): 60–72.
- [35] Yuan S, Ling Y, Xiong Y, *et al.* Effect of nitrogen fertilizer on seed yield and quality of *Kengyilia melanthera* (Triticeae, Poaceae). *PeerJ*, 2022, 10: e14101.
- [36] Wang X G. Effects of density manipulation, cutting, fertilizer and growth regulator application on the characteristics related to alfalfa (*Medicago sativa* L.) seed yield and quality. Beijing: China Agricultural University, 2005.
- 王显国. 密度调控、施肥、刈割等措施对紫花苜蓿种子产量和质量的影响. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [37] Cheng J, Ma C H, Han J G, *et al.* Effect of application of nitrogen fertilizer on seed quality of tall fescue in Xinjiang. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2003, 21(2): 59–61, 67.
- 程军, 马春晖, 韩建国, 等. 施氮肥对新疆高羊茅种子质量的影响. *干旱地区农业研究*, 2003, 21(2): 59–61, 67.
- [38] Zhang Y M. Effects of fertilizer and row spacing on the seed yield and seed quality of *Medicago sativa* L. and *Onobrychis viciaefolia* Scop. cv. Mengnong. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2010.
- 张银敏. 行距与施肥对紫花苜蓿和蒙农红豆草种子产量及质量的影响. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- [39] Gong Q. Effect of diammonium phosphate on seed yield and yield components and seed vigor of *Psathyrostachys juncea* ‘Mengnong No. 4’. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2016.
- 巩青. 施用磷酸二铵对蒙农4号新麦草种子产量及其产量构成因子和种子活力的影响. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
- [40] Liu R L, Liu S Q, Zhang Y R, *et al.* Combined application of NPK fertilizers improves the seed yield and quality of *Angelica dahurica* var. *formosana*. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2024, 30(4): 812–823.
- 刘仁浪, 刘思琴, 张宇柔, 等. 氮磷钾配合施用提高白芷种子产量和质量. *植物营养与肥料学报*, 2024, 30(4): 812–823.
- [41] Ge Y Z, Liu W F, Wu J P, *et al.* Effects of different fertilization treatments on quality of the seeds in a third generation seed orchard of *Cunninghamia lanceolata*. *Journal of Forest and Environment*, 2016, 36(4): 442–448.
- 葛艺早, 刘文飞, 吴建平, 等. 不同施肥处理对杉木种子园种子品质的影响. *森林与环境学报*, 2016, 36(4): 442–448.
- [42] Duo T Q, Ji G X, Wu Y S, *et al.* Effects of N, K fertilizer and density on seed yield and quality of *Glycine max* (L.) Merr. *Chinese Journal of Grassland*, 2018, 40(1): 62–67.
- 多田琦, 冀国旭, 吴雨珊, 等. 施磷钾肥和密度对秣食豆种子产量和质量的影响. *中国草地学报*, 2018, 40(1): 62–67.