摘　要

亚麻属于亚麻科(Linaceae)、亚麻属(*Linum*)、普通亚麻种群(*L. usitatissimum* L.)，利用价值很高。对于南方省区而言，亚麻作为一种新作物，其高产优质高效栽培技术的研究还相当薄弱。其中，亚麻种植对土壤肥力的影响及平衡施肥技术是南方亚麻生产上急需解决的问题。以氮、磷、钾和几种主要微量元素进行 2 因素随机区组试验，研究了养分对亚麻生长及产量品质的影响，同时了解施肥与亚麻生长对土壤养分平衡的影响，希望研制出在实验条件下的亚麻高产优质优化施肥方案。本实验获得的主要结果如下：

1. 配合施肥对亚麻生育特性影响不明显，但对分茎数与有效株数的影响较大，分枝数、单茎重、株高与工艺长度居其次，而对生长整齐度、茎粗的影响最小。对亚麻原茎增产效果而言，NPK 肥以 A2 水平的较高，每施 1kg 纯量 N、K_2O 可增产原茎 10.4kg，每施 1kg 纯量 P_2O_5 增产原茎 63.2kg；微肥以 B2 水平的施肥量增产效果显著，各微肥对亚麻原茎增产效果各不相同。配合施肥以 A3B1、A2B0、A3B2、A2B2 处理组合比较理想，亚麻原茎产量高，达到 13.3t/hm^2 以上。

2. 增施 NPK 肥使干茎率、长麻率、出麻率有所下降，但对纤维强力、可挠度、分裂度有明显的改善，而且可明显增加纤维产量。增施微肥不仅能提高亚麻干茎率、长麻率、出麻率，而且能明显的改善纤维强力、可挠度、分裂度，还能增加长纤维产量。配合施肥对亚麻纤维品质的影响各不相同，以干茎率、长麻率、出麻率、强力受影响较大，而可挠度与分裂度受影响较小。总纤维产量以 A3B1、A2B0 等处理组合较高，达到 3000kg/hm^2 以上，长纤维产量以 A0B3、A2B2、A3B2、A3B1 处理组合较高，达到 1600kg/hm^2 以上。

3. 施肥量达到一定水平后，再增加施肥，其增产效果不明显，甚至造成产量下降。

4. 根据植株分析结果，亚麻对 NPK 的平均吸收量以 K 最多，N 居其次，P 最少，其 N：P：K 之比为 1：0.2：1.8；亚麻对微肥的平均吸收量依次为：Zn>Mn>B>Cu>Mo，其 Zn：Cu：B：Mn：Mo 之比为 1：0.3：0.3：0.6：0.0008。亚麻生长后，A3B1、A2B2 处理的土壤肥力保持较好，仅有 2 种养分含量下降较多，A2B0、A3B0 处理的居其次，有 4 种养分含量下降较多，A2B1、A3B2 处理的有 5 种养分指标下降较大，而其他处理的养分含量大多数下降较多。

综上所述，施用 A3B1、A2B2 组合的肥料，不仅能增加亚麻的原茎产量，而且还能提高亚麻纤维产量与品质，亚麻生长后，土壤养分基本能保持平衡。

关键词：亚麻；配合施肥；施肥量；土壤养分平衡；原茎产量；纤维产量；纤维品质

Abstract

Flax belongs to the genus *Linum* in the family Linaceae. Cultivated flax belongs to the species *L. usitatissimum*, and its varieties are of two types: one is grown for oil and the other for fiber. Fiber flax has very high value for use. Flax is a new crop in south provinces. Little study has been accomplished for how to increase flax yield and to improve flax quality and cultivation technique. The influence of growing flax on soil fertility and the technique of balanced fertilization become problems that demand a quick solution. A two-factor experiment in random block design was carried out by specifying N, P, K as factor A, and B, Mn, Cu, Zn, Mo as factor B in different level and combination. The experiment has studied the impact of nutrients on flax growth and yield and fiber quality, as well as the influence of fertilization and flax growth on the balance of soil nutrients. It is hopeful to set up an optimal fertilization scheme for fiber flax cultivation of high yield and excellent quality. The main results were shown as following:

The different fertilizer combination has no apparent influence on the growth features of flax, but mostly affected stem per plant and the number of effective stems, followed by branching, the weight and height of main stem, and the industrial length, while the growth uniformity and stem diameter were the last. For yield of straw, N, P, K fertilizer of A2 level increased output more effectively; 1kg of N or K fertilizer could increase10.4kg of flax straw, while 1kg of P fertilizer could increase 63.2kg of flax straw. Micronutrients of B2 level increased the straw output of flax more obviously. Application of different micronutrients increased the yield of flax straw in different amount. Fertilizer combination A3B1, A2B0, A3B2 and A2B2 showed ideal results with yields of flax straw more than 13.3t/hm^2.

The increase of applied N, P, K fertilizer decreased the ratio of dry stem, long-fiber content and total fiber content of flax, but significantly increased fiber firmness, flexibility and thinness. The increase of applied micronutrients could improve not only the quality of flax but also the fiber yield. The different combinations of fertilizers affected the economic features of flax fibre in different way. The ratio of dry stem, long-fiber content, total fiber content and fiber firmness were most influenced, while fiber flexibility and thinness were affected relatively less. Fertilizer combination A3B1 and A2B0 etc were the best ones for total fiber, yielding 3000kg/hm^2 or more; the combination A0B3, A2B2, A3B2 and A3B1 were the best ones for long-fiber, yielding

1600kg/hm^2 or more.

Fertilizer should not surpass a certain amount, or the effect would be less ideal, even cause a decrease of flax straw yield.

In average, flax absorbed K most, N less and P the least from the soil. The ratio of N: P: K was 1:0.2: 1.8. The amount of micronutrients absorbed by flax was Zn>Mn>B>Cu>Mo, the ratio of Zn: Cu: B: Mn: Mo was 1: 0.3: 0.3: 0.6: 0.0008. After flax harvesting, fertilizer combination A3B1 and A2B2 best maintained the soil fertility, with only two elements in deficit; while A3B1 and A2B2 could maintain soil fertility relative well, with 4 elements in deficit. Moreover, A2B1 and A3B2 had 5 elements in deficit. The rest combinations had many more elements in deficit.

According to the above results, A3B1 and A2B2 were recommended for flax production due to their good effects in increasing straw yield and improving the quality and output of fiber, as well as keeping soil fertiliy and nutrients balance.

Key words: flax, balanced fertilization, fertilizer amount, soil nutrients balance, straw yield, fiber yield, fiber quality

目 录

文摘
英文文摘
声明及论文使用和授权说明
文献综述
第一章施肥对亚麻生长的影响
第二章施肥对亚麻纤维品质与产量的影响
第三章亚麻生长对土壤肥力的影响
参考文献
致谢

<<返回

声　明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得云南大学或其他教育机构的学位或证明而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

研究生签名：肖伏　　日　期：5.22

论文使用和授权说明

本人完全了解云南大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅或借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

（保密的论文在解密后应遵循此规定）

研究生签名：肖伏　　导师签名：　　日　期：5.22

文献综述

1 研究的目的和意义

亚麻属于亚麻科(Linaceae)、亚麻属(*Linum*)、普通亚麻种群(*L.usitatissimum* L.)。亚麻科有 22 个属，除 *Linum* 和 *Radiola* 两个属外，均分布在美洲、非洲、亚洲和印度尼西亚的热带地区。*Linum* 和 *Radioda* 两个属大部分分布在亚洲和非洲的亚热带、欧洲的温带地区，某些种则一直扩展到北欧温带偏冷地带。

亚麻是世界最古老的栽培作物之一，是麻类家族中的重要一员，利用价值很广。亚麻纤维品质和使用价值与苎麻相似而优于黄麻、红麻和大麻。亚麻属纤维素纤维，回潮率很大，感觉温度比较低。亚麻纤维具有吸湿快、散热快、透气、凉爽、容易洗涤和消释静电等性能，广泛应用在服装、鞋袜及室内装饰等行业。尤其是精细亚麻纺织品更代表了当今世界纺织面料高档化的水平和趋势。因此在二十世纪末，世界上掀起“亚麻热”，麻纺制品消费势头强劲，需求增加。但由于北半球中高纬度带地理气候原因，原材料生产的供给相对滞后，亚麻种植区域不断南扩[1,2]。

亚麻性喜温暖和湿润的环境条件，全生育期需日照600－700小时，需积温1500－1800℃，生物学下限温度为5℃，能在短时间内耐-3℃以下的低温，每形成1g干物质需水400－430g，生育期内需降雨180－220mm以上[3]。云南的很多地区，9～10月气温16～20℃、月降雨100～150mm，有利于播种全苗；次年3～4月气温16～22℃、降雨较少 (30～70mm/月)、日照较多 (150～220小时/月)，有利于纤维、种子成熟和亚麻收获[2]。因此，云南大部分农作区均能满足亚麻对环境的要求，具备一年多熟和全年种植、加工、生产优质亚麻的气候资源优势。云南省2003年亚麻种植覆盖滇东、滇东南、滇中、滇西、滇西北20余县，种植面积1.8万hm^2[4]。

我国南方亚麻引种栽培成功，打破了低纬度地区为亚麻不适宜产区的理论禁锢。对于南方省区而言，亚麻作为一种高密度、高生物产量的新作物，其需肥量较大，在南方种植亚麻的生长期也很长。因此，其高产优质高效栽培技术体系的研究还相当薄弱。亚麻种植对土壤肥力的影响及平衡施肥技术是南方亚麻生产上急需解决的问题。本文旨在研究亚麻生长对土壤的养分平衡的影响，研制亚麻高产优质的最佳施肥方案，为云南省乃至其它南方省区亚麻栽培提供理论依据。

2 相关研究现状

2.1 主要养分元素的生理作用

每一种元素都有它独特的作用，氮 (N) 是植物体内许多重要有机化合物的组分，例如蛋白质、核酸、叶绿素、酶、维生素、生物碱和一些激素等都含有氮素。氮素也是遗传物质的基础。此外，氮素还是一些维生素 (如维生素 B1、B2、B6、PP 等) 的组分，而生物碱 (如烟碱、茶碱、胆碱等) 和植物激素 (如细胞分裂素、

赤霉素等) 也都含有氮。这些含氮化合物，在植物体内含量虽不多，但对于调节某些生理过程却很重要。例如，维生素 PP，它包括烟酸、烟酸胺，都含有杂环氮的吡啶，吡啶是生物体内辅酶 I 和辅酶 II 的组分，而辅酶又是多种脱氢酶所必需。又如细胞分裂素，它是一种含氮的环状化合物，可促进植株侧芽发生和增加禾本科作物的分蘖，并能调节胚乳细胞的形成，有明显增加粒重的作用；而增施氮肥则可促进细胞分裂素的合成，因为细胞分裂素的形成需要氨基酸。此外，细胞分裂素还可以促进蛋白质合成，防止叶绿素分解，使植株较长时间保持绿色，延缓和防止植物器官衰老，延长蔬菜和水果的保鲜期。总之，氮对植物生命活动以及作物产量和品质均有极其重要的作用。亚麻对养分的要求，以氮需要最多，氮肥对种子产量和纤维产量、质量有重要的作用。氮肥不足，亚麻营养生长不良，产量降低。但氮肥也不宜施用过多，否则易使植株生长过旺，发育延缓，延长生育期，且易引起倒伏，不仅导致种子减产，还会促进茎秆韧皮部的木质化，降低出麻率。

磷 (P) 是植物生长发育不可缺少的营养元素之一，它既是植物体内许多重要有机化合物的组分，同时又以多种方式参与植物体内各种代谢过程。磷对作物高产及保持品种的优良特性有明显作用[5]。磷肥在幼苗生长初期对幼根的发育具有重要作用，开花和结实期需较多的磷肥，才能使种子的产量和含油量高。磷肥还可增加纤维细胞的数量，减少细胞木质化的程度，有利于提高纤维品质。因此，亚麻虽然对磷的需求相对较少，但绝不能忽视。亚麻从枞形期到开花期，吸收磷的数量逐渐增加，开花期是需磷最多的时期，此期吸收磷元素占整个生育期的 31.6%，到生育后期吸收的磷仍较多，这对促进种子成熟和纤维发育，提高种子产量、纤维产量和出麻率起着重要的作用。

钾 (K) 不仅是植物生长发育所必需的营养元素，而且是肥料三要素之一。钾离子 (K^+) 是植物细胞中含量最丰富的阳离子之一，对生物体具有重要的生物功能。K^+能促进细胞内酶的活性，细胞内有 50 多种酶或完全依赖于 K^+，或受 K^+的激活，如丙酮酸激酶、谷胱合成酶、6—磷酸果糖激酶等能被 K^+激活。K^+对酶的激活同其他一价阳离子一样都是通过诱导酶构象的改变，使酶得到活化，从而提高催化反应的速率。在某些情况下 K^+能增加酶对底物的亲和力，K^+对膜结合 ATP 酶也有激活作用。K^+与蛋白质的合成有关。K^+可能参与 tRNA 与核糖体结合过程中的几个步骤。K^+在细胞内外不同浓度的分布是形成细胞跨膜电势的一个重要原因。K^+能调节植物体的许多生理功能，如增强植物光合作用，增强植株体内物质合成和转运，提高植物抗性，维持细胞膨压等[6]。同时还应该指出，施用过量钾肥也会由于破坏了养分平衡而造成品质下降。钾肥用量过多还会造成作物奢侈吸收，即作物吸收的钾大大增加，超过作物实际需钾量，而且这些养分对提高产量没有

帮助。奢侈吸收显然是一种浪费现象[5]。亚麻是需钾较多的作物，充足的钾肥能使亚麻生长健壮，增加细胞强力，减轻病害，防止倒伏和提高纤维品质。从枞形期到工艺成熟期，亚麻对钾元素的吸收始终保持较高的水平，钾的吸收量以开花期最多，快速生长期次之。

施肥不仅是施用常量元素肥料，也包括微量元素肥料。微量元素与常量元素一样，都是植物所不可缺少的营养元素。因此除了三要素以外，一些微量元素，如锌 (Zn)、锰 (Mn)、硼 (B)、铜 (Cu)、钼 (Mo) 等对亚麻的生长起着一定的促进作用，还能增强抗病、抗旱、抗倒伏等性能。每一种营养元素在植物生命活动中各有特殊作用，不能被其他元素所代替，而且各种营养元素在相互配合的情况下才能发挥良好的作用。

硼 (B) 能与游离状态的糖结合，使糖带有极性，从而使糖容易通过质膜，促进运输。硼对植物生殖过程有影响，植株各器官中硼的含量以花最高。缺硼时，花药和花丝萎缩，绒毡层组织破坏，花粉发育不良。硼具有抑制有毒酚类化合物形成的作用，所以缺硼时，植物中酚类化合物 (如咖啡酸、绿原酸) 含量过高嫩芽和顶芽坏死。B 是非金属，不同于 Fe、Mn、Cu、Mo 和 Zn，它不是哪种酶的构成，也不直接影响酶的活性。B 具有细胞外营养的特征，B 酸与有机化合物形成很稳定的顺式一二醇构型的络合物，这类络合物包括多种糖和它们的衍生物，如糖醛酸和某些正联苯酚。这些络合物富集在细胞壁中，因此，B 强烈地络合在细胞壁中。B 最主要的功能是在细胞壁的形成和木质部的分化中起重要的作用，缺 B 促进醌的形成，抑制木质素的合成。缺 B 影响植物生长。这可能与核酸浓度降低有关。B 缺乏不仅影响细胞壁的形成和稳定化，而且影响原生质膜的性质。已观察到缺 B 使原生质膜的 ATP 酶活性降低，根部摄取离子的速率降低。B 对花粉的形成和花粉管的生长特别重要，缺 B 使花粉粒形成和花粉生长严重受阻，因而缺 B 将导致作物籽粒产量降低。

锰 (Mn) 是糖酵解和三羧酸循环中某些酶的活化剂，能提高呼吸速率。锰是硝酸还原酶的活化剂，植物缺锰会影响它对硝酸盐的利用。在光合作用方面，水的裂解需要锰参与。缺锰时，叶绿体结构会破坏、解体。Mn 在植物体内主要以 Mn^{2+}存在。因为它的氧化态相对比较容易改变，可从 Mn^{2+}氧化至 Mn^{7+}，反之亦然。所以 Mn 在植物代谢的许多还原过程中起了重要作用，如光合作用中的电子传递等，可见 Mn 在植物体内最重要的功能仍然与光合作用有关。Mn 缺乏影响到水的光分解和 O_2 的释放，即缺 Mn 可使光合作用中的希尔 (Hill) 反应受阻。而且 Mn 严重缺乏时可发生叶绿体结构破裂，叶绿素浓度降低。含 Mn 的过氧化物歧化酶 (Mn—SOD) 对于氧自由基有解毒作用。Mn 为莽草酸代谢途径所必需，缺 Mn 种子中油的含量降低。Mn 是类异戊二烯代谢途径中，贝壳杉烯合成酶的驱动者和植

烯合成酶的构成，植物缺 Mn 生长受到阻滞，亦可能是由于与异戊二烯代谢途径有关的各种产物的合成受到抑制有关。

铜 (Cu) 是某些氧化酶的成分，可以影响氧化还原过程，铜又存在于叶绿体的质体蓝素中，后者是光合作用电子传递链的一员。细胞色素 C 含 Cu。Cu 也是一个电子易转移元素 (Cu^{2+}=Cu^{+})。在生理还原过程中是比较重要的。它与 Fe 不同，含 Cu 酶可直接与分子氧反应，能优先地催化末端氧化过程。各种 Cu一蛋白在光合作用、呼吸作用和木质化过程中有重要作用。Cu 缺乏最明显的影响是降低质体蓝素的含量，导致光合作用电子迁移数量的相对降低。Cu 缺乏明显地降低了维生素 C 氧化酶的活性。

锌 (Zn) 是叶绿素生物合成的必需元素，缺锌植物失去合成色氨酸的能力，而色氨酸是吲哚乙酸的前身，因此缺锌植物的吲哚乙酸含量低。锌不足时，植株茎部节间短，莲丛状，叶小且变形，叶缺绿。Zn 虽属过渡元素，但它不同于 Fe、Mn、Cu 和 Mo，不是一个变价元素，植物体内的 Zn 只是 Zn^{2+}存在。Zn 的主要功能是作为一个二价阳离子，通过相应的基质与酶耦合，与包括多肽在内的不同有机物形成四面体螯合物。在高等植物中，已知的含 Zn 酶虽然只有乙醇脱氢酶，Cu一Zn一过氧化物歧化酶 (Cu一Zn一SOD)，碳酸酐酶的活性受到抑制，影响 Hill 反应。含 Zn 的乙醇脱氢酶 (ADH) 对于厌氧条件下生长的水稻根的呼吸有重要作用。ADH 在水稻根尖部位催化乙醛还原成乙醇的反应中起重要作用，缺 Zn 使 ADH 酶的活性明显降低，使水稻根代谢受到伤害。缺 Zn 降低了核糖核酸聚合酶的活性，影响到核糖体结构的完整，缺 Zn 可促进 RNA 的降解，从而影响到蛋白质的合成。含 Zn一SOD 同工酶在过氧化物解毒中具有重要作用。这种酶保护脂质和蛋白质膜的抗所属氧化，防止植物生长素如吲哚乙酸的降解。缺 Zn 阻滞过量的磷酸从枝叶重新向根部运转，导致枝叶 P 过量中毒。Zn 的植物生理功能是多方面的，但主要功能是对碳水化合物和蛋白质的合成起作用。

钼 (Mo) 是硝酸还原酶的金属成分，起着电子传递作用，钼又是固氮酶中钼铁蛋白的成分，在固氮过程中起作用。因此，钼的生理功能突出表现在氮代谢方面。Mo 在植物体内是以阴离子存在，它的最高氧化态是 Mo^{6+}，当然也有 Mo^{4+}和 Mo^{5+}。Mo 在植物体内的功能与电子传递反应有关。在高等植物中，目前已知的含 Mo 酶只有 NO_3^-还原酶和 SO_3^{2-}氧化酶。在固氮植物中有的固氮酶(Fe一Mo 蛋白)和黄嘌呤脱氢酶。当 NO_3^-还原时，电子直接从 Mo 转移到 NO_3^-，Mo 的丰缺与 NO_3^-还原酶的活性紧密相关。缺 Mo 的植物组织中，酰胺等可溶性氮的浓度和核糖核酸酶的活性增加，但蛋白质浓度和丙氨酸转氨基酶的活性降低，表明 Mo 涉及到蛋白质的合成。Mo 缺乏明显影响叶绿素的浓度和叶绿体的结构，因而也影响碳水化合物的合成。Mo 在生物固氮中的生理作用是众所周知的，生物固氮是通过含 Mo 的

酶来催化的，固氮酶是由 Fe—Mo 蛋白和 Fe 蛋白构成的。综上所述，Mo 在植物生理中的主要功能与蛋白质的合成，NO_3^-还原和生物固氮的代谢有关。植物缺 Mo 将直接影响到植物的氮代谢[1,7,8]。

2.2 国外的研究进展

埃及的 Sakha 农业研究所在 1994—1995 和 1995—1996 年间，研究了不同水平的磷肥和微量元素对亚麻品种 Giza7 的产量与经济性状的影响，试验采用施磷肥三水平(0，35.7，71.4kg/ha) 和每种微量元素（Zn，Mn，Fe与他们的混合物）仅一个浓度 (0.25g/kg) 作叶面喷施。研究结果表明，增施磷肥水平从 0 到 71.4kg/ha 可以明显增加原茎产量，纤维产量和质量，长纤维的百分率，上部分枝长度，油用亚麻的植株及小区的蒴果数和含油率。在亚麻的原茎产量、质量及长麻率方面喷施 Zn 肥显著超过其他的微量元素。而 Mn 显著增加种子产量及相关的性状，但种子的指标没有达到显著水平。磷肥与微量元素的互作影响亚麻的原茎产量及相关的性状，但工艺长度除外，且对种子产量及相关性状的影响达到显著水平[9]。1994/95 年和1995/96年在 Mansoura 大学农学院的粘土试验地里面，进行了不同氮肥水平 (71.4，107.1，142.9kg/ha) 对 Liflora，Bionda，Ceres，Atlanta 和 Giza—8 品种的影响。研究发现，增施氮肥从 71.4kg/ha 到 142.9kg/ha，除含油百分率在两年里显著下降外，其他所有相关性状都显著增加。不同品种与氮肥量的交互作用对植株高度、上部分枝、蒴果数及种子产量 (kg/ha) 有明显的影响。数据分析显示蒴果数、子粒数、千粒重与种子产量成正相关，为了达到最大的纤维产量应该选择植株高度、纤维长度和纤维率较大的品种。施氮肥142.9kg/ha，品种Ceres有最大的种子产量、含油量及原茎产量，因此推荐在Mansoura地区种植[10]。

根据 2 水平的 NPK 肥对原茎产量和叶、根的生长方面研究，通过对 VNIIL11，Tvertsa 和 Orshanskii2 等品种 3 年及 VNIIL11，Lazurnyi 和 Verkhnevolzhskii 品种在接下来的 2 年观察，结果表：在原茎产量方面 Lazurnyi 受 2 个水平的 NPK 肥影响最大 (22.5%和 29.5%)。虽然所有品种的叶面积在 2 个肥料水平都有增长，但不同水平 NPK 对不同品种的叶面积和根生长有不同的影响。2 水平的 NPK 肥对品种 Lazurnyi 和 Orshanskii2 的影响最大，但对它们叶面积影响最小[11]。

2.3 国内的研究进展

提高亚麻产量的途径很多，最重要的有两个，即良种的引用和合理的耕作、管理及施肥。前者是从农作物的内在因素着手，后者则给农作物提供良好的生活环境。这二者是相辅相成而不可偏废的。如果施肥未能满足高产品种的需要，则无从发挥良种的优势而不能获得高额丰产。

长期施肥对土壤微生物含量、腐殖质组分、土壤供肥能力和作物产量有很大的影响。范有君等人在东北高纬度地区黑土、黑粘土区进行化肥施用量试验，研

究表明，应以高磷配比为主，氮、磷、钾的比例为1：1.3—1.5：1，各品种间的施肥量应有所差别。阿里安和范妮每公倾施用化肥纯量：氮 (N) 25～30kg，磷 (P_2O_5) 37.5～45kg，钾 (K_2O) 25～30kg，折合成化肥每公倾施用磷酸二铵：80～90kg，硫酸钾 (含量50%) 50～60kg，尿素15～20kg，硫酸锌7.5kg。双亚5号和黑亚11号每公倾施用化肥纯量：氮 (N) 20～25kg，磷 (P_2O_5) 35～40kg，钾 (K_2O) 20～25kg，折合成化肥每公倾施用磷酸二铵：75～87kg，硫酸钾 (含量50%) ：40～50kg，尿素10～15kg，硫酸锌7.5kg[12]。为了取得亚麻的最高纤维产量，李意坚采取了不同的施肥量，通过对纤维亚麻的纤维产量模型进行分析，结果表明，1988年在纤维亚麻的主产区黑龙江省黑土地上高产纤维产量的施肥方案为：每公顷施N、P (P_2O_5)、Zn分别为56.55kg、113.55kg、14.7g[13]。傅道福等人在浙江省萧山棉麻研究所麻类试验基地进行了冬闲田春播亚麻不同品种、播种量和肥料用量的3因素正交试验。结果表明，影响原茎产量高低的因素次序为肥料用量>播种量>品种。在试验组合中，以亚麻品种双亚6号、播种量120.0kg/hm^{2}和肥料用量折N 75.0kg/hm^2、P_2O_5 112.5kg/hm^2、K_2O 150.0kg/hm^{2}处理组合的原茎产量最高，达5.272t/hm^2[14]。

正由于亚麻是一种需肥较多而且各养分的比例要求适当的作物，新疆米泉市夏华化肥有限责任公司根据亚麻的需肥特性，生产了一种针对亚麻的专用复混肥。亚麻专用复混肥具有针对性、科学性、实用性三大特点，养分全面,施用方便、节省劳力，只需一次使用,就可满足亚麻全生育期对肥料的需求。亚麻专用复混肥主要是以测土配方、平衡施肥和精准施肥原理为基础。根据土壤的供肥性和肥料的增产效益，调配 N、P、K 含量，同时加入各种微量元素，改善作物生理状况,提高亚麻对 N、P、K 的吸收，增加亚麻的抗逆性，特别是在抗倒伏方面作用比较明显。在新疆伊犁地区新源县则克台镇亚麻厂试验地，土壤种类为壤土，前茬为玉米，夏永清等人进行亚麻专用复混肥与亚麻产量关系的研究。试验结果表明，亚麻专用复混肥增产效果大于传统单施 N 肥、P 肥、K 肥的肥料效果。统计分析表明，使用亚麻专用复混肥比传统施肥 (三料、磷酸二铵等) 增产 10%～15%[15]。

养分不仅影响亚麻的产量而且对亚麻的纤维质量及生长发育、形态结构造成很大的影响。徐丽珍等人进行了氮磷钾肥对亚麻纤维细胞发育的探索，其结果发现，氮磷钾肥不同配比施用在亚麻快速生长期以前对茎中部纤维细胞的数量影响不大，而在开花期和成熟期肥料的作用明显。茎中部的纤维细胞数以磷钾肥的中等施肥量最多，分别为 525 个和 670 个，茎中部纤维细胞的层数及纤维细胞带的厚度也以其磷钾肥的中等施肥量最多[16]。在黑龙江巴彦县的黑土地上，潘廷慧等人研究了亚麻高产优质及干物质积累和氮磷钾吸收分配的规律，他们认为亚麻各生育期干物质积累是呈抛物线型，峰值在开花期，茎干物质随生育期进展逐渐增多，而根、叶的干物质逐渐减少。氮磷钾的积累量随着干物质增多而增加，峰值

在快速生长期和开花期。植株各器官氮磷钾的含量，果>叶>根>茎，亚麻中钾的含量，茎的木质部占全株的 70%，而纤维只占 30%[17]。

每种营养元素在亚麻中有不同的作用，对亚麻的生长发育、形态结构、纤维质量及纤维产量有一定的影响。在东北农业大学的试验地内进行了氮肥对亚麻产量形成关系的研究，李明认为增施氮肥促进了亚麻的干物质积累，增加了植株的茎粗和株高，对茎上各个组织（表皮皮层、韧皮部、木质部及髓腔）的生长均有促进作用，从而显著提高了亚麻的原茎产量，但由于增施氮肥降低了亚麻的出麻率，导致亚麻纤维产量提高不显著，在对增施氮肥的反映方式和程度上，不同品种的原茎产量及纤维产量形成过程之间存在差异[18]。徐文平等在东北农业大学的黑土试验地里采用小区试验，研究磷复肥（N、P、K 含量≧30%）对亚麻产量的影响和增产机理，试验结果表明，磷复肥可促进亚麻的生长发育，增加养分吸收总量，显著提高产量，与磷酸二铵＋硫酸钾处理相比增产效果相当[19]。对钾影响亚麻纤维产质量的作用机理做了初步探讨，研究显示钾能够影响亚麻的光合作用，对光合势、叶面积指数、净光合速率在不同生育时期都有不同的影响，以快速生长期到现蕾开花期影响最大；钾能够提高与亚麻产质量相关的酶活性；影响亚麻的干物质积累，改善亚麻的纤维产质量构成因素；增加植株高度、工艺长度和单株重，尤其对出麻率的影响达到极显著水平。因此，生产中应重视钾肥的施用，但要避免过量，从李彩凤等人的实验结果来看，在东北农大试验地里面，速钾的含量 226mg/kg，施钾 22.5kg/hm^2 较适宜。纤维产量比对照提高 38.87%；长麻率提高 5.9%；强度提高 9.22% [20,21]。

由于微量元素多为酶、辅酶的组成成分或活化剂，它们的作用有很强的专一性，所以含量虽然小，所起的作用则很大。当微量元素供给不足时，农作物生长不良，产量减少，质量降低；严重缺乏时可能颗粒不收。同时，微量元素过多，又会抑制农作物生长，影响产量和质量。这些情况都说明，微量元素的含量虽然很小，却有重要作用，一旦缺乏的时候，植物便不能正常的生活和生长。假若农作物对微量元素的需要未曾满足，有时会成为提高产量的限制因子。因而微量元素在农业生产中的作用，近年来已经引起广泛的注意。

关凤芝等人在兰西县兰河乡拥军村的试验地进行试验，前茬为玉米春整地，研究结果表明，亩用锌肥在645.0～692.5克；铜肥432～474克；硼肥30.2～34.0克；锰肥497.5～542.5克；钼肥20～22克，亩产原茎可达500公斤。在当地自然条件下，其试验因子对产量影响的效应依次为铜>锌>锰>硼。t检验结果表明，锰和硼分别对原茎产量影响的差异都不显著。微肥用量最少，收效大，施用方法简便，是提高亚麻原茎产量的有效途径[22]。

影响亚麻生长发育、纤维质量和纤维产量的因素有很多，关凤芝等在黑龙江

农科院的试验地里就播期、密度、施肥等栽培因子对亚麻纤维发育的影响进行了研究，其结果表明：在亚麻生育的不同时期，各因素对亚麻纤维细胞数量的影响不同；枞形期至快速生长期，栽培因子对纤维细胞数量的影响不十分明显；开花期为播期>密度>微量元素>大量元素，工艺成熟期为播期>密度>微量元素>大量元素。要获得高产优质的亚麻纤维，其栽培措施的最佳组合为：4月20日播种，有效株数1400株/m^2，氮磷钾施用量为 N1.0十$P_2O_5$3.0十K_2O3.0kg/666.7m^2，微量元素用量为 Zn700十Cu500十Mo20g/666.7m^2[23]。贾霄人等对不同品种和不同栽培条件下亚麻韧皮纤维的形态结构进行观察分析，对出麻率，纤维强力等品质指标进行了测试。结果表明：品种不同，韧皮纤维发育情况不同，纤维品质差异较大，表现明显的遗传效应；同一品种麻茎粗度不同，韧皮纤维发育不同，随麻茎增粗，韧皮纤维发育越好，产量较高，适时早播 (4月18日)，生育中期追施尿素 10kg/667m^2，磷酸二铵 5kg/677m^2 做种肥，纤维发育和品质最佳[24]。

综上所述，国内主要是黑龙江省做过亚麻养分的研究，而且主要是集中于养分对亚麻产量、质量及形态方面的研究，亚麻生长对土壤养分影响方面的研究还少见。国外也只研究了养分对产量的影响及养分在亚麻整个植株内积累的过程。亚麻是云南省新引进的作物，加上云南的土壤、气候明显不同于国内其它地区，更不同于国外，而且人们十分关心种植亚麻后对土壤肥力和后续作物的影响问题。为此，我们开展了本项研究，期望能够回答生产实践中提出的上述问题。

第一章 施肥对亚麻生长的影响

1.1 材料与方法

1.1.1 田间试验设计

采用两因素随机区组设计法，重复 3 次，小区面积 6.67m^2，供试品种为高斯，发芽率为 94%，种子用药剂 (甲基托布津：种子＝3：1000) 拌种，并闷置 7 天后播种，播种量为 3000 粒有效种子/m^2，常规田间管理。

大量元素作为因素 A，微量元素作为因素 B，根据相关试验结果[1,22,25]确定其比例，N：P_2O_5：K_2O＝1：0.2：1，Zn：Cu：B：Mn：Mo=1：0.7：0.1：1：0.1：每因素设 4 水平。将微肥与全部磷、钾肥及 30%的氮肥混合做基肥，浅层均匀撒施 (约 8cm 深)，另 70%的氮肥于快速生长期初追施。具体施用量见表 1-1。

表 1-1 养分施肥量

Table 1-1 Doses of applied nutrients

水平	N	P_2O_5	K_2O	Zn	Cu	B	Mn	Mo
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	103.5	17.3	103.5	1837.5	1209.6	168	1738.8	80.7
2	172.5	28.5	172.5	2362.5	1680	252	2415	161.4
3	241.5	37.5	241.5	3037.5	2150.4	336	3091.2	242.1

说明：①N、P、K 单位为 kg/hm^2，Zn、Cu、B、Mn、Mo 单位为 g/hm^2。②氮肥为尿素 (含 N 46.0%)，磷肥为普钙 (含 P_2O_5 18%)，钾肥为 K_2SO_4 (含 K_2O 50%)，锌肥为 $ZnSO_4·7H_2O$ (含 Zn 22.5%)，铜肥为 $CuSO_4·7H_2O$ (含 Cu 22.4%)，硼肥为 $Na_2B_4O_7·10H_2O$ (含 B 11.2%)，锰肥为 $MnSO_4·H_2O$ (含 Mn 32.2%)，钼肥为 $(NH4)_6Mo_7O_{24}·4H_2O$ (含 Mo5 3.8%)。

1.1.2 亚麻生育特性调查 (以“月/日”表示)

①播种期

播种当天的日期。

②出苗期

全区 10%幼苗出土子叶展开时为始苗期，70%为出苗期，90%为全苗期。

③枞形期

全区 70%的植株有 3 对真叶以上，幼茎叶片呈密集状，株高达 5cm 时的日期。

④快速生长期

全区有 1/2 以上植株高度达 15－20cm，生长点开始下垂的时期。

⑤现蕾期

全区 10%植株现出第一个花蕾为始蕾期，70%植株现蕾为盛蕾期。

⑥开花期

全区 10%的植株开始开花为始花期，70%植株开花为盛花期。

⑦工艺成熟期

全区有 1/3 蒴果呈黄褐色，叶片有 1/3 脱落，茎杆有 1/3 变黄，为工艺成熟期 (纤维成熟期)。

1.1.3 农艺性状调查及标准

①出苗整齐度

出苗整齐度用目测法观察，分 3 级：全区从出苗开始，3 天内出苗达 90%以上为整齐；3 天内出苗达 70%以上为较整齐；不足 70%为不整齐。

②生长整齐度

盛花期观测，小区内株高相差小于 10cm 的为整齐；相差 11—20cm 的为较整齐；相差大于 20cm 的为不整齐。

③株高 (cm)

从子叶痕到植株顶端的长度 (20 株/小区)。

④工艺长度 (cm)

从子叶痕到第一分枝处的长度 (20 株/小区)。

⑤茎粗 (mm)

主茎中部直径，每小区 20 株，求平均值。

⑥分枝数 (个/株)

调查主茎上部的分枝数，每小区 20 株，求平均值。

⑦分茎数 (个/株)

调查主茎基部的分茎数，每小区 20 株，求平均值。

⑧单位面积有效茎数 (株/m^2)

在收获前每小区取 3 点，每点面积 30cm×30cm，去掉毛麻后计数实际茎数，求均值后换算成每平方米的有效茎数。

⑨单株干重 (g/株)

在测定原茎产量时，每小区随机取 100—150 个有效株，天平称重，计算单株干茎重量，精确到两位小数。

1.1.4 种子与原茎产量调查 (t/hm^2)

①种子产量按小区实收面积的籽实产量换算成公顷产量。

②原茎产量按小区实收面积脱粒后晒干的原茎重量折算。

1.1.5 数据分析：采用 DPS 或者 Statistica5.0 对所得数据进行统计分析。

1.2 结果与分析

1.2.1 配合施肥对亚麻生育特性的影响

小区亚麻播种日期为 2004 年 10 月 19 日，11 月 4 日左右亚麻进入出苗期，11

月 10 日左右亚麻进入枞形期，2005 年 1 月 4 日左右亚麻进入快速生长期，3 月 6 日左右小亚麻进入现蕾期，3 月 18 日左右亚麻进入盛花期，4 月 26 日左右亚麻进入工艺成熟期，4 月 28 日亚麻统一收获。

表 1-2　配合施肥对亚麻工艺成熟的影响

Table 1-2 Impact of balanced fertilization on industrial maturity of flax

区组	A0B0	A0B1	A0B2	A0B3	A1B0	A1B1	A1B2	A1B3
I	提早	延迟	提早	提早	延迟	正常	延迟	延迟
II	提早	提早	提早	提早	延迟	提早	提早	提早
III	提早	提早	提早	提早	延迟	延迟	提早	延迟

续上表

区组	A2B0	A2B1	A2B2	A2B3	A3B0	A3B1	A3B2	A3B3
I	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常
II	延迟	正常	正常	正常	正常	正常	正常	延迟
III	正常	延迟	延迟	延迟	正常	正常	正常	正常

亚麻盛花期及之前各时期，各小区间亚麻没有明显差异；亚麻工艺成熟期各小区间因肥料施用量不同而出现明显的差异 (表 1-2)，各小区以 A0、A1 水平的亚麻成熟早些，说明多施大量元素的亚麻明显比少施大量元素的亚麻成熟迟，而微量元素的影响相对要小些。

1.2.2 配合施肥对亚麻农艺性状的影响

1.2.2.1 施肥水平对亚麻农艺性状的影响

表 1-3 大量元素对亚麻农艺性状的影响

Table 1-3 Impact of applied macronutrients on agronomical traits of flax

水平	分枝数 (个/株)	分茎数 (个/株)	单茎重 (g/株)	有效株数 (株/m^2)	株高 (cm)	工艺长度 (cm)	茎粗 (mm)
A0	3.70b	0.47a	0.65a	1418b	89.5 ab	74.6 a	1.67 a
A1	4.13ab	0.51a	0.69a	1775a	89.1 b	72.6 a	1.74 a
A2	3.95ab	0.39a	0.72a	1861a	89.6 ab	74.8 a	1.69 a
A3	4.30a	0.43a	0.66a	2105a	91.4 a	75.0 a	1.73 a

注：英文小写字母表示 P＝0.05 显著水平，英文大写字母表示 P＝0.01 极显著水平。以下同。

从表 1-3 可知，亚麻分枝数以 A3 水平较多，达到 4.30 个/株，A0 水平的较少，达到 3.70 个/株，二者差异达到显著水平。亚麻分茎数以 A1 水平的较多，达到 0.51 个/株，A2 水平的最少，达到 0.39 个/株。亚麻单茎重以 A2 水平的较重，每株达到 0.72g，A0 水平的最轻，每株重量为 0.65g,，A2 比 A0 多 10.8%。亚麻有效株数以 A3 水平的较多，每平方米为 2105 株，A0 水平的最少，每平方米仅 1418 株，

二者差异达到极显著水平。亚麻株高以 A3 水平的较高，达到 91.4cm，A1 水平的株高为 89.1cm，二水平间差异达到显著水平。亚麻工艺长度以 A3 水平的较好，达到 75cm，而 A1 水平的较低，比 A3 水平少 3.31%。亚麻茎粗以 A1 水平的较粗，而 A0 水平的较细，但各水平间亚麻茎粗均处于较好状态。

从表 1-4 可知，亚麻分枝数以 B0 水平的较多，而 B1 水平的较少。亚麻分茎数以 A0 水平的最多，达到 0.53 个/株，而 B3 水平的较低，为 0.30 个/株，二者间的差异达到显著水平。亚麻单茎重以 B3 水平的较重，达到 6.1%，而 B2 水平的较轻，B3 比 B2 水平多出 0.04g。亚麻有效株数以 B2 水平的较多，每平方米达到 1948 株，而 B1 水平的较少，每平方米仅为 1599 株，B2 比 B1 高 21.8%。亚麻株高以 B0 水平的较高，平均为 90.6cm，比 B2 水平的高出 2.3%。亚麻工艺长度以 B1 水平的较长，达到 75.0cm，而 B2 水平的较短，比 B1 水平短 2.6%。亚麻茎粗以 B1 水平的较细，B0 水平均粗于其他 3 个水平，但各水平的细度仍处于较理想状态。

表 1-4 微量元素对亚麻农艺性状的影响

Table 1-4 Effect of applied micronutrients on agronomical traits of flax

水平	分枝数 (个/株)	分茎数 (个/株)	单茎重 (g/株)	有效株数 (株/m^2)	株高 (cm)	工艺长度 (cm)	茎粗 (mm)
B0	4.08a	0.53a	0.67a	1882a	90.6 a	74.9 a	1.75 a
B1	3.96a	0.41ab	0.69a	1599a	90.1 a	75.0 a	1.69 a
B2	3.99a	0.54a	0.66a	1948a	88.6 a	73.1 a	1.67 a
B3	4.04a	0.30b	0.70a	1730a	90.3 a	74.0 a	1.72 a

通常认为亚麻的茎粗和单茎重与施肥量有较好的相关性，如肥料足，亚麻茎杆长得较粗壮，单茎则较重。本试验中单茎重随施肥量的增加，而呈抛物线变化，但茎粗变化则无规律。比较而言，大量元素对亚麻分枝数、有效株数、株高的影响较大，水平间有差异性体现；对分茎数、单茎重、工艺长度及茎粗的影响相对较小，水平间无差异性。微量元素对亚麻农艺性状 (分茎数除外) 的影响较小，水平间差异不显著。施用肥料的亚麻农艺性状大多数优于不施用肥料的，说明亚麻各农艺性状对元素的反应有所差异。

1.2.2.2 配合施肥对亚麻农艺性状的影响

从表 1-5 可知，各区组间亚麻长势较均匀，仅个别小区长势较差。说明不同的肥料处理对亚麻生长整齐度的影响较少。

从表 1-6 可知，亚麻分枝数变异幅度在 3.32～4.48 个/株之间，平均值为 4.02 个/株，配合施肥以 A1B3、A3B3、A3B0 的分枝数较多，而 A0B3 的分枝数较少，其差异达到显著水平。亚麻分茎数变异幅度在 0.23～0.75 个/株，平均值为 0.45 个

/株，配合施肥以 A1B2、A3B0、A0B1 的分茎数较多，而 A2B1、A0B3、A2B3 的分茎数较少，其差异达到极显著水平。亚麻单茎重变异幅度在 0.57～0.86g/株之间，平均值为 0.68g，配合施肥以 A2B3、A2B1、A1B2 等组合较好，而 A0B1、A1B0、A2B2 组合相对较差些，差异达到显著水平。亚麻有效茎数变异幅度在 1116～2514 株/m^2 之间，平均值为 1790 株/m^2，配合施肥以 A2B2、A2B0 等组合较多，而 A2B3 与 A0B0 等组合

表 1-5 配合施肥对亚麻生长整齐度的影响

Table 1-5 Influence of balanced fertilization on plant uniformity of flax

区组	A0B0	A0B1	A0B2	A0B3	A1B0	A1B1	A1B2	A1B3
I	整齐	整齐	整齐	整齐	整齐	整齐	整齐	整齐
II	较整齐	较整齐	不整齐	不整齐	较整齐	不整齐	较整齐	较整齐
III	整齐	较整齐	整齐	整齐	整齐	较整齐	整齐	较整齐
续上表								
区组	A2B0	A2B1	A2B2	A2B3	A3B0	A3B1	A3B2	A3B3
I	整齐	整齐	整齐	整齐	整齐	整齐	整齐	整齐
II	较整齐	较整齐	整齐	较整齐	较整齐	较整齐	不整齐	整齐
III	整齐	整齐	整齐	较整齐	整齐	整齐	整齐	较整齐

表 1-6 配合施肥的亚麻农艺性状

Table 1-6 Agronomical traits of flax in balanced fertilization

处理组合	分枝数(个/株)	分茎数(个/株)	单茎重(g/株)	有效株数(株/m^2)	株高(cm)	工艺长度(cm)	茎粗(mm)
A0B0	4.15ab	0.33d	0.71ab	1212de	89.0ab	73.0ab	1.77a
A0B1	3.7ab	0.73ab	0.57b	1553be	90.5ab	74.6ab	1.73a
A0B2	3.63ab	0.60ac	0.69ab	1227de	88.5ab	74.4ab	1.61a
A0B3	3.32b	0.23d	0.63b	1683be	89.9ab	76.2ab	1.57a
A1B0	4.02ab	0.40cd	0.59b	1994ad	90.6ab	74.8ab	1.71a
A1B1	3.75ab	0.40cd	0.74ab	1219de	87.2ab	73.1ab	1.64a
A1B2	4.25ab	0.75a	0.74ab	1797ae	89.0ab	70.8b	1.79a
A1B3	4.48a	0.48bd	0.67ab	2092ac	89.6ab	71.3ab	1.82a
A2B0	3.85ab	0.65ac	0.68ab	2384ab	90.9ab	76.8a	1.74a
A2B1	4.20ab	0.25d	0.76ab	1465ce	91.4ab	76.4ab	1.73a
A2B2	3.78ab	0.43cd	0.59b	2514a	86.6b	72.3ab	1.58a
A2B3	3.98ab	0.23d	0.86a	1116e	89.5ab	73.6ab	1.71a
A3B0	4.32a	0.75a	0.69ab	1974ad	92.0a	75.0ab	1.77a
A3B1	4.20ab	0.28d	0.68ab	2161ac	91.2ab	75.7ab	1.67a
A3B2	4.28ab	0.40cd	0.62b	2255ac	90.4ab	74.8ab	1.69a
A3B3	4.38a	0.28d	0.64ab	2031ac	92.0a	74.7ab	1.78a
极值	3.32～4.48	0.23～0.75	0.57～0.86	1116～2514	86.6～92.0	70.8～76.8	1.57～1.82
均值	4.02	0.45	0.68	1790	89.9	74.2	1.71

相对较少，差异达到极显著水平。亚麻株高变异幅度在 86.6～92.0cm 之间，平均值为 89.9cm，配合施肥以 A3B3、A3B0 等组合较高，而 A2B2 组合相对较低，且差异达到显著水平。亚麻工艺长度变异幅度在 70.8～76.8cm 之间，平均值为 89.9cm，配合施肥以 A2B0、A2B1、A0B3 组合较长，而 A1B2、A1B3 较短，且差异达到显著水平。亚麻茎粗变异幅度在 1.57～1.82mm 之间，平均值为 17.1mm，细度比较均匀，而且较理想；配合施肥的亚麻茎粗差异不显著。

一般认为单茎重、分茎数与有效株数三者之间存在密切的相关性，如单位面积的亚麻有效株数多，则亚麻出现的分茎数少，茎杆变细。另外，亚麻的主要农艺性状多数是不稳定的，易受环境的影响。而本试验中体现出配合施肥对分茎数与有效株数的影响较大，分枝数、单茎重、株高与工艺长度居其次，而生长整齐度、茎粗所受影响最小。

1.2.3 配合施肥对亚麻种子与原茎产量的影响

1.2.3.1 施肥水平对亚麻种子与原茎产量的影响

表 1-7 大量元素或微量元素对亚麻种子与原茎产量的影响 (t/hm^2)

Table 1-7 Impact of macronutrients or micronutrients on seed and straw yields of flax

大量元素			微量元素		
水平	种子产量	原茎产量	水平	种子产量	原茎产量
A0	1.5b	9.9 B	B0	1. 7 a	11.2 ab
A1	1.7 a	10.4 B	B1	1.6 a	11.2 ab
A2	1.7 a	12.2 A	B2	1.6 a	11.6 a
A3	1.7 a	12.5 A	B3	1.8 a	11.1 b

从表 1-7 可知，在大量元素各水平中，亚麻种子产量以 A0 水平的较低，每公倾仅为 1.5t，均低于其他三个水平，其差异达到显著水平。而 A1 水平的较多，达到 $1.7t/hm^2$，与 A0 比较，二者差异达到极显著水平。说明 NPK 肥对种子产量有增产作用，但种子产量也受成熟度、密度、蒴果数等的影响，因此无法看出施 NPK 肥后各水平间的差异。亚麻原茎产量以 A0 水平的较低，每公倾仅为 9.9t，均低于其他三水平。而 A3 水平原茎产量较多，每公倾达到 12.5t，A2 与 A3 水平的原茎产量差异不显著；A2、A3 与 A0、A1 水平的原茎产量比较，其差异达到极显著水平，说明增施 NPK 肥可以增加产量，但达到一定水平的施肥量后，再增加施用量，其增产效果不明显。在微量元素各水平中，亚麻种子产量以 B3 水平的较高，达到 $1.8t/hm^2$，而 B2 水平的较低，比 B3 水平少 11.1%，但差异不显著。亚麻原茎产量以 B2 水平的较多，每公倾达到 11.6t，而 B3 水平的较低，每公倾为 11.1t，二者间差异达到显著水平。说明施用微肥过多，亚麻原茎产量方面会出现适得其反的结果，另一方面，土壤中原有的微量元素可基本满足亚麻正常生长需要，因此本试

验中增施微肥的增产作用不大。

1.2.3.2 不同施肥水平下的亚麻原茎增产效果

表 1-8 肥料对亚麻原茎增产的效果

Table 1-8 Function of fertilizer in increasing straw yield of flax

水平	大量元素（kg/kg）			微量元素（kg/g）				
	N	P_2O_5	K_2O	Zn	Cu	B	Mn	Mo
1	4.8	28.9	4.8	0	0	0	0	0
2	10.4	63.2	10.4	0.17	0.24	1.59	0.17	2.48
3	1.2	8.0	1.2	-0.16	-0.23	-1.49	-0.16	-2.07

从表 1-8 得知，施肥对亚麻原茎增产的影响。大量元素各水平中，以 A2 水平的较高，每施 1kg 纯量 N、K_2O 则原茎增产 10.4kg，每施 1kg 纯量 P_2O_5 则原茎增产 63.2kg。微肥各水平中，均以 B2 水平的施肥量增产效果显著，但各微肥的施用对亚麻增产量各不相同，以 Mo 与 B 肥较多，达到 1.59kg/g，Zn 与 Mn 肥的增产较少，不到 0.2kg/g。说明肥料能对亚麻原茎起到增产的效果，但随着施用量的增加，增产效果达到一定的限度后，再增加施肥量，则增产效果明显下降。但不能说明各元素对亚麻增产的差异，只能说明肥料配合下各水平对亚麻原茎增产的影响，因为 NPK 肥与微肥是各自配合下共同增产的作用。

1.2.3.3 大量元素与微量元素对亚麻原茎产量的互作效应

表 1-9 微肥元素与大量元素对亚麻原茎产量的互作 (t/hm^2)

Table 1-9 Interaction of macronutrients and micronutrients to straw yields of flax

	B0	B1	B2	B3
A0	8.8c	9.0c	10.1b	11.9a
A1	11.2b	9.7c	9.6b	10.9b
A2	13.7a	12.1b	13.3a	9.7c
A3	11.2b	13.8a	13.3a	11.7a

从表 1-9 纵向比较可知，在 B0 中，大量元素各水平的亚麻原茎产量呈抛物线，以 A2 水平的原茎产量较高，显著高于其他 3 个水平。说明增施 NPK 肥可以明显增加亚麻原茎产量，但施肥达到一定水平后，再增加施用量，其产量反而降低。在 B1 中，亚麻原茎产量以 A3 水平的较高，显著高于其他 3 个水平。在 B2 中，亚麻原茎产量以 A2 与 A3 水平的较高，其差异不显著，但显著高于其他 2 个水平。在 B3 中，亚麻原茎产量以 A0 与 A3 水平的较高，显著高于其他 2 个水平，且 A1 水平的产量也显著高于 A2 水平。

从表 1-9 横向比较可知，在 A0 中，微肥各水平的亚麻原茎产量呈上升趋，B3

与其他 3 个水平相比较，差异达到显著水平。说明不施 NPK 肥，增施微肥对亚麻原茎产量有明显的增产效果。在 A1 中，亚麻原茎产量以 B0 水平的较高，显著高于 B1、B2 水平。在 A2 中，亚麻原茎产量以 B0 与 B2 水平的较高，显著高于其他 2 个水平。在 A3 中，亚麻原茎产量以 B1 与 B2 水平的原茎产量较高，显著高于其他 2 个水平。

从表 1-9 对角线可知，随着 NPK 肥与微肥施用量的增加，亚麻原茎产量增加，说明二者存在正向互作；但达到一定水平后，再增加二者的施用量，亚麻原茎产量则下降，说明二者也存在负向互作。

无论施用 NPK 肥还是施用微肥，对亚麻原茎都起到增产的作用，但不能过量施肥，否则适得其反。而 NPK 肥与微肥的交互作用，对亚麻原茎产量的影响各不相同。二者间既有正向互作，促进亚麻原茎产量的增加，也有负向互作，抑制亚麻原茎产量的增加。因此，不同量 NPK 肥需要与不同量微肥相配合才能共同促进亚麻原茎产量的增加。

1.2.3.4 配合施肥对亚麻种子与原茎产量的影响

表 1-10 亚麻种子与原茎产量的 LSD 法多重比较 (t/hm^2)

Table 1-10 LSD test for seed and straw yields of flax in balanced fertilization

种子				原茎			
处理组合	产量	5%显著水平	1%极显著水平	处理组合	产量	5%显著水平	1%极显著水平
A2B1	1.9	a	A	A3B1	13.8	a	A
A3B3	1.9	a	A	A2B0	13.7	a	A
A2B0	1.8	ab	A	A3B2	13.3	a	A
A1B3	1.8	abc	A	A2B2	13.3	a	A
A1B1	1.8	abc	A	A2B1	12.1	b	B
A0B3	1.7	abc	AB	A0B3	11.9	bc	BC
A1B0	1.7	abc	AB	A3B3	11.7	bc	BC
A1B2	1.7	abc	AB	A3B0	11.2	cd	BCD
A3B0	1.7	abc	AB	A1B0	11.2	cd	BCD
A3B1	1.6	abc	AB	A1B3	10.9	de	CDE
A2B3	1.6	abc	AB	A0B2	10.1	ef	DEF
A3B2	1.6	abcd	AB	A2B3	9.7	fg	EFG
A2B2	1.5	bcd	AB	A1B1	9.7	fg	EFG
A0B0	1.5	bcd	AB	A1B2	9.6	fgh	FG
A0B2	1.5	cd	AB	A0B1	9.0	gh	FG
A0B1	1.2	d	B	A0B0	8.8	h	G

统计分析结果表明 (表 1-10)，配合施肥对亚麻种子与原茎产量的影响较大。

亚麻种子产量变异幅度在 1.2～1.9t/hm^2 之间，平均值为 1.7t/hm^2；配合施肥以 A2B1、A3B3、A2B0、A1B3 的较高，种子产量每公倾达到 1.8t 以上，而 A1B1、A0B3、A2B3 等的适中，种子产量为 1.6～1.8t/hm^2，A3B2、A0B2 等较少，种子产量为 1.5～1.6t/hm^2，而 A0B1 的种子产量较差，每公倾仅 1.2t；A2B1、A3B3 显著高于 A2B2、A0B2 等组合，极显著高于 A0B1 组合。亚麻原茎产量变异幅度在 8.8～13.8t/hm^2，平均值为 11.3t/hm^2；配合施肥以 A3B1、A2B2 等的较高，原茎产量达到 13.3t/hm^2，A2B1、A0B2 等的居中，原茎产量每公倾为 10.1～12.1t，A2B3、A0B0 等的原茎产量较低，每公倾在 9.7t 以下；A3B1、A2B0、A3B2、A2B2 处理组合平均产量差异不显著，是本试验中原茎产量较高的处理组合，极显著高于其他处理组合。

1.3 讨论与小结

由于亚麻是一种需肥较多而且各养分的比例要求适当的作物，调配 N、P、K 含量，同时加入各种微量元素，改善作物生理状况，提高亚麻对 N、P、K 的吸收，增强亚麻的生长适应性[15]。氮、磷、钾作为亚麻生长所必须的大量元素[13-21]，一直为国内外研究者关注，而微肥的研究相对较少[22]。云南省有关施肥对亚麻生长的研究资料则更少[25]。Kalikinskii 与 Khodyankova 的研究表明在不同地力水平、不同土壤状况下，氮、磷、钾施用比例是不同的[26]。氮、磷、钾吸收量与产量之间存在密切的关系，氮吸收量与原茎纤维产量的偏相关基本都是正相关的，这说明氮对原茎产量和纤维产量的形成具有良好的作用[27]。在一定限度内随着施氮量的增加，原茎增产幅度较大，但随着施氮量的增加，氮肥利用系数却不断下降，而且较高水平氮同较低氮水平相比，纤维含量降低[28]。本试验中 (表 1-7) 增施 NPK 肥可以增加原茎产量，但达到一定水平的施肥量后，再增加施用量，其增产效果不明显。无论施用 NPK 肥还是微肥都能对亚麻原茎产量起到增产的效果 (表 1-7)。从理论上分析 (表 1-7、8)，应以 A3B2 配合达到最佳水平，但实际中却以 A3B1 水平的最高 (表 1-10)，可能各元素之间存在着互促互抑现象 (表 1-9)，使得亚麻生长不同所致，还有待进一步的试验验证。

亚麻的生长发育性状间是相互联系的，据我国北方研究资料，亚麻原茎产量与有效株数、株高、茎粗均呈极显著相关。不同肥料水平组合下，亚麻各农艺性状均有不同的表现，说明亚麻各农艺性状对各肥料有不同的要求量，同时不同的肥料处理组合使得亚麻各农艺性状表现各不相同。亚麻增产效率 NPK 肥以 A2 水平的较高，每施 1kg 纯 N、K_2O 则原茎增产 10.4kg，每施 1kg 纯 P_2O_5 则原茎增产 63.2kg；微肥以 B2 水平增产效果显著，各微肥对亚麻原茎增产效果各不相同。从各处理组合的原茎产量来看，相互配合施肥以 A3B1、A3B2、A2B2 处理组合达到比较理想的结果，亚麻原茎产量达到 13.3t/hm^2 以上。

第二章 施肥对亚麻纤维品质与产量的影响

2.1 材料与方法

2.1.1 田间试验设计

见第一章。

2.1.2 亚麻纤维品质及产量的调查

2.1.2.1 亚麻出麻率与纤维产量的测试方法

将各试点的原茎样品放入恒温培养箱温水沤麻后，晒干即为干茎，代入下式求干茎率：

$$干茎率\ (\%) = \frac{干茎重量}{原茎重量} \times 100\%$$

从每个品种的干茎样品中称取适量干茎手工制麻，将所得麻重代入下列公式求得总麻率：

$$总麻率\ (\%) = \frac{纤维重量}{干茎重量} \times 100\%$$

其余干茎用机器打麻，将制得的长麻重量代入下列公式求得长麻率：

$$长麻率\ (\%) = \frac{长麻重量}{干茎重量} \times 100\%$$

而纤维产量是按下列公式求得：

总纤维产量 (kg/hm^2) =公顷原茎产量×干茎制成率×总麻率

长纤维产量 (kg/hm^2) =公顷原茎产量×干茎制成率×长麻率

2.1.2.2 纤维品质的测试方法

(1) 纤维的断裂强力采用 YG015 型亚麻束强力机测得，方法如下：

a. 从 10 个麻束中各取重约 2g 的小麻束。

b. 在每一个小麻束的中间用 YG245 型切断器切取 270mm 的麻束。

c. 整理麻束使短纤维、乱的纤维去除。

d. 将切好的麻束放在调温调湿箱中一昼夜，使回潮率控制在 10~12%之间。

e. 将麻束在 YG963 型称上称取 420mg。

f. 将称好的麻束在亚麻束强力机上测试强力，实验次数共 10 次。实验时先关闭制动扳手，再将麻束的一端绕在上夹持器上，拧紧螺母，然后用手向下拉紧麻束另一端并绕在下夹持器上，使夹持器间的麻束均匀一致。拧紧螺母，松开制动扳手，开动强力机，记录麻样断裂时的强力读数。

g. 计算 10 次断裂强力平均值 (N)

(2) 纤维的可挠度采用 YG962 型可挠度仪测得，测定方法：

a. 试样制备。制成长度 270mm，重量 420mg 一束亚麻打成麻。

b. 将试样放置于可挠度实验仪的水平放着的搁板上，中部用夹持器夹住，纤维两端至夹持器的距离要相等。

c. 掀压按钮以放脱拉杆，使其与制动器一齐下降 (正常的下降速度为 64mm/s) 使搁板离开纤维束。

d. 纤维束在本身的作用下而自行弯曲，即可沿纤维束的两端观察在刻度盘上的毫米数，作好记录。

平均可挠度 (mm) =两端弯曲毫米数之和/2

该实验共做 10 次，以全部试样的实验结果的算术平均值作为该批麻样的平均可挠度，数字修约至一位数。

(3) 纤维的分裂度采用中段称重法测得，测量方法：

a. 将试样在长度方向对折，在对折处剪断，整理使其基本平行伸直，握住距剪口 100mm 处，用 8 针/10mm 的梳子在切口端的正反面各梳 2 次，再用中段切断器将梳理后的纤维切取 10mm。

b. 将切取下来的中段试样称取 10mg，精确到 0.05mg。

c. 将称取后的试样置于黑绒板上数其根数。如纤维上分枝的长度等于和大于纤维长度的 1/2 时，按实际分枝的根数计算。小于 1/2 时，每 3 根分枝按 1 根计算。

d. 分裂度计算

分裂度=10×根数 (mm) /试样重量 (mg)

平均分裂度按算术平均值计算，修约至小数点后一位。

2.1.3 数据分析：采用 DPS 或者 Statistica5.0 对所得数据进行统计分析。

2.2 结果与分析

2.2.1 配合施肥对亚麻出麻率和纤维品质的影响

2.2.1.1 施肥水平对亚麻出麻率与纤维品质的影响

表 2-1 大量元素对亚麻出麻率与纤维品质的影响

Table 2-1 Effect of applied macronutrients on fiber percentage and quality of the flax fibre

水平	干茎率	长麻率	总麻率	可挠度(mm)	强力(N)	分裂度(m/g)
A0	75.1%ab	17.8%a	34.3%a	87.8ab	204b	178.9a
A1	75.5%a	16.3%b	32.8%ab	82.8b	228a	168.4a
A2	73.9%ab	16.0%b	31.8%bc	84.5b	209ab	187.2a
A3	73.4%b	16.1%b	30.8%c	93.1a	218ab	180.4a

注：英文小写字母表示 P=0.05 显著水平，英文大写字母表示 P=0.01 极显著水平。以下同。

从表 2-1 可以看出大量元素对亚麻出麻率与纤维品质的影响。亚麻干茎率以

A1 水平的浸出物较少，干茎率达到 75.5%，而 A3 水平的浸出物较多，干茎率只有 73.4%，二者差异达到显著水平。亚麻长麻率以 A0 水平的较高，达到 17.8%，均显著高于其他三个水平。亚麻总麻率以 A0 水平的较多，达到 34.3%，显著高于 A2 与 A3 水平，A0 水平也极显著高于 A3 水平。亚麻可挠度以 A3 水平的较柔软，达到 93.1mm，显著高于 A1 与 A2 水平。亚麻强力以 A1 水平的较强，达到 228N，显著高于 A0 水平，且 A0 也比其他二水平低。亚麻分裂度以 A2 与 A3 水平的较多，达到 180m/g 以上，而其他二水平相对较低，但水平间差异不显著。

从表 2-2 可以看出微量元素对亚麻出麻率与纤维品质的影响。亚麻干茎率以 B3 水平的较高，达到 75.2%，B1 水平的相对较低，二者之间相差 1.3 个百分点，无显著性差异。亚麻长麻率以 B3 水平的较多，达到 16.9%，而 B0 水平均低于其他三个水平，B0 与 B3 之间相差 0.8 个百分点。亚麻总麻率以 B1 水平的较多，达到 33%，而 B3 水平的相对较低，二者间相差 1.0 个百分点。亚麻可挠度以 B2 水平的较柔软，达到 89.0mm，而 B3 水平的较低，比 B2 水平平均短 4.6mm。亚麻强力以 B2 水平的较强，达到 222N，而 B3 水平的较低，二者相差 11N。亚麻分裂度以 B2 水平的较多，达到 201.3m/g，而 B3 水平的较少，二者相差 37.1m/g，且差异达到显著水平。

表 2-2 微量元素对亚麻出麻率与纤维品质的影响

Table 2-2 Effect of applied micronutrients on fiber percentage and quality of the flax fibre

水平	干茎率	长麻率	总麻率	可挠度(mm)	强力(N)	分裂度(m/g)
B0	74.4%a	16.1%a	32.2%a	87.9a	212a	175.7ab
B1	73.9%a	16.6%a	33.0%a	86.8a	214a	173.6ab
B2	74.5%a	16.6%a	32.5%a	89.0a	222a	201.3a
B3	75.2%a	16.9%a	32.0%a	84.4a	211a	164.2b

亚麻干茎率受成熟度，沤麻时间的长短及原茎产量等因素的影响，甚至影响到亚麻的长麻率和总麻率。亚麻纤维品质的好坏与脱胶程度的偏生、偏熟有直接关系。另外，亚麻的生长发育性状间是相互联系的，每一性状发生变化都会引起单株出麻率的变化，但每一性状对单株出麻率的影响，其程度是不同的。本试验两者比较而言，大量元素对亚麻总麻率的影响较大，对干茎率、长麻率、可挠度、强力的影响居其次，对分裂度的影响相对较小；微量元素对亚麻分裂度影响较大，其水平间有差异性体现，而其他各方面则无显著性的体现。各因素对亚麻纤维性状的影响各有不同，说明亚麻对各因素有不同的需求量。但微量元素以 B2 水平对亚麻纤维有更好的效果。

2.2.1.2 配合施肥对亚麻出麻率和纤维品质的影响

在亚麻出麻率方面 (表 2-3)，亚麻干茎率的变异幅度在 71.8%～77.2%之间，

平均值为 74.5%；配合施肥以 A1B1、A3B3、A0B2 的较高，显著高于 A2B1、A3B1 的干茎率，A1B1 的干茎率极显著高于 A2B1、A3B1，且 A1B1 高出 A3B1 的干茎率 7.52%。亚麻长麻率的变异幅度在 14.8%～19.6%之间，平均值为 16.5%；配合施肥以 A0B3 的较高，显著高于 A3B2、A1B1、A2B3 等组合的长麻率，A0B3 的长麻率极显著高于 A1B0、A3B1、A2B3 等组合，且 A0B3 高出 A2B3 的长麻率 32.4%。亚麻总麻率的变异幅度在 30.1%～36.2%之间，平均值为 32.4%；配合施肥以 A0B2、A0B1 的总麻率较多，显著高于 A3B1、A3B3、A3B2 等组合的总麻率，A0B2 极显著高于 A3B3、A3B0、A3B2 等组合的总麻率，且 A0B2 高出 A3B2 的总麻率 20.3%。

表 2-3 配合施肥的亚麻出麻率及纤维品质

Table 2-3 Fiber percentage and quality of flax in balanced fertilization

处理组合	干茎率	长麻率	总麻率	可挠度(mm)	强力(N)	分裂度(m/g)
A0B0	75.1%ac	17.2%ab	33.5%ac	87.4ab	224ac	157.7ac
A0B1	74.6%ac	17.5%ab	35.2%ab	90.2ab	197bd	158.6ac
A0B2	75.9%ab	16.9%ab	36.2%a	89.7ab	216ad	214.8ab
A0B3	74.9%ac	19.6%a	32.3%bc	83.8ab	178d	184.4ac
A1B0	74.3%ac	15.8%b	33.8%ac	91.1ab	215ad	170.6ac
A1B1	77.2%a	16.6%b	31.7%bc	79.4b	248a	185.5ac
A1B2	75.3%ac	15.6%b	33.1%ac	80.8ab	218ac	163.3ac
A1B3	75.2%ac	17.0%ab	32.7%ac	79.9b	231ab	154.2bc
A2B0	75.3%ac	15.6%b	30.7%c	83.0ab	194bd	177.2ac
A2B1	71.9%c	16.4%b	33.7%ac	81.6ab	192cd	195.0ac
A2B2	73.5%ac	17.3%ab	30.7%c	89.9ab	237a	205.8ac
A2B3	74.8%ac	14.8%b	32.1%bc	83.4ab	214ad	171.0ac
A3B0	72.8%bc	15.7%b	30.8%c	90.0ab	213ad	197.5ac
A3B1	71.8%c	15.7%b	31.3%c	96.0a	220ac	155.3bc
A3B2	73.1%bc	16.6%b	30.1%c	95.7a	218ac	221.5a
A3B3	75.9%ab	16.3%b	30.8%c	90.7ab	219ac	147.2c
极值	71.8～77.2%	14.8～19.6%	30.1～36.2%	79.4～96.0	178～248	147.2～221.5
均值	74.5%	16.5%	32.4%	87.0	215	178.7

在纤维品质方面，亚麻可挠度的变异幅度在 79.4～96.0mm 之间，平均值 87.0mm；配合施肥以 A3B1、A3B2 的较柔软，显著高于 A1B3、A1B1 的可挠度，且 A3B1 高出 A1B1 的可挠度 20.9%。亚麻强力的变异幅度在 178～248N 之间，平均值为 215N；配合施肥以 A1B1、A2B2 的耐力较强，显著高于 A0B1、A0B3 等组合，A1B1 极显著高于 A2B0、A2B1、A0B3 的强力，且 A1B1 高出 A0B3 的强力 39.3%。亚麻分裂度的变异幅度在 147.2～221.5m/g 之间，平均值为 178.7m/g，配合施肥以 A3B2、A0B2、A2B2 的较好，分裂度达到 200m/g 以上，其中 A3B2

显著高于A3B1、A1B3、A3B3组合的分裂度，且A3B2比A3B3的分裂度高出50.4%。

综上所述，配合施肥对亚麻出麻率及纤维品质的影响各不相同，以干茎率、长麻率、总麻率、强力的较大，而可挠度与分裂度的较小。

2.2.2 配合施肥对亚麻纤维产量的影响

2.2.2.1 施肥水平对亚麻纤维产量的影响

从表2-4可知，大量元素或微量元素对亚麻纤维产量的影响，在大量元素中，亚麻总纤维产量以A3水平的最多，达到2858kg/hm^2，A0和A1水平的较少，二者与A3总纤维产量比较，差异达到显著水平。亚麻长纤维以A3水平的较多，达到1471kg/hm^2。A1水平的长纤维产量较少，仅有1289kg/hm^2，且与A3的长纤维产量比较，差异达到显著水平。在微量元素中，亚麻总纤维与长纤维产量以B2水平的较多，分别达到2784和1466kg/hm^2，而B1水平的产量最低，但各水平间产量差异不显著。施用大量元素与微量元素能对亚麻纤维产量起到增产的效果，肥料施用量达到一定水平后，再增加施用量，其增产效果不明显或产量会下降，另外可知大量元素对亚麻纤维产量的影响比微量元素更明显。

表2-4 大量元素或微量元素对亚麻纤维产量的影响 (kg/hm^2)

Table 2-4 Influence of macronutrients or micronutrients on fiber yield of flax

大量元素			微量元素		
水平	总纤维产量	长纤维产量	水平	总纤维产量	长纤维产量
A0	2621bc	1371ab	B0	2746a	1333a
A1	2587c	1289b	B1	2652a	1332a
A2	2800ab	1441ab	B2	2784a	1466a
A3	2858a	1471a	B3	2684a	1442a

2.2.2.2 大量元素与微量元素对亚麻纤维产量的互作效应

表2-5 大量元素与微量元素对亚麻纤维产量的互作 (kg/hm^2)

Table 2-5 Interaction of macronutrients and micronutrients to fibre yields of flax

总纤维产量					长纤维产量				
互作	B0	B1	B2	B3	互作	B0	B1	B2	B3
A0	2310c	2379b	2679ab	3115a	A0	1206b	1170b	1308b	1802a
A1	2908ab	2334b	2416b	2689b	A1	1327ab	1172b	1170b	1486ab
A2	3204a	2636b	3029a	2602b	A2	1577a	1376ab	1734a	1080c
A3	2563bc	3258a	3010a	2329b	A3	1222b	1611a	1654a	1398bc

从表2-5纵向比较可知，在B0中，大量元素各水平的亚麻纤维产量呈抛物线变化，亚麻纤维产量以A2水平的较高，与A0、A3水平比较，总纤维产量达到极显著水平，而长纤维产量仅达到显著水平。说明增施NPK肥可以明显增加亚麻纤

维产量，但施肥达到一定水平后，再增加施用量，其纤维产量反而降低。在 B1 中，亚麻纤维产量以 A3 水平的较高，A3 水平的总纤维产量显著高于其他 3 个水平，而长纤维产量显著高于 A0 与 A1 水平。在 B2 中，亚麻纤维产量以 A2 与 A3 水平的较高，其水平间差异不显著，但纤维产量均极显著高于 A1 水平。在 B3 中，亚麻纤维产量以 A0 水平的较高，其总纤维产量显著高于其他 3 个水平，而长纤维产量则极显著高于 A2 水平。

从表 2-5 横向比较可知，在 A0 中，微肥各水平的亚麻纤维产量呈上升趋，B3 水平的亚麻总纤维产量显著高于其他 3 个水平，而长纤维产量则极显著高于其他 3 个水平。说明不施 NPK 肥，增施微肥对亚麻纤维产量有明显的增产效果。在 A1 中，亚麻总纤维产量以 B0 水平的较高，产量达到 2908kg/hm^2，显著高于 B1 与 B2 水平；亚麻长纤维产量以 B3 水平的较高，产量达到 1486kg/hm^2，但各水平间产量差异不显著。在 A2 中，亚麻总纤维产量以 B0 水平的较高，产量达到 3204kg/hm^2，其总纤维产量极显著高于 B3 水平；长纤维产量以 B2 水平的较高，产量达到 1734kg/hm^2，B2 和 B0 水平的长纤维产量均极显著高于 B3 水平。在 A3 中，亚麻总纤维产量以 B1 水平的较高，产量达到 3258kg/hm^2，其总纤维产量极显著高于 B0 与 B3 的水平；长纤维产量以 B2 水平的较高，产量达到 1654kg/hm^2，仅显著高于 B0 水平。

从表 2-5 对角线可知，随着 NPK 肥与微肥施用的增加，亚麻纤维产量增加，说明二者存在正向互作；但达到一定水平后，再增加二者的施用量，亚麻纤维产量则下降，说明二者也存在负向互作。

无论施用 NPK 肥还是施用微肥，对亚麻纤维都起到增产的作用，但不能过量施肥，否则适得其反。而 NPK 肥与微肥的交互作用，对亚麻纤维产量的影响各不相同。二者间既有正向互作，促进亚麻纤维产量的增加，也有负向互作，抑制亚麻纤维产量的增加。因此，不同量 NPK 肥需要与不同量微肥相配合才能共同促进亚麻纤维产量的增加。

2.2.2.3 配合施肥对亚麻纤维产量的影响

统计分析表明 (表 2-6)，亚麻总纤维产量变异幅度在 2310～3258kg/hm^2 之间，平均值为 2716kg/hm^2。配合施肥以 A3B1、A2B0 等的较高，总纤维产量达到 3000kg/hm^2 以上，A1B0、A1B3 等的居中，总纤维产量每公顷为 3000～2500kg 之间，A1B2、A0B0 等的总纤维产量较低，每公顷在 2500kg 以下。亚麻长纤维产量变异幅度在 1080～1802kg/hm^2 之间，平均值为 1393kg/hm^2；配合施肥以 A0B3、A2B2 的较高，长纤维产量达到 1700kg/hm^2 以上，A3B2、A3B1 等的居中，长纤维产量每公顷为 1700～1300kg 之间，A2B3、A1B2、A0B0 等的长纤维产量较低，每公顷在 1300kg 以下。A3B1、A2B0 是本试验中总纤维产量较高的处理组合，二

者间总纤维产量差异不显著，但极显著高于 A0B0、A2B1 等其他处理组合。A0B3、A2B2 是本试验中长纤维产量较高的处理组合，二者间长纤维产量差异不显著，但极显著高于 A2B3、A3B0 等其他处理组合。

表 2-6 亚麻纤维产量的 LSD 法多重比较 (kg/hm^2)

Table 2-6 LSD test for fibre yields of flax in balanced fertilization

总纤维				长纤维			
处理组合	产量	5%显著水平	1%极显著水平	处理组合	产量	5%显著水平	1%极显著水平
A3B1	3258	a	A	A0B3	1802	a	A
A2B0	3204	a	AB	A2B2	1734	a	AB
A0B3	3115	a	ABC	A3B2	1654	ab	ABC
A2B2	3029	ab	ABC	A3B1	1611	abc	ABCD
A3B2	3010	ab	ABC	A2B0	1577	abc	ABCD
A1B0	2908	abc	ABCD	A1B3	1486	abcd	ABCDE
A1B3	2689	bcd	BCDE	A3B3	1398	bcde	ABCDE
A0B2	2679	bcd	BCDE	A2B1	1376	bcde	ABCDE
A2B1	2636	bcd	CDE	A1B0	1327	cde	BCDE
A3B3	2602	cd	CDE	A0B2	1308	cde	BCDE
A3B0	2563	cd	CDE	A3B0	1222	de	CDE
A1B2	2416	d	DE	A0B0	1206	de	DE
A0B1	2379	d	DE	A1B1	1172	de	DE
A1B1	2334	d	E	A0B1	1170	de	DE
A2B3	2329	d	E	A1B2	1170	de	DE
A0B0	2310	d	E	A2B3	1080	e	E

2.3 讨论与小结

麻类作物施用氮磷钾肥料，对纤维强力关系很大，氮素能维持和促进麻株的营养生长，但在一个短时期内集中偏施氮肥，不仅麻株延长，骨软皮薄，纤维的强力亦低。特别是成熟期，偏施氮肥，贪青旺长，会使麻株韧皮部含氮量增加，纤维含量下降，强力也随之下降。若能配施磷、钾肥，加速纤维束在纤维细胞壁上的沉积，胞壁增厚，即可提高纤维强力[29]。

亚麻纤维产量是数量性状，并受诸多因素的影响，这些因素之间都存在着不同程度的相关性。潘庭慧等认为亚麻纤维产量是由茎粗、工艺长度、株重、木韧比 (木质部重与韧皮重量比，影响出麻率) 等因素构成。统计分析表明：(1) 几个因素的变异系数大小依次为株重>茎粗>工艺长度>木韧比。(2) 长纤维产量与工艺长度为极显著正相关，而与茎粗、株重、木韧比呈极显著负相关。茎粗与株重、木韧比呈极显著正相关，工艺长度与木韧比呈极显著负相关。可见亚麻纤维产量构成因素相互间影响很大，对亚麻纤维产量产生直接和间接的效应。(3) 产量构成

因素对纤维产量的通径系数大小依次为木韧比>茎粗>株重>工艺长度，可见控制亚麻纤维产量的主要因素是木韧比和茎粗。因此，在亚麻生产中选用高出麻率和工艺长度较大的品种，采用有效的栽培措施，在单位面积内使亚麻个体与群体均衡发展，防止倒伏，控制茎粗。降低植株比值，是提高亚麻纤维产量的主要途径[30]。Derebon等人研究表明，氮、磷、钾肥对纤维品质的影响，一般认为氮、钾肥更为重要。尤其是氮的施用，能够增加整个茎中纤维素含量和优质纤维的含量，并降低木质素含量[26]。而施钾肥对与亚麻品质形成相关的各项生理指标都具有良好的改善作用。对出麻率，纤维强度和麻号有显著的提高[20]。在一定限度内随着施氮量的增加，原茎增产幅度较大，但随着施氮量的增加氮肥利用系数却不断下降，而且较高水平氮肥同较低氮肥水平相比，降低纤维含量[28]。Karpova认为亚麻不仅需要氮、磷、钾元素，对一些微量元素也非常需要。施用B肥可明显改善肥料之间的关系，并增加出麻率，而同时施用钼和硼 (在一定氮磷钾水平上)，可使纤维强度、细度、可挠度都有所提高，这也与Davidyan等人的研究报道一致[26]。长麻率是衡量亚麻产质量的重要条件之一，由其构成纤维产量。经直观分析：各因素对亚麻长纤维产量所起的作用是氮肥>磷肥>密度>钾肥。长麻产量随施氮量加大而降低；施磷钾肥效果恰相反，在设计用量中，长纤维随肥量加大而提高，没有找到上限[31]。本试验施NPK肥对总麻率和长麻率没有提高反而降低，但对亚麻的品质却明显的改善作用 (表2-1) 。而微肥对亚麻出麻率有明显的改善作用 (表2-2)，至于机理有待进一探讨。国内在微肥方面研究不多，已有研究表明稀土微肥对亚麻产质量形成有良好作用，而其施用剂量施用方法和作用机理还需不断深入的研究[32]。李明等研究显示，亚麻纤维产量与原茎产量和出麻率相关显著，提高纤维产量不仅靠增加原茎产量而且更要注重提高出麻率[33]。本试验从理论上分析 (表2-4)，应以A3B2配合达到最佳水平，但实际中亚麻总纤维产量以A3B1水平的最高，长纤维产量以A0B3水平的最高 (表2-6)，可能由于元素互作及原茎产量、总麻率、长麻率等因素综合所致。

本试验中，增施 NPK 肥使得亚麻干茎率、长麻率、总麻率有所下降，而对亚麻纤维强力、可挠度、分裂度有明显的改善，在纤维产量方面也有极明显的增产作用。增施微肥既能提高亚麻干茎率、长麻率、总麻率，并且明显的改善亚麻纤维强力、可挠度、分裂度，还能增加长纤维产量，但肥料施用量达到一定水平后，再增加施用量，其增产效果不明显或产量会下降，且 NPK 肥对亚麻纤维产量的影响比微肥更明显。配合施肥对亚麻纤维品质的影响各不相同，以干茎率、长麻率、总麻率、强力的较大，而可挠度与分裂度的较小。在亚麻的纤维产量方面，总纤维产量以 A3B1、A2B0 等的较高，达到 3000kg/hm^2 以上，长纤维产量以 A0B3、A2B2 、A3B2、A3B1 的较高，达到 1600kg/hm^2 以上。

第三章 亚麻生长对土壤肥力的影响

3.1 材料与方法

3.1.1 田间试验设计

见第一章。

3.1.2 土壤肥力及植株养分的测定

施肥前试验地土壤 16 点取样混合，分析基本肥力状况。亚麻收获后分别在试验地各小区随机 5 点取样，深度 0～15cm，每小区取土壤约 0.5kg，然后将相同小区的土壤样品混匀，每个样品保留约 1kg，自然晾干。亚麻成熟后，每小区随机取样 10 株的样品，然后将相同小区的样品合并。土壤与植株样品送云南省农业科学院植保土肥研究所测试分析中心测定，土壤与植株分析项目及方法依据 (表 3-1)。

表 3-1 土壤与植株养分分析项目及方法依据

Table 3-1 Analysis methods for nutrients of soil and plant

序号	检测项目	检测方法
1	pH 值	比色法(水：土=2.5：1)
2	土壤全氮	酸熔开氏法
3	土壤全钾	碱熔火焰光度法
4	土壤全磷	碱熔火焰比色法
5	土壤水解氮	碱解扩散法
6	土壤有效钾	醋酸铵浸提一原子吸收分光光度法
7	土壤有效磷	碳酸氢钠法
8	土壤有效硼	沸水浸提一姜黄素比色法
9	土壤有效钼	草酸一草酸铵浸提一极谱法
10	土壤有效锰 土壤有效铜 土壤有效锌	DTPA 浸提一原子吸收分光光度法
11	植株全氮	H_2SO_4—H_2O_2—混合加速剂—蒸馏法
12	植株全钾	碱熔火焰光度法
13	植株全磷	碱熔比色法
14	植株全硼	干灰化酸解一姜黄素比色法
15	植株全钼	干灰化酸解一极谱法
16	植株全锰 植株全铜 植株全锌	干灰化酸解一原子吸收分光光度法

3.1.3 数据分析：采用 DPS 或者 Statistica5.0 对所得数据进行统计分析。

3.2 结果与分析

3.2.1 配合施肥对亚麻植株养分的影响

3.2.1.1 配合施肥对亚麻植株养分的影响

表 3-2 配合施肥的亚麻植株养分含量

Table 3-2 Nutrients of the flax in balanced fertilization

处理组合	全 N (%)	全 P (%)	全 K (%)	全 B (mg/kg)	全 Mn (mg/kg)	全 Cu (mg/kg)	全 Zn (mg/kg)	全 Mo (mg/kg)
A0B0	0.68	0.18	1.28	14.3	15.6	10.8	35.2	0.03
A0B1	0.67	0.19	1.34	12.4	12.9	10.6	33.3	0.03
A0B2	0.62	0.17	1.30	12.5	17.7	11.1	34.3	0.04
A0B3	0.67	0.20	1.43	15.6	17.5	13.3	40.4	0.04
A1B0	0.78	0.17	1.51	13.6	24.9	13.9	47.8	0.03
A1B1	0.85	0.16	1.46	12.2	33.0	12.9	44.1	0.05
A1B2	0.89	0.17	1.44	13.7	25.2	11.3	43.5	0.03
A1B3	0.87	0.16	1.48	11.0	18.8	13.5	39.5	0.04
A2B0	0.94	0.18	1.63	14.3	37.7	12.3	45.7	0.02
A2B1	0.92	0.17	1.52	13.6	21.3	12.5	42.9	0.04
A2B2	1.06	0.17	1.66	16.8	29.3	12.4	38.9	0.02
A2B3	0.85	0.17	1.44	13.9	19.0	11.1	37.5	0.04
A3B0	0.95	0.14	1.56	10.8	20.8	11.7	40.1	0.02
A3B1	0.94	0.15	1.69	14.2	24.6	10.2	38.8	0.02
A3B2	0.93	0.16	1.73	14.6	24.9	10.9	42.0	0.02
A3B3	0.96	0.15	1.50	12.5	23.8	11.1	36.5	0.04
均值	0.85	0.17	1.50	13.5	22.9	11.8	40.0	0.03
极值	0.62～1.06	0.14～0.20	1.28～1.73	10.8～16.8	12.9～37.7	10.2～13.9	33.3～47.8	0.02～0.05

从表 3-2 可知配合施肥对亚麻植株养分含量的影响。植株全氮变异幅度在 0.62%～1.06%之间，平均值为 0.85%，配合施肥以 A2B2、A3B3、A3B0 等较高，达到 0.90%以上，而 A0B2、A0B3 等较低，含量在 0.70%以下，A2B2 的氮含量比 A0B2 高出 70.96%。植株全磷变异幅度在 0.14%～0.2%之间，平均值为 0.17%，配合施肥以 A0B3、A0B1、A0B0、A2B0 较高，含量达到 0.18%以上，而 A3B0、A3B1、A3B3 较低，仅为 0.14%～0.15%，A0B3 的磷含量比 A3B0 高出 42.9%。植株全钾变异幅度在 1.28%～1.73%之间，平均值为 1.50%，配合施肥以 A3B2、A3B1、A2B2、A2B0 较高，含量均在 1.60%以上，而 A0B0、A0B1、A0B1 较低，含量在 1.34%以下，A3B2 的钾含量比 A0B0 高出 35.2%。

植株全硼变异幅度在 10.8～16.8mg/kg，平均值为 13.5mg/kg，配合施肥以 A2B2、A0B3、A3B2 较高，分别为 16.8、15.6、14.6mg/kg，而以 A3B0、A1B3 较低，含量在 11.0mg/kg 以下，A2B2 的硼含量比 A3B0 多出 55.6%。植株全锰变异幅度在 12.9～37.7mg/kg，平均值为 22.9mg/kg，配合施肥以 A2B0、A1B1、A2B2 较高，含量在 29mg/kg 以上，而以 A0B1、A0B0、A2B3 等较低，含量在 20 mg/kg 以下，A2B0 的锰含量比 A0B1 高出 192.2%。植株全铜变异幅度在 10.2～13.9mg/kg，平

均值为 11.8mg/kg，配合施肥以 A1B0、A1B3、A0B3 较高，含量在 13mg/kg 以上，而 A3B1、A0B1、A0B0 等较低，含量在 11mg/kg 以下，A1B0 的铜含量比 A3B1 多出 36.3%。植株全锌变异幅度在 33.3～47.8mg/kg，平均值为 40.0mg/kg，配合施肥以 A1B0、A2B0 等较高，而 A0B1、A0B2、A0B0 较低，含量均在 36mg/kg 以下，A1B0 的锌含量比 A0B1 多出 43.5%。植株全钼变异幅度在 0.02～0.05mg/kg，平均值为 0.03mg/kg，配合施肥以 A1B1 较高，含量为 0.05mg/kg，而以 A2B0、2B2 等较低，含量在 0.02mg/kg 左右，A1B1 的钼含量比 A2B2 多出 150%。

从以上比较可知，配合施肥对植株养分含量的影响各不相同，对植株全钼与全锰的影响最大，而对植株全氮与全硼的影响其次，而结其他各养分的影响相对小些。植株各养分含量在配合施肥下都表现不同，说明在配合施肥下，植株对各养分的吸收量各不相同。同时也可知，亚麻对 NPK 肥的平均吸收量以 K 最多，N 居其次，P 最少，其 N：P：K 之比为 1：0.2：1.8；亚麻对微肥的平均吸收量依次为：Zn>Mn>B>Cu>Mo，其 Zn：Cu：B：Mn：Mo 之比为 1：0.3：0.3：0.6：0.0008。

3.2.1.2 施肥水平对亚麻植株养分的影响

从图 3-1～3-16 可知施肥水平对亚麻植株养分的影响。在大量元素中，植株含 N 量随施肥量的增加而增多，A0、A1 与各水平之间差异明显，但 A2 与 A3 之间差异不明显，说明随着施肥量的增加，氮肥吸收量不断的增多，但达到一定水平后，其吸收量增大效果不明显。植株含 P 量以 A0 水平的最多，而 A3 水平的最低，各水平间差异明显，随施肥量的增加，曲线变化无规律性。说明在无 NPK 肥及 NPK 适量的情况下，亚麻吸 P 量较多。植株含 K 量随施肥量的增加而明显增多，说明随着钾肥施用量的增加，植株一直保持旺盛的吸钾能力。植株含 B 量以 A2 水平的最高，且与其他各水平相比，差异比较明显，而曲线变化无规律；植株其他微量元素含量均以 A1 水平最高，其变化呈抛物线。说明随着 NPK 肥施用量的增加，亚麻对各微肥吸收呈抛物线变化，但吸收量各不相同。

在微量元素中，植株含 N、P、K 量均以 B2 水平的最高，曲线变化呈抛物线，但含 P 量各水平间差异不明显，而其他二者间相对较明显。说明随着微肥施用量的增加，亚麻对 N、P、K 元素的吸收也呈抛物线变化；微肥对亚麻植株吸 N、K 量的影响明显大于吸 P 量。植株含 B、Mn 量以 B2 水平的最高，而 B3 水平的最低，曲线变化呈抛物线。说明随着微肥施用量的增加，植株吸 B、Mn 量也随着增加，但达到一定水平后，其吸收量下降。植株含 Zn 量以 B0 水平最高，而 B3 水平的最低，曲线一直呈下降趋势。植株含 Cu、Mo 量的曲线在各水平中变化无规律。说明随微肥施用量的增加，亚麻对各微肥的吸收规律也不相同。总之，施用不同的肥料及用量，使得亚麻对各元素的吸收有不同的表现。

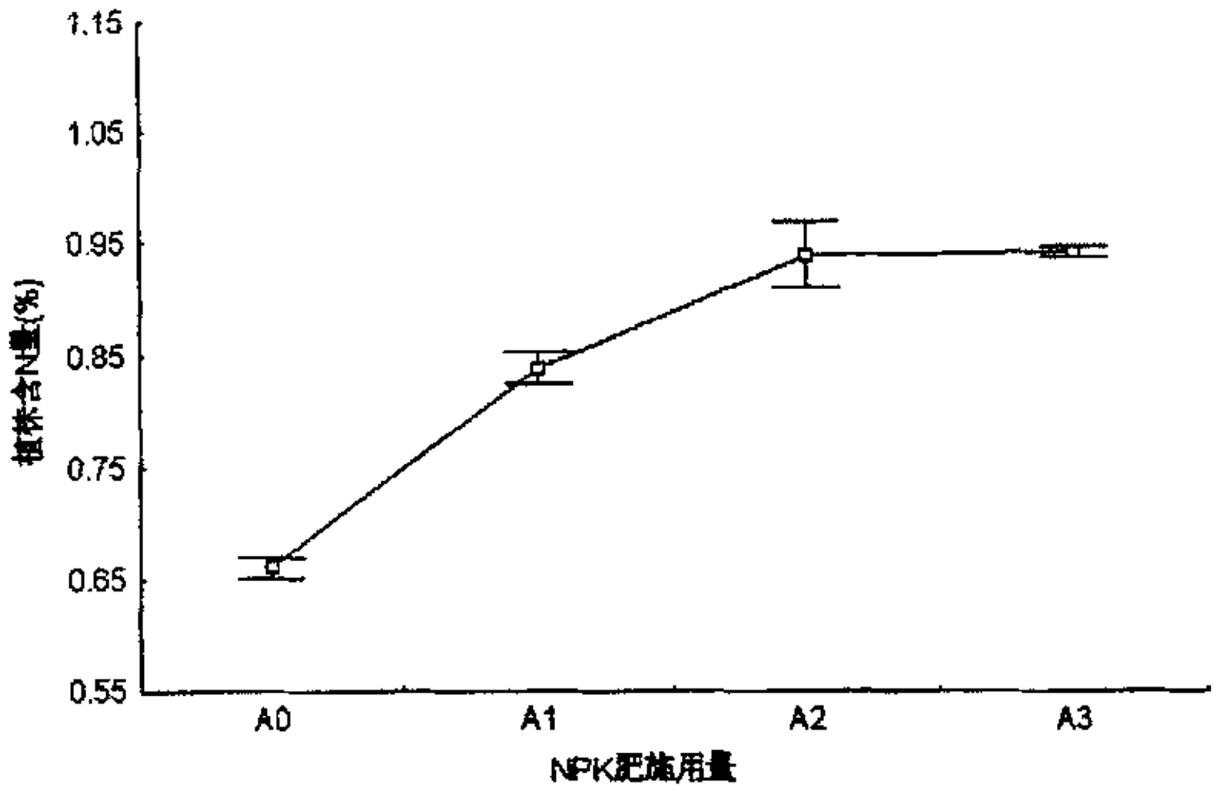

图 3-1　NPK 水平对植株吸 N 量的影响

Figure 3-1 Impact of macronutrients on N absorbance of flax plants

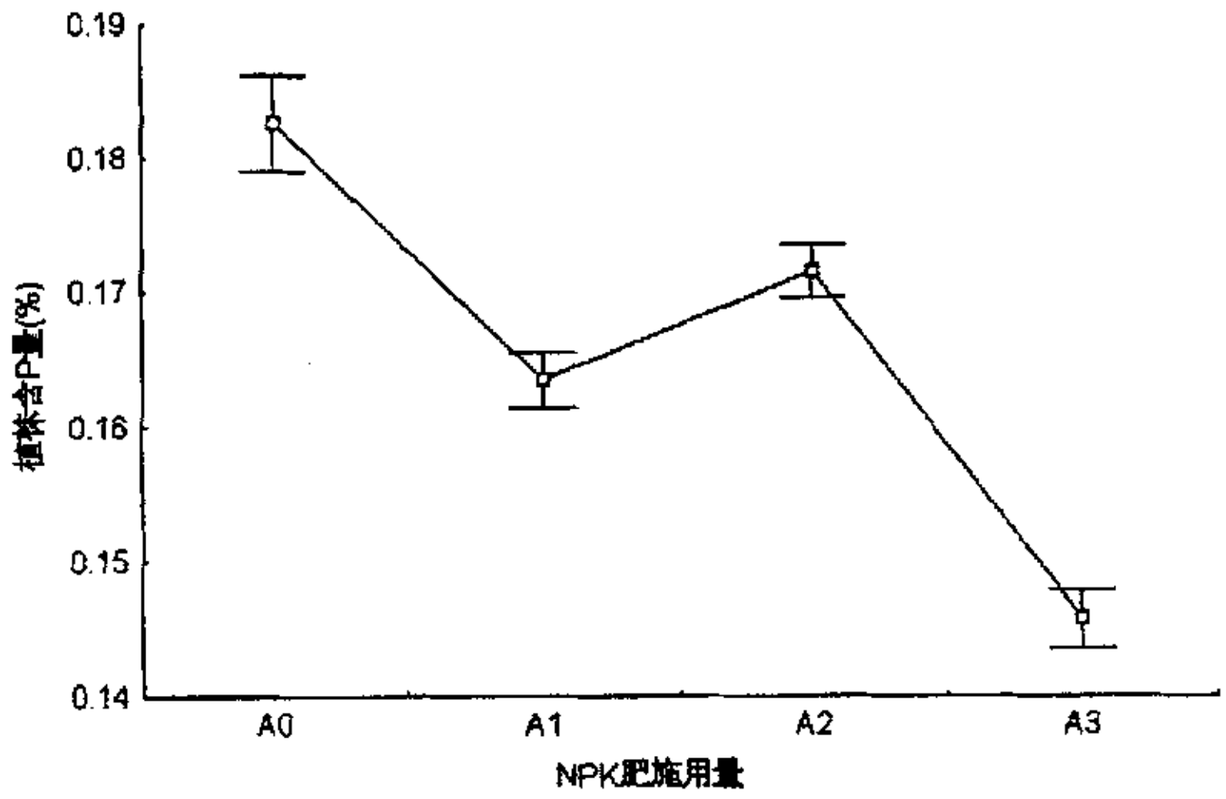

图 3-2　NPK 对植株吸 P 量的影响

Figure 3-2 Impact of macronutrients on P absorbance of flax plants

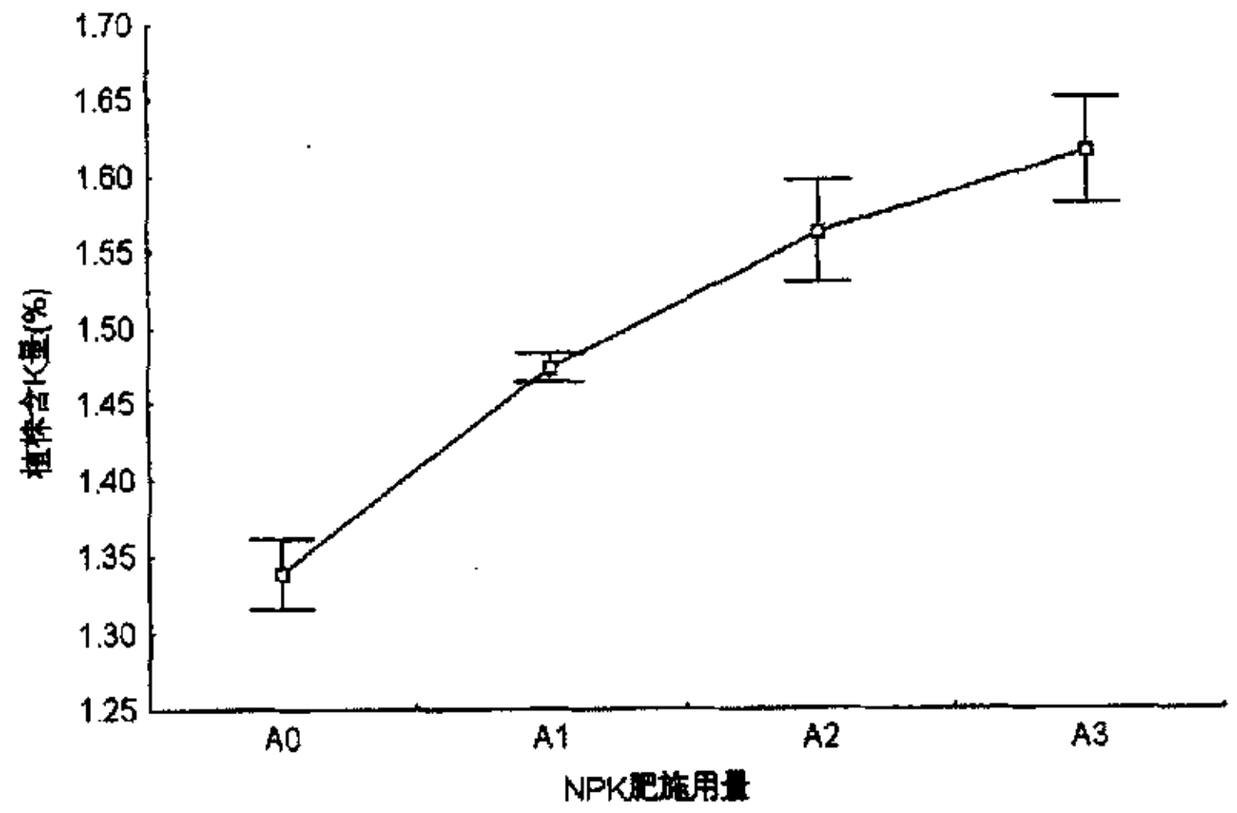

图 3-3　NPK 对植株吸 K 量的影响

Figure 3-3 Impact of macronutrients on K absorbance of flax plants

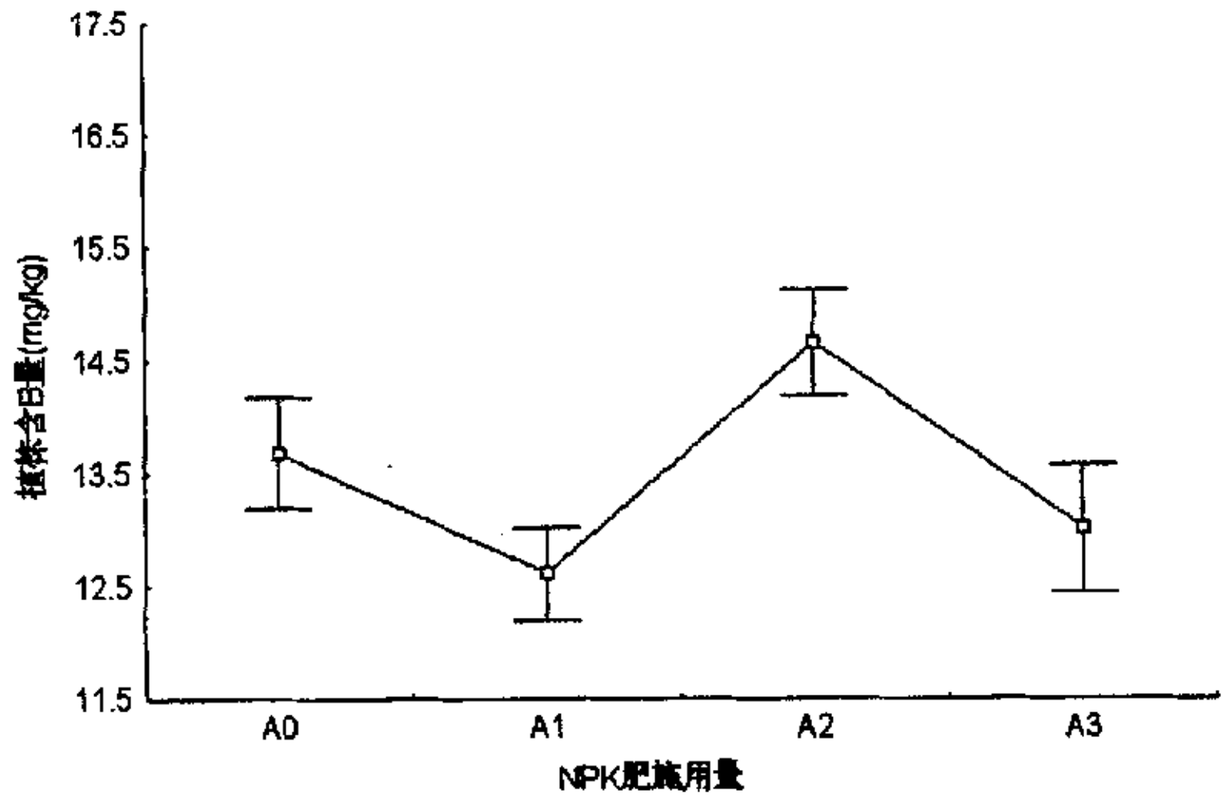

图 3-4　NPK 对植株吸 B 量的影响

Figure 3-4 Impact of macronutrients on B absorbance of flax plants

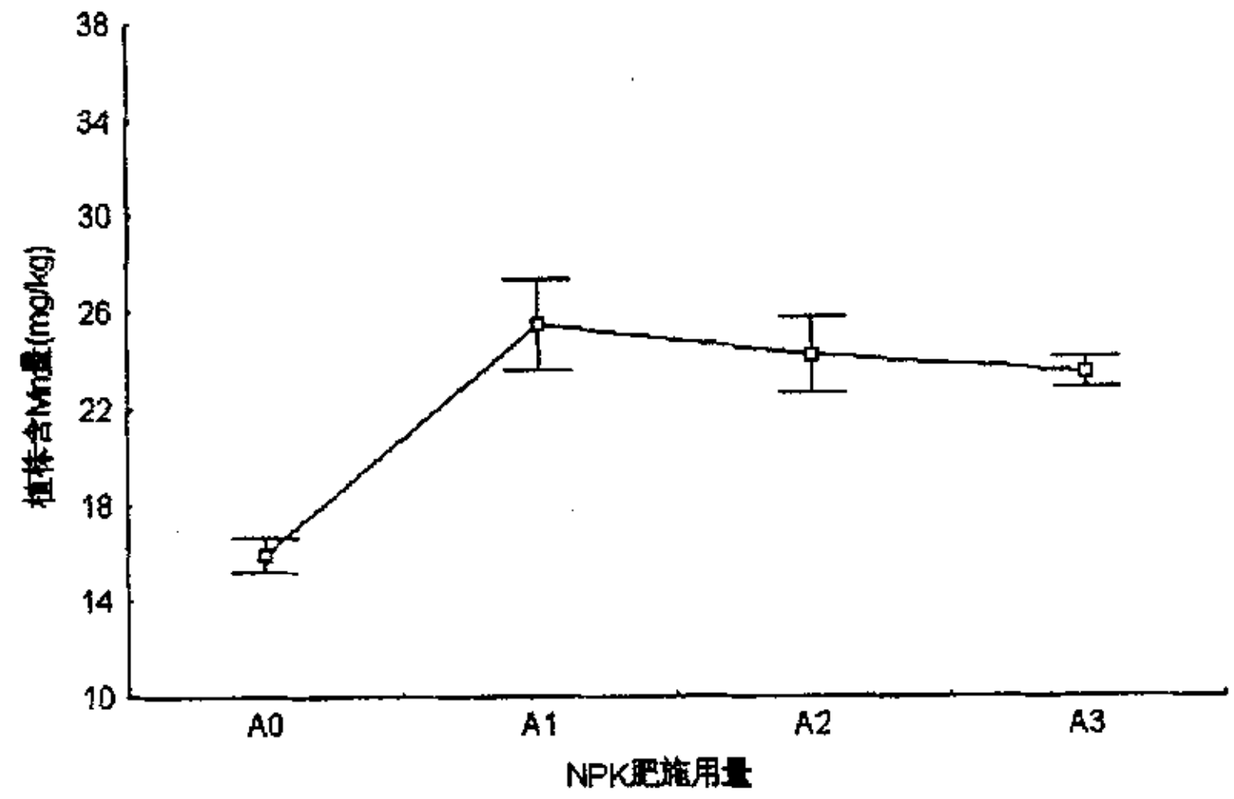

图 3-5　NPK 对植株吸 Mn 量的影响

Figure 3-5 Impact of macronutrients on Mn absorbance of flax plants

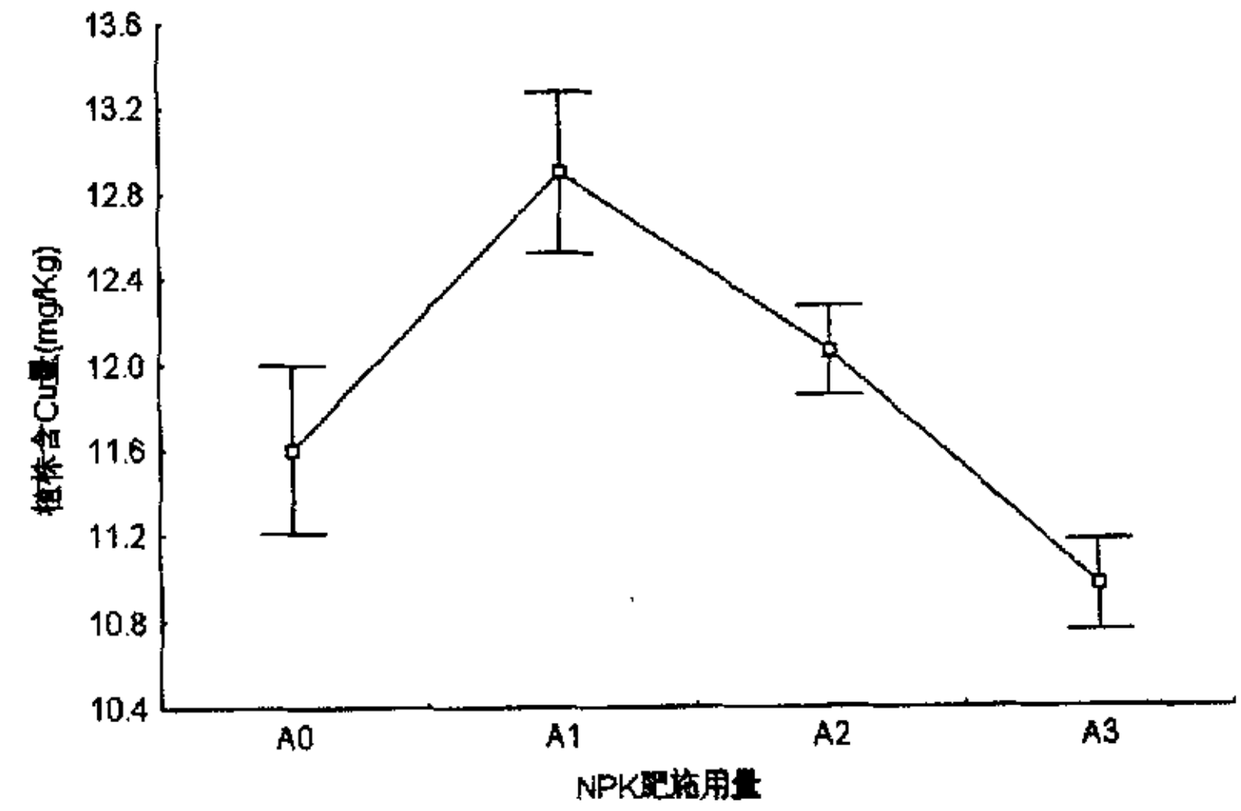

图 3-6　NPK 对植株吸 Cu 量的影响

Figure 3-6 Impact of macronutrients fertilizer on Cu absorbance of flax plants

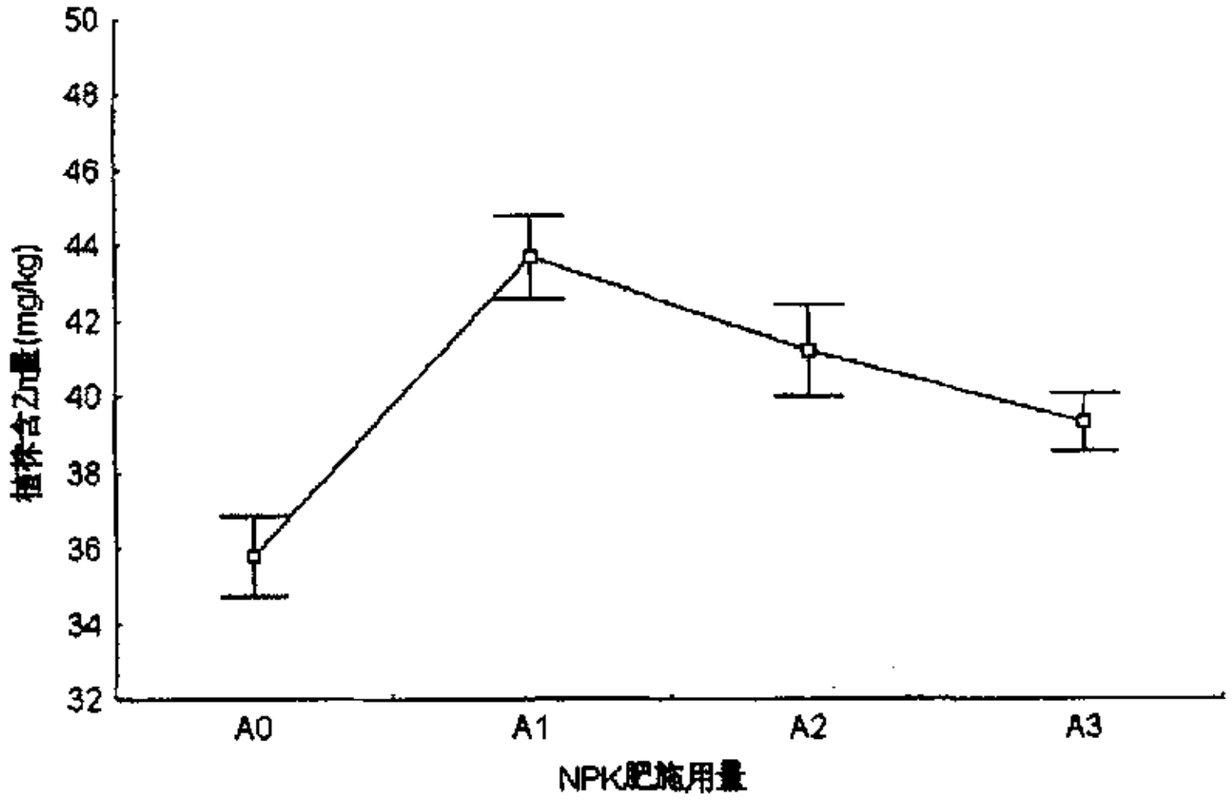

图 3-7　NPK 对植株吸 Zn 量的影响

Figure 3-7 Impact of the dose of NPK fertilizer on Zn absorbance of flax plants

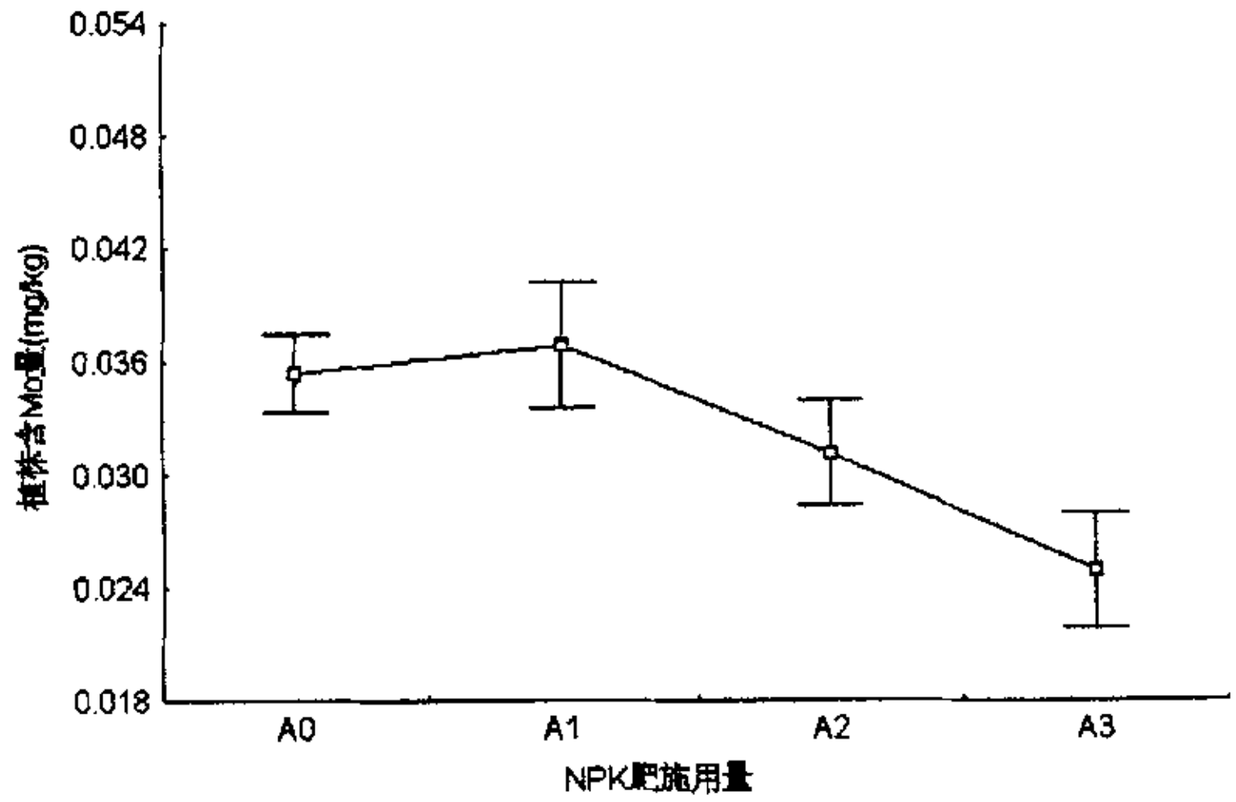

图 3-8　NPK 对植株吸 Mo 量的影响

Figure 3-8 Impact of macronutrients on Mo absorbance of flax plants

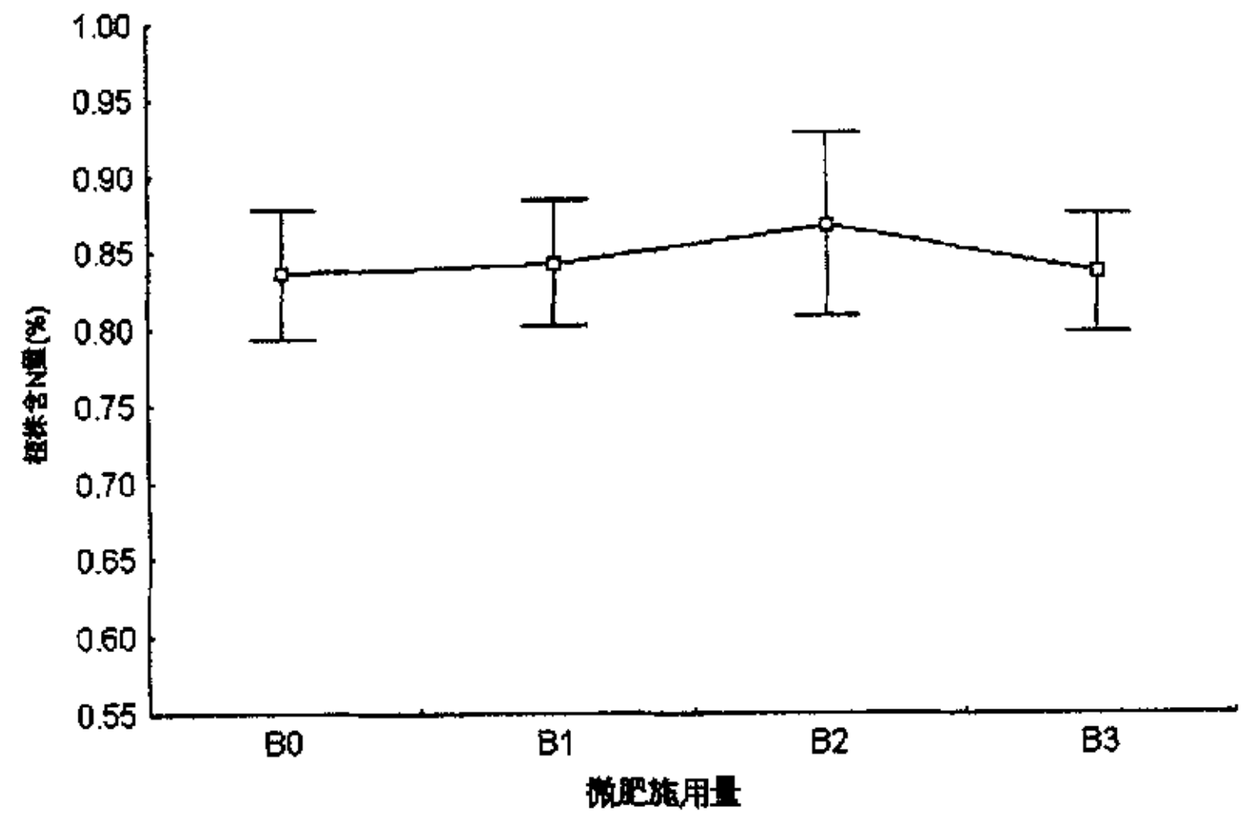

图 3-9　微肥水平对亚麻植株吸 N 量的影响

Figure 3-9 Influence of micronutrients on N absorbance of flax plants

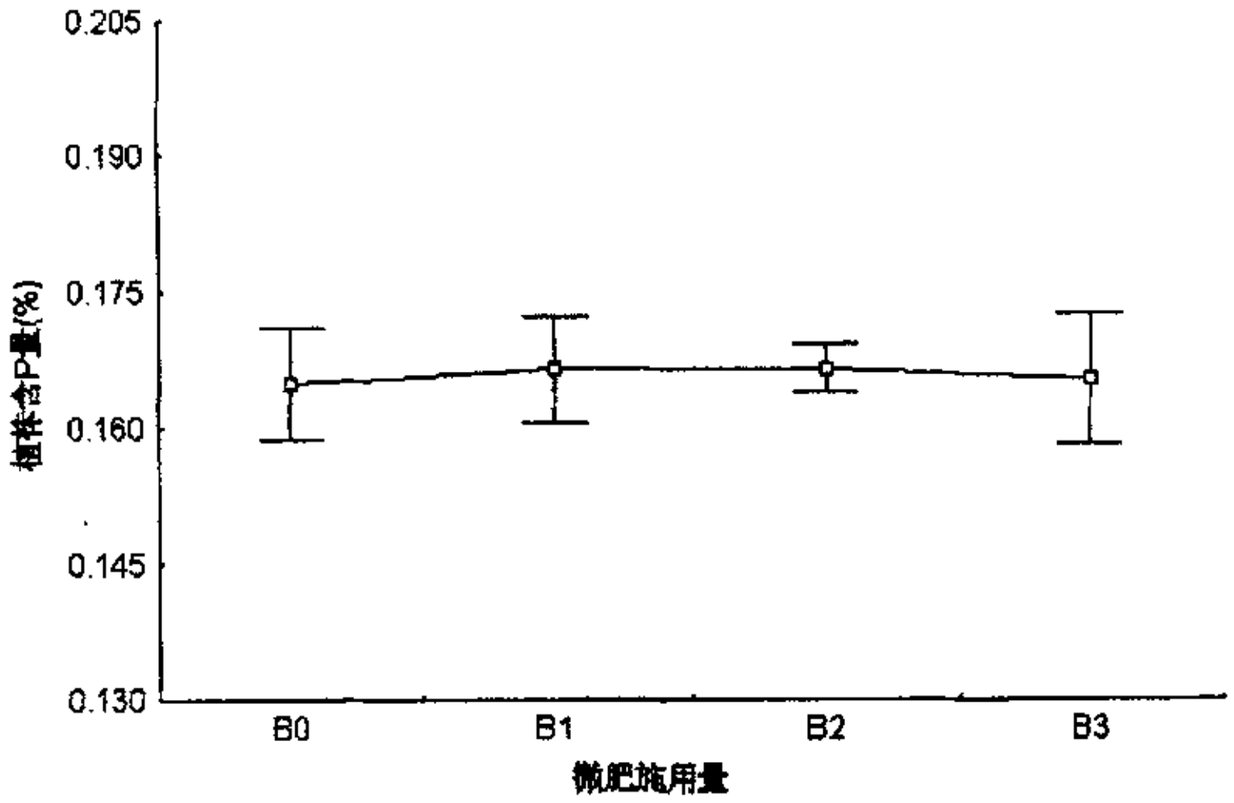

图 3-10　微肥水平对亚麻植株吸 P 量的影响

Figure 3-10 Influence of micronutrients on P absorbance of flax plants

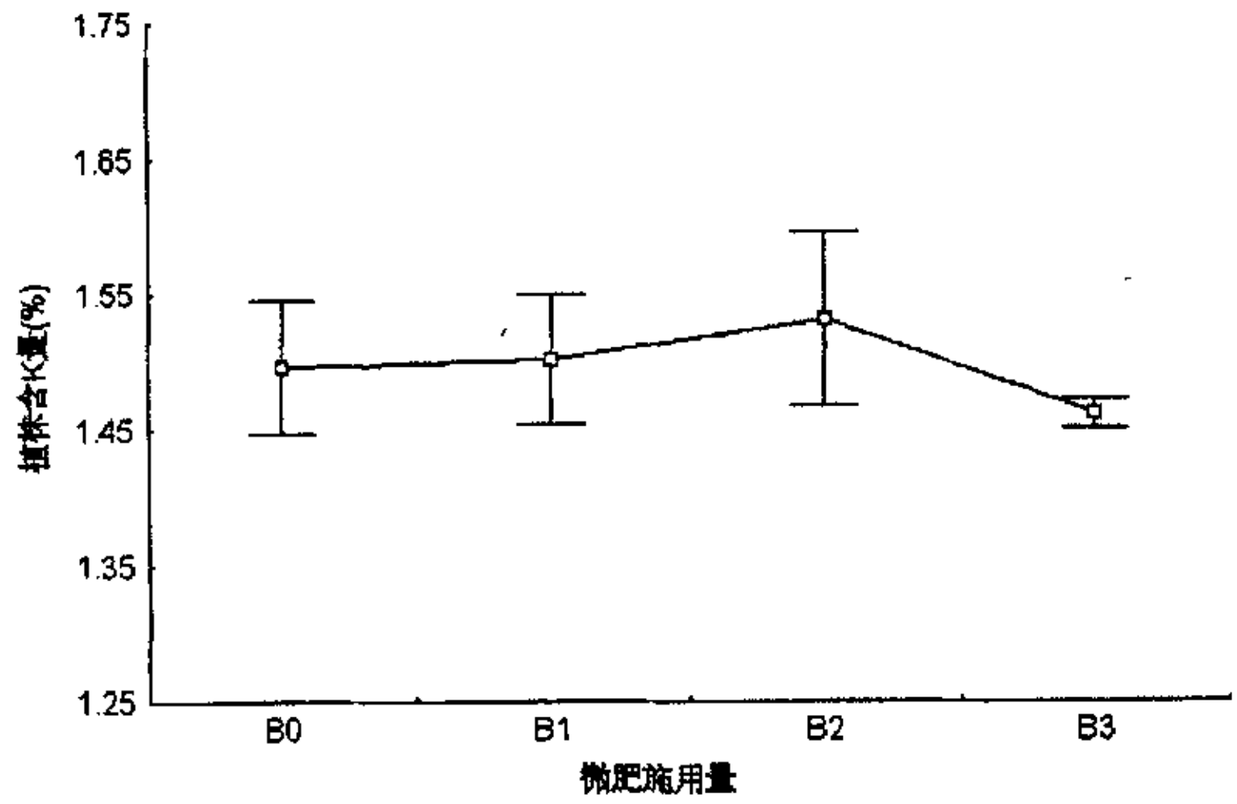

图 3-11　微肥水平对亚麻植株吸 K 量的影响

Figure 3-11 Influence of micronutrients on K absorbance of flax plants

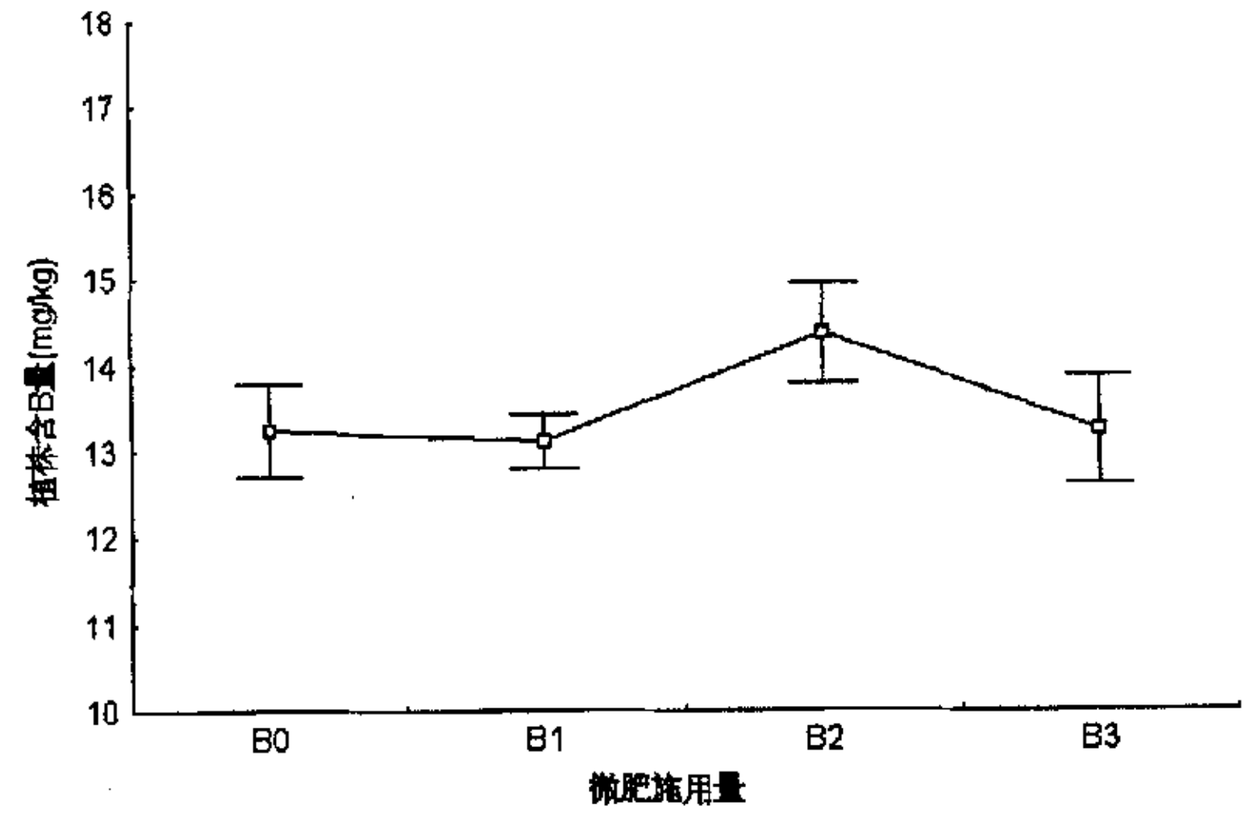

图 3-12　微肥水平对亚麻植株吸 B 量的影响

Figure 3-12 Influence of micronutrients on B absorbance of flax plants

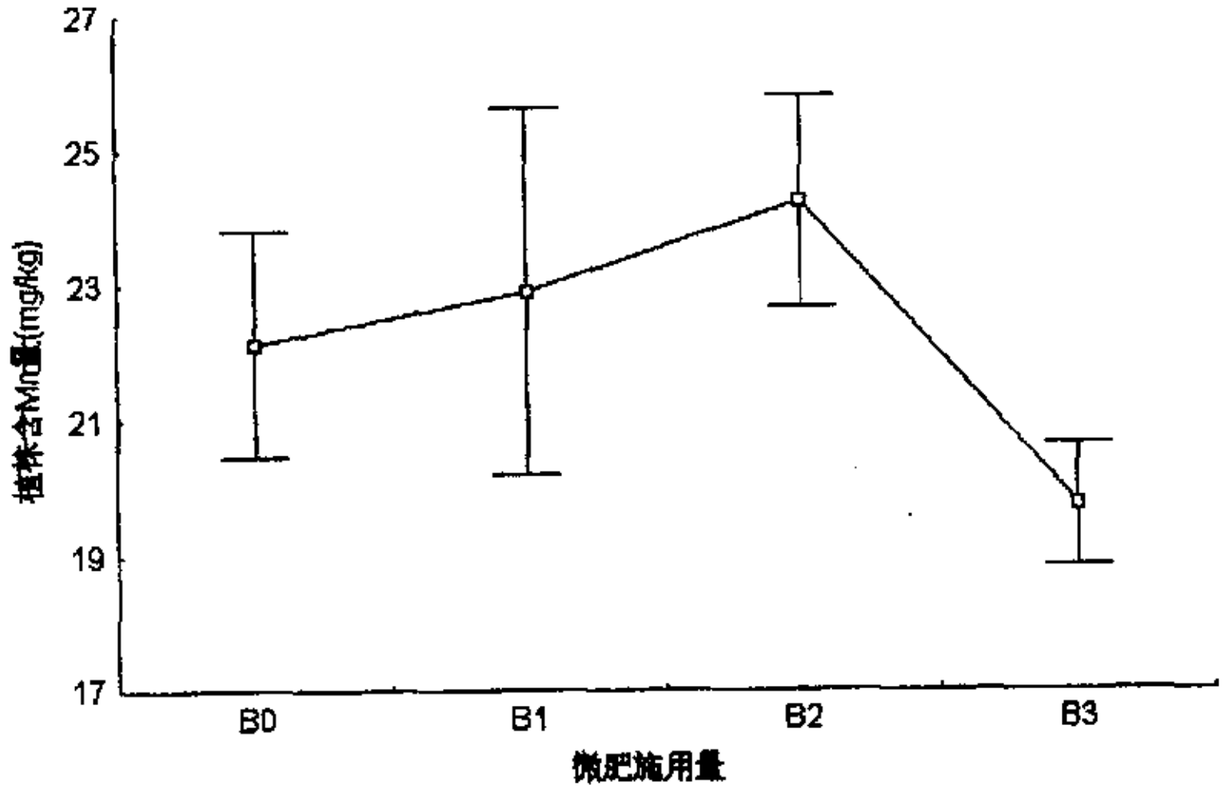

图 3-13　微肥水平对亚麻植株吸 Mn 量的影响

Figure 3-13 Influence of micronutrients on Mn absorbance of flax plants

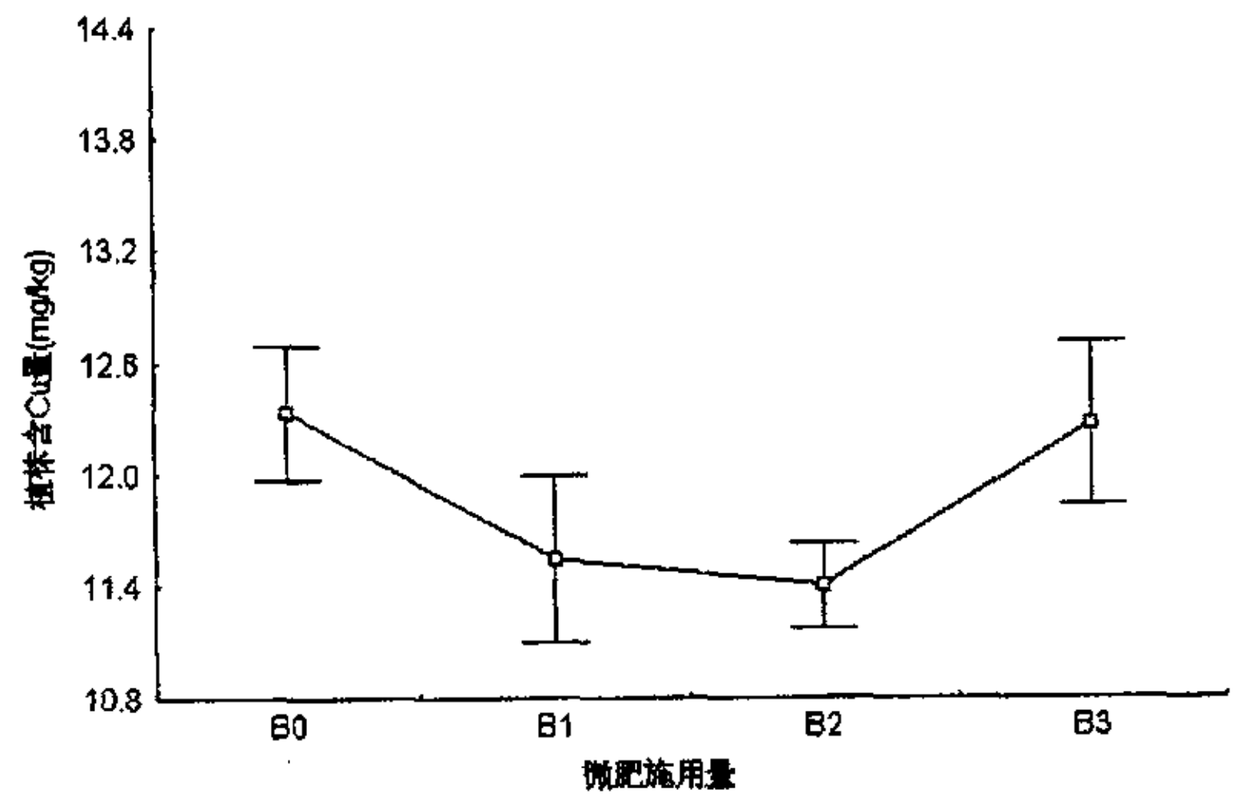

图 3-14　微肥水平对亚麻植株吸 Cu 量的影响

Figure 3-14 Influence of micronutrients on Cu absorbance of flax plants

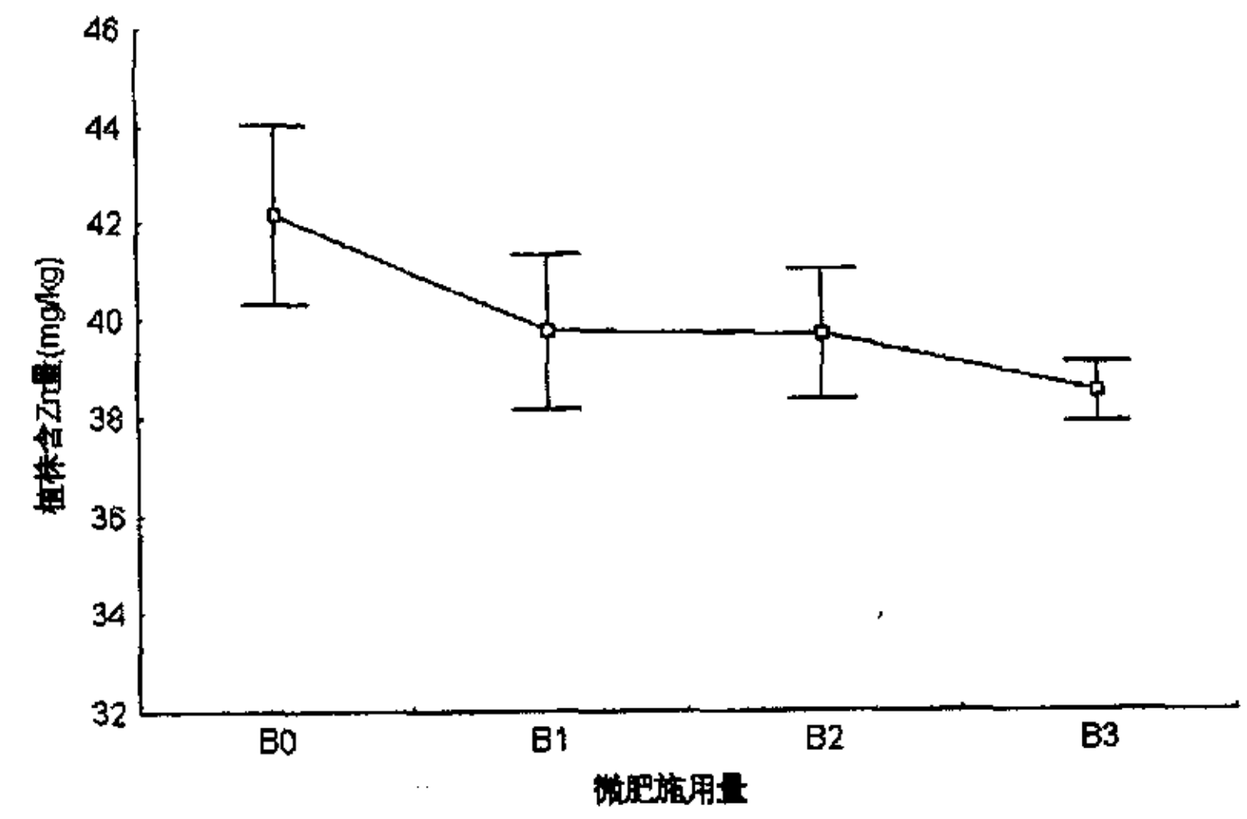

图 3-15　微肥水平对亚麻植株吸 Zn 量的影响

Figure 3-15 Influence of micronutrients on Zn absorbance of flax plants

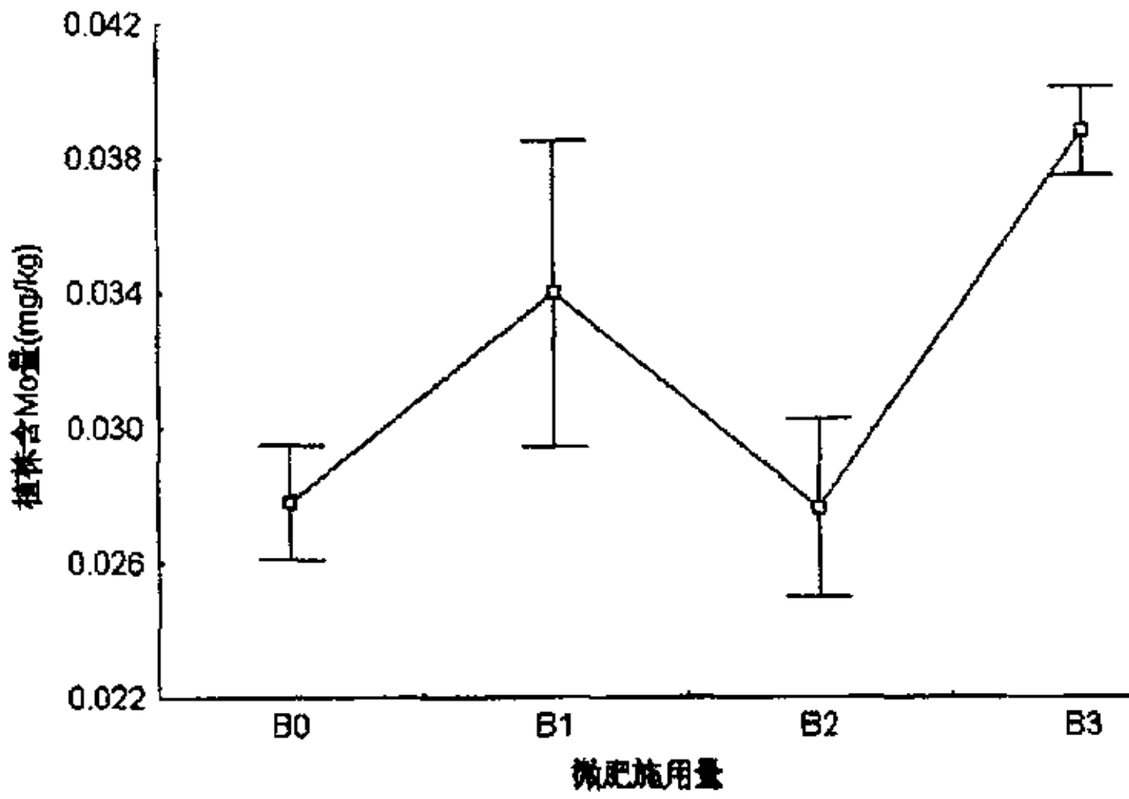

图 3-16　微肥水平对亚麻植株吸 Mo 量的影响
Figure 3-16 Influence of micronutrients on Mo absorbance of flax plants

3.2.1.3 大量元素与微量元素对亚麻植株养分的互作效应

从图 3-17～3-24 可知，交互作用对亚麻吸收各元素的影响。随着 NPK 肥与微肥施用量的增加，植株含 N、K 量呈上升趋势，到 A3B3 组合后植株含 N、K 量下降。说明 NPK 肥与微肥的交互作用对亚麻 N、K 元素的吸收呈正向互作，促进吸收，到一定量后，则转变为负向互作，抑制吸收。同样，随着 NPK 肥与微肥施用量的增加，植株含 Mn、Cu、Zn 量先升后降，曲线呈抛物线变化。说明从不施肥到施用适量的肥料对亚麻植株吸收 Mn、Cu、Zn 起正向互作的作用，促进吸收，其后，随着肥料施用量的增加，则呈负向互作效应，抑制吸收。而随着 NPK 肥与微肥施用量增加，植株吸 P、B、Mo 量变化无规律。从植株吸收各元素的曲线变化来看，N 与 K，Mn、Cu 与 Zn，P 与 B 之间的曲线变化基本相同，说明各自之

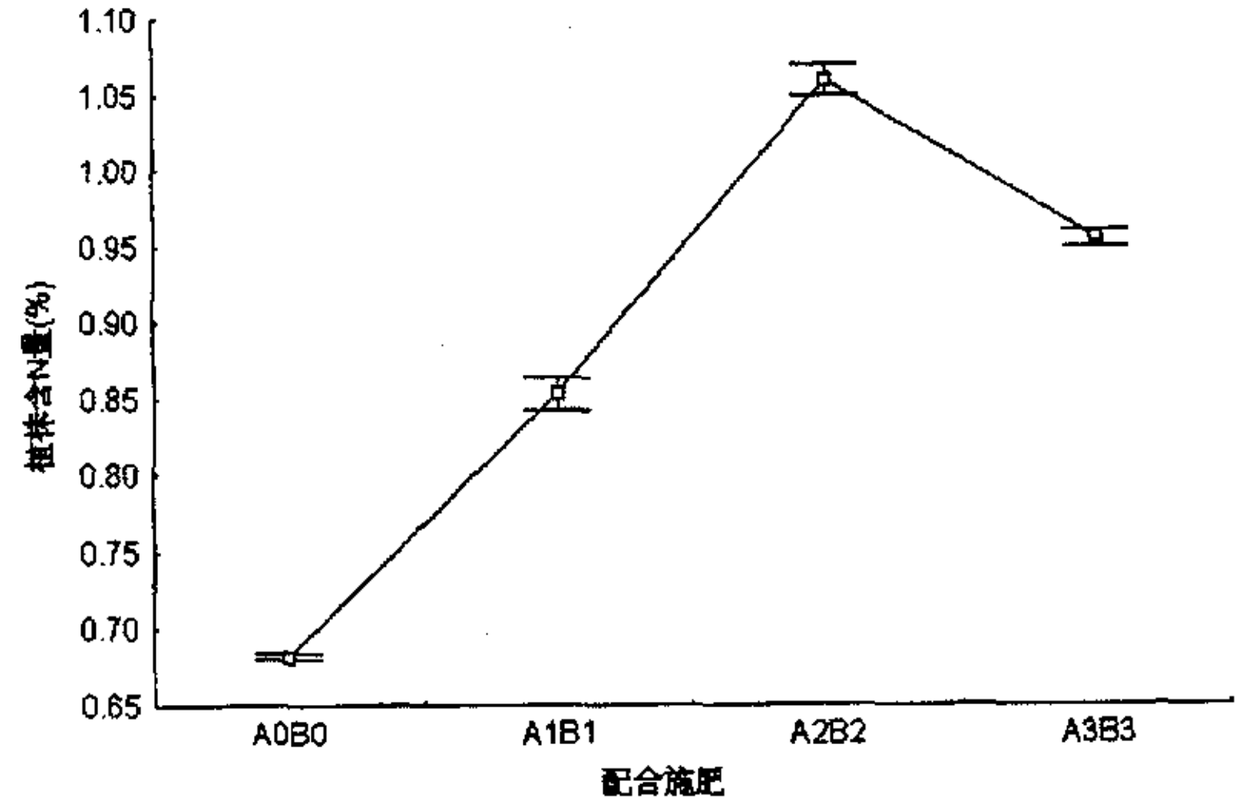

图 3-17　交互作用对亚麻植株吸 N 量的影响
Figure 3-17 Interaction of macronutrients and micronutrients to N absorbance of flax plants

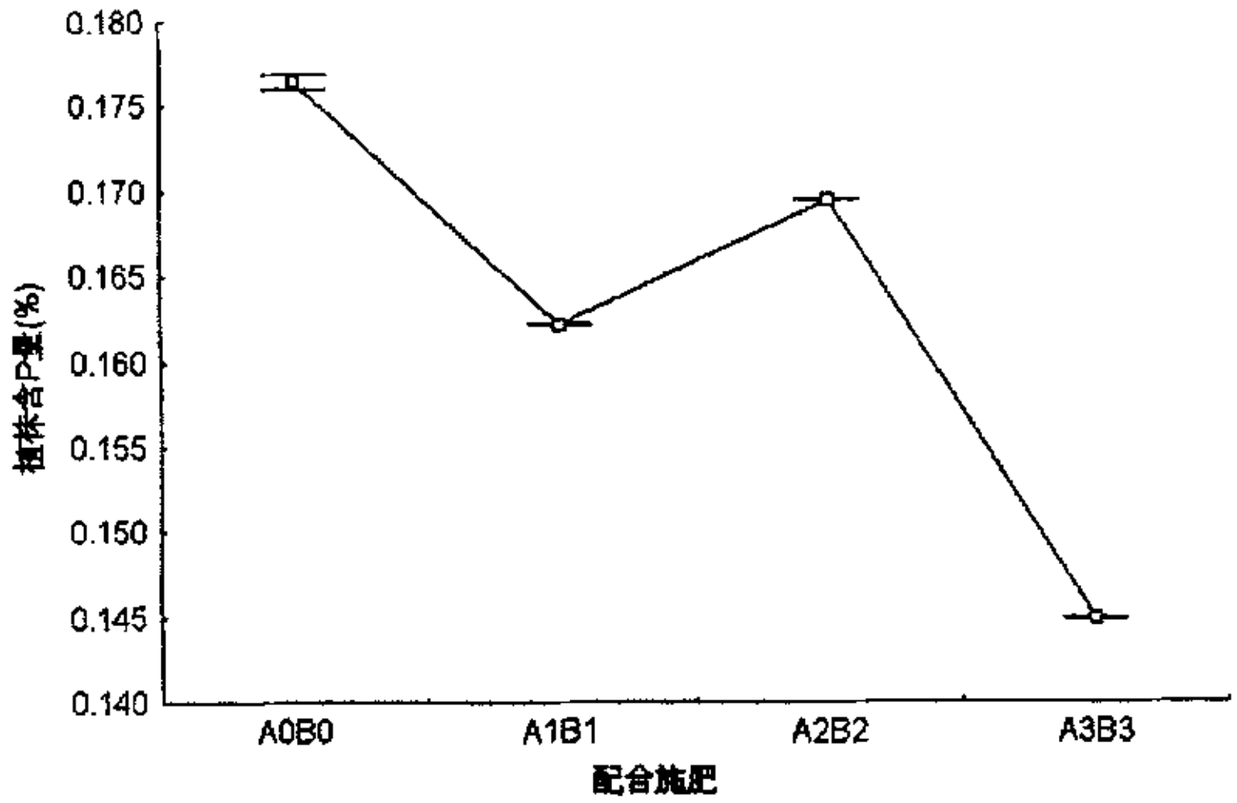

图 3-18 交互作用对亚麻植株吸 P 量的影响

Figure 3-18 Interaction of macronutrients and micronutrients to Pabsorbance of flax plants

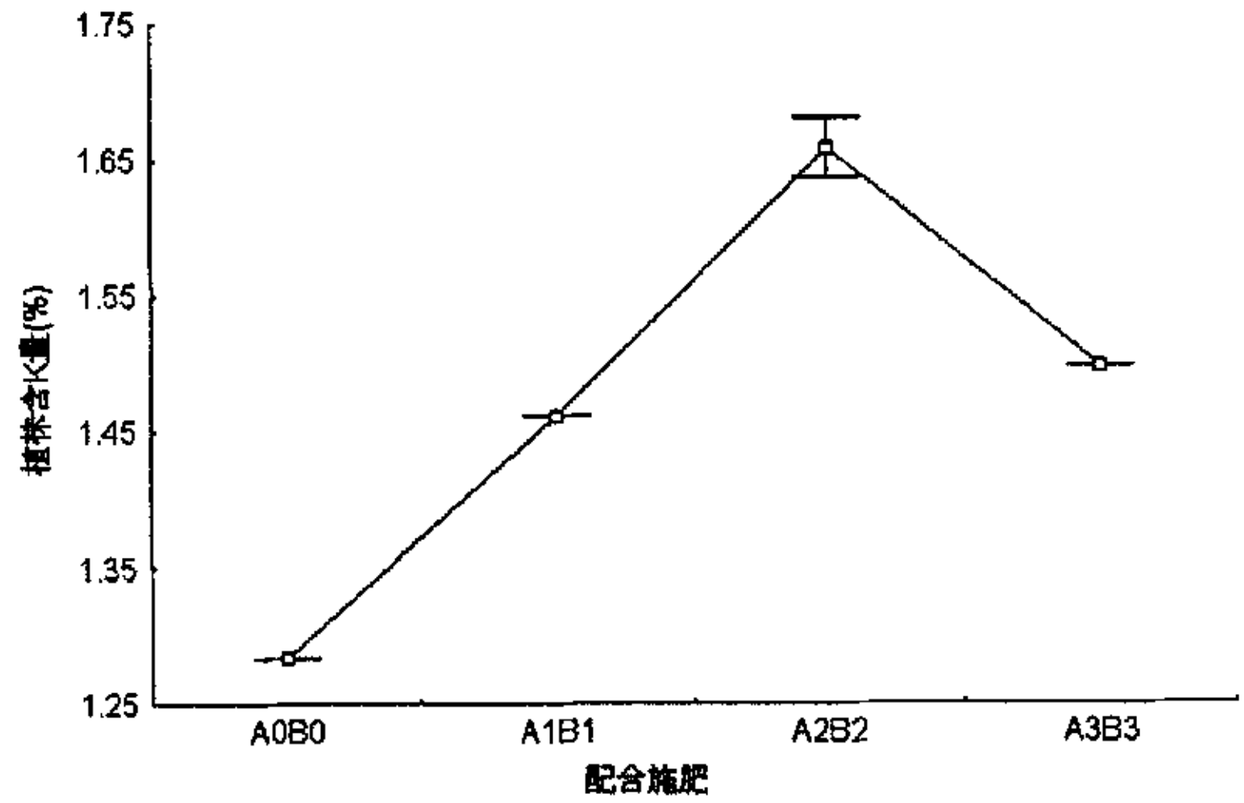

图 3-19　交互作用对亚麻植株吸 K 量的影响

Figure 3-19 Interaction of macronutrients and micronutrients to K absorbance of flax plants

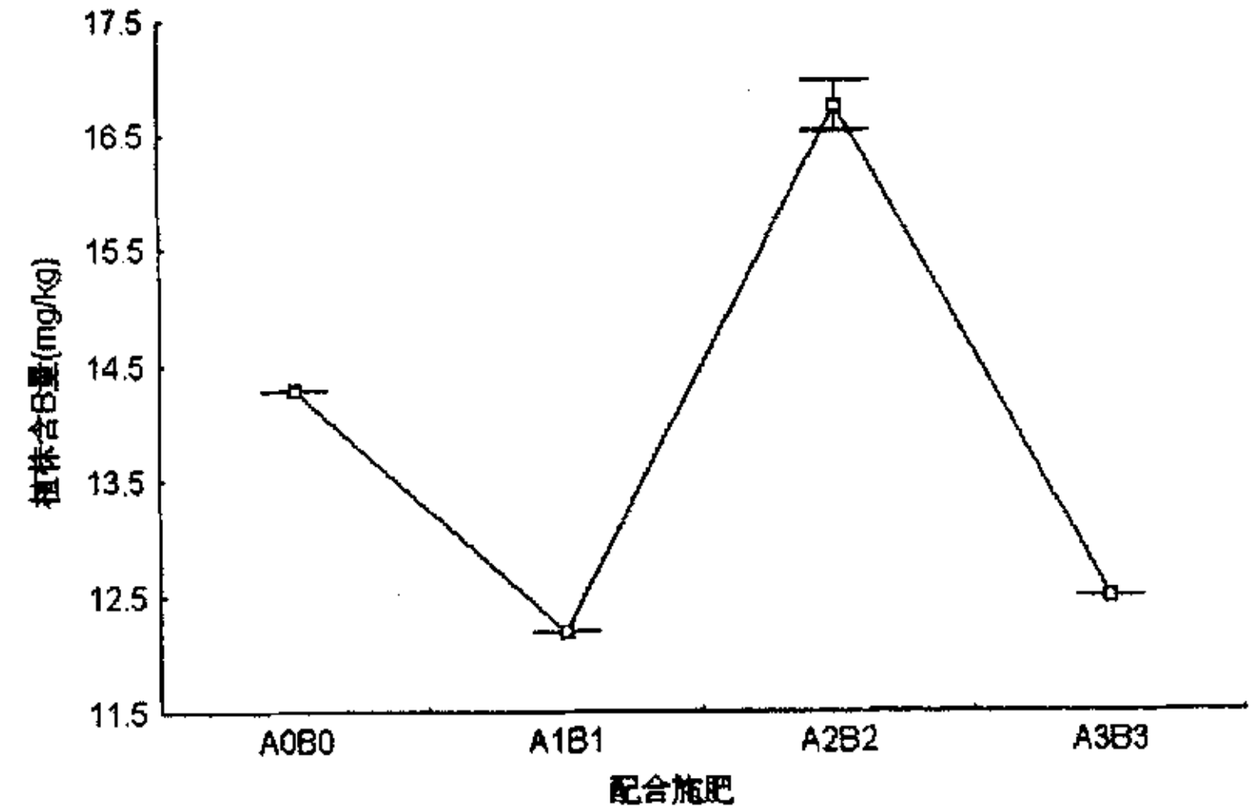

图 3-20　交互作用对亚麻植株吸 B 量的影响

Figure 3-20 Interaction of macronutrients and micronutrients to B absorbance of flax plants

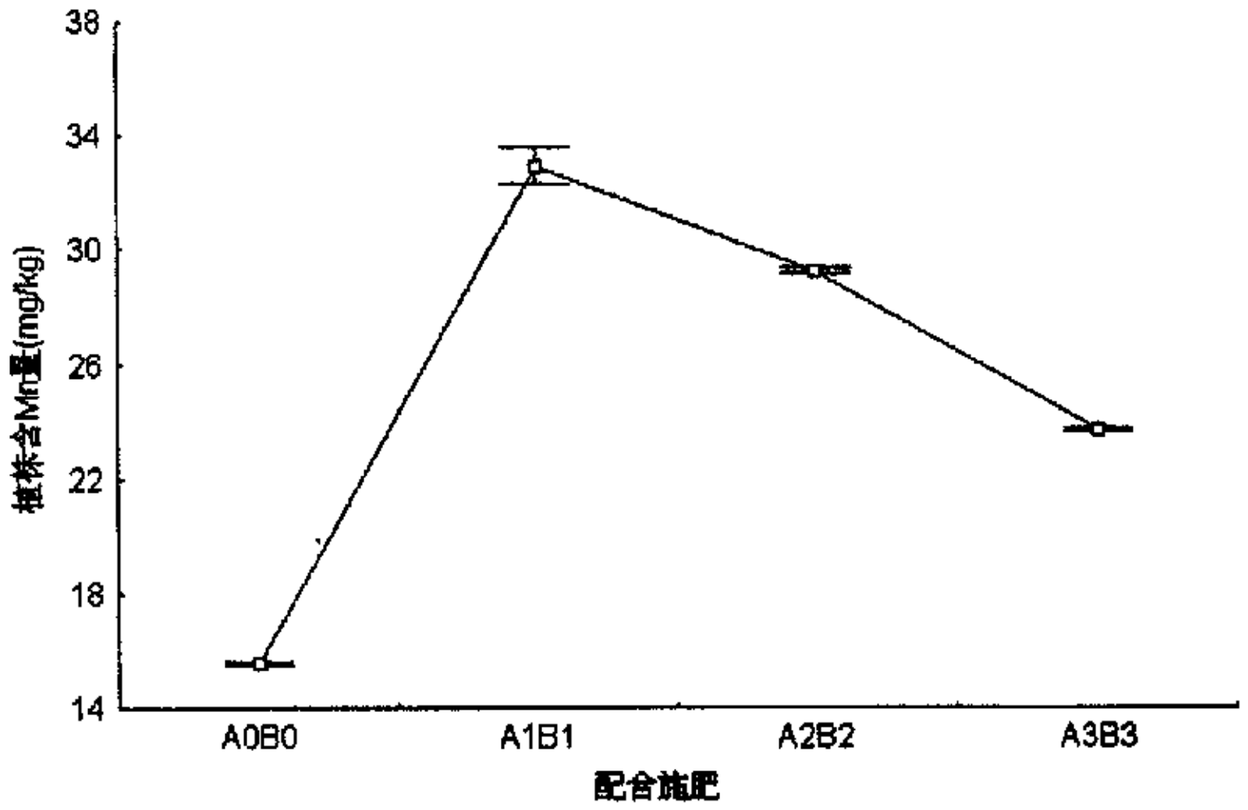

图 3-21　交互作用对亚麻植株吸 Mn 量的影响

Figure 3-21 Interaction of macronutrients and micronutrients to Mn absorbance of flax plants

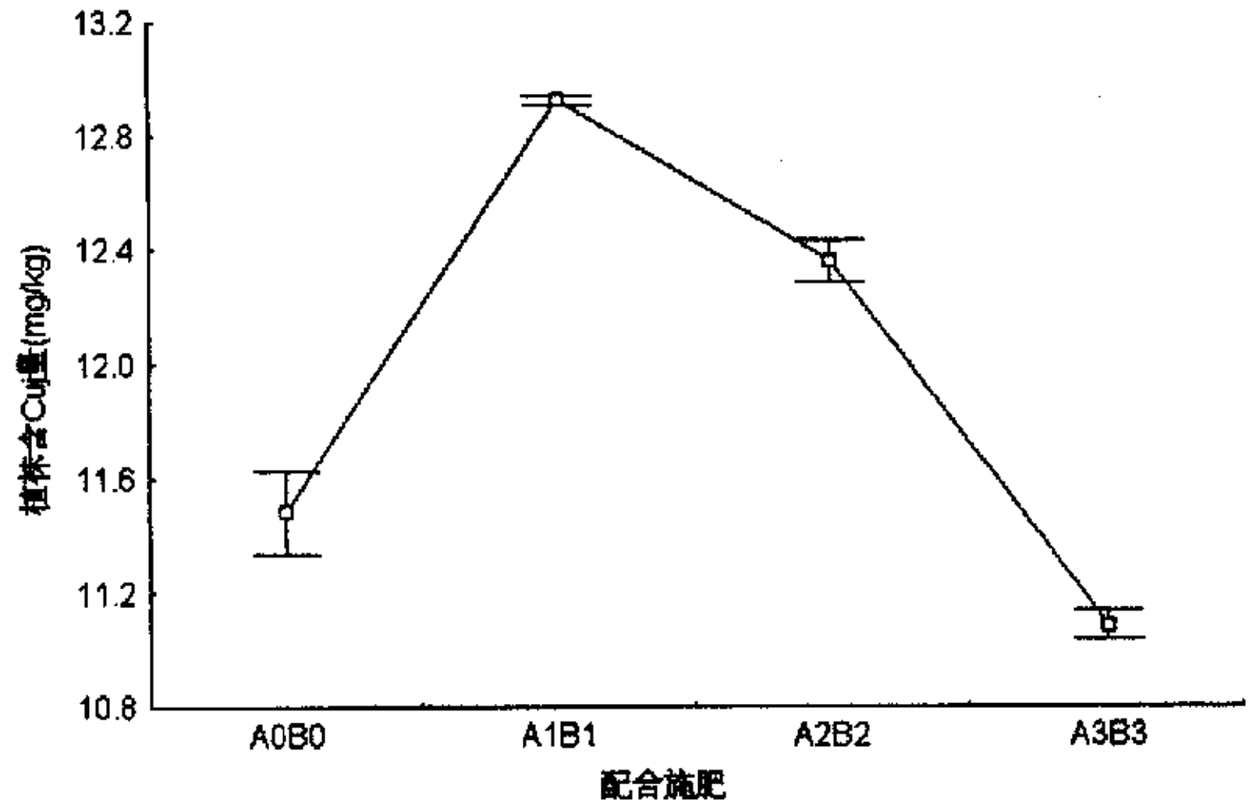

图 3-22　交互作用对亚麻植株吸 Cu 量的影响

Figure 3-22 Interaction of macronutrients and micronutrients to Cu absorbance of flax plants

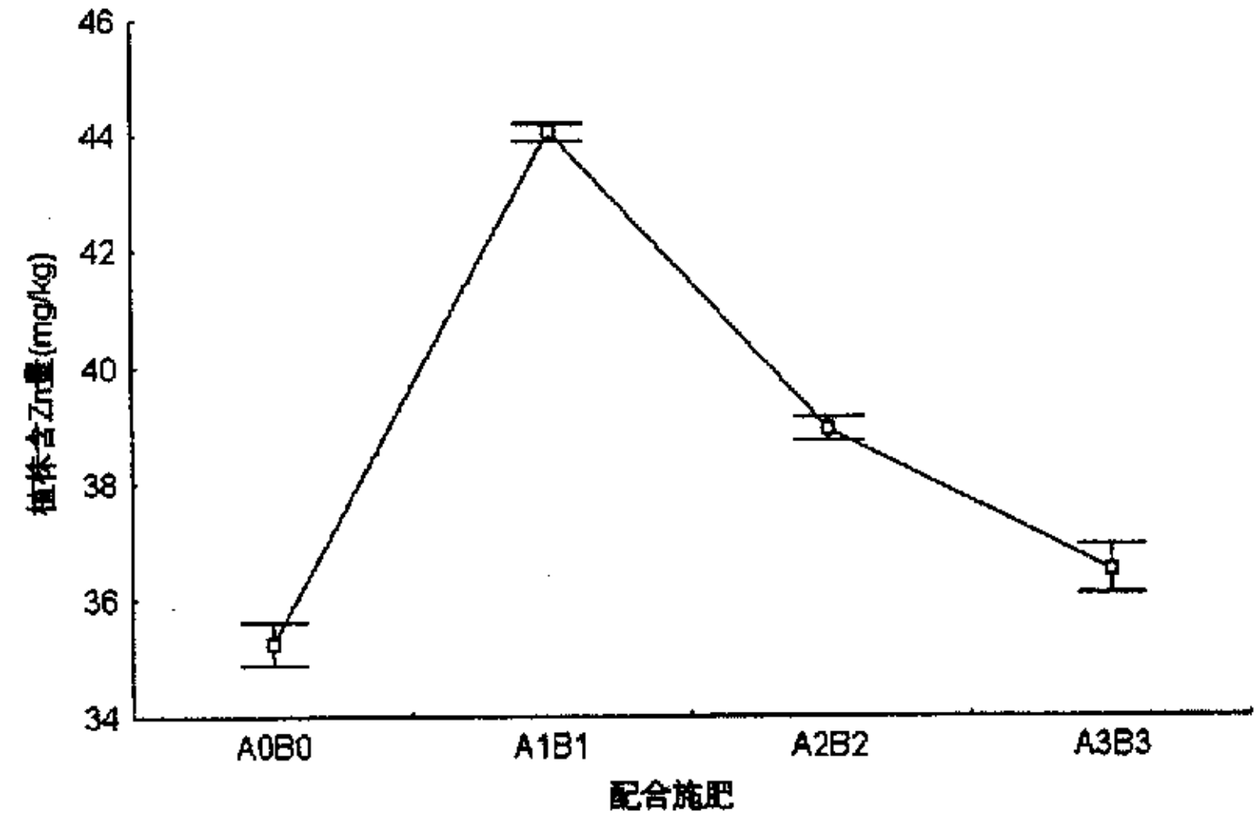

图 3-23　交互作用对亚麻植株吸 Zn 量的影响

Figure 3-23 Interaction of macronutrients and micronutrients to Zn absorbance of flax plants

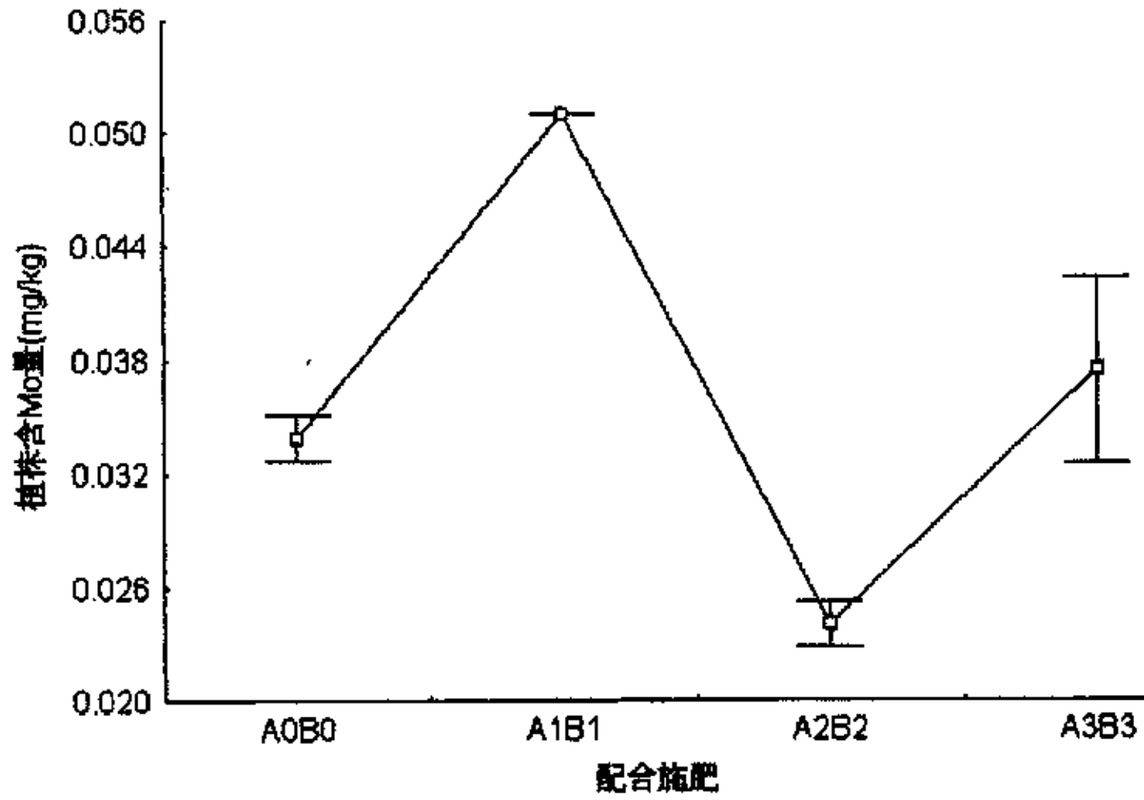

图 3-24　交互作用对亚麻植株吸 Mo 量的影响

Figure 3-24 Interaction of macronutrients and micronutrients to Mo absorbance of flax plants

间存在着密切的相关性。而 Mo 的曲线变化却与 P、B 的曲线完全相反，说明 Mo 与 P、B 之间可能存在负向效应。因此，不同量 NPK 肥需要与不同量微肥相互配合才能共同促进亚麻对各元素的吸收；另外各元素间存在协同作用与拮抗作用。

3.2.2 亚麻生长对土壤肥力的影响

3.2.2.1 施肥前土壤肥力调查

试验地前茬作物为玉米，其土壤肥力水平见表 3-3。

表 3-3 试验地土壤养分含量

Table 3-3 Nutrients in the soil before experiment

pH 值	全氮 (%)	全磷 (%)	全钾 (%)	水解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	有效钾 (mg/kg)	有效硼 (mg/kg)	有效锰 (mg/kg)	有效铜 (mg/kg)	有效锌 (mg/kg)	有效钼 (mg/kg)
5.39	0.24	0.16	1.39	205.45	14.96	260.20	0.61	33.83	44.56	9.16	0.12

从表 3-3 可以看出，试验地土壤偏酸性，但亚麻是一种能适应于酸性土壤生长的作物，因此不影响亚麻的生长[34]。试验地土壤各养分含量相对较高，说明土壤相对较肥沃。

3.2.2.2 亚麻收获后土壤肥力的调查

从表 3-4 与表 3-3 比较可知，小区土壤仍偏酸性，亚麻生长后使得土壤 pH 值总体上升，但大量元素施用量增加，会使得土壤 pH 值降低。各小区土壤全氮、全钾含量有轻微下降，随施用量增加，并没有使得土壤全氮、全钾含量相应上升；而土壤全磷含量在 A0、A1 水平略有降低，但 A2 后便使土壤含量上升；大量元素一定的情况下，配合施用微肥后，各小区土壤全 NPK 含量变化无规律性。各小区土壤水解氮含量随施用量的增加而增多，到 A2 水平后，土壤水解氮含量基本能达

到平衡；土壤有效磷、钾含量并没有随施用量的增加而增多，其含量全部降低，降低量相对较多，其变化无规律性。土壤有效钼含量随钼施用量的增加而增多，而其他的微肥有效成分并没有这种现象。有效硼、锰含量随大量元素施用量的增多而减少，有效铜锌含量随大量元素施用量的增加而增多，但土壤微量元素有效含量（除钼外）普遍下降，其规律变化各不相同。

表 3-4 亚麻收获后土壤养分含量

Table 3-4 Soil nutrients after flax harvesting

处理组合	PH 值	全氮 (%)	全磷 (%)	全钾 (%)	水解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	有效钾 (mg/kg)	有效硼 (mg/kg)	有效锰 (mg/kg)	有效铜 (mg/kg)	有效锌 (mg/kg)	有效钼 (mg/kg)
A0B0	6.23	0.23	0.15	1.29	167.1	9.02	142.2	0.52	31.18	37.35	7.06	0.11
A0B1	5.96	0.24	0.15	1.30	176.6	14.08	200.8	0.40	42.43	35.65	8.45	0.12
A0B2	5.62	0.23	0.15	1.29	184.7	9.03	156.7	0.35	33.89	36.77	7.67	0.13
A0B3	6.17	0.23	0.12	1.38	174.7	12.48	192.5	0.52	36.63	37.48	7.85	0.15
A1B0	5.93	0.25	0.15	1.28	178.5	10.99	161.0	0.50	39.31	41.66	8.41	0.10
A1B1	5.57	0.24	0.15	1.29	211.3	9.29	213.4	0.53	36.33	37.34	8.27	0.11
A1B2	5.76	0.22	0.15	1.28	212.7	9.26	189.8	0.68	36.40	38.18	8.53	0.13
A1B3	5.99	0.22	0.16	1.27	193.0	11.87	146.3	0.57	21.38	44.48	9.04	0.13
A2B0	5.65	0.24	0.17	1.28	217.2	14.90	191.3	0.60	18.07	46.55	10.57	0.09
A2B1	5.87	0.23	0.16	1.28	200.9	10.39	203.4	0.49	18.15	38.93	7.83	0.13
A2B2	5.50	0.23	0.16	1.28	212.3	6.76	206.4	0.59	30.05	43.52	9.21	0.15
A2B3	5.78	0.23	0.15	1.29	209.8	9.09	161.4	0.48	23.98	38.65	7.91	0.15
A3B0	5.91	0.23	0.16	1.26	197.3	13.25	189.9	0.46	30.43	47.06	9.09	0.13
A3B1	5.40	0.24	0.16	1.34	207.7	14.88	224.5	0.43	14.29	42.76	11.34	0.14
A3B2	5.44	0.22	0.16	1.32	204.8	8.14	194.4	0.33	18.75	41.63	8.09	0.15
A3B3	5.72	0.23	0.15	1.28	216.7	9.03	207.9	0.44	19.89	44.21	8.48	0.17
均值	5.78	0.23	0.15	1.29	197.8	10.8	186.4	0.49	28.20	40.76	8.61	0.13

总体上说，A3B1、A2B2 处理的土壤肥力保持较好，仅有 2 种养分含量下降较多，A2B0、A3B0 处理的居其次，仅有 4 种养分含量下降较多，A2B1、A3B2 处理的养分有 5 种指标下降较多，而其他处理的养分含量大多数下降得比较多。

3.2.2.3 配合施肥对土壤养分的影响

从表 3-5 可以分析土壤与作物系统内土壤养分收支平衡的情况。

N：在 A0 与 A1 中，随着微肥施用的增加，亚麻从土壤中带走的氮肥渐渐增多，而施用 A1 水平的氮肥就能满足亚麻生长的需要，土壤中氮肥开始盈余。在 A2 与 A3 水平，随着微肥施用的增加，亚麻从土壤中吸收的氮肥无规律，但可明显看出，随着氮肥施用的增加，亚麻从土壤中吸收的氮肥也增多。

P：在 A0 中，随着微肥施用的增加，亚麻从土壤中带走的磷肥渐渐增多，其它 3 个水平，随着微肥施用的增加，亚麻从土壤中吸收的磷肥无规律。随着磷

表 3-5 配合施肥中养分平衡状况

Table 3-5 Nutrient balance in treatments of balanced fertilization

处理组合	N			P_2O_5			K_2O			B		
	投入	输出	盈亏	投入	输出	盈亏	投入	输出	盈亏	投入	输出	盈亏
A0B0	0	59.8	-59.8	0	15.8	-15.8	0	112.6	-112.6	0	125.8	-125.8
A0B1	0	60.5	-60.5	0	17.2	-17.2	0	121.0	-121	168	112.0	56
A0B2	0	62.4	-62.4	0	17.1	-17.1	0	130.9	-130.9	252	125.8	126.2
A0B3	0	79.5	-79.5	0	23.7	-23.7	0	169.7	-169.7	336	185.1	150.9
A1B0	103.5	87.4	16.1	17.3	19.0	-1.7	103.5	169.1	-65.6	0	152.3	-152.3
A1B1	103.5	82.7	20.8	17.3	15.6	1.7	103.5	142.1	-38.6	168	118.7	49.3
A1B2	103.5	85.4	18.1	17.3	16.3	1	103.5	138.2	-34.7	252	131.5	120.5
A1B3	103.5	94.5	9	17.3	17.4	-0.1	103.5	160.8	-57.3	336	119.5	216.5
A2B0	172.5	128.8	43.7	28.5	24.7	3.8	172.5	223.3	-50.8	0	195.9	-195.9
A2B1	172.5	111.0	61.5	28.5	20.5	8	172.5	183.4	-10.9	168	164.1	3.9
A2B2	172.5	141.0	31.5	28.5	22.6	5.9	172.5	220.8	-48.3	252	223.4	28.6
A2B3	172.5	82.7	89.8	28.5	16.5	12	172.5	140.2	32.3	336	135.3	200.7
A3B0	241.5	106.4	135.1	37.5	15.7	21.8	241.5	174.7	66.8	0	121.0	-121
A3B1	241.5	129.7	111.8	37.5	20.7	16.8	241.5	233.2	8.3	168	196.0	-28
A3B2	241.5	123.7	117.8	37.5	21.3	16.2	241.5	230.1	11.4	252	194.2	57.8
A3B3	241.5	112.6	128.9	37.5	17.6	19.9	241.5	176.0	65.5	336	146.7	189.3

续上表

处理组合	Mn			Cu			Zn			Mo		
	投入	输出	盈亏	投入	输出	盈亏	投入	输出	盈亏	投入	输出	盈亏
A0B0	0	137.3	-137.3	0	95.0	-95	0	309.8	-309.8	0	0.3	-0.3
A0B1	1738.8	116.5	1622.3	1209.6	95.8	1113.8	1837.5	300.8	1536.7	80.7	0.3	80.4
A0B2	2415	178.2	2236.8	1680	111.7	1568.3	2362.5	345.3	2017.2	161.4	0.4	161
A0B3	3091.2	207.7	2883.5	2150.4	157.8	1992.6	3037.5	479.4	2558.1	242.1	0.5	241.6
A1B0	0	278.9	-278.9	0	155.7	-155.7	0	535.4	-535.4	0	0.3	-0.3
A1B1	1738.8	321.2	1417.6	1209.6	125.6	1084	1837.5	429.2	1408.3	80.7	0.5	80.2
A1B2	2415	241.9	2173.1	1680	108.5	1571.5	2362.5	417.6	1944.9	161.4	0.3	161.1
A1B3	3091.2	204.3	2886.9	2150.4	146.7	2003.7	3037.5	429.2	2608.3	242.1	0.4	241.7
A2B0	0	516.5	-516.5	0	168.5	-168.5	0	626.1	-626.1	0	0.3	-0.3
A2B1	1738.8	257.0	1481.8	1209.6	150.8	1058.8	1837.5	517.7	1319.8	80.7	0.5	80.2
A2B2	2415	389.7	2025.3	1680	164.9	1515.1	2362.5	517.4	1845.1	161.4	0.3	161.1
A2B3	3091.2	184.9	2906.3	2150.4	108.0	2042.4	3037.5	365.0	2672.5	242.1	0.4	241.7
A3B0	0	233.0	-233	0	131.0	-131	0	449.1	-449.1	0	0.2	-0.3
A3B1	1738.8	339.5	1399.3	1209.6	140.8	1068.8	1837.5	535.4	1302.1	80.7	0.3	80.4
A3B2	2415	331.2	2083.8	1680	145.0	1535	2362.5	558.6	1803.9	161.4	0.3	161.1
A3B3	3091.2	279.3	2811.9	2150.4	130.2	2020.2	3037.5	428.3	2609.2	242.1	0.5	241.7

注：N、P、K 单位为 kg/hm^2，Zn、Cu、B、Mn、Mo 单位为 g/hm^2。

肥施用的增加，亚麻从土壤中吸收的磷肥呈抛物线变化，A1 水平的吸收量低于A0 水平，而 A2 水平的吸收量高于 A3 水平，但二者均高于 A0 水平。在 A0 水平，土壤磷肥水平个别有亏空；到 A1 水平，土壤中磷肥全部出现盈余。

K：在 A0 中，随着微肥施用的增加，亚麻从土壤中带走的钾肥渐渐增多，其它 3 个水平，随着微肥施用的增加，亚麻从土壤中吸收的钾肥无规律。随着钾肥施用的增加，亚麻从土壤中吸收的钾肥也增加。到 A3 水平，土壤中钾肥才完全有所盈余。

微量元素：在 A0 下，随着微肥施用的增加，亚麻从土壤中带走的微肥量逐渐增多；而 A1~A3 水平下，随着微肥施用的增加，亚麻从土壤中吸收的微肥无规律。仅硼肥在 A3B1 土壤中有亏损外，其他均有盈余。

以上说明，试验所设计的各肥料施用量基本能满足亚麻生长的需要，而且达到一定的水平后，土壤中各肥料有所盈余。

3.2.2.4 配合施肥对肥料利用率的影响

表 3-6　肥料利用率

Table 3-6 Efficiency of fertilizer utilization of flax in balanced fertilization

处理组合	N	P	K	处理组合	B	Mn	Cu	Zn	Mo
A1B0	26.7%	18.5%	54.6%	A0B1	-8.2%	-1.2%	0.07%	-0.49%	0
A1B1	21.4%	-9.2%	20.4%	A0B2	0	1.7%	0.99%	1.50%	0.06%
A1B2	22.2%	-4.6%	7.1%	A0B3	17.6%	2.3%	2.92%	5.58%	0.08%
A1B3	14.5%	-36.4%	-8.6%	A1B1	-20.0%	2.4%	-2.49%	-5.78%	0.25%
A2B0	40.0%	31.2%	64.2%	A1B2	-8.3%	-1.5%	-2.81%	-4.99%	0
A2B1	29.3%	11.6%	36.2%	A1B3	-9.8%	-2.4%	-0.42%	-3.50%	0.04%
A2B2	45.6%	19.3%	52.1%	A2B1	-18.9%	-14.9%	-1.46%	-5.90%	0.25%
A2B3	1.9%	-25.3%	-17.1%	A2B2	10.9%	-5.3%	-0.21%	-4.60%	0
A3B0	19.3%	-0.3%	25.7%	A2B3	-18.0%	-10.7%	-2.81%	-8.60%	0.04%
A3B1	28.7%	9.3%	46.5%	A3B1	44.6%	6.1%	0.81%	4.70%	0.12%
A3B2	25.4%	11.2%	41.1%	A3B2	29.0%	4.1%	0.83%	4.63%	0.06%
A3B3	13.7%	-16.3%	2.6%	A3B3	7.6%	1.5%	-0.04%	-0.68%	0.12%
均值	24.1%	0.8%	27.1%	均值	2.21%	-1.49%	-0.39%	-1.51%	0.09%

肥料利用率是反映作物、土壤、肥料之间关系的动态参数，也是用来检验施肥量与施肥方法是否科学合理的指标。吸元素量为单位面积上施用该元素情况下作物吸收的该元素量之和，土壤贡献元素量为单位面积上不施该元素情况下作物吸收的该元素量之和，肥料利用率为（(吸元素量-土壤贡献元素量）/施用元素量）×100%。从表 3-6 可以看出肥料利用率的情况，各处理组合中，N 肥以 A2B2、A2B0 的利用率较高，达到 40%以上，而 A2B3 水平的较低，仅有 1.9%；P 肥以

A2B0 的较高，达到 31.2%，而 A1B3 的最低，仅有-36.4%；K 肥以 A2B2、A1B0 与 A2B2 的较高，达到 50%以上，而 A2B3 与 A1B3 较低，利用率均小于 0。B、Mn 肥均以 A3B1 的较高，分别达到 44.6%与 6.1%，Cu、Zn 肥均以 A1B2 的较高，分别达到 2.92%与 5.58%，Mo 肥则以 A1B3 的较高，达到 0.25%。总体上说，在此施肥水平条件下，NPK 肥利用率均以 A2 水平的达到峰值。微肥利用率中 B、Mn、Zn 肥以 B2 水平达到峰值，而 Cu 与 Mo 肥则分别以 B3 与 B1 水平最高。亚麻对大量元素中钾、氮肥的利用率较高，磷肥的相对较低；对微肥的利用率以硼肥较高，而锌肥较低；且 NPK 肥的利用率显著高于微肥的利用率。从表 5 看出微肥（除 Mo 肥外）的利用率较多出现负值，而 PK 肥中的利用率仅个别出现负值，N 肥则无。上述结果表明，相对于亚麻吸收土壤养分元素来说，试验土壤中微肥（除 Mo 肥外）含量较丰富，而 NPK 肥相对较欠缺。NPK 肥的利用率以 A2B0、A2B2 等处理组合较好，而微肥的利用率则以 A3B1、A3B2 等处理组合较好。

3.3 讨论与小结

苎麻吸收氮、钾较多，磷较少。施用氮、磷、钾肥分别可促进苎麻干物质积累和所施元素的吸收，提高所施元素占三元素吸收量的比例和在植株体内的浓度。尤其是氮、钾有相互促进吸收，增产作用更明显。苎麻纤维产量与干物质和氮、磷、钾积累量呈显著或极显著正相关。但生产单位重量纤维吸收的氮、磷、钾不是不变的，产量提高，生产单位重量纤维所吸收的氮、磷、钾更多，特别是氮素营养最明显。因此，增施肥料是提高产量的重要途径，但施用量应合理，才能获取最佳经济效益[35]。本试验中亚麻对 NPK 的平均吸收量以 K 最多，N 居其次，P 最少，N 肥的吸收呈抛物线型（图 3-1），K 肥呈直线型（图 3-3），说明亚麻对 N、K 肥的吸收量较大，特别是 K 肥的吸收，二者间也存在密切的相关性，以致亚麻原茎与纤维产量一直呈上升趋势。

王朝云等人认为施氮肥的各处理苎麻植株叶、皮、骨中 N 浓度明显高于无氮处理，说明施氮肥有效地提高苎麻植株体内 N 浓度。施磷肥的各处理苎麻植株体内 P_2O_5 浓度高于无磷的 NK 处理，但低于不施任何肥的 CK，说明在施氮、钾肥条件下，才出现了苎麻植株 P_2O_5 浓度低，表现出缺磷，而不施肥的 CK 麻苎植株中 P_2O_5 浓度高，但 N、K_2O 浓度皆低，说明缺的主要是氮、钾养分。施钾肥的各处理苎麻植株中 K_2O 浓度基本上都高于无钾肥处理，说明施钾肥能有效地提高苎麻植株中 K_2O 浓度[36]。本试验中 N：P 比为 1：0.2，与试验设计水平相符合，说明 N、P 施用量及配比较合适。而植株吸磷量依次为 A0>A2>A1>A3（图 3-2），可能是由于没有施用 NK 肥，亚麻从土壤中大量吸收 P 以促进根系的生长，从而有利于亚麻从土壤中吸收 N、K 肥；而施适量 NPK 肥，则有利于亚麻吸收 P 肥。而 N：K 比为 1：1.8，远高于试验所设计的水平，可能是由于亚麻对钾元素的奢侈吸

收，因为前二章所述 NPK 在 A3 水平已经使得亚麻原茎与纤维产量下降，亚麻对 N、P 的吸收量持平或下降，而对 K 的吸收量却仍上升。而李彩凤等人也证实了生产中应重视钾肥的施用，但要避免过量[20]。

亚麻对微肥的平均吸收量依次为：Zn>Mn>B>Cu>Mo，其 Zn：Cu：B：Mn：Mo 之比为 1：0.3：0.3：0.6：0.0008。可见实际植株养分比例与设计的比例有所差异。而土壤中除 Mo 以外的其他微肥相对较丰富（表 3-6），因此，需适当降低各微肥的配比及施用量，亚麻对钼的需要量虽少，但必须施用。

肥料的配合施用使得亚麻对各元素的吸收既有促进也有抑制作用（图 3-17～3-24），同时各元素间存在协同作用与拮抗作用，正是因为这些作用，以致施用不同处理组合的肥料使得亚麻理论产量与实际所得产量不符合。同时印证了前二章不同量 NPK 肥与微肥的配合施用对亚麻原茎与纤维产量有互作效应。

亚麻生长的土壤偏酸性（表 3-3、4），但生长状况良好，验证了亚麻是一种能适应于酸性土壤生长的作物[34]。亚麻生长后土壤 pH 升高，可能是由于亚麻根系能分泌某些物质到土壤中所致。

施肥不当或滥用肥料不仅对土壤、植物养分平衡失调，作物产量与品质构成威胁，而且更重要的是作物吸收后所残留的肥料随着灌水或降水而产生径流、淋溶或侧渗，其累积效应对土壤和地表水、地下水易于造成污染，从而影响土壤环境与农业生态系统的稳定性、可持续性发展[37]。土壤 pH 值过高或过低，常使土壤元素有效性发生变化，从而导致植株某些元素的失调[38]。影响土壤中微量元素有效性的土壤条件包括土壤酸碱度、氧化还原电位、土壤通透性和水分状况等，其中以土壤酸碱度影响最大。土壤中的铁、锌、锰、硼的可给性随土壤 pH 的升高而减低，而钼的有效性则呈相反的趋势[39]。土壤微量元素以各种形态存在，这些形态因土壤环境条件改变而改变。因此，微量元素肥料施入土壤后将会有诸如吸附、固定、扩散和移动等一系列物理、化学过程以及微量元素之间相互作用的产生，从而直接影响植物对微量元素的吸收利用，自然也影响微量元素肥料对土壤微量元素的供给水平。从施用量与植株吸收量的理论值来计算（表 3-4、5），各小区（部分未施用肥料除外）土壤中大部分元素含量应有盈余，但与实际所测得的小区土壤元素含量不相合，说明施用的肥料可能存在较明显的流失。

本试验中，亚麻对 NPK 肥的利用率以 A2B0、A2B2 等处理组合较好，而微肥的利用率则以 A3B1、A3B2 等处理组合较好。亚麻生长后，A3B1、A2B2 处理的土壤肥力保持较好，仅有 2 种养分含量下降较多，A2B0、A3B0 处理的居其次，仅有 4 种养分含量下降较多，A2B1、A3B2 处理的养分有 5 种指标下降较多，而其他处理的养分含量大多数下降得比较多。

参考文献

[1] 万经中, 周祥椿. 亚麻栽培与加工[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998, 2: 9—14.

[2] 刘飞虎, 刘其宁. 云南冬季纤维亚麻栽培[M]. 昆明: 云南民族出版社, 2006, 3: 8—15.

[3] 杨光雁, 黄纪文. 云南亚麻生产优势及特点[J]. 中国麻作, 2003, 25 (3): 143—145.

[4] 杨光雁, 黄纪文. 云南亚麻生产存在的问题及应对措施[J]. 中国麻作, 2003, 25 (6): 275—278.

[5] 陆景陵. 植物营养学[M]. 北京: 科学出版社, 1994, 17—44.

[6] 吴平. 植物营养分子生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2001, 163—164.

[7] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001, 4: 28—31.

[8] 王夔. 生命科学中的微量元素[M]. 北京: 中国计量出版社, 1996, 202—712.

[9] Mostafa, S. H. A., Kineber, M. E. A. & Zedan, S. Z. Effect of phosphorus fertilizer levels and some microelements on flax yield and quality[J]. *Egyptian Journal of Agricultural Research*. 1998, 76 (1): 163—173.

[10] Sharief, A. E. Performance of some flax cultivars in response to nitrogen fertilizer rates and yield analysis[J]. *Bulletin of Faculty of Agriculture*, University of Cairo. 1999, 50 (3): 394—415.

[11] Tikhomirova, V. Y. The physiological basis for the response of flax varieties to fertilizers[J]. *Vestnik Sel'skokhozyaistvennoi Nauki*, Moscow, USSR. 1986, (9): 83—88.

[12] 范有君, 杨骥, 闫志山, 等. 东北高纬度地区亚麻高产栽培技术研究[J]. 中国麻业, 2003, 25 (2): 68—71.

[13] 李意坚. 氮、磷、锌肥对纤维亚麻产量的效应[J]. 土壤, 2002, 5: 286—288.

[14] 傅道福, 金关荣, 胡镇修. 春播亚麻高产栽培技术试验[J]. 浙江农业科学, 2005, (5): 391—393.

[15] 聂永清, 夏威, 张玲, 等. 亚麻专用复混肥与亚麻产量关系的研究[J]. 新疆农业科学, 2002, 39 (2): 112—113.

[16] 徐丽珍, 关凤芝. 氮磷钾肥对亚麻纤维细胞发育的影响[J]. 中国麻作, 2000, 22 (4): 12—14.

[17] 潘廷慧, 张振福, 李殿一, 等. 亚麻干物质积累与氮磷钾吸收分配的研究[J]. 中国麻作, 1996, 18 (1): 34—36.

[18] 李明, 李彩凤, 刘月辉, 等. 氮素水平对亚麻茎解剖构造及产量形成影响的研究[J]. 黑龙江农业科学, 1997, 4: 19—22.

[19] 徐文平，戴建军，李彩凤，等．磷复肥对亚麻养分积累和产量影响的研究[J]．现代化农业，2003，10：16－17.

[20] 李彩凤，李明，王克荣．钾对亚麻纤维产量和品质影响机理初探[J]．东北农业大学学报，1998，29 (1)：21－26.

[21] 李彩凤，李明，刘锦红，等．钾对亚麻纤维产质量的作用与效果[J]．黑龙江纺织，1996，(66)：33－34.

[22] 关凤芝，宋宪友，王殿奎．微肥对亚麻原茎产量影响的初步研究[J]．中国麻作，1999，21 (1)：37－40.

[23] 关凤芝，徐丽珍，王玉富，等．主要栽培因子对亚麻纤维发育规律的影响初探[J]．黑龙江农业科学，1999，6：9－12.

[24] 贾霄云，武跃通，燕玲，等．不同生态因子对亚麻韧皮纤维发育及品质的影响[J]．内蒙古农业科技，1999，4：17－18.

[25] 王少怀，杨学芬，李成惠，等.亚麻原茎高产栽培综合农艺措施数学模型的研究[J]．中国麻业，2003，25 (1)：14－21.

[26] 付兴，李明，李冬梅，等．亚麻纤维特点及其与产量、品质关系研究进展[J]．中国麻作，2004，26 (2)：60－64.

[27] 李明．亚麻原茎及纤维产量与不同生育期氮、磷、钾的相关分析[J]．中国麻作，1996，18 (2)：37－39.

[28] Yagodin, B. Utilization of nitrogen by fibre flax plants and yield of straw with different rates of nitrogen fertilizer[J]. *Izvestiya~Timiryazevskoi~Sel`skokhozyaistvennoi~Akademii*. 1991, (1): 89－94.

[29] 吕善模．麻类纤维标准与检验[M]．北京：中国标准化协会纤维分会，1993，9：246.

[30] 潘廷慧，张振福，李殿一，等．亚麻纤维产量构成因素的分析[J]．中国麻作，1996，18 (3)：29－31.

[31] 张福修，关凤芝，王玉富，等．密度、肥料对亚麻纤维产质量的影响[J]．中国麻作，1996，18 (4)：21－23.

[32] 张志．稀土微肥及亚麻种子包衣在亚麻生产中的作用[J]．高师理科学刊，2000，20 (4)：53－55.

[33] 李明，王克荣．关于亚麻韧皮纤维生长发育与阶段划分的探讨[J]．中国麻作，1996，18 (1)：29.

[34] 黄昌勇．土壤学[M]．北京：中国农业出版社，2001，5：175－187.

[35] 王朝云，严文淦，揭雨成．苎麻养分吸收动态及施肥效果的研究[J]．中国农业科学，1994，27 (2)：62－71.

[36] 王朝云，严文淦，揭雨成. 苎麻施肥与养分吸收利用的研究[J]. 耕作与栽培，1992, (4): 58－60.

[37] 王庆仁，李继云. 论合理施肥与土壤环境的可持续性发展[J]. 环境科学进展，1999, 7 (2):116－124.

[38] 梁颁捷，林毅，朱其清，等. 福建植烟土壤 pH 值与土壤有效养分的相关性[J]. 中国烟草科学, 2001, (1): 25－27.

[39] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京：中国农业出版社, 2000, 12: 115.

致　谢

本文是在导师刘飞虎教授的精心指导下完成的。从论文的选题、实验设计到整个研究的诸多环节以及论文的修改，都倾注了刘老师无数的心血。刘老师博大的胸怀，谦虚仁厚的为人之道，渊博的学识及严谨的治学态度对我影响至深，并将让我受益终生。

衷心感谢李宗菊老师、刘齐元老师、曾淑华、刘小莉、黄海泉、刘明求、付乾堂、侯思名、杨建兵、丁小维、范志祥、杜威、吴丽艳、杨正安、杜光辉、段继强、李建永、宝元康、万德胜等同门师兄弟姐妹，他们不但在学习和工作上给予了很多帮助，生活上也关照甚多，生活在这样一个团结友爱的集体中，真是一段难忘的经历。

本研究是云南省科技攻关项目“云南冬季亚麻品种选育及种植技术研究与示范”的部分内容，在此感谢云南省科技厅在立项和经费方面的大力支持。

肖伏

2006 年 4 月