

我国苜蓿施肥研究进展

毛小涛，李青丰

(内蒙古农业大学 生态环境学院 内蒙古呼和浩特 010018)

摘要 本文从氮、磷、钾及微肥对苜蓿的生理作用出发，综述了近年来国内有关施肥对苜蓿生长发育、产量及品质的影响，分析了研究中存在的若干问题，提出了今后在苜蓿施肥研究中建立苜蓿肥力评价指标，建议做长期施肥试验研究，并加强苜蓿施肥机理方面的研究。

关键词 苜蓿；施肥；研究进展

The Research Review of Alfalfa Fertilization in China

Mao Xiaotao, Li Qingfeng

(Ecology and Environmental science of IMAU, Hohhot 010018, China)

Abstract: More and more attention is paid on alfalfa fertilization in China. The effect of N, P, K, and combined micronutrients on alfalfa vegetative growth, yield and quality was summarized from the domestic articles during the recent years. Several current problems in research were analyzed. It points out that to build the evaluating indicator of alfalfa fertilization and suggest long-term orientation experiment in the future alfalfa fertilization research. The fertilization mechanisms of alfalfa need to be intensive study in the future.

Keywords: Alfalfa; Fertilization; Research review

紫花苜蓿 (*Medicago sativa L.*) 是多年生豆科牧草，具有适口性好、草产量高、营养价值高、利用年限长等特点。在全世界范围有广泛种植，具有“牧草之王”的美誉。近年来，随着我国畜牧业发展苜蓿种植面积不断扩大，苜蓿在家畜养殖业中，尤其是在奶牛养殖业中发挥着不可替代的作用。为了保证苜蓿持续优质高产长期利用，合理有效的栽培管理措施就成为了关键。而作为栽培管理措施中重要的环节施肥管理越来越被重视，苜蓿施肥研究也已成为草业研究的热点。

1 氮磷钾施肥研究现状

氮是植物合成蛋白质的主要成分，包括结构性蛋白质和功能性蛋白质（酶），也是光能主要吸收体—叶绿素的必需成分。氮通常以硝酸盐和铵离子形态被苜蓿吸收，因此氮对苜蓿的产量高低与品质优劣有着极为重要的作用。苜蓿能够通过根瘤里的共生固氮菌将空气里所含的分子态氮直接的吸收进来，这些固氮量能够使苜蓿发育生长在氮方面的需要得到满足。根瘤菌所具有的固氮的功能在苜蓿刈割或

第六届中国苜蓿发展大会

其处于幼苗期时较弱。因此，为确保幼苗的健康生长，应适当的在苜蓿的苗期施加氮肥。有研究表明，在多年不施肥的苜蓿大田中三个不同苜蓿品种配施氮肥 $30\text{kg}/\text{hm}^2$ 、磷肥 $60\text{kg}/\text{hm}^2$ 和配施氮肥 $N30\text{kg}/\text{hm}^2$ 、磷肥 $120\text{kg}/\text{hm}^2$ 苜蓿草产量平均增加 82.5% ^[1]。研究表明施氮肥能增加苜蓿草产量，其中 $30\text{kg}/\text{hm}^2$ 尿素增产 13.88% ， $60\text{kg}/\text{hm}^2$ 尿素增产 21.99% ，这可能是一年试验所致^[2]。氮肥对苜蓿产量的影响，历来就有争议。氮肥能够促进苜蓿苗期生长，提高苗期苜蓿产量，并且有助于根瘤的形成，这一点以得到共识；而氮肥提高苜蓿产量的作用还存在争议^[3]。

磷是植物生长必需的三大元素之一，是苜蓿生长和代谢中是不可缺少的无机成分。磷参与苜蓿组织构成和生化活动，磷肥对苜蓿产量的提高和品质的改善有积极的意义。对豆科植物来说，要形成核酸核糖就需要磷，因为磷能够加快合成蛋白质的速度，能够促进氮同化。豆科植物在被施加磷肥之后，会增加其根瘤内所含的豆血红蛋白，进而增强其固氮的活性与结瘤性，可以起到以磷促氮的作用。磷肥能够提高苜蓿产量，二年生的苜蓿施磷，则会提高其鲜干草的产量，施 $180\text{kg}/\text{hm}^2 \text{P}_2\text{O}_5$ 的增产的效果最好；此外，根瘤的数目、结瘤的效率、根重以及主根的直径都会在磷肥的作用下显著提高^[4]。施磷肥还能够促进苜蓿根系在土壤中延伸，有研究表明苜蓿在不施加磷肥的情况下，根系多在 $0\sim 20\text{cm}$ 土层里生长根系，而在施足量的磷后，其根系会延伸至 $40\sim 50\text{cm}$ 的土层里。缺磷影响苜蓿代谢，进而影响苜蓿的生长。在缺磷土壤中施用磷肥，能使苜蓿干物质产量提高，但施用的磷肥能被苜蓿吸收利用的仅为 $10\%—20\%$ ，所以要获得高产，磷的施用量要远远高于苜蓿的吸收量^[5]。

钾是维持植物生命过程中必不可少的元素，在植株中主要起催化作用，包括酶的活化，还参与平衡水分、能量形成、同化物的运转和氮的吸收及蛋白质合成。苜蓿是需钾高植物，钾对苜蓿早期生长很关键。钾不足，固氮酶的活性降低，从而导致根瘤固氮率降低。缺钾还会降低叶片的净光合率和 RuBP 羧化酶的活性。苜蓿缺钾时，会导致杂草的入侵，易发生病虫害，饲草品质降低。施钾能增加苜蓿每株的枝条数、枝条重量，提高苜蓿结瘤率，还能促进刈割后苜蓿的再生长，增加空气中氮的生物固定^[6]。在粘壤土上增施 K 肥 $42\text{kgK}_2\text{O}/\text{hm}^2$ 时，可使苜蓿产草量提高 11.13% ，在细沙壤上增施相同水平的钾肥，仅能使产草量提高 4.76% ^[5]。钾肥对苜蓿的效果仅在施肥的当年，第 2 年效果不明显。苜蓿叶片比茎含钾高，缺钾苜蓿叶片尖端及其两边先褪绿，叶片发黄。衰老组织首先表现，渐次波及幼嫩组织。另一个缺钾症状植株停止生长，同时钾不足造成可溶性糖类和氨基酸的积累，苜蓿易招病虫害，降低苜蓿品质。

除了单施氮磷钾肥以外，三种肥料混施在提高苜蓿产量和品质方面也有许多研究。氮磷钾肥能够提高苜蓿中铁、锰、铜、锌、钼、硼、钴、硒等元素含量，提高苜蓿品质，而且能够提高种植初期苜蓿草产量^[7]。磷肥、钾肥在一定范围内对苜蓿的品质产量有正效应，超过一定范围就会造成浪费。有研究表明施钾肥能够增加苜蓿粗蛋白含量，但超过一定量后粗蛋白不随钾肥量的增加而增加；施 $200\text{kg}/\text{hm}^2$ 的过磷酸钙苜蓿粗蛋白含量最高，而施 $200\text{kg}/\text{hm}^2$ 会使苜蓿粗蛋白含量下降^[8]。磷肥能显著提高苜蓿草产量，氮磷之间存在交互作用^[9]，氮磷配施还能显著提高苜蓿花期比叶重，有助于苜蓿提高其光合速率^[10]。氮磷配施显著增加苜蓿株高、分枝数，增加茎叶比，提高苜蓿草产量；氮磷比在 1:6 和 1:4 能够提高苜蓿粗蛋白含量，降低粗纤维含量，还能显著增加苜蓿中磷的含量^[11]。另外，磷、钾在合理的施肥量范围内施肥量与种子产量正相关^[12]。施氮、磷、钾肥在苜蓿种子生产上是通过增加苜

蓿籽粒数/豆荚、豆荚数/花序、花序数/枝条比例来增加种子产量的^[13]。

2 微量元素施肥研究现状

微量元素在生物体内的含量虽然很低，但具有很大的生物学潜能，在一定的条件下，可以发挥其生物学功能产生明显的生物学效应。微肥通过结构和调节性机制，参与酶、激素和维生素等活性物质的构成和活化，维持植物正常的生命活动^[14]。矿质元素是植物生长发育必需的物质，对植物生命活动的调节、细胞构成、养分转化、代谢调节等具有不可替代的作用。目前，人们在苜蓿施微肥的研究主要集中在硫、硼、钼、钙、镁、锌、锰、铁、硒、钴等元素上。硼、钼、锌、铁、钙、镁、硒、钴等作为苜蓿生长重要的微量元素，在苜蓿生长的过程中发挥着及其重要的作用。这些微量元素大多都采用喷施的方法，在生产中有广泛的应用前景。

硫是组成半胱氨酸、胱氨酸和蛋氨酸等含硫氨基酸的重要组成成分^[15]。蛋白质的合成常因胱氨酸、甲硫氨酸的缺乏而受到抑制。在硫素缺乏的地区，施用硫肥不仅能提高作物或牧草的产量，并能改善其品质^[16]。硫肥可增加紫花苜蓿种子生产田中根瘤的数目，提高越冬率，提高草产量和种子产量^[17]。硫肥还能够提高苜蓿产量，有助于苜蓿再生，降低茎叶比，提高苜蓿品质^[18]。除了提高苜蓿产量和品质，研究表明马施硫磺粉使苜蓿产量提高 13.7%，同时能够促进苜蓿对氮磷钾的吸收^[19]。

微肥在苜蓿干草生产方面的研究，施硼、锰、钼肥能够提高苜蓿草产量，与对照相比施硼肥增产 54.75%，硼钼肥配施比对照增产 40.34%^[20]。有研究表明喷施硼、锰、钼肥能显著提高苜蓿草产量，同时硼肥能显著提高苜蓿粗脂肪含量，锰肥能够降低苜蓿粗纤维含量，钼肥能够提高苜蓿粗蛋白、粗灰分含量^[21]。硼、钼、锌肥按比例配施能够显著提高苜蓿干草产量，其中硼(1.0kg/hm²)、钼(100g/hm²)、锌(3.0kg/hm²)配施苜蓿干草产量比对照增产 21.3%；硼(1.0kg/hm²)和锌(3.0kg/hm²)配施能够显著提高苜蓿粗蛋白质含量^[22]。另外，喷施钼、锌、铁肥能够显著提高苜蓿品质，其中施 0.06% 钼酸铵苜蓿粗蛋白比对照提高 13.07%，粗纤维下降 31%；施 0.2% 硫酸锌苜蓿粗蛋白比对照提高 11.9%；施 0.6% 硫酸亚铁苜蓿粗蛋白比对照提高 7.2%，粗纤维下降 15.2%^[23]。钙镁在苜蓿品质提高方面也有积极的作用，通过不同浓度金属离子对苜蓿生长的研究，表明钙能够促进苜蓿结根瘤，镁显著影响苜蓿根冠比，锌能够提高苜蓿产量和粗蛋白含量^[24]。锰在适当的浓度对苜蓿产量提高有作用，研究表明锰作为苜蓿生长的重要元素，锰肥在低浓度（小于 200 mg/L）增加苜蓿草产量，在高浓度（大于 200 mg/L）草产量增加不显著^[25]。

微肥对苜蓿种子生产的研究也有很多，喷施硼、钼、锌肥提高能苜蓿种子产量，研究表明施 0.04% 钼苜蓿种子产量比对照提高 26.51%；施 0.6% 锌肥苜蓿种子产量比对照提高 13.6%；施 0.9% 硼肥苜蓿种子产量比对照提高 6.89%^[26]。也有研究表明，硼肥、钼肥对苜蓿的分枝数、每个花序结荚数、每荚果内种子数都有显著增加作用；施 0.05% 的钼酸铵苜蓿种子产量增加 35%，施 0.8% 硼砂苜蓿种子产量增加 15.56%^[27]。

在苜蓿元素吸收方面，适量钼肥能提高苜蓿草产量，其中施钼 400 mg/kg 草产量比对照提高 562.79 kg/hm²；同时施适量的钼肥能促进了苜蓿对硼、铁、锰、磷的吸收^[28]。喷施硼肥能够提高苜蓿种锌、磷、钴、铁、锰等元素的含量；喷施锰肥影响苜蓿对硒、铜、铁、锌的吸收，且与苜蓿中硒、铜含量

称负相关^[29]。

硒、钴作为重要的微量元素，近年来才被人们关注，硒肥能显著提高苜蓿草产量^[24]。有研究表明叶面喷施 300mg/L 钴和 200mg/L 硒能够增加苜蓿产量，有利于苜蓿生长；喷施 600mg/L 钴和 500mg/L 硒在提高苜蓿产量的同时能够增加苜蓿粗蛋白的含量^[30]。刘巘等的研究也证实了施 0.45kg/hm² 硒肥能够显著提高苜蓿产量、株高、粗蛋白含量，并且粗纤维含量也显著降低^[31]。另外，土壤中施入 0.45kg/hm² 硒肥能够提高苜蓿草产量，提高苜蓿种超氧化物歧化酶、过氧化氢酶的活性，还能够降低苜蓿中丙二醛的含量^[32]，提高苜蓿的抗性。有研究表明在基肥基础上施硒肥 0.57k g/hm²、钴肥 0.762k g/hm² 可以显著增加增加苜蓿叶面积指数，提高苜蓿的净光合能力，还能促进耕层苜蓿根系的生长，提高苜蓿养分、水分的利用效率。同时施硒钴肥还能够增加苜蓿种子千粒重^[33]。

3 存在问题及今后研究方向

3.1 存在问题

苜蓿施肥研究多集中在小区或者盆栽试验，在大田应用中进行研究较少，大多都还停留在理论探讨阶段。这些研究能够在生产中应用的少之又少，实际生产中存在的问题依然是难以解决，理论研究的结果往往在实际中不能够得到应用。另外，对于苜蓿施肥的研究大多都是一年或者两年，有的甚至是针对一茬草的研究，缺少实际生产应用中的长期研究；针对特定地区的施肥研究较少，在长期的生产中，往往还是凭借在其他作物上的经验在进行施肥。在生产中，人们还是停留在苜蓿能够高产，而对于能够使苜蓿持续高产的施肥管理措施很少得到实际的应用。这就造成了苜蓿利用年限缩短，优质苜蓿田不能够长期稳定生产的浪费，使苜蓿种植成本增加。另外，在苜蓿生产中人们往往关注苜蓿对氮磷钾大量元素的需求，而忽略了苜蓿对微量元素的需求。

3.2 今后研究方向

施肥是苜蓿栽培技术中的重要一环，它对苜蓿产草量的提高和品质的改善均有积极的影响。虽然在施肥上已有相当多的研究，但因涉及的因素较多，在一些问题的看法上还存在着争议。目前，我国尚处在起步阶段，许多研究仍集中在对现象的简单分析比较，至于肥料如何影响其产量和品质的内在机理性的研究还十分缺乏。因此，学习借鉴国外的研究成果，探讨今后的研究方向，以期能为苜蓿草产业发展，为畜牧也的发展提供有利的物质保障提供参考。

3.2.1 不同环境条件下肥料肥效的研究

针对不同土壤类别、不同气候条件，形成长期定位试验，找出适合于当地条件的最佳施肥配比、施肥量、施肥时期和施肥方式等，对因地制宜指导苜蓿生产有重要的理论和实践意义。

3.2.2 苜蓿长效施肥的研究

苜蓿属于多年生牧草，一般 4-5 年达到生长高峰。肥效的发挥也不是瞬间完成的，特别是对于一些缓效肥以及长期施肥的累积效应等，都应该根据研究方案适当延长研究年限，全面客观了解肥料对苜蓿生长发育的影响。

3.2.3 建立健全的苜蓿施肥土壤肥力效应评价指标

土壤肥力评价是苜蓿施肥的基础。评价包括：化学性质，包括土壤 pH、盐分含量、植物养分含

量的有效量、养分循环及转化效率和养分相互作用等；物理性质，包括土壤颗粒分布、土壤结构、容重、孔隙度、抗蚀性、团聚体的体积和稳定性、土壤水分、持水性能和入渗性状等；生物学性质，包括土壤微生物的种类、数量、功能、组成、有机质数量和组成、专性呼吸作用强度和酶等。通过苜蓿施肥参数测定，建立土壤有效养分系数和肥料利用率间的回归方程，编制土壤有效养分系数和肥料利用率间的对应关系检索表。进而确立目标产量、单位产量的养分吸收量、土壤有效养分系数和肥料当季利用率等。

3.2.4 苜蓿施肥的机理研究

深入探究肥料对苜蓿生长发育影响的内在机理和各营养元素之间的拮抗与协助作用，对苜蓿合理配方施肥提供理论依据；通过长期有效的研究，积累各种元素的有效肥效，及其不用组合的作用，形成不同地区不同土壤类型行之有效的施肥组合，为苜蓿高效合理生产提高帮助。

参考文献（略）