

## 摘 要

本试验选用我省生产上广泛使用及有代表性的 15 个品种, 试图通过品种试验(纤维发育观察、内源激素测定试验、碳氮积累试验、田间调查)及植物生长调节剂试验来阐述不同品种亚麻纤维发育规律、内源激素与纤维发育之间关系、碳氮积累与纤维发育关系以及植物生长调节剂对亚麻产质量影响机理。

研究发现各品种纤维发育与麻株生长均具有协同性, 同一茎段内不同节间茎粗、纤维细胞分化数量、纤维径向大小、纤维壁厚都随株高和干物质的增加而增加, 在时间分布上表现出连续性。纤维发育在茎向空间分布上表现出明显的位置效应, 不同节间纤维发育是不同步进行的, 由基端向颈端依次发生, 而且不同节间在发育速度上也是不一致的, 麻株各茎段发育进程因此存在差异。

不同基因型亚麻成熟茎中部纤维发育存在差异, 高纤品种茎粗、茎截面细胞数、纤维细胞壁厚、纤维长短径均大于中纤品种。尽管上油用亚麻茎截面纤维细胞最多, 但是其细胞最小, 细胞壁最薄。兼用亚麻的纤维发育也较差。

纤维细胞数与长麻率、强度、可挠度、原茎产量、长麻产量呈正相关。纤维细胞壁厚与各产质量性状均呈正相关关系, 其中与分裂度呈显著正相关关系 ( $r=0.52^*$ ), 而与纤维含量 ( $r=0.75^{**}$ )、长麻率 ( $r=0.68^{**}$ )、长麻产量 ( $r=0.85^{**}$ ) 相关达到极显著水平, 纤维细胞腔宽与各性状均呈负相关关系, 其中与纤维细胞壁厚呈显著负相关关系 ( $r=-0.54^*$ ), 与原茎产量 ( $r=-0.66^{**}$ )、长麻产量 ( $r=-0.66^{**}$ ) 负相关达到极显著水平。

亚麻叶片、茎中氮含量变化均呈下降趋势。成熟期亚麻茎杆内氮素含量与茎中部纤维细胞数呈显著正相关 ( $r=0.64^*$ ), 氮含量与纤维腔宽成负相关关系。各品种叶片中糖含量呈明显的增加趋势, 各品种茎中糖含量变化规律较为一致, 均是先不断的升高, 在开花期达到峰值, 而后下降至最低。叶片、茎中碳氮比动态变化随纤维生长发育均呈上升态势, 这种态势与径粗、细胞数、纤维长短径、纤维壁厚变化具有相对的一致性。青熟期茎中可溶性糖含量与纤维腔宽呈负相关关系, 与纤维壁厚呈正相关关系, 而与纤维数正相关达到极显著水平 ( $r=0.67^{**}$ )。

高纤品种茎尖叶中  $GA_3$  含量随纤维生长发育表现为先下降再上升, 在出苗后第 51 天时达到最高点, 而后迅速下降; 中纤品种先保持上升趋势, 在出苗后第 40 天达最大, 然后逐渐降低至最低。高纤品种 IAA 含量变化为先下降再上升然后再下降, 其中最后一阶段含量急剧下降, 中纤品种也为先下降再上升而后再下降, 只不过升降的趋势出相对较平缓。随生育期不同类型品种亚麻基部、中部韧皮纤维中各激素含量的动态变化具有相一致的规律, 均呈先下降再上升“V”型变化。纤用品种  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量在茎中分布为: 花蕾>茎中部麻皮>茎基部麻皮>茎尖叶, 而油用、兼用品种表现为: 茎中部麻皮>茎基部麻皮>茎尖叶>花蕾。

长麻产量、原茎产量与  $(IAA+GA_3)/ZR$  相关分别达到显著水平 ( $r=0.78^*$ )、极显著水平 ( $r=0.87^{**}$ ), 全麻产量与其相关关系也接近显著水平 ( $r=0.66$ )。原茎产量、全麻

产量、长麻产量与 GA、IAA、ZR、IAA+GA 均为正相关关系。纤维强度与 IAA、ZR、IAA+GA 相关达到极显著水平 ( $r=0.84^{**}$ ,  $0.84^{**}$ ,  $0.86^{**}$ ), 纤维分裂度与 GA、ZR、IAA+GA 相关达到显著水平 ( $r=0.79^{*}$ ,  $0.79^{*}$ ,  $0.75^{*}$ ), 纤维强度、分裂度与可挠度成负相关关系。

乙烯利快速生长期处理使中早熟品种阿里安和中熟品种黑亚 11 号的原茎产量获得极显著提高, 阿里安和维京的长麻率均有所增加, 乙烯利使阿里安的纤维强度略有增加, 而黑亚 11 号和维京的纤维强度值下降较大。

赤霉素处理对三品种的株高和茎粗影响都不大, 对三个品种的纤维含量影响也不大, 品质指标显示, 赤霉素处理增加了黑亚 11 号的纤维强度, 但是其它两个品种下降。

枞形期喷施多效唑使三个品种的原茎产量的下降都在 10% 以上。品质指标显示阿里安和黑亚 11 号的纤维强度是增加的, 而维京的纤维强度下降。现蕾前喷洒多效唑同样导致三个品种原茎产量下降, 但是都没有达到显著水平。从品质指标看, 维京和阿里安的可挠度下降, 而二者的纤维强度增加, 黑亚 11 号的处理效应正好相反。

关键词 亚麻; 纤维; 激素; 产量; 品质

## Study on the development of flax fibre and effect of PGRs on the yield and quality of flax

### Abstract

This test adopts 15 varieties which have representation and have been widely planted in production of HeiLongJiang province, and tries to expatiate on developmental rules of flax fibre through experiments of varieties and plant growth regulator substance in different varieties, relationships between endogenous hormones and fibre growth, relationships between accumulation of C and N and fibre growth, and mechanism of plant growth regulator substance affecting yield and quality of flax.

It showed that fibre development of each cultivar has the consistency with growth of flax plant. Stem diameter, fiber cell quantity in cross-section of stem, long and short diameter of fiber, and fiber cell wall thickness all increase with adding of plant height and dry matter of different leaf places in the same part of stem, and all of them express continuity in time distribution. Flax fibre growth appears obvious place effect in axis space distribution, and it is not synchronous in different leaf places. It appears in turn from bottom to top, and developmental rates are also not consistent in different leaf places. So the developmental courses of each part of stem of flax plant were different.

There are differences in fibre development of mature stem of different genotypes, and stem diameter of high flax varieties, fiber cell quantity in cross-section of stem, fiber cell wall thickness, long or short diameter of fiber are all more than moderate flax varieties. The number of fiber cells of stem section of linseed is the most, but these cells are smallest, and wall of the cell is thinnest. The growth of dual-purpose flax is also weak.

The number of fiber cells shows positive correlation with some factors, which include long fiber ratio, intension, flexibility, straw yield, and yield of long fiber. Fiber cell wall thickness shows positive correlation with each character of yield and quality, and it appears significant positive correlation with division degree ( $r=0.52^*$ ), fiber content ( $r=0.75^{**}$ ), long fiber ratio ( $r=0.68^{**}$ ) and yield of long fiber ( $r=0.85^{**}$ ). Short diameter of cavity shows negative correlation with each character, significant negative correlation with fiber cell wall thickness ( $r=-0.54^*$ ), very notable negative correlation with straw yield ( $r=-0.66^{**}$ ) and yield of long fiber ( $r=-0.66^{**}$ ).

Nitrogen content of flax shows a declining trend in leaves and stems. Nitrogen content of flax stems has a significant positive correlation with the number of fiber cells in the middle of stem in autumn ( $r=0.64^*$ ), negative correlation with short diameter of cavity. Saccharine content in leaves of each cultivar has an increasing trend, which is consistent with that of

stems, reaching peak value in blooming stage, and declining to the bottom in consequence. Dynamic change of C/N in leaves and stems rise with fiber development. It has a relative consistency with stem diameter, cells number, long or short diameter of fiber, and fiber cell wall thickness. In green-ripe stage solubility saccharine content of stems shows negative correlation with short diameter of cavity, positive correlation with fiber cell wall thickness, and significant positive correlation with the number of fiber cells ( $r=0.67^{**}$ ).

With the development of fiber,  $GA_3$  content in shoot declines firstly to high fiber cultivars, then increases, which takes 51 days to reach the peak after seedling, then declines quickly; moderate fiber cultivars also keep an ascending trend firstly, reaching the peak after seedling about 40 days, and then declines to the bottom gradually. IAA content of high fiber cultivars changes according to the sequence that declining firstly, rising secondly, and declining lastly, especially the content declines rapidly in the last period. The rules of moderate fiber cultivars are alike, but the extent of changing is relatively mild. For different cultivars of flax, dynamic change of each hormones content in bottom and middle part of stem are consistent, namely show the changing trend like letter "V". Distribution of  $GA_3$ , IAA, ZR content of fiber cultivars in the stem is: bud > phloem of middle stem > phloem of bottom stem > shoot, however the trend in the linseed and dual-purpose cultivars was: phloem of middle stem > phloem of bottom stem > shoot > bud.

Relationship between yield of long fiber and  $(IAA+GA)/ZR$  reaches significant level ( $r=0.78^*$ ), and which between straw yield and  $(IAA+GA)/ZR$  reaches great significant level ( $r=0.87^{**}$ ). Relationship between yield of total fiber and  $(IAA+GA)/ZR$  is also close to significant level ( $r=0.66$ ). Straw yield, yield of total fiber, yield of long fiber all appear positive correlation with these indexes, GA, IAA, ZR, IAA+GA. There are great significant relationship between fiber intension and the content of IAA, ZR, IAA+GA ( $r=0.84^{**}$ ,  $0.84^{**}$ ,  $0.86^{**}$ ), and there are only significant relationship between fiber division degree and the content of GA, ZR, IAA+GA ( $r=0.79^*$ ,  $0.79^*$ ,  $0.75^*$ ). Fiber intension and division degree have negative correlation with flexibility.

Using ETH in quick growth stage makes straw yield of early variety Ariane and moderate variety HeiYa 11 improve greatly, and long fiber ratio of Ariane and Viking all increase. It also increases fiber intension of Ariane appreciably, but declines that of HeiYa 11 and Viking greatly.

There is not obvious effect on plant height and stem diameter of three varieties by using gibberellins, so are fiber content. Quality indexes show that gibberellin treatments increase the fiber intension of HeiYa 11, but which is declined for two other varieties.

Declining of straw yield for three varieties is more than 10% by spraying pp333 in slowly-growth stage. Seen from the quality indexes, fiber intension of Ariane and HeiYa 11 is incremental, but which of Viking is digressive. Spraying pp333 in bud visible also results in decline of straw yield for three varieties, but they don't reach the significant level. For the

## ABSTRACT

---

quality indexes, flexibility of Viking and Ariane declines, but fiber intension of them is incremental. Effect of HeiYa 11 is just contrary.

Candidate: FU Xing

Specialty: Crop Culture and Farming System

Supervisor: Prof. LI Ming

**Keyword** flax, fiber, hormone, yield, quality

## 目 录

### └─┬ 文摘

### └─┬ 英文文摘

### └─┬ 1 前言

#### └─┬┬ 1.1 研究目的和意义

#### └─┬┬ 1.2 国内外研究动态

##### └─┬┬┬ 1.2.1 关于亚麻纤维细胞发育研究

##### └─┬┬┬ 1.2.2 亚麻纤维发育与内源激素关系

##### └─┬┬┬ 1.2.3 环境条件、栽培措施、脱胶过程对纤维发育及产质量影响

#### └─┬┬ 1.3 本论文拟解决的问题

### └─┬ 2 材料与方法

#### └─┬┬ 2.1 品种试验

##### └─┬┬┬ 2.1.1 试验材料

##### └─┬┬┬ 2.1.2 测定调查项目及方法

#### └─┬┬ 2.2 植物生长调节剂试验

##### └─┬┬┬ 2.2.1 试验材料

##### └─┬┬┬ 2.2.2 试验设计

##### └─┬┬┬ 2.2.3 测定项目及方法

### └─┬ 3 结果与分析

#### └─┬┬ 3.1 不同类型品种亚麻纤维发育形态观察

##### └─┬┬┬ 3.1.1 工艺成熟期不同类型品种亚麻纤维差异分析

##### └─┬┬┬ 3.1.2 不同类型品种亚麻茎向纤维发育比较

##### └─┬┬┬ 3.1.3 生育进程中固定节间纤维发育动态分析

##### └─┬┬┬ 3.1.4 纤维发育与产质量关系

#### └─┬┬ 3.2 亚麻植株碳、氮积累与纤维发育的关系

##### └─┬┬┬ 3.2.1 氮含量与纤维发育关系

##### └─┬┬┬ 3.2.2 糖含量与纤维发育关系

##### └─┬┬┬ 3.2.3 碳/氮比与纤维发育关系

#### └─┬┬ 3.3 亚麻内源激素与纤维发育之间关系

##### └─┬┬┬ 3.3.1 亚麻幼嫩组织内源激素动态变化

##### └─┬┬┬ 3.3.2 亚麻韧皮纤维内源激素动态变化

##### └─┬┬┬ 3.3.3 内源激素与纤维产质量之间关系

#### └─┬┬ 3.4 植物生长调节剂对亚麻产质量影响

##### └─┬┬┬ 3.4.1 植物生长调节剂对亚麻生长的影响

##### └─┬┬┬ 3.4.2 植物生长调节剂对亚麻生理指标的影响

##### └─┬┬┬ 3.4.3 植物生长调节剂对亚麻农艺性状及产质量的影响

### └─┬ 4 讨论

#### └─┬┬ 4.1 关于亚麻纤维发育规律

#### └─┬┬ 4.2 关于碳氮积累与亚麻纤维发育关系

#### └─┬┬ 4.3 关于亚麻内源激素与纤维发育关系

|     |                      |
|-----|----------------------|
| 4.4 | 关于植物生长调节剂对亚麻产质量的影响机理 |
| 5   | 结论                   |
|     | 参考文献                 |
|     | 图版                   |
|     | 攻读硕士学位期间发表学术论文       |
|     | 致谢                   |

# 1 前言

## 1.1 研究目的和意义

亚麻是一种重要的经济作物，起源于中亚和地中海地区，是除大麦和小麦之外最古老的栽培作物之一。亚麻纤维是一种天然纤维，它的纤维强韧、柔细，具有良好的色泽，可纺支数高，这些特征使其作为重要轻纺原料的地位不可动摇，而且其纤维织物具有吸湿性强、散热性快、防腐抑菌能力强、消除静电等独特优点，各种亚麻制品因此倍受国内外消费者青睐。

我国亚麻生产在经历了 90 年代中期低潮后，从 1998 年起随着国际亚麻市场的持续走高，国内种植面积由低谷时的 5 万  $\text{hm}^2$  扩大到 2003 年的 14.3 万  $\text{hm}^2$ ，位居世界第一位（FAO），原茎产量  $3500\text{kg}/\text{hm}^2$  以上，较建国初期增长了 2~3 倍。亚麻产区也由黑龙江发展到内蒙古、新疆、甘肃、云南、湖南、浙江、宁夏等地区。目前纤维亚麻种植面积位居国内各种纤维麻类第一位。

我国现有亚麻纺织企业 30 多家，每年的纤维需求量在 8~10 万吨，而我国现有的 140 余家亚麻原料企业年纤维产量仅 4~5 万吨，缺口 50% 以上（王玉富，2001），由此可以预见我国亚麻种植业还有很广阔的发展空间。

近年来，优质已成为农产品立足国内外市场的先决条件，随着国民经济发展和人民生活水平的不断提高，特别是我国加入 WTO 后，亚麻生产对优质、高产的要求越来越强烈。但由于多种原因，我国的亚麻生产同亚麻生产先进国家相比还有很大的差距。首先就产量而言，我国亚麻的原茎产量  $3000\sim 4000\text{ kg}/\text{hm}^2$ ，纤维产量  $525\text{ kg}/\text{hm}^2$ （王兆木等，2001），而法国、荷兰、比利时的原茎产量在  $6700\sim 7500\text{kg}/\text{hm}^2$ ，纤维产量  $1200\sim 1800\text{ kg}/\text{hm}^2$ ，这些均显著高于我国（关凤芝，2001；王玉富等，2001）。其次，在纤维品质上，西欧主要推广品种混合麻率达到 33%，俄罗斯高纤品种长麻率高达 30%，这相当于我国的全麻率（王玉富等，1999）。我国亚麻纤维强度为  $175\sim 210\text{N}$ ，比国外低  $65\sim 80\text{N}$ （李明，1996）。我国亚麻原料生产在品质和产量上的欠缺已成为影响我国亚麻产业健康发展的重要限制因素。为扭转我国亚麻生产长期在低质、低产、低效水平上徘徊的这种不利局面，将我国亚麻产业的规模优势和资源优势转化为明显的效益优势和竞争优势，必须加强亚麻纤维产量品质形成与调控规律的研究。

纤维发育问题作为亚麻应用基础研究的核心问题，在整个亚麻科学研究体系中具有重要的地位，不断深入、系统的研究可为优质高纤新品种的选育及“二高一优”栽培技术的发展奠定坚实的理论基础。

内源激素作为一种信号影响到植物的各种生理生化过程。开展亚麻纤维发育规律及内源激素动态变化规律的研究，可以深化对纤维分化、发育的认识，丰富亚麻栽培生理理论；随着植物生理生化研究的深入，植物生长调节剂的作用日益受到重视，并已形成

独特的化控栽培理论与技术，成为作物栽培学的新生长点，开展植物生长调节剂对亚麻产质量调控规律的研究，不但可以丰富亚麻栽培技术体系，还可为“二高一优”生产提供新的技术支持。

## 1.2 国内外研究动态

长期以来，国内外学者针对提高亚麻产量、改善纤维品质作了大量工作，分别从遗传变异、生理机制、生态环境因素以及栽培措施等方面做了大量研究。现就与本论文研究相关方面做如下综述。

### 1.2.1 关于亚麻纤维细胞发育研究

#### 1.2.1.1 纤维起源与发育

麻类韧皮纤维细胞发育是指其分生形成、伸长增粗、细胞壁加厚以及原生质体逐渐扩充直至解体消失等一系列生物学动态过程（黄敬芳等，1994）。但因基因型不同或同一麻茎不同部位，韧皮纤维发育又都会有所不同（曾寒冰，1980）。其中高纤品种韧皮部、木质部、纤维层的相对厚度要大于低纤品种，而髓腔半径相对小于低纤品种（李明等，2000）。

从植物学角度看，亚麻韧皮部的纤维起源于形成层或原形成层，在原形成层内纤维起源于纺锤状的原始细胞（Esau，1956），庄馥萃（2001）认为初生韧皮纤维来源于原形成层产生的原生韧皮部中胞质浓厚、较大的细胞，而 A.P.罗卡士（1975）认为纤维细胞是从皮层薄壁组织最内层——生长锥内的输导束鞘分化出来的。输导束鞘同形成层的活动之间存在拮抗作用，形成层的压迫作用加剧了输导束鞘的活动，使大量韧皮纤维细胞快速形成。

而从结构学角度分析，亚麻纤维的基本组成是由许多葡萄糖基连接起来的线形大分子。线形大分子互相平行，按一定的距离、相位、形状比较稳定的结合在一起，成为结晶态的很细的大分子束——基原纤，由若干根基原纤平行排列，结合在一起，其中粗一点的结晶态的大分子形成微原纤，由微原纤基本平行堆砌成更粗大的大分子束——原纤，最后由原纤堆砌成纤维。

人们为明确认识和研究方便，对亚麻韧皮纤维发育阶段进行了划分（关凤芝等，1993）。根据不同生育期纤维不同形态特征将韧皮纤维生长发育过程划分为四个阶段：纤维细胞分化伸长阶段（出苗到现蕾期），纤维细胞壁加厚阶段（现蕾期到绿熟期），纤维细胞成熟阶段（绿熟期到工艺成熟期），纤维细胞老化阶段（工艺成熟期到种子完熟期）（李明等，1996）。这种划分是以茎中部纤维细胞为代表，并不能完全代表其它部位纤维细胞发育。

#### 1.2.1.2 纤维形态结构及其与纤维品质形成的关系

随着亚麻纤维细胞的发育和细胞壁的充实，纤维细胞的形态结构和化学组成均发生一系列的变化，而且不同基因型间纤维细胞的结构和组成也存在差异，这些差异影响到纤维的品质。

纤维形态结构是影响纤维产量和品质的重要细胞学因素，亚麻纤维细胞成束的分布在茎的韧皮部内，20~40个纤维束均匀地分布呈一圈完整的环状纤维层。纤维束是由显著伸长而两端尖锐的许多纺锤形单纤维构成，处在不同部位和高度上的单纤维两端靠果胶质轴向搭接形成纤维束，纤维束间靠胶质相连（郑晓兰，2001），这既可使每个纤维束变得更加牢固，又保证了从一束过渡到另一束（A.P.罗卡士，1975）。同时一些单纤维细胞在生长时与临近分裂中的细胞协同生长，同时顶端侵入或滑动进入周围细胞中，这些彼此相互联络的单纤维使茎内形成了坚固完整的纤维网（李宗道，1980；卫德林，1986）。纤维束有四种基本形态：椭圆形、圆形、正切滑轮形（沿着茎的圆周拉长）、不规则形状，纤维束的形状具有稳定的遗传性。已经查明，无论是国内还是国外亚麻品种，韧皮纤维束均呈不大的椭圆形或正切滑轮形，这与边缘平滑、没有棱角的纤维束比较起来，纤维质量比较好。另外，在叶子很多的情况下可观察到大量的纤维束产生，由此推知纤维束的形成可能与叶子有关（卫德林，1986）。

因为亚麻单纤维较短，而且参差不齐，所以只能以束纤维的形态应用于纺织。早在20世纪三十年代前苏联学者就提出为培育有价值的亚麻品种，应使各个纤维束独立开来，而不应使它们连在一起，这在实践中已得到广泛证实。（卫德林，1986）。

一个单纤维就是一个独立的细胞，它是纤维束的基本组成单位，对于纤维产质量的形成具有重要影响。大量研究表明：单纤维细胞是向两端拉长而呈纺锤状的细胞，长度平均为4~60毫米，直径12~37微米。不同品种单纤维形态并不一致，高纤品种的单纤维细胞比低纤品种的略粗，且细胞壁略厚（李明等，2000）。

因为亚麻纤维的物理性质与细胞壁的结构有着密切的关系，亚麻超微结构的研究越来越受到重视。纤维细胞壁由胞间层、初生壁和次生壁组成，而次生壁又可分为三层或更多层。纤维发育过程中纤维细胞壁上孔洞、间断的客观存在，以及巨原纤粗细程度和扭曲度的差异是影响其单位长度重量，进而影响纤维产量和单纤维细胞细度高低的重要因素，也是导致纤维强力、断裂伸长率等品质性状发生不规则变化而不可忽视的细胞学因素（黄敬芳等，1994）。目前，关于纤维细胞次生壁的确切结构及其内部纤丝的方向变化仍存在争议。早期研究人员推测次生壁中至少有两层原纤维结构，纤丝相对于纤维表面的变化方向从+10°到-5°（Herzog，1930）。有的学者认为接近纤维表面的纤丝方向没有变化，次生壁4.5 μm深度中主要纤丝方向为向下10°（Davies和Bruce，1997）。而Bos等（1999）研究结果显示次生壁中结晶态纤维素微纤丝同纤维轴成+10°角。

此外，通过研究亚麻纤维的超分子结构及化学成分与上染率关系发现，亚麻纤维的微观结构甚至要比化学成分对其染色性能的影响要大，随着取向度，结晶度的升高，上染率将不断下降（史加强，1999；郭雅琳等，2002）。

### 1.2.1.3 纤维化学组成及其与纤维品质关系

纤维细胞壁的化学组成是以纤维素为基础。细胞壁中纤维素以及其它化学成分的含

量对亚麻纤维的工艺质量有着重要影响。龙德树等（1999）发现不同地区多个亚麻品种韧皮纤维化学成分存在差异，不同的基因型、环境条件是造成这种差异的主要原因，但不同的环境条件、栽培措施与纤维化学成分变化之间的关系，尚待进一步研究。

亚麻纤维中半纤维素含量愈低，纤维品质愈好。纤维中木质素含量同纤维机械性能有关，木质素含量愈高，纤维愈粗硬，发脆，缺乏弹性。纤维中木质素、半纤维素含量对染色性能也有很大的影响，上染率随着二者含量的增加而呈下降趋势（李宗道，1980；郭雅琳等，2002）。果胶是粘和许多单纤维成束的必须物质，适量果胶可增强纤维强度，因此脱胶过程中，不必将果胶全部除去，但过多果胶的存在会对亚麻深加工和利用形成很大的制约，脱胶后纤维中残留的果胶含量如果过高，那么纤维仍将很紧密的粘在一起，结果导致染色时染料渗透很困难，不易染透染匀（李宗道，1980；史加强，1999）。麻茎初步加工后的纤维，其脂肪与腊的含量不超过 1.25~1.75%，脂肪与腊含量同亚麻触感密切相关，如果用溶剂完全除去这些物质，纤维将变粗硬而失去光泽，缺乏柔软感（李宗道，1980）。

此外，加工程度对纤维化学成分含量影响也很大，精制纤维中纤维素含量可达 82.57%、木质素 3.65%、果胶质 2.04%，而粗制纤维中纤维素含量仅为 71.5%，木质素 6.02%、果胶质 8.15%（何裕昌等，1988）。

### 1.2.2 亚麻纤维发育与内源激素关系

尽管目前激素作用机理尚不十分清楚（张石城等，1999；许智宏，1999），但是植物激素对植物生长、发育、分化和衰老起着重要调节作用。研究表明植物激素同作物产质量的形成息息相关（刁家连等，1996；陈德华等，2000；董至新等，2001；赵春江等，2000），但前人关于亚麻激素方面的研究报道几乎为空白。

卡特（1975）曾提出，亚麻纤维的分化生长与来自叶片中的刺激和糖含量有关，但是人们仍不甚了解亚麻纤维分化的机理。深入研究植物激素的化学性质、作用机理和生理效应，既有助于深刻理解植物生命活动过程，又可为应用植物激素调控作物生长和发育提供理论依据。

90 年代前，公认的植物激素只有五大类：生长素类，赤霉素类，细胞分裂素类，脱落酸和乙烯。1998 年在日本东京召开的第 16 届国际植物生长物质会议上，水杨酸、油菜素甾醇类和茉莉酸类也被接受为植物激素（周晓舟，2000），多胺现在也被确定为植物激素（刘林德等，2002）。植物激素在体内含量非常低，同时由于植物体内组成复杂，相互共存的干扰组分很多，这使得鉴定和定量分析植物激素对测定技术的灵敏度和选择性有很高的要求。目前色-质谱法（GC-MS）、放射免疫法（RIA）、酶联免疫测定法（ELISA）应用较为广泛（周燮等，1985；赫冬梅等，2000；雷蕾等，2001）。

#### 1.2.2.1 植物激素与茎维管分化的关系

植物激素在维管分化中有着重要地位，尤其是生长素和激动素在对植物木质部和韧皮部比例关系、导管大小和密度、形成层敏感度、维管适应性等调控中起着重要作用。

IAA 作为一种内源生长素参与维管分化的所有方面（Aloni, 1995; Aloni 等, 2000）。

渠道假说提出因扩散作用而导致的生长素流动形成了一个生长素极性输送系统, 这个系统不仅促进生长素的运动, 还可在细胞间形成一个用于生长素流动的狭窄渠道。生长素通过渠道流动穿过分生组织和薄壁细胞, 形成了从叶到根整齐连续的维管束 (Sachs, 1981)。研究发现, 在双子叶松树和白杨茎中生长素的主要运输路径是在形成层中 (Uggla 等 1996, 1998; Sundberg 等, 2000),

茎中韧皮部分化要受较低生长素水平的调控 (Aloni 1987, 1995)。在组织培养中, 低水平生长素用来促进筛管分子, 但不能促进导管分子, 高水平生长素则可促进木质部和韧皮部分化 (Aloni 1980, 1987), 有试验表明将高浓度的生长素应用到有破口的丝瓜茎上, 促使了韧皮网中木质部分化 (Aloni, 1980), 通过这个分化可以说明木质部分化需要高浓度的激素来刺激。

关于激素对导管尺寸和密度大小调控, 六点假说(six-point hypothesis)推测, 植物茎向的导管尺寸增加和密度减少是因为由叶到根中生长素浓度大幅度的降低, 这也就是说距激素合成位点的距离是控制导管直径大小的主要因素 (Aloni, 1983)。

根据上述研究结果, 可以推测亚麻纤维细胞分化、发育同内源激素动态变化之间必然存在密切的关系, 深入此方向研究, 必将推动我们对纤维发育机理的认识, 从而为有针对性地采取措施促进纤维细胞的分化和生长, 提高亚麻纤维产质量奠定理论基础。

#### 1.2.2.2 植物激素对细胞壁形成的影响

细胞壁“经纬模型”假说认为由 30 到 100 条纤维素链状分子“并肩”平行排列形成的纤维素微纤丝(cellulose microfibril, CMF)以与细胞壁某一层面平行的方式一层一层的敷着到细胞壁上, 与伸展素(extensin)和膨胀素(expansin)等多种蛋白质交织形成复杂的网络结构, 而细胞壁内纤维素分子间存在大量的链间和链内氢键, 使得微纤丝高度致密和极端稳定 (Cosgrove, 1996)。细胞纵向伸长和横向扩张都受到细胞壁的限制, 其主要的限制因素就是微纤丝。微纤丝在细胞壁中的沉积方向受到微管排向的影响 (Abe 等, 1995; Prodhan 等, 1995)。微管相对细胞长轴的排列角度, 分为三种类型: “T”型 ( $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ ), “L”型 ( $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ) 和 “O”型 ( $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ), “T”型使细胞易于纵向伸长, “L”型使细胞易于横向扩张, “O”型介于两者之间。

凡能促进细胞生长的激素 (如  $GA_5$ 、Auxins 以及  $BR_5$  配合  $GA_5$ ) 都可使细胞中 “T”型微管的数目增加 (Sakurai, 1999), 而抑制细胞伸长的激素 (如 ABA、CTK<sub>5</sub> 和 ETH) 则使细胞中 “L”型微管的数目增加, 而且  $GA_5$  只对微纤丝已经是 “T”型排列的细胞起促进作用, 且微纤丝的沉积方向平行于细胞中微管的排向, 而对那些微纤丝已经是 “O”型排列的细胞则无促进伸长的效应 (Sauter, 1993)。研究还发现生长素是微管从 “L”型向 “T”型转变所必须的, 但同时观察到在生长素处理中微管先从 “L”型向 “T”型转变, 随后又会由 “T”型向 “L”型转变,  $GA_3$  结合生长素处理则能抑制微管从 “T”型向 “L”型转变 (Mayumi 等, 1996; Hakesue 等, 1996)。此外,  $GA_5$  对细胞伸长的作用要受到 ABA 拮抗, ABA 处理可使 “L”型微管的数目增加, 并能消除  $GA_5$  所诱导的 “T”型微管 (陈金桂等, 2001)。

上述研究启示我们, 主要激素都影响细胞壁的形成, 但是有关各内源激素与亚麻纤

维细胞壁发育的关系, 以及通过外源生长物质调控纤维细胞壁的形成, 进而改善亚麻品质等方面研究还有待深入, 以便为从基因型选择和栽培技术两方面改善亚麻纤维品质提供保证。

总之, 有关亚麻纤维细胞的发育过程仍有一系列问题有待人们去探索, 特别是纤维发育过程中, 植物激素的作用机理、结构多糖的合成转化等仍不清楚。

### 1.2.3 环境条件、栽培措施、脱胶过程对纤维发育及产质量影响

#### 1.2.3.1 环境条件对纤维发育及产质量的影响

由于生态因子不同, 亚麻韧皮纤维细胞的形态结构不同, 发育情况也就不同, 其品质差异很大, 表现出明显的遗传效应和生态效应(武跃通, 1999)。光照时间和光照强度对纤维生长的影响很大。长光照比短光照能够促进纤维的伸长与扩大, 但是增厚生长过程更要求短光照条件。短光照下有利于细胞壁中纤维素的积累, 但同时其胞间层和初生壁木质化程度也提高了。高光强有利于纤维细胞的生长和品质的提高, 而低光强不利于纤维素的积累而有利于半纤维素的积累(YANAGISAWA)。

西川五郎指出, 亚麻茎中纤维细胞数目与纤维含量以土壤持水量 50~70%时较高, 纤维细胞大小以土壤持水量 70~90%较大, 木质化细胞百分率则以土壤持水量 100%时最低。徐丽珍等(1992)发现影响黑龙江省兰西县年度间亚麻产量变化的主要气候因子是降水量, 随着降水量的增加产量提高。从纤维品质上看, 快速生长期雨量不足或过多, 出麻率、纤维号数均较低。从镜检来看, 以经济价值最高的中部为例, 细胞数和群数与快速生长期的雨量呈抛物线关系, 此期降水 50~60 毫米, 亚麻品质最好。亚麻单产与快速生长期的雨量呈显著正相关, 此期自然降水的多寡是决定亚麻单产高低的关键(孙玉亭, 1986)。

#### 1.2.3.2 播期、密度和肥料对纤维发育及产质量的影响

适时早播的亚麻, 纤维发育良好, 平均长麻率达 18.82%, 纤维拉力 340N, 干茎全麻率 24.63%(武跃通等, 1999)。在一定条件下, 播期对纤维细胞数目影响较大, 4 月 20 日播种的纤维细胞数目比 5 月 20 日播种的高 2 倍(关凤芝等, 1999)。而密度对亚麻茎中部纤维细胞数量影响为: 苗期、枞形期、快速生长期均随密度的增加而增加, 开花期和工艺成熟期均以中密度(93 万/亩)最多, 低密度最少。纤维细胞群数在开花后直到工艺成熟期均以中密度(93 万/亩)最少(徐丽珍等, 2000)。

氮、磷、钾作为亚麻生长所必须的大量元素, 一直为国内外研究者关注。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, 这说明氮对原茎产量和纤维产量的形成具有良好的作用(李明, 1996)。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, 降低了纤维含量(Kondratowicz, 1977; Yagodin, 1991)。在较低氮水平下, 磷、钾施用效果不明显, 但在较高氮水平下, 施用磷、钾可增加茎长度、茎粗和纤维产量; 单就磷肥而言对纤维产量提高也十分有利(李

意坚, 2002); 同时应注意的是, 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 (Kalikinskii, 1991; Khodyankova, 1999)。

氮、磷、钾对纤维品质的影响, 一般认为氮、钾更为重要。尤其是液态氮的施用, 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 (Derebon 等, 1975)。而施钾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, 而且还可提高与亚麻产质量相关的酶活性 (李彩凤, 1998)。钾在缓解过量氮素的有害作用上也有突出表现 (Opitz, Egglihuber), 但过量钾的施用会引起纤维束和单纤维的畸形, 使单纤维的空腔变大 (Fabian)。亚麻生长不仅需要氮、磷、钾肥, 对一些微量元素也非常需要。施用硼肥可明显改善肥料之间的关系, 并增加出麻率 (Karpova, 1975), 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 (Davidyan, 1977)。钒酸盐应用使原茎产量、纤维产量、种子产量、纤维品质和种子含油量都得到增加, 但叶片施钒对产质量影响却很小 (Kevorkov, 1972)。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具有良好作用, 而其施用剂量、施用方法和作用机理还需深入研究 (姜广虹, 1994; 张志等, 2000)。

### 1.2.3.3 植物生长调节剂对纤维发育及产质量的影响

目前植物生长调节剂在蔬菜、大田作物上已得到广泛的应用 (周续邦, 1994; 刘继华等, 1994; 杨建昌等, 1995; 韩锦峰等, 2001), 但在麻类作物上应用还较少。在亚麻生育前期应用乙稀利会引起一些临时性的抑制生长并延迟开花, 而且株高同对照比没有大的差别, 但较晚时应用乙烯利却极大地抑制了倒伏, 并改善了产质量 (Bodlaender, 1975; Serra, 1974)。亚麻长麻率、强度和细度皆因喷施  $GA_3$  而显著增加。其中,  $ZnSO_4$  配合  $GA_3$  使用的所有处理都增加株高和基本分枝数, 而种子出油率 (39.5%) 和长麻率 (17.45%) 在  $100mg/L ZnSO_4 + GA_3$  时最高 (Momtaz, 1975; Shourbagy 等, 1995)。毕万智等 (1994) 采用 ABT 增产灵对亚麻进行浸种、喷施处理, 结果使有效分茎数、有效分枝数、单株生产力和千粒重等都有所提高, 尤以低浓度处理效果明显。贾霄云等 (2002) 利用赤霉素、高美施、丰产素、快丰收在亚麻上取得良好效果。傅福道等 (2003) 利用烯效唑预防冬种亚麻倒伏效果良好。在苧麻上定期喷施植物生长调节剂 (氯化胆碱 +  $GA_3$  + 6-BA +  $NaHSO_3$ ), 可改善所有的产量构成因素, 并使茎横截面上纤维细胞分布更紧密, 纤维细胞直径更小, 同时还改善了叶片的水分状况, 增加了净光合速率, 并降低了电解质渗出率 (刘飞虎等, 2001)。在苧麻一米高时, 分别喷施 20、50、100mg/L 三个浓度赤霉素, 每隔 10 天喷施 1 次, 结果使纤维产量分别增加 9.7~15.6kg/mu (Huang-XM 等, 1989)。

植物生长调节剂的应用是今后挖掘亚麻增产潜力和改善品质的新方向, 其作用机理和影响因子的研究应作为今后亚麻栽培生理的一项重点研究内容。

### 1.2.3.4 脱胶过程对亚麻纤维品质影响

亚麻收获后, 沤制脱胶是一个至关重要的环节。亚麻沤制是否适度对出麻率、长麻

率、纤维品质以致超微结构都有极大的影响。

亚麻脱胶方法很多,从原理上可分为生物法、物理法和化学法三种。目前,生物法广泛应用于生产,生物法中应用最广泛的主要是温水沤麻和雨露沤麻。温水脱胶俗称“沤麻”,即利用麻茎及水源中存在的天然微生物的发酵作用,分解麻茎内胶质获得可纺纤维。但此法沤制周期长、成本高、污染大量水源。为缩短沤麻时间,提高打成麻质量,国内关于加菌,加酶,加化学助剂沤麻以及高分子活化剂应用等新工艺研究陆续开展(王立群等,1995;刘秀辉等,1997;江洁等,1997;刘育兰等,1998),酶法沤麻可缩短沤制时间 75%;加化学助剂后,沤制时间同天然沤麻相比可减少 59.7%。

在欧洲多数亚麻种植国家,由于气候适宜、机械化程度高,大多数采用雨露沤麻。雨露沤麻是一项省工宏效的亚麻沤制技术,我国雨露沤麻的推广与研究始于 60 年代中期,取得了一些成果。近年来,随着黑龙江省北部新麻区的开辟,农业机械化程度的提高和环保意识的增强,雨露沤麻又被人们所关注。初步研究表明,铺麻应在 5 月末至 9 月初适宜温度内进行,每间隔 48 小时保证 4 毫米的喷水量,这样长麻率可提高 0.9~3.4%,在当年市场价格条件下,每吨麻可增收 315 元(宋宪友,2000)。采取鲜茎雨露沤麻可使沤麻时间缩短 10 天左右,麻率相对提高 0.5~1%,纤维强度增加 11.8~26.5N(吴广文,2002)。

亚麻站立脱胶技术是当亚麻发育到工艺成熟期选用适当的脱胶剂在田间进行叶面喷施,通过植株传导在体内起作用,经过一段时间达到脱胶后,再进行收获,不需要沤制可直接加工出麻,此项技术具有广泛的前景。自 1991~1997 年,科研人员围绕站立脱胶进行了一系列的试验研究(桂明珠等,1995;任喜英等,1997;李桂琴等,1997;姚晓敏等,1998;王晓楷等,1998),在脱胶剂种类、配方、浓度、喷施时期及脱胶效果等研究上取得了初步成果,为实现亚麻沤制技术的突破奠定了良好的基础。

### 1.3 本论文拟解决的问题

①阐明群体条件下亚麻韧皮纤维发育规律;②明确亚麻内源激素动态变化规律,探讨其与亚麻纤维发育之间的关系;③初步阐明植物生长调节剂对亚麻产质量影响的机理与效果。

## 2 材料与方法

试验包括品种试验和药剂处理试验两部分。2002 年预备试验在东北农业大学香坊试验站进行, 前茬为大豆, 试验小区共有 163 个。2003 年试验于东北农业大学校内试验站进行, 前茬为小麦, 试验小区共有 126 个。试验采取随机区组设计, 三次重复, 8 行区, 小区行长 3 米, 行距 0.15 米, 小区面积 3.6 平方米。4 月下旬播种, 密度 2000 粒/平方米, 不施肥, 其他管理同一般生产田。

### 2.1 品种试验

#### 2.1.1 试验材料

本试验选用了我省生产上广泛使用及有代表性的 15 个品种, 其中 2002、2003 年供试品种如表 2-1 所示:

表 2-1 供试品种  
Table 2-1 Cultivars tested

|        | 油用品种   | 兼用品种    | 纤用品种        |         |                |                        |
|--------|--------|---------|-------------|---------|----------------|------------------------|
|        |        |         | 高纤          |         | 中纤             |                        |
| 2002 年 | 伊亚 1 号 | 伊 86039 | 维京          | 阿里安 伊罗娜 | 双亚 5 号 7 号     | 黑亚 7 号                 |
| 2003 年 | 伊亚 1 号 | 伊 86039 | 玛丽娜         | 阿里安 维京  | 双亚 5 号 6 号 7 号 | 黑亚 11 号 12 号 13 号 14 号 |
|        |        |         | 双亚 8 号 奥巴林娜 | 伊罗娜     |                |                        |

#### 2.1.2 测定调查项目及方法

取样时期为苗期、枞形期、快速生长期、现蕾开花期、成熟期, 选取具有代表性的植株。

##### 2.1.2.1 纤维解剖性状观察

每次取样 5 株, 当株高在 20 厘米以下时, 取基部第一对与第二对叶之间茎段放入固定液 (FAA) 中; 当株高在 20 厘米以上时, 根据长势和节间增加其它取样部位。

徒手切片、石蜡切片制片, 采用 Olympus 光学显微镜及 DCE-1 数码摄像目镜 (宁波新芝科技股份有限公司) 进行茎粗、纤维细胞数、束纤维数、纤维细胞壁厚、纤维细胞

径向大小、纤维细胞腔大小等解剖性状的镜检、调查、照相。

#### 2.1.2.2 内源激素含量测定

每次取样取两个重复，其中一个重复作为备用样。现蕾以前取样时，在田间除取茎尖幼嫩部位外，还要根据生育进程增加茎基部、中部的叶片和麻皮；现蕾后除取上述部分外另外增加两部分，一部分为分枝上的叶，另一部分为花蕾，每次取样重约为 1 克，样取下后迅速放入液氮中，转移至实验室后置低温冷柜中长期保存，适当的时间统一测定。

不同生育期  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量采用酶联免疫吸附法测定 (ELISA)，试剂盒由中国农业大学化控研究中心提供。

#### 2.1.2.3 田间调查及碳氮积累测定

每次选取 10 株进行调查，调查包括株高、茎粗、叶面积（叶面积系数法测叶面积）、干物质积累（鲜样 105℃ 杀青后，烘干）、倒伏情况等。同时保留干样分别测定可溶性糖及全氮含量。

可溶性糖含量测定采用硫酸-蒽酮比色法，全氮含量测定采用半微量凯氏定氮法（全自动凯氏定氮仪，意大利 Velp 公司）

#### 2.1.2.4 纤维品质测定

纤维强度、可挠度分别采用常州第二纺织机械厂生产 YG015 型亚麻束纤维强力机、YG962 型亚麻纤维可挠度试验仪进行测定，分裂度测定采用计数法。

## 2.2 植物生长调节剂试验

### 2.2.1 试验材料

2002 年筛选试验品种为：伊亚 1 号、伊 86039、维京、阿里安、奥巴林娜、玛丽娜、双亚 5 号、黑亚 7 号、9 号、10 号、11 号；2003 年供试品种为：阿里安、维京、黑亚 11 号。

### 2.2.2 试验设计

试验设计见表 2-2，每一药剂处理设三次重复，每小区喷施量为 200 毫升，间隔 5 天再喷施一次，喷施时选在无风或微风、蒸发小的早晨或傍晚进行。

表 2-2 植物生长调节剂种类、喷施时期、喷施浓度  
Table2-2 Treatments of PGRs types、stage and concentration

| 年份<br>Years | 药剂类型<br>Types       | 喷施时期<br>Stage           | 喷施浓度 (mg/L)<br>Concentration |     |     |
|-------------|---------------------|-------------------------|------------------------------|-----|-----|
| 2002        | 赤霉素 GA <sub>3</sub> | 快速生长期 Quick-growth      | 30                           | 50  | 70  |
|             | 乙烯利 ETH             | 快速生长期 Quick-growth      | 200                          | 250 | 300 |
|             |                     | 成熟期 Green-ripe stage    | 350                          | 400 | 450 |
|             | 多效唑 pp333           | 枞形期 Slowly-growth stage | 50                           | 100 | 150 |
|             |                     | 现蕾前 Bud visible         | 50                           | 100 | 150 |
| 2003        | 赤霉素 GA <sub>3</sub> | 快速生长期 Quick-growth      | 30                           |     |     |
|             | 乙烯利 ETH             | 快速生长期 Quick-growth      | 200                          |     |     |
|             |                     | 成熟期 Green-ripe stage    | 350                          |     |     |
|             | 多效唑 pp333           | 枞形期 Slowly-growth stage | 50                           |     |     |
|             |                     | 现蕾前 Bud visible         | 150                          |     |     |
|             |                     |                         |                              |     |     |

### 2.2.3 测定项目及方法

喷施前取样，并挂牌设立样株，喷施后 10 天、20 天各取样 1 次，分别进行激素、叶绿素测定及生长分析调查。收获后晾晒、脱粒、考种、测产，室内沤小样测定出麻率，大量样品送巴彦亚麻厂沤麻制纤，并测定纤维品质。

叶绿素含量测定采用丙酮和无水乙醇浸提法，内源激素、纤维品质测定及田间调查同品种试验

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同类型品种亚麻纤维发育形态观察

纤维发育作为亚麻研究的核心问题,其形态建成是影响纤维产量和品质的重要细胞学因素。

##### 3.1.1 工艺成熟期不同类型品种亚麻纤维差异分析

不同类型品种亚麻纤维细胞生长、发育在其生育进程中具有相似性,但最终各类型品种纤维细胞发育因基因型、环境条件不同而又具有相当的差异。由表 3-1, 2, 3, 4, 5 比较分析得出,油用亚麻各节间处茎粗、纤维细胞腔长径、纤维细胞腔宽大于纤维用品种,各节间处纤维细胞数在各类型品种中也最多,纤维胞壁厚度小于纤维用品种。油用品种繁盛的分枝部分需要大量养分持续从下向上运输,需要粗壮茎秆来支持,而且其矮小粗壮的茎秆也有利于养分的快速通过。油用品种各节间处纤维数最多并不一定是分化的数量多,因其株高非常矮,纤维细胞在分化结束后的伸长加厚生长过程中,不同部位正在进行向上向下伸长生长的单纤维细胞不断插入到其它纤维束中,从而使油用品种各节间处茎截面单纤维细胞数量最多。

表 3-1 工艺成熟期不同类型品种亚麻基端茎截面纤维解剖性状比较(2003 年)

Table3-1 Comparison of anatomical character of different varieties cross-section of stem bottom in technical mature period

| 品种        | 茎径( $\mu\text{m}$ ) | 纤维束数     | 纤维数   | 纤维长      | 纤维短      | 纤维腔       | 纤维腔       | 纤维壁        |
|-----------|---------------------|----------|-------|----------|----------|-----------|-----------|------------|
| Cultivars | Stem                | (个)      | Fiber | Long     | Short    | Long      | Short     | Fiber cell |
|           | diameter            | Lacertus | cells | diameter | diameter | diameter  | diameter  | wall       |
|           |                     |          |       | of fiber | of fiber | of cavity | of cavity | thickness  |
| 双 7       | 2028.5              | 23       | 299   | 46.8     | 34.4     | 16.8      | 8.8       | 13.9       |
| 黑 13      | 2148.0              | 21       | 246   | 48.6     | 35.1     | 18.7      | 6.6       | 14.6       |
| 维京        | 2107.7              | 22       | 337   | 48.1     | 36.8     | 18.6      | 8.1       | 14.6       |
| 阿里安       | 2368.2              | 28       | 281   | 48.3     | 31.1     | 19.2      | 7.4       | 13.2       |
| 油用        | 2389.7              | 25       | 343   | 47.0     | 34.0     | 19.6      | 9.9       | 12.9       |
| 兼用        | 2040.6              | 22       | 241   | 41.6     | 29.8     | 21.7      | 10.0      | 9.9        |
| 平均        | 2180.4              | 24       | 291   | 46.7     | 33.5     | 19.1      | 8.5       | 13.2       |
| CV        | 7.3                 | 10.6     | 15.0  | 5.6      | 7.8      | 8.4       | 16.1      | 13.3       |

表 3-2 工艺成熟期不同类型品种亚麻第 50 节间处茎截面纤维解剖性状比较 (2003 年)  
Table3-2Comparison of anatomical traits of different varieties(50<sup>th</sup> internode)

| 品种        | 茎径( $\mu\text{m}$ ) | 纤维束数     | 纤胞数   | 纤胞长                | 纤胞短                | 纤胞腔                 | 纤胞腔                | 纤胞壁                |
|-----------|---------------------|----------|-------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Cultivars | Stem                | (个)      | (个)   | 径( $\mu\text{m}$ ) | 径( $\mu\text{m}$ ) | 长径( $\mu\text{m}$ ) | 宽( $\mu\text{m}$ ) | 厚( $\mu\text{m}$ ) |
|           | diameter            | Lacertus | Fiber | Long               | Short              | Long                | Short              | Fiber cell         |
|           |                     |          | cells | diameter           | diameter           | diameter            | diameter           | wall               |
|           |                     |          |       | of fiber           | of fiber           | of cavity           | of cavity          | thickness          |
| 双 7       | 1907.7              | 42       | 500   | 36.5               | 26.9               | 10.9                | 4.8                | 11.9               |
| 黑 13      | 1799                | 29       | 435   | 41.5               | 30.5               | 11.3                | 4.5                | 14.0               |
| 维京        | 1949.3              | 33       | 620   | 38.9               | 27.5               | 13.1                | 4                  | 12.3               |
| 阿里安       | 2211.1              | 37       | 523   | 39.9               | 31.6               | 12.7                | 6                  | 13.2               |
| 油用        | 2396.4              | 43       | 787   | 36.5               | 27.2               | 14.5                | 6.3                | 10.7               |
| 兼用        | 1960.1              | 28       | 319   | 32.8               | 25.6               | 21.7                | 10                 | 6.7                |
| 平均        | 2037.2              | 35       | 531   | 37.7               | 28.2               | 14.0                | 5.9                | 11.5               |
| CV        | 10.9                | 17.7     | 30.2  | 8.2                | 8.2                | 28.3                | 36.7               | 22.7               |

兼用品种各节间处茎截面纤维细胞数除第 70 节间处多于双亚 7 号和黑亚 13 号外,其余均低于其它类型品种,各节间处茎截面纤维束数、纤维细胞长径、纤维细胞短径在各类型品种中均最小(第 90 节间处纤胞长径、短径略高于油用品种),在基端、第 50 节间处纤维细胞壁厚在各类型品种中最小,在第 70、90 节间处、茎颈端纤胞壁厚大于油用品种而小于纤维用品种。

表 3-3 工艺成熟期不同类型品种亚麻第 70 节间处茎截面纤维解剖性状比较 (2003 年)  
Table3-3Comparison of anatomical traits of different varieties(70<sup>th</sup> internode)

| 品种        | 茎径( $\mu\text{m}$ ) | 纤维束数     | 纤胞数   | 纤胞长                | 纤胞短                | 纤胞腔                 | 纤胞腔                | 纤胞壁                |
|-----------|---------------------|----------|-------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Cultivars | Stem                | (个)      | (个)   | 径( $\mu\text{m}$ ) | 径( $\mu\text{m}$ ) | 长径( $\mu\text{m}$ ) | 宽( $\mu\text{m}$ ) | 厚( $\mu\text{m}$ ) |
|           | diameter            | Lacertus | Fiber | Long               | Short              | Long                | Short              | Fiber cell         |
|           |                     |          | cells | diameter           | diameter           | diameter            | diameter           | wall               |
|           |                     |          |       | of fiber           | of fiber           | of cavity           | of cavity          | thickness          |
| 双 7       | 1761.4              | 40       | 632   | 32.5               | 26.7               | 8.85                | 4.6                | 11.4               |
| 黑 13      | 1880.8              | 37       | 621   | 36.9               | 27.5               | 10.2                | 4.5                | 11.6               |
| 维京        | 1892.9              | 39       | 787   | 35.8               | 26.7               | 12.1                | 3.8                | 11.7               |
| 阿里安       | 2071.5              | 41       | 668   | 38.4               | 28.4               | 13.8                | 5.3                | 11.9               |
| 油用        | 2307.8              | 44       | 828   | 32.8               | 25                 | 13.6                | 6.3                | 9.5                |
| 兼用        | 1917.1              | 35       | 665   | 31.9               | 24.1               | 9.2                 | 4                  | 10.7               |
| 平均        | 1971.9              | 39       | 697   | 34.7               | 26.4               | 11.3                | 4.7                | 11.1               |
| CV        | 9.7                 | 8        | 12.3  | 7.7                | 6.0                | 19.3                | 19.4               | 8.2                |

从高纤品种(维京、阿里安)与中纤品种(双亚 7 号、黑亚 13 号)各节间处解剖性状比较得出, 高纤品种各节间处茎粗、茎截面纤维数、纤维壁厚均大于中纤品种, 纤维细胞长径、短径大于或略低于低纤品种。从关键部位各类型品种解剖性状比较得出(表 3-3), 茎粗: 油用>兼用>高纤>中纤; 茎截面纤维数: 油用>高纤>兼用>中纤; 纤维壁厚: 高纤>中纤>兼用>油用; 纤维长径、短径: 高纤品种>中纤品种>油用>兼用, 因此高纤品种与中纤品种相比较优的纤维素质正是得益于其解剖性状的良好表现。

表 3-4 工艺成熟期不同类型品种亚麻第 90 节间处茎截面纤维解剖性状比较 (2003 年)

Table3-4Comparison of anatomical traits of different varieties(90<sup>th</sup> internode)

| 品种        | 茎径( $\mu\text{m}$ ) | 纤维束数     | 纤维数   | 纤维长                | 纤维短                | 纤维腔                 | 纤维腔                | 纤维壁                |
|-----------|---------------------|----------|-------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Cultivars | Stem                | (个)      | (个)   | 径( $\mu\text{m}$ ) | 径( $\mu\text{m}$ ) | 长径( $\mu\text{m}$ ) | 宽( $\mu\text{m}$ ) | 厚( $\mu\text{m}$ ) |
|           | diameter            | Lacertus | Fiber | Long               | Short              | Long                | Short              | Fiber cell         |
|           |                     |          | cells | diameter           | diameter           | diameter            | diameter           | wall               |
|           |                     |          |       | of fiber           | of fiber           | of cavity           | of cavity          | thickness          |
| 双 7       | 1564                | 42       | 569   | 32.6               | 25.4               | 9.86                | 4.6                | 11                 |
| 黑 13      | 1613.7              | 39       | 676   | 30.9               | 23.6               | 10.5                | 5.1                | 9.7                |
| 维京        | 1647.2              | 39       | 736   | 36.4               | 25.7               | 12                  | 4.4                | 11.4               |
| 阿里安       | 1862                | 43       | 716   | 37.2               | 26.8               | 11.2                | 4.7                | 12.0               |
| 油用        | 1981.5              | 42       | 809   | 30.5               | 22.1               | 12.4                | 5.7                | 8.6                |
| 兼用        | 1762.2              | 34       | 511   | 30.8               | 22.4               | 8.9                 | 5.6                | 9.7                |
| 平均        | 1738.5              | 40       | 688   | 33.1               | 24.4               | 10.8                | 5.0                | 10.4               |
| CV        | 9.2                 | 8.0      | 16.5  | 9.1                | 7.9                | 12.2                | 10.8               | 12.3               |

表 3-5 工艺成熟期不同类型品种亚麻茎颈部截面纤维解剖性状比较 (2003 年)

Table3-5Comparison of anatomical character of different varieties(stem top)

| 品种        | 茎径( $\mu\text{m}$ ) | 纤维束数     | 纤维数   | 纤维长                | 纤维短                | 纤维腔                 | 纤维腔                | 纤维壁                |
|-----------|---------------------|----------|-------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Cultivars | Stem                | (个)      | (个)   | 径( $\mu\text{m}$ ) | 径( $\mu\text{m}$ ) | 长径( $\mu\text{m}$ ) | 宽( $\mu\text{m}$ ) | 厚( $\mu\text{m}$ ) |
|           | diameter            | Lacertus | Fiber | Long               | Short              | Long                | Short              | Fiber cell         |
|           |                     |          | cells | diameter           | diameter           | diameter            | diameter           | wall               |
|           |                     |          |       | of fiber           | of fiber           | of cavity           | of cavity          | thickness          |
| 双 7       | 1314.3              | 34       | 498   | 30.1               | 21.8               | 8.42                | 4.2                | 9.8                |
| 黑 13      | 1344.3              | 32       | 497   | 32.4               | 24                 | 9.43                | 3.9                | 10.8               |
| 维京        | 1470.0              | 32       | 520   | 34.3               | 26.4               | 11.1                | 4                  | 11.4               |
| 阿里安       | 1517.0              | 39       | 630   | 32.6               | 23.9               | 10.6                | 4.5                | 10.4               |
| 油用        | 1762.7              | 39       | 742   | 30.3               | 22.1               | 10.2                | 4.2                | 8.2                |
| 兼用        | 1455.3              | 31       | 468   | 29.8               | 21.2               | 12                  | 5.5                | 8.4                |
| 平均        | 1477.3              | 35       | 589   | 31.6               | 23.2               | 10.3                | 4.4                | 10.0               |
| CV        | 10.8                | 10.5     | 18.9  | 5.7                | 8.3                | 12.2                | 13.3               | 13.2               |

综上所述, 工艺成熟期不同类型品种纤维发育分别表现出与其品种遗传特性相符的解剖学特征。不同品种间纤维发育的差异是在生育进程中逐渐形成的, 因此纤维发育过程中的各种调控措施对于纤维的最终状态具有重要意义。

### 3.1.2 不同类型品种亚麻茎向纤维发育比较

由快速生长期不同节间纤维细胞数量可以看出, 基端纤维数已基本确定, 纤维细胞不再继续伸长生长, 此时基端纤维壁已开始加厚, 几个品种均在  $8\mu\text{m}$  左右, 而第 50 节间处纤维细胞生长还在进行, 顶端刚刚开始伸长生长, 此处纤维壁最薄在  $3\mu\text{m}$  左右。各品种不同节间处纤维壁厚度相似, 但两个纤用品种略厚一点; 由基端到颈端纤维长径、短径变化同纤维壁厚变化相同, 均呈直线下降趋势, 各节间处两个纤用品种纤维长径较油用、兼用品种大; 不同节间纤维腔长径变化较大, 品种间差异也较大, 而纤维腔宽变化较小, 曲线较平缓 (图 3-1)。

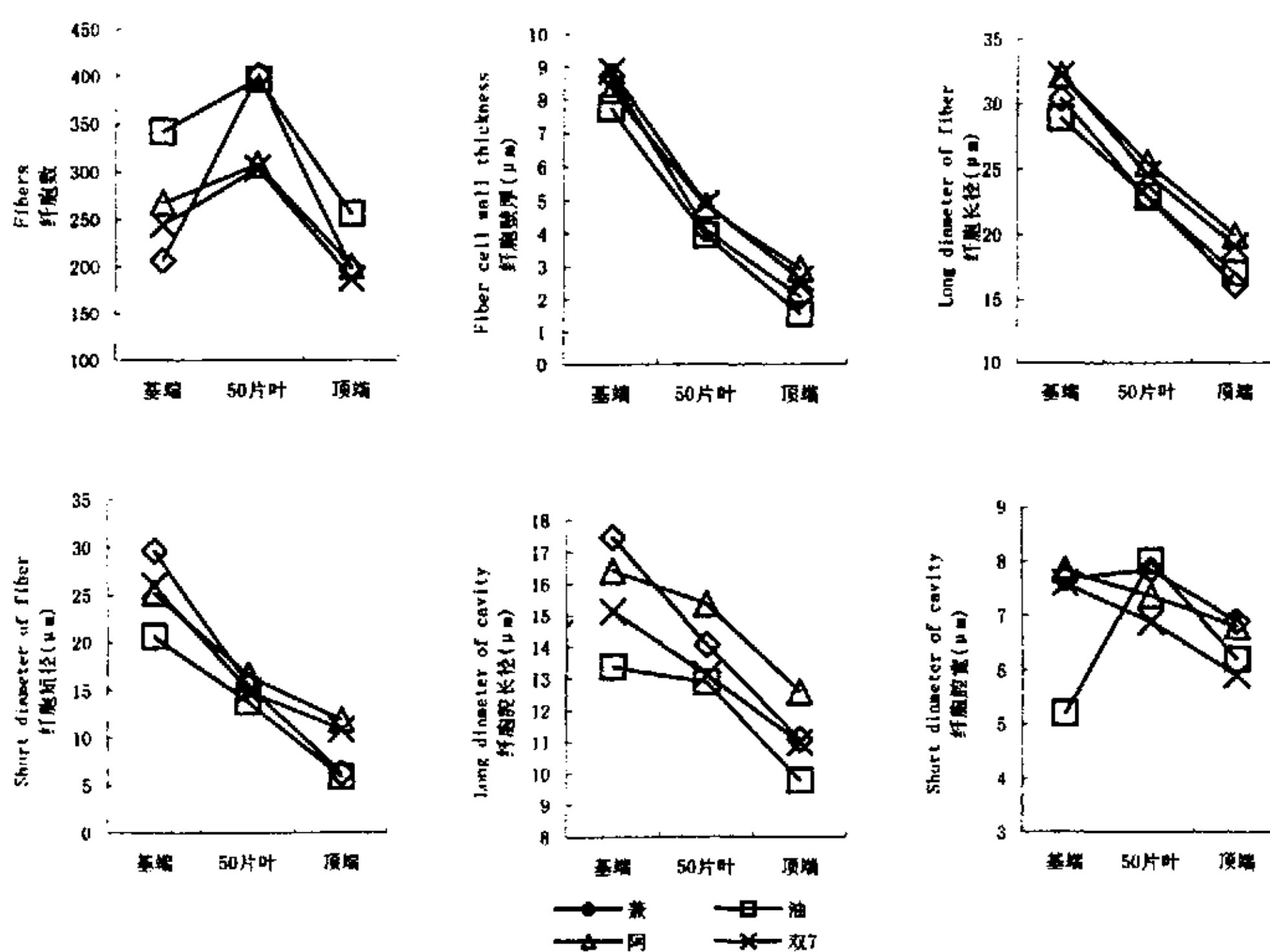


图 3-1 快速生长期不同节间处茎解剖性状动态变化 (2002 年)

Fig 3-1 Dynamic change of anatomical character  
in different internode in quick-growth phase

现蕾期, 各节间纤维细胞主要进行径向扩张, 纤维明显增粗、胞壁快速加厚, 伴随纤维的变化纤维腔也明显增大 (图 3-2)。各品种纤维细胞在茎内分布为: 基部纤维数最少, 向上逐渐增加, 双亚 7 号、阿里安在 90 片叶处达到最大, 到颈部又有所减少, 兼用

与油用品种在第 50 节间处纤维数较大幅度增加并达最大,与其它两品种同节间相比明显多于其它两品种,随位置向上推移纤维数迅速减少直到颈部。现蕾期纤维壁变化趋势同快速生长期较为相似,均呈直线下降趋势,同快速生长期相比两纤维用品种第 50、90 节间处纤维壁明显加厚,但两品种基端胞壁已基本不再加厚,颈端的纤维壁厚度很小,它是由顶端新分化出的纤维细胞:油用、兼用品种各节间胞壁厚均明显加厚,两品种颈端胞壁厚达到  $6\mu\text{m}$  左右。各节间纤维径向大小和纤维腔径向大小较快速生长期均明显增大,四个品种纤维径向大小变化趋势均已由快速生长期直线下降趋势改变为:基端到第 50 节间处大幅度减小,第 50 与 90 节间之间变化不大,第 90 节间到颈部又有所增加;纤维腔大小变化趋势与其相似,只不过第 90 节间到颈部增加幅度要大一些,这些表明在纤维细胞增粗同时不同节间纤维的增粗速率是不一致的,颈端增粗速率明显大于其它节间。同时还可观察第 50 节间处纤维在伸长生长和增粗生长的同时,纤维数和胞壁厚也都有所增加。

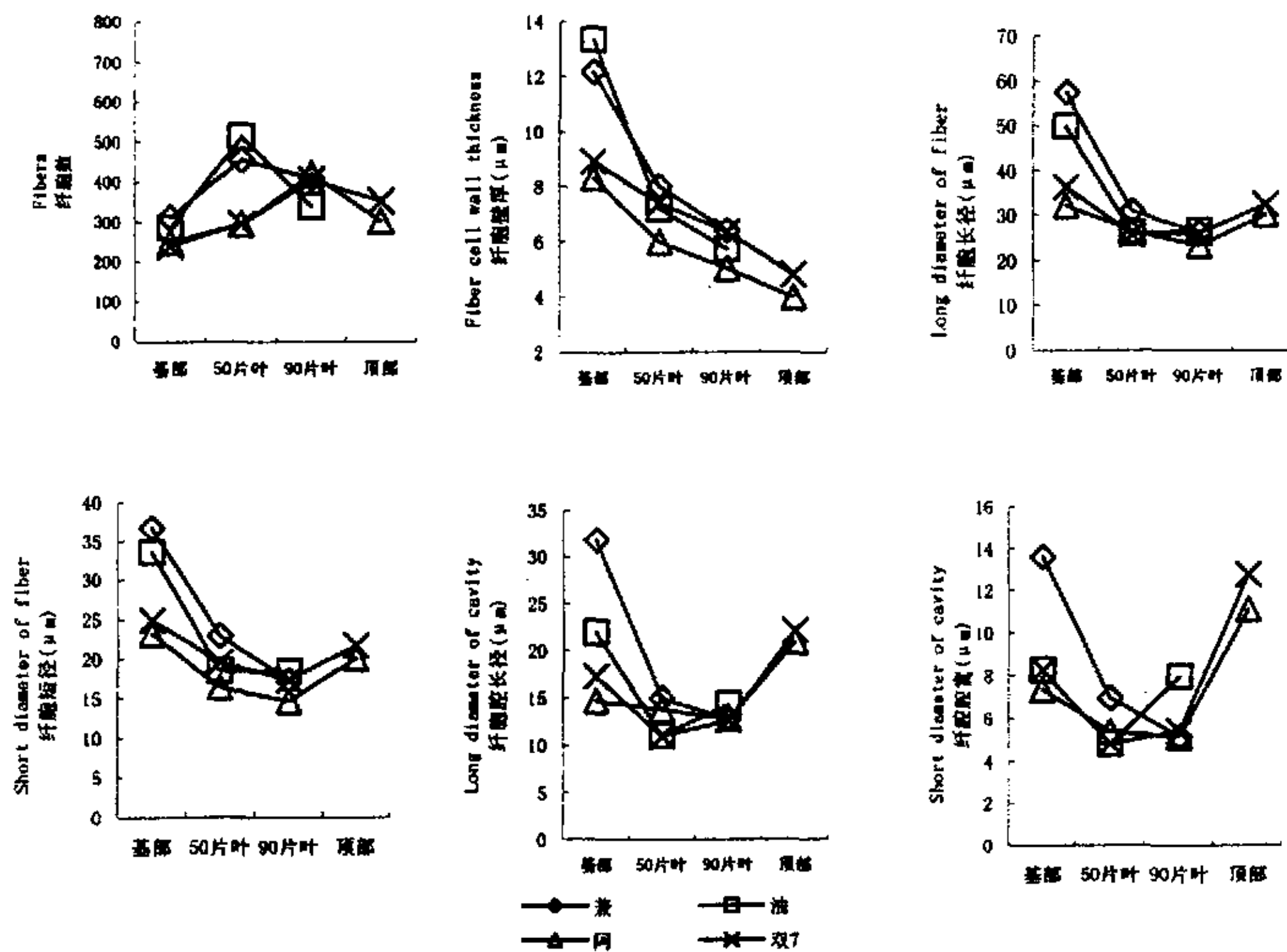


图 3-2 现蕾期不同节间处茎解剖性状动态变化 (2002 年)

Fig 3-2 Dynamic change of anatomical character  
in different internode in visible bud phase

开花期各解剖性状如图 3-3 所示,不同类型品种不同节间处纤维数变化趋势基本一致,表现为由基端向上纤维数逐渐增多,在第 50、90 节间处分别达到最多,第 50 节间与第 90 节间纤维数相比变化很小,基本保持稳定,而这一段麻茎是亚麻最具商业价值的

部分,到了颈部双亚7号、阿里安、兼用品种纤维数又有小幅减少,而油用品种呈急剧减少的趋势。通过比较现蕾期与开花期各节间纤维数可得,开花期基端纤维数不再增加说明基端纤维生长已结束,第50和90节间处纤维数增加应是不同位置纤维细胞伸长生长而相互插入到各自的空隙中,从而使不同位置纤维数“增加”,颈端纤维数的增加应是纤维分化和插入伸长共同作用的结果。此时纤维壁厚变化趋势出现波动,呈“V”型变化,基端到第50节间胞壁厚度下降较多,曲线较陡,由第50节间到第90节间胞壁厚度又增加到8.7微米左右,从第90节间到颈端胞壁厚度呈缓慢增加趋势,品种间比较没有明显的规律;纤维径向大小和纤维腔径向大小波动较明显,均呈“V”型变化,与纤维壁的变化趋势十分相似。

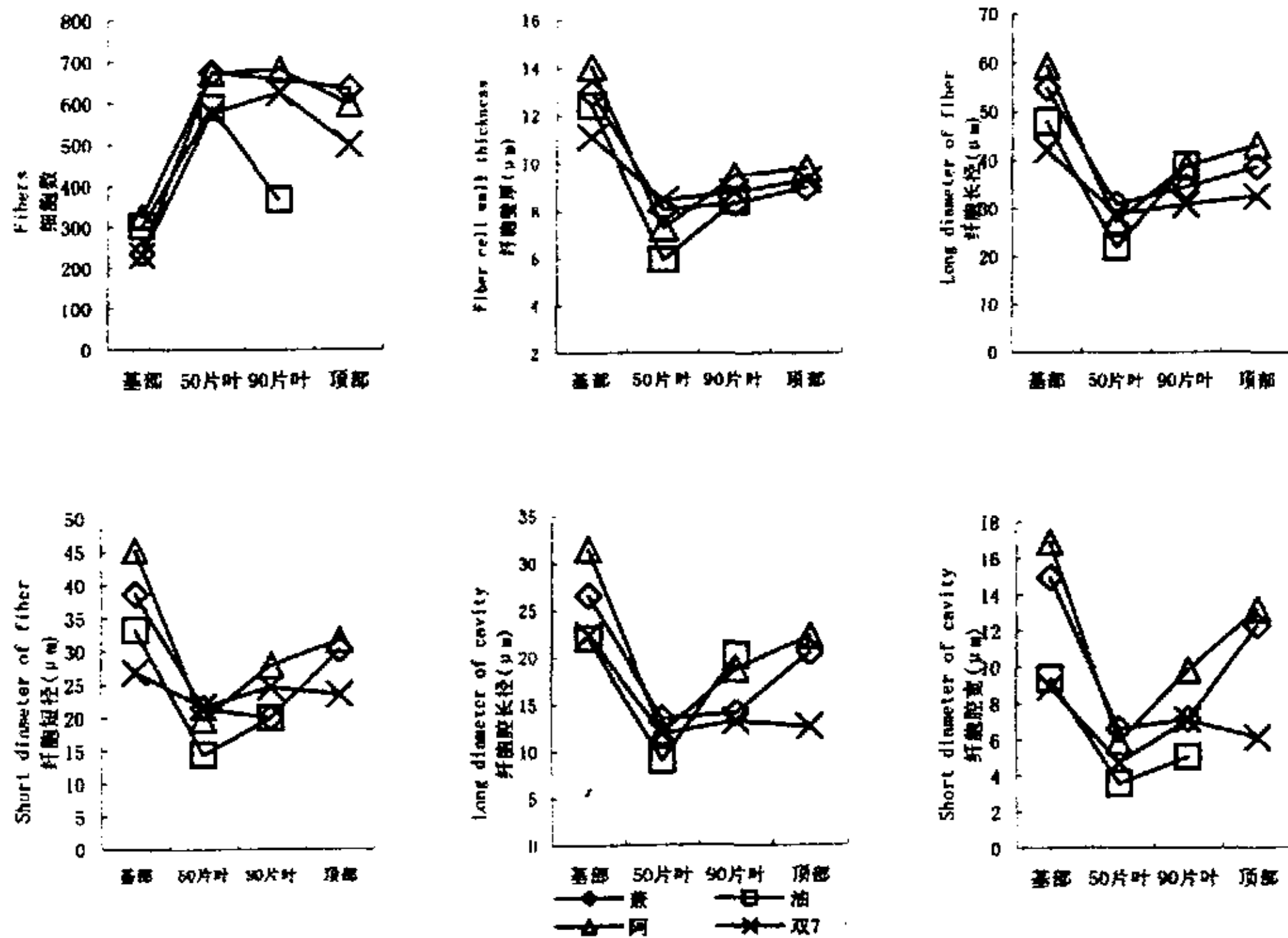


图 3-3 开花期不同节间处茎解剖性状动态变化 (2002 年)

Fig 3-3 Dynamic change of anatomical character  
in different internode in blooming phase

图 3-4 显示,成熟期各节间纤维数同开花期相比已无大的差异,这说明此时纤维的伸长和分化都已结束。成熟期纤维壁厚变化趋势同开花期变化趋势也相近,只是第50节间处纤维壁厚与第90节间处相比厚度更加相当,这同纤维数在这两处的变化趋势相同。纤维径向大小和纤维腔径向大小变化趋势基本相同,同开花期相比各节间大小也大体相同,只是颈端的纤维径向大小和纤维腔径向大小都较开花期小。

不同生育期之间纤维腔长径、纤维腔宽变化趋势差别很小,同纤维径向变化相比纤维腔大小变化曲线波动较大,现蕾期、开花期基端、颈端纤维腔较中部大,而成熟期愈

向上部纤维腔长径、纤维腔宽愈小，而且现蕾后随着纤维发育的逐步成熟，纤维腔变化很小。

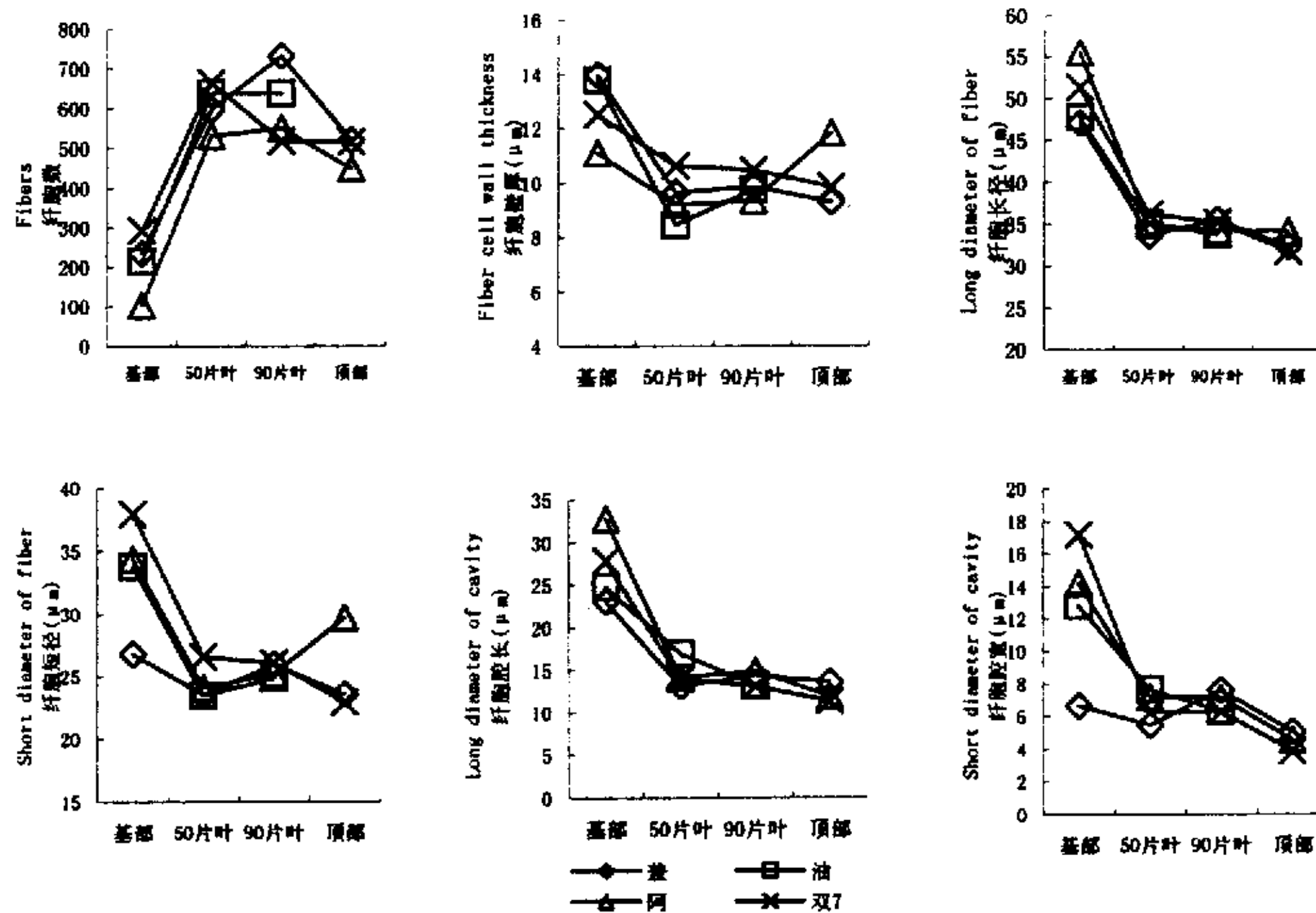


图 3-4 青熟期不同节间处茎解剖性状动态变化 (2002 年)

Fig 3-4 Dynamic change of anatomical character of stem in different internode in green-ripe phase

同时观察各生育时期解剖性状还可得，在整个生育期中兼用、油用品种基端纤维壁厚在现蕾期就已达到最大，而纤用品种基端纤维壁的加厚则一直延续到开花期，各品种颈部纤维壁的加厚一直持续到工艺成熟期。同时各品种从第 50 节间到颈部纤维壁厚变化由现蕾期逐渐降低趋势改变为开花期的逐渐增加趋势，这说明第 50 节间处纤维壁加厚速率已大大低于其它两节间处，并因此使其厚度低于其它节间处。所有这些反映出不同节间纤维发育在时间上是不同步进行的，在发育速度上也是不一致的，此外茎中部区域主要解剖性状的稳定小幅变化是此部位纤维品质要优于其它部位主要原因。

### 3.1.3 生育进程中固定节间纤维发育动态比较

为了准确反映亚麻纤维发育过程，需要对同一节间进行连续观察。图 3-5 显示了不同类型品种茎第 50 节间处茎解剖性状随时间的动态变化，茎粗、纤维细胞数、纤维细胞壁厚变化曲线均为上升趋势，其中纤维数随生育进程品种间差异愈加明显，但同一品种在 7 月 6 日与 7 月 14 日间变化很小，不同品种第 50 节间处纤维长径 ( $22.9 \sim 25.7 \mu\text{m}$ )、纤维短径 ( $13.8 \sim 17 \mu\text{m}$ )、纤维腔宽 ( $5.34 \sim 8 \mu\text{m}$ ) 在 6 月 15 日比较接近，在 7 月 14 日各品种纤维长径 ( $31.5 \sim 39.9 \mu\text{m}$ )、纤维短径 ( $23.5 \sim 28.3 \mu\text{m}$ )、纤维腔宽 ( $5.2 \sim 7.6$

$\mu\text{m}$ ) 之间差异较大, 纤维长径、短径也呈现上升趋势, 纤维腔宽先下降 (6月15日~7月6日) 而后急剧上升。

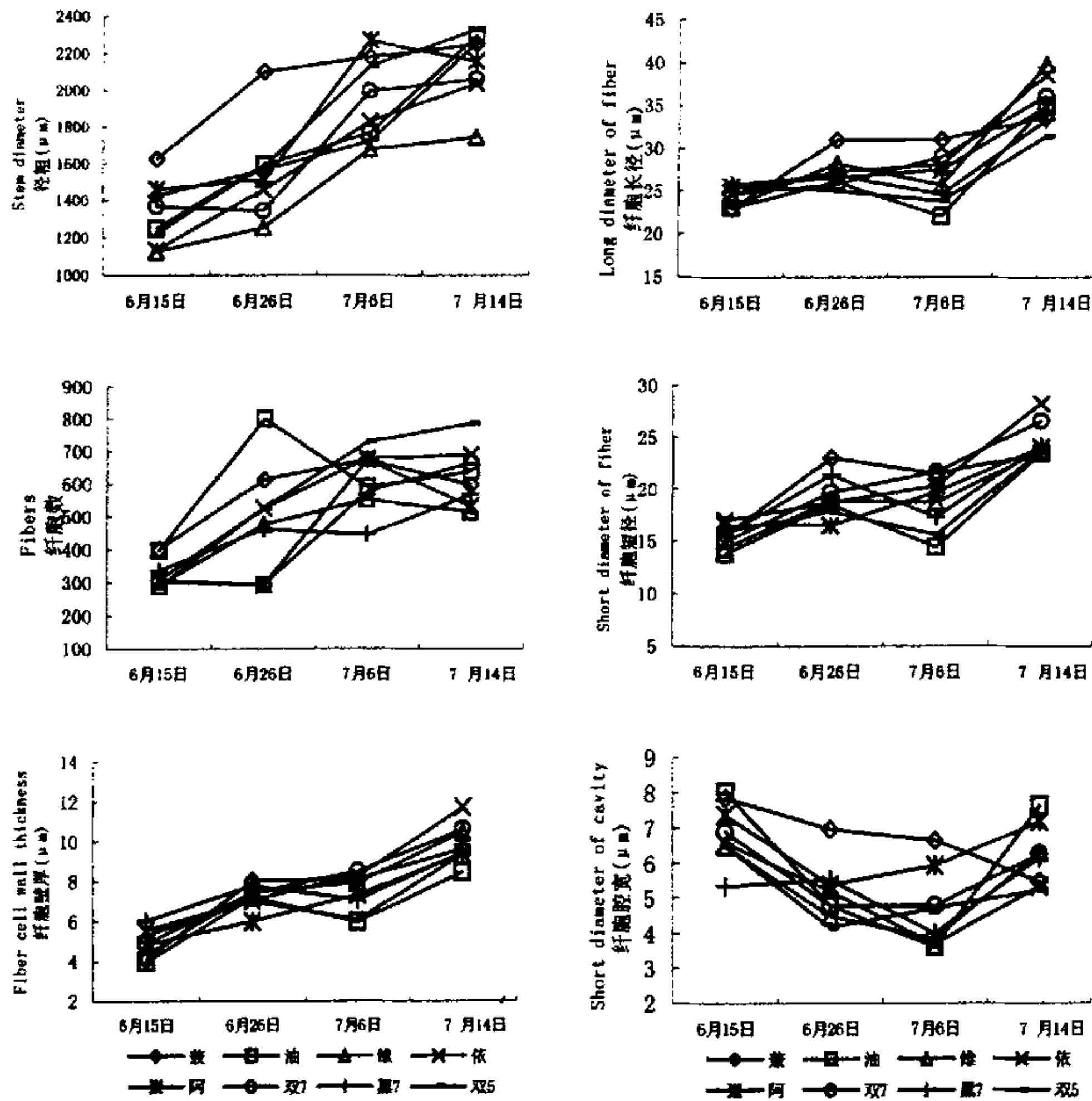


图 3-5 不同类型品种茎第 50 节间处茎解剖性状动态变化 (2002 年)

Fig. 3-5 Dynamic change of anatomical structure of 50<sup>th</sup> internode of different cultivars

图 3-6 显示各品种第 90 片叶处茎粗、纤维细胞数、纤维细胞壁厚动态变化同第 50 片叶处具有相似, 也呈不断增加趋势, 但各品种第 90 片叶处纤维长径、纤维短径、纤维腔宽变化趋势同第 50 片叶处变化却明显不同, 纤维长径、短径呈先上升而后不再变化的趋势, 纤维腔宽基本呈逐渐降低趋势。纤维腔宽在 7 月 14 日最大的为兼用 (7.6  $\mu\text{m}$ ), 油用次之 (6.3  $\mu\text{m}$ ), 高纤品种 (3.7~6.1  $\mu\text{m}$ ) 与中纤品种 (2.6~6.3  $\mu\text{m}$ ) 最小且差异不大, 由此纤维腔宽也可能是纤维发育好坏的一个重要指标。

综上, 第 50、90 节间处茎粗、纤维数、纤维壁厚、纤维腔宽发育在时间分布上具有趋同性, 同麻株生长也具有协同性, 而且茎粗、纤维数与纤维壁厚发育之间也具有一定

的协调性，纤维腔的发育则表现出明显的空间差异性，不同类型品种各节间处纤维腔大小波动较大，因而在其它解剖性状差别较小情况下，对细胞腔大小的控制可能是影响纤维产质量形成的一个重要因素。

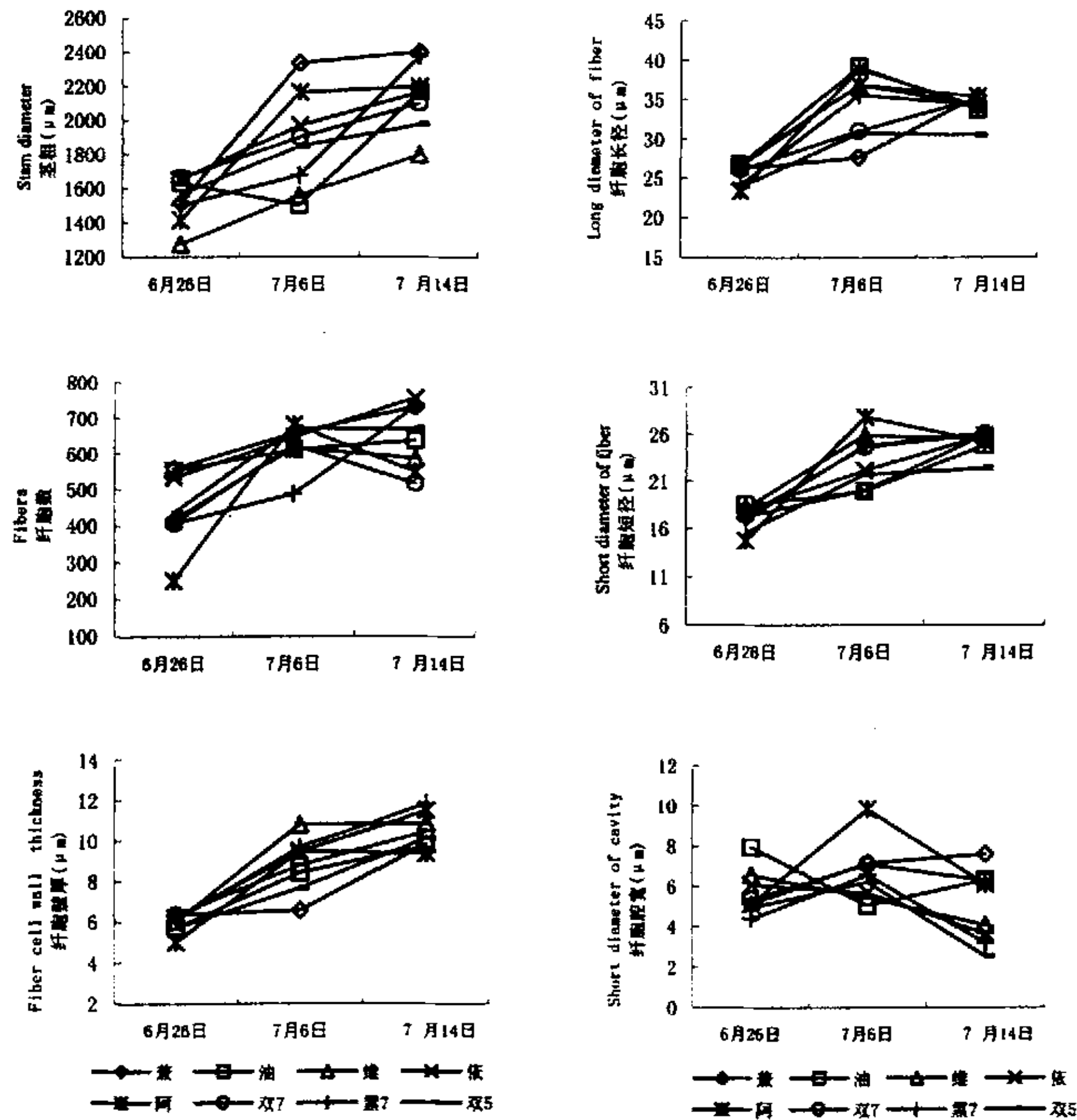


图 3-6 不同类型品种茎第 90 节间处茎解剖性状动态变化 (2002 年)

Fig 3-6 Dynamic change of anatomical structure of 90<sup>th</sup> internode of different cultivars

### 3.1.4 纤维发育与产质量形成关系

通过对解剖性状同产质量性状相关分析表明 (表 3-6), 纤维细胞腔宽与各性状均呈负相关关系, 其中与纤维细胞壁厚负相关达到显著水平 ( $r=-0.54^*$ ), 与原茎产量 ( $r=-0.66^{**}$ )、长麻产量 ( $r=-0.66^{**}$ ) 负相关达到极显著水平, 这些说明控制纤维细胞腔大小对于亚麻产质量具有重要作用; 纤维细胞数与长麻率、强度、可挠度、原茎产量、长麻产量均呈正相关; 纤维细胞壁厚与各产质量性状均呈正相关关系, 其中与分裂度呈显著正相关关系 ( $r=0.52^*$ ), 而与纤维含量 ( $r=0.75^{**}$ )、长麻率 ( $r=0.68^{**}$ )、长麻产量

( $r=0.85^{**}$ ) 呈极显著正相关关系, 由此可见纤维细胞壁的厚度极大地左右着长麻产量, 并且较厚的纤维细胞壁为提高纤维含量奠定了良好的基础。纤维细胞壁厚与纤维强度相关程度接近显著水平 ( $r=0.4$ ), 因此纤维细胞壁厚可以说是决定纤维产质量的主要解剖学性状之一。

表 3-6 亚麻茎解剖性状与产质量性状相关关系 ( $r$  值)

Table 3-6 Correlation analysis of anatomical character of stem and yield、quality

|                        | 纤维数<br>Fibers | 纤维腔宽<br>Short diameter of cavity | 纤维壁厚<br>Fiber cell wall thickness |
|------------------------|---------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 纤维含量 Fibre content     | -0.30         | -0.28                            | 0.80**                            |
| 长麻率 Long-fibre content | 0.17          | -0.23                            | 0.68**                            |
| 强度 Intension           | 0.05          | -0.46                            | 0.40                              |
| 分裂度 Division degree    | -0.11         | -0.44                            | 0.52*                             |
| 可挠度 Flexibility        | 0.40          | -0.04                            | 0.14                              |
| 原茎产量 Straw yield       | 0.07          | -0.66**                          | 0.37                              |
| 长麻产量 Long-fibre yield  | 0.24          | -0.66**                          | 0.85**                            |

## 3.2 亚麻植株碳、氮积累与纤维发育的关系

### 3.2.1 氮含量与纤维发育关系

氮代谢是作物生理活动中的一种重要代谢, 吸收适量的氮素有利于亚麻光合能力的提高, 加快茎叶生长, 因而氮素对纤维发育影响很大。茎、叶氮含量变化如图 3-7, 8 所示, 叶片氮含量呈较明显的下降趋势, 各品种氮含量在 6 月 26 日(现蕾期)波动较大(3~4.4%), 在随后的生长发育过程中各品种氮含量又趋向一致, 最终兼用品种(3.4%)>油用品种(3.3%)>其它品种( $2.7 \pm 0.15\%$ ); 茎中氮含量变化也呈下降趋势, 但降低的幅度较小, 由于叶中现蕾期氮素积累的波动, 结果导致运转到茎中的氮同样在 6 月 26 日出现相对于其它时期较大的波动(0.72~1.4%), 同叶中相一致的是最终氮含量大小仍为兼用品种(0.96%)>油用品种(0.67%)>其它品种( $0.5 \pm 0.096$ )。此外叶、茎中氮含量的不断下降同纤维壁厚度增加速率具有一致性。随着纤维的不断发育, 纤维素、木质素含量不断增加, 因而氮对纤维发育、纤维化学成分以及氮在亚麻中合成、运输、分配等方面影响机理还有待进一步深入研究。

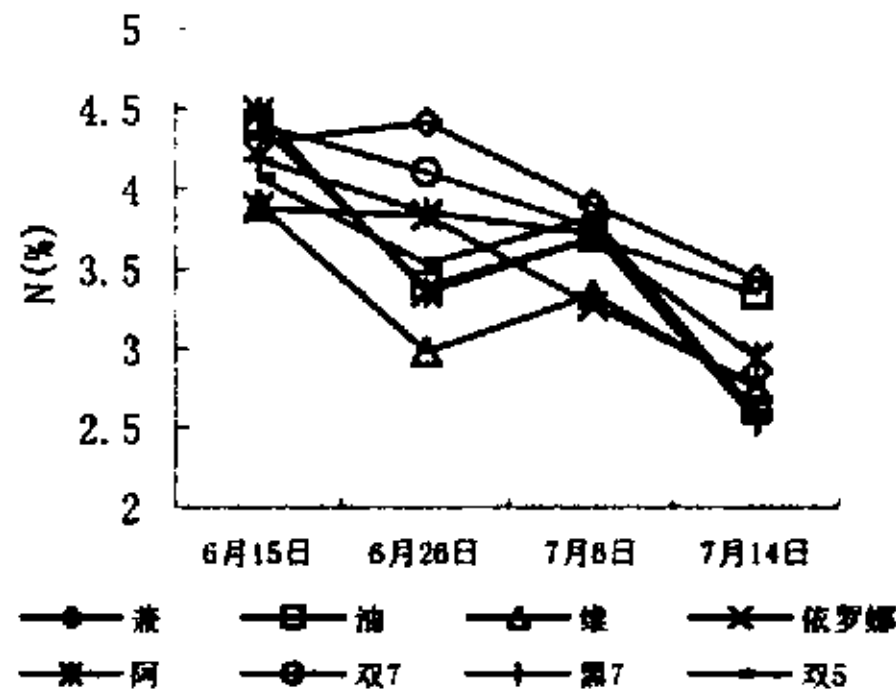


图 3-7 叶片氮素百分含量动态变化  
(2002 年)

Fig3-7 Dynamic change of N content  
in leaf

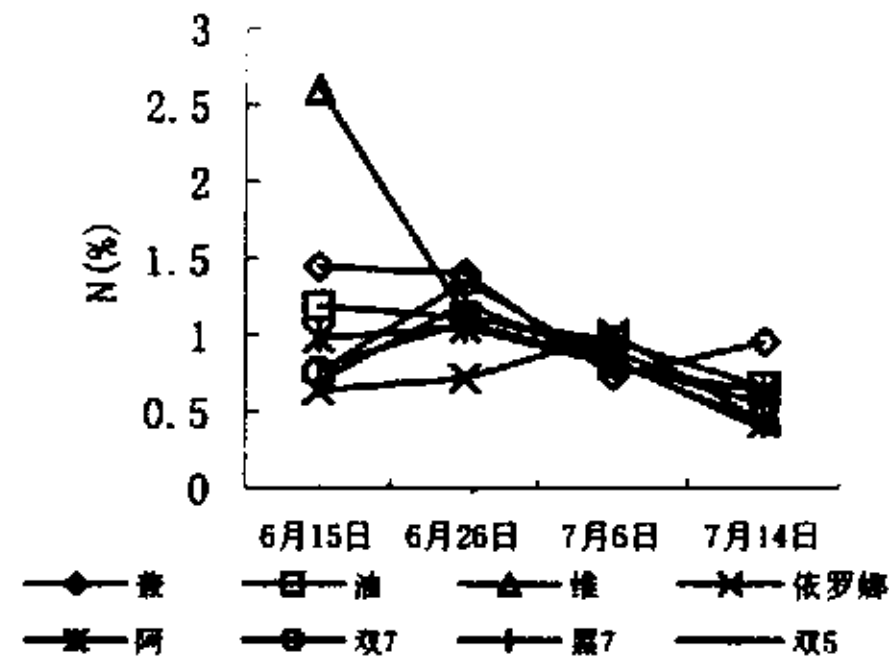


图 3-8 茎杆氮素百分含量动态变化  
(2002 年)

Fig3-8 Dynamic change of N content  
in stem

表 3-7 青熟期亚麻茎中部解剖性状与 N 含量相关关系 (r 值) (2002 年)  
Table3-7 Correlation analysis of anatomical structure of mid-stem and N content

|           | 纤维数<br>Fibers | 纤维腔宽<br>Short diameter of cavity | 纤维壁厚<br>Fiber cell wall thickness |
|-----------|---------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| N Content | 0.64*         | -0.13                            | 0.16                              |

青熟期亚麻茎杆内氮素含量与茎中部纤维数呈显著正相关 ( $r=0.64^*$ ), 氮含量与纤维腔宽呈负相关关系。此外, 氮与茎颈部纤维数呈极显著正相关关系 ( $r=0.78^{**}$ )。以上结果表明, 氮素对纤维细胞的分化、形成具有重要意义, 对纤维品质的形成也具有良好的作用 (表 3-7)。

### 3.2.2 糖含量与纤维发育关系

碳水化合物既是植物体内各种化学成分的碳架提供者, 又是代谢所需能量的携带者。葡萄糖分子作为纤维最基本组成单位, 其合成与运转效率直接影响到亚麻纤维产量、品质形成。试验结果表明 (图 3-9, 10), 各品种叶片中糖含量呈明显的升高趋势, 只有油用品种较特别, 呈倒“V”型变化, 在 6 月 26 日、7 月 6 日明显高于其它品种, 这可能是由于油用亚麻较肥厚的叶片具有较强的光合作用能力造成的, 7 月 6 日后曲线急剧下降, 这可能是由于发生倒伏造成的, 最终其含量大大低于其它品种。

各品种茎中糖含量变化规律较为一致, 表现为先不断的升高, 在 7 月 6 日 (开花期) 达到峰值, 而后迅速下降。各品种中表现突出的仍为油用品种, 油用品种 7 月 6 日前茎中保持较高含量的糖分, 这是因为叶片中糖分含量较高, 因而发生转运的糖较多。

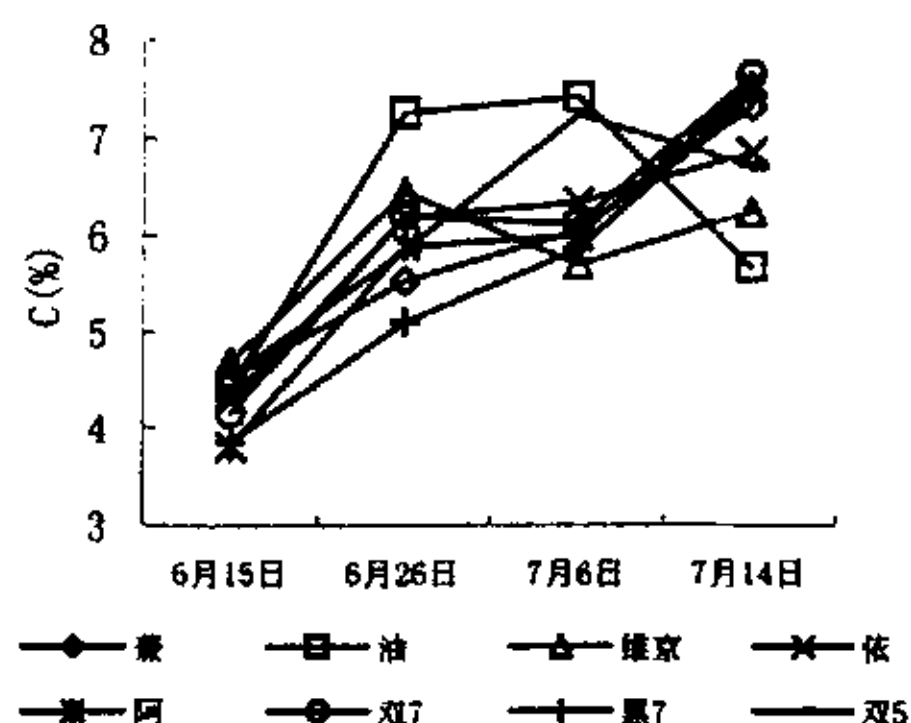


图 3-9 叶中糖分百分含量动态变化  
(2002 年)

Fig3-9 Dynamic change of C content  
in leaf

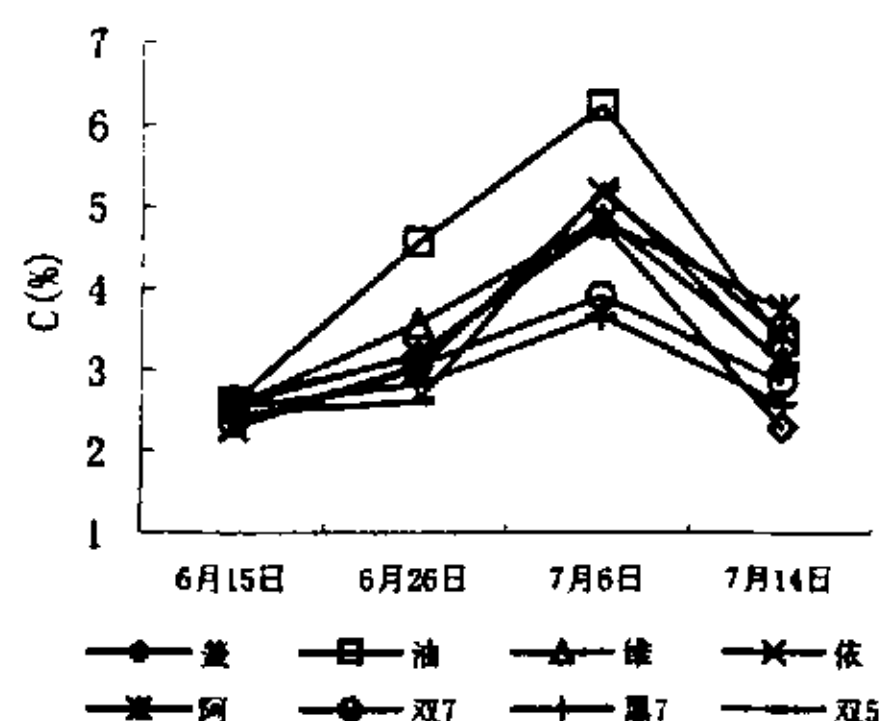


图 3-10 茎中糖分百分含量动态变化  
(2002 年)

Fig3-10 Dynamic change of C content  
in stem

亚麻茎杆中可溶性糖是亚麻直接吸收利用的主要糖分存在形式，在纤维发育中占有重要地位。通过青熟期茎中部解剖性状与可溶性糖含量相关分析得（表 3-8），可溶性糖含量与纤胞腔呈负相关关系，与纤胞壁厚呈正相关关系，而与纤胞数正相关达到显著水平（ $r=0.67^*$ ），这些在某种程度上能够说明通过可溶性糖对纤胞数的促进可以提高亚麻的产量水平，同时对纤维品质也能起到改良作用。

表 3-8 青熟期亚麻茎中部解剖性状与可溶性糖含量相关关系（r 值）

Table3-8 Correlation analysis of anatomical structure of  
mid-stem and solubility saccharide content (r-value)

|                                 | 纤胞数<br>Fibers | 纤胞腔宽<br>Short diameter of cavity | 纤胞壁厚<br>Fiber cell wall thickness |
|---------------------------------|---------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 可溶性糖含量<br>Solubility saccharide | 0.67*         | -0.48                            | 0.45                              |

### 3.2.3 碳/氮比与纤维发育关系

植株的碳代谢与氮代谢是相互联系的，在一定范围内二者的比例对作物器官发育影响很大。试验结果表明，除油用亚麻外各类型品种叶片中碳氮比随生育进程呈逐渐上升趋势，均在成熟期达到最大值（图 3-16），其中双亚 5 号、双亚 7 号、黑亚 7 号碳氮比值（ $2.8 \pm 0.19$ ）>阿里安、维京、依罗娜（ $2.4 \pm 0.15$ ）>兼用品种（2.1），而双亚 5 号、双亚 7 号、黑亚 7 号纤维含量、长麻率要小于阿里安、维京、依罗娜（表 3-9），由此可见高纤品种与中纤品种之间碳氮比大小与纤维含量、长麻率呈负相关关系，油用品种比值变化为先急剧上升然后再缓慢下降，在青熟期达到最小值，造成油用品种与其它类型品种变化趋势不同的原因是现蕾后叶片中同化产物大量运输至分枝中，以用于工艺长度以

上部分形态建成，油用品种较高的种子产量和含油率应得益于此。通过以上分析，青熟期中纤品种叶片中较高的碳氮比值说明对糖的运转率较低，以至到纤维发育结束时叶片中仍然积累一定量的糖，结果使茎纤维中同化产物的积累较少。

表 3-9 不同类型品种纤维含量、长麻率比较

Table3-9 Comparison of fiber content、long fiber ratio of different varieties

| 品种        | 纤维含量 (%)      | 长麻率 (%)          | 品种        | 纤维含量 (%)      | 长麻率 (%)          |
|-----------|---------------|------------------|-----------|---------------|------------------|
| Cultivars | Fiber content | Long fiber ratio | Cultivars | Fiber content | Long fiber ratio |
| 维京        | 20.1          | 20.4             | 双亚 7 号    | 14.9          | 16.8             |
| 依罗娜       | 19.3          | 19.5             | 黑亚 7 号    | 12.5          | 14.1             |
| 阿里安       | 17.2          | 18.6             | 双亚 5 号    | 12.3          | 15.4             |
| 兼用        | 12.1          | 10.7             | 油用        | 7.3           | 14.5             |

亚麻茎中碳氮比的动态变化趋势与叶中不尽相同（图 3-17），随生育进程推进中纤品种碳氮比变化规律为先下降再上升，高纤品种则表现为不断上升趋势，油用与兼用品种先上升，在 7 月 6 日达到最大，随后下降，这种变化趋势可能是因开花后分枝部分需要大量养分供应以完成生殖生长，结果使茎中糖部分转运到分枝及蒴果中；兼用品种最后一个时期下降幅度较小是由于它的分枝数少于油用品种，其开花结果数也就少，从而使茎中糖分含量降低较少，与叶片不同的是茎中糖分向分枝中转运始于开花期，这表明此期纤维发育已基本结束，不再继续需要大量的糖分支持。

纵观叶片、茎中碳氮比动态变化，随纤维生长发育均呈上升态势，这种态势与茎粗、纤维细胞数、纤胞长短径、纤胞壁厚变化具有相对的一致性。

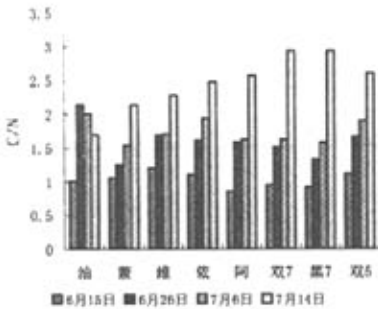


图 3-11 叶片中 C/N 动态变化 (2002 年)  
Fig3-11 Dynamic change of C/N content  
in leaf

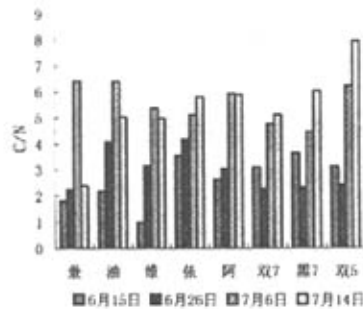


图 3-12 茎中 C/N 动态变化 (2002 年)  
Fig3-12 Dynamic change of C/N content  
in stem

### 3.3 亚麻内源激素与纤维发育之间关系

#### 3.3.1 亚麻幼嫩组织内源激素动态变化

表 3-10 亚麻叶中内源激素 GA<sub>3</sub>、IAA、ZR 含量动态变化 (2002 年)Table3-10 Dynamic change of GA<sub>3</sub>、IAA and ZR content of flax leaf (ng/g)

| 激素类型<br>Hormones types | 品种<br>Cultivars | 出苗后天数、取样部位<br>Days after seedling and investigate location |          |         |        |                |                |
|------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------|----------|---------|--------|----------------|----------------|
|                        |                 | 10 (茎尖叶)                                                   | 20 (茎尖叶) | 40(茎尖叶) | 51(花蕾) | 51(茎叶)         | 60(茎叶)         |
|                        |                 | Shoot                                                      | Shoot    | Shoot   | Bud    | Leaves of stem | Leaves of stem |
| GA <sub>3</sub>        | 油用              | 76.4                                                       | 44.1     | 97.7    | 155.3  | 184.1          | 64.4           |
|                        | 兼用              | 87.7                                                       | 92.7     | 136.2   | 147.7  | 144.6          | 54.7           |
|                        | 维京              | 85.6                                                       | 56.5     | 221.9   | 178.9  | 227.4          | 58.4           |
|                        | 依罗娜             | 100.2                                                      | 45.0     | 152.8   | 160.8  | 221.5          | 57.3           |
|                        | 阿里安             | 104.0                                                      | 85.5     | 117.8   | 193.3  | 172.7          | 59.2           |
|                        | 双 7             | 62.5                                                       | 87.4     | 122.3   | 101.4  | 82.5           | 75.5           |
|                        | 黑 7             | 120.1                                                      | 115.4    | 128.7   | 112.5  | 65.3           | 61.4           |
|                        | 双 5             | 74.0                                                       | 117.8    | 138.2   | 128.1  | 124.6          | 75.6           |
| IAA                    | 油用              | 72.96                                                      | 52.75    | 44.79   | 69.89  | 63.56          | 56.70          |
|                        | 兼用              | 85.25                                                      | 106.09   | 43.52   | 62.82  | 100.07         | 36.74          |
|                        | 维京              | 71.74                                                      | 56.43    | 107.46  | 80.45  | 115.7          | 47.42          |
|                        | 依罗娜             | 85.96                                                      | 61.66    | 74.59   | 71.36  | 151.13         | 28.86          |
|                        | 阿里安             | 99.45                                                      | 79.45    | 49.04   | 273.02 | 58.90          | 39.37          |
|                        | 双 7             | 75.62                                                      | 38.43    | 46.72   | 121.05 | 72.05          | 43.56          |
|                        | 黑 7             | 106.43                                                     | 44.61    | 47.38   | 113.73 | 52.58          | 34.99          |
|                        | 双 5             | 83.45                                                      | 45.37    | 47.53   | 81.33  | 106.00         | 41.22          |
| ZR                     | 油用              | 72.47                                                      | 51.59    | 58.83   | 62.92  | 56.59          | 54.58          |
|                        | 兼用              | 90.50                                                      | 120.39   | 56.31   | 66.53  | 78.89          | 58.52          |
|                        | 维京              | 70.39                                                      | 64.86    | 121.81  | 67.88  | 97.65          | 44.07          |
|                        | 依罗娜             | 83.64                                                      | 54.80    | 102.33  | 62.57  | 125.14         | 42.38          |
|                        | 阿里安             | 104.54                                                     | 62.10    | 50.23   | 211.21 | 46.32          | 48.59          |
|                        | 双 7             | 98.63                                                      | 79.45    | 59.77   | 95.27  | 59.00          | 44.63          |
|                        | 黑 7             | 104.80                                                     | 60.90    | 59.57   | 135.11 | 44.92          | 45.18          |
|                        | 双 5             | 81.39                                                      | 62.46    | 60.97   | 69.14  | 46.82          | 45.07          |

GA<sub>3</sub>、IAA 具有促进细胞生长和分化的作用已众所周知。ZR 作为细胞分裂素的一个

组分，具有促进细胞分裂和防止衰老的生理作用，因此在纤维发育过程中，ZR 含量的变化对纤维的形成具有重要意义。

由表 3-10 可见，高纤品种茎尖叶中  $GA_3$  含量随纤维生长发育表现为先下降再上升，在出苗后第 51 天时基本达到最高，而后迅速下降；中纤品种先保持上升趋势，在出苗后第 40 天达最大，然后逐渐降低至最低，在现蕾期（出苗后第 51 天）花蕾中  $GA_3$  含量要高于叶中，而且快速生长期（出苗后第 40 天）、现蕾开花期（出苗后第 51 天）高纤品种  $GA_3$  含量大大高于兼用、油用、中纤品种。由以上分析可得，高纤品种最大值高于中纤品种，并晚于中纤品种一个时期出现，这表明高纤品种  $GA_3$  的合成持续处于增长状态，这样有利于其纤维的伸长，同时快速生长期、现蕾期较高  $GA_3$  含量也为纤维细胞伸长生长创造了良好条件。

维京、依罗娜的 IAA 含量变化为先下降再上升然后再下降，其中最后一阶段含量急剧下降，在快速生长后期（出苗后第 40 天）、现蕾开花期（出苗后第 51 天）IAA 含量在品种中最高，中纤品种变化也为先下降再上升而后再下降，只不过升降的趋势相对较平缓，与高纤品种含量变化显著不同的是在最后一阶段含量下降幅度较小。通过比较还发现，高纤品种在枞形期（出苗后第 20 天）IAA 含量（ $65.8 \pm 12.1 \text{ ng/g}$ ）> 中纤品种（ $42.8 \pm 3.8 \text{ ng/g}$ ）> 油用品种（ $52.8 \text{ ng/g}$ ）；快速生长期（出苗后 40 天）高纤品种（ $77 \pm 29.3 \text{ ng/g}$ ）> 中纤品种（ $47.2 \pm 0.4 \text{ ng/g}$ ）> 油用品种（ $44.8 \text{ ng/g}$ ）> 兼用品种（ $43.5 \text{ ng/g}$ ），高纤品种在这两个时期均具有较高 IAA 含量，说明 IAA 既具有促进株高快速生长的作用，同时对于纤维细胞的大量分化、伸长也具有重要的促进作用。

中纤品种的 ZR 含量呈逐渐下降趋势。高纤品种曲线变化规律性不十分明显，但在快速生长期（出苗后 40 天）、现蕾期（出苗后 51 天）这两个纤维发育关键时期高纤品种（ $112.1 \pm 13.8 \text{ ng/g}$ 、 $111.4 \pm 19.4 \text{ ng/g}$ ）大大高于中纤品种（ $60.1 \pm 0.76 \text{ ng/g}$ 、 $50.3 \pm 7.6 \text{ ng/g}$ ）、油用品种（ $58.8 \text{ ng/g}$ 、 $56.6 \text{ ng/g}$ ）、兼用品种（ $56.3 \text{ ng/g}$ 、 $78.9 \text{ ng/g}$ ）。综上得，各品种遗传特性的不同导致了 ZR 含量变化的不同。

### 3.3.2 亚麻韧皮纤维内源激素动态变化

#### 3.3.2.1 不同类型品种茎基部、中部麻皮激素含量动态变化

随生育期不同类型品种亚麻基部韧皮纤维中各激素含量的动态变化具有相一致的规律（图 3-13），即 6 月 24 日（快速生长后期）到 7 月 16 日（开花期） $GA_3$ 、IAA、ZR 含量均呈先下降再上升“V”型变化，各激素含量均在 7 月 16 日达到最高值，其中 IAA 含量变化幅度较大，现蕾期（7 月 6 日）各激素含量最低可能是由于花蕾中虽然孕育着较高浓度激素，但由于其形态刚刚建成，结果使各激素尚未进入完全转运状态，从而使韧皮纤维中各激素含量最低；茎中部韧皮纤维中各激素含量动态变化同茎基部变化相类似，也以 IAA 波动最为明显（图 3-14）。

综上分析，六个品种韧皮纤维中各激素含量均在开花期达到最大，也就是说愈接近成熟纤维中愈含有高浓度激素，这也充分说明激素对纤维形成发育的重要意义。韧皮纤维中测定的三种激素中，IAA 含量相对最低，这是否意味着 IAA 对于纤维细胞径向加粗、

纤维细胞壁加厚没有直接影响还有待进一步研究探讨。此外,不同激素对不同节间纤维发育影响以及叶片与茎韧皮纤维中激素运转、分配机理都是今后亟待进一步研究的课题。

### 3.3.2.2 不同类型品种茎向内源激素动态变化

一般认为茎尖与叶片是激素合成的主要部位,比较现蕾前亚麻韧皮纤维与叶中  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量可得(表 3-11),在 6 月 12 日、6 月 24 日各类型品种茎尖叶中  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量均比韧皮纤维中的含量低,这说明在植株生长及纤维发育过程中各激素除了从茎尖源源不断地合成并向韧皮纤维中输送外,各部位的茎上叶可能也是激素合成的重要部位,并且就近直接运输到韧皮纤维中,这样叶片中低浓度的激素含量使得韧皮纤维能够始终保持较高浓度的激素刺激;6 月 24 日、7 月 6 日茎中部麻皮中  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量均较茎基部中的含量高。7 月 6 日双亚 5 号、黑亚 7 号、阿里安、依罗娜花蕾中  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量均高于茎中部、基部麻皮,而油用、兼用品种花蕾中  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量均明显低于茎中部、基部麻皮中的含量。

综上,各生育期纤用品种  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量在茎中分布为:花蕾>茎中部麻皮>茎基部麻皮>茎尖叶,而油用、兼用品种表现为:茎中部麻皮>茎基部麻皮>茎尖叶>花蕾。

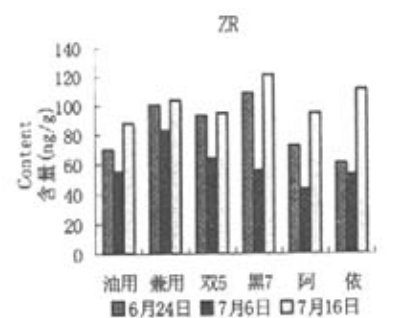
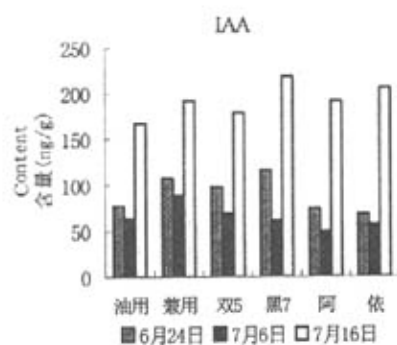
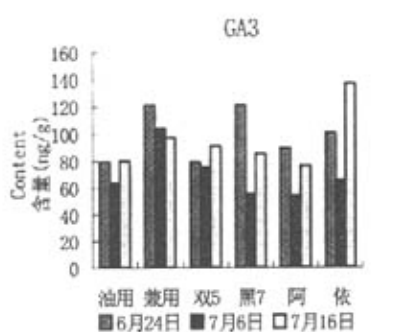


图 3-13 茎基部麻皮  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量动态变化(2003 年)

Fig3-13 Dynamic change of  $GA_3$ 、IAA、ZR content in phloem of boot stem

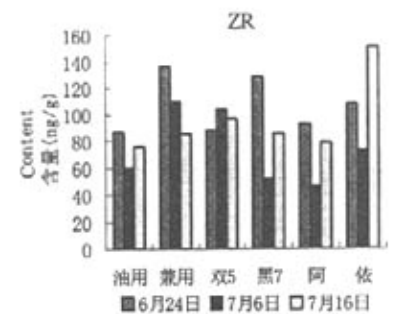
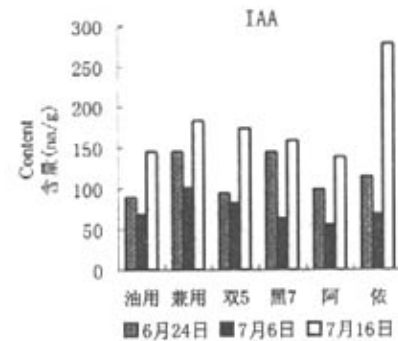
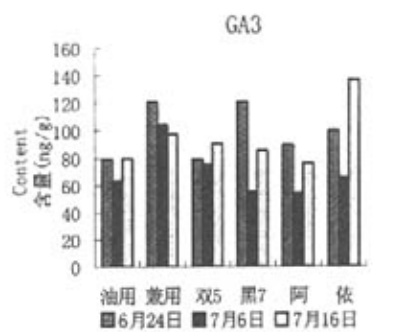


图 3-14 茎中部麻皮  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量动态变化 (2003 年)

Fig3-14 Dynamic change of  $GA_3$ 、IAA、ZR content in phloem of middle stem

表 3-11 不同时期叶(蕾)与韧皮中 GA<sub>3</sub>、IAA、ZR 含量比较(2003 年)Table3-11 Comparison of GA<sub>3</sub>、IAA、ZR content between leaf (bud) and phloem (ng/g)

| 激素类型<br>Hormones<br>types | 品种<br>Cultivars | 6 月 12 日 |       | 6 月 24 日                 |                          |       | 7 月 6 日                  |                          |       |
|---------------------------|-----------------|----------|-------|--------------------------|--------------------------|-------|--------------------------|--------------------------|-------|
|                           |                 | 麻皮       | 茎尖叶   | 基部麻皮                     | 中部麻皮                     | 茎尖叶   | 基部麻皮                     | 中部麻皮                     | 花蕾    |
|                           |                 | Phloem   | Shoot | Phloem of<br>bottom stem | Phloem of<br>middle stem | Shoot | Phloem of<br>bottom stem | Phloem of<br>middle stem | Bud   |
| GA <sub>3</sub>           | 油用              | 106.1    | 45.7  | 74.8                     | 79.5                     | 54.2  | 56.5                     | 63.7                     | 38.6  |
|                           | 兼用              | 106.7    | 57.6  | 95.4                     | 121.1                    | 63.0  | 85.6                     | 104.3                    | 50.2  |
|                           | 双 5             | 65.5     | 73.3  | 85.4                     | 79.3                     | 53.3  | 64.1                     | 75.3                     | 93.7  |
|                           | 黑 7             | 172.9    | 60.1  | 110.8                    | 121.0                    | 74.7  | 59.5                     | 55.3                     | 84.0  |
|                           | 阿里安             | 86.1     | 83.6  | 65.3                     | 89.6                     | 70.5  | 44.0                     | 54.2                     | 64.3  |
|                           | 依罗娜             | 75.8     | 66.1  | 55.9                     | 100.4                    | 55.2  | 53.1                     | 65.6                     | 68.5  |
| IAA                       | 油用              | 155.4    | 67.6  | 77.0                     | 89.7                     | 84.3  | 63.7                     | 68.9                     | 41.8  |
|                           | 兼用              | 167.5    | 66.2  | 107.3                    | 145.3                    | 62.4  | 88.6                     | 101.0                    | 96.6  |
|                           | 双 5             | 100.1    | 99.3  | 98.3                     | 94.1                     | 68.1  | 68.7                     | 82.1                     | 91.1  |
|                           | 黑 7             | 249.8    | 86.6  | 115.6                    | 144.4                    | 67.4  | 61.1                     | 63.1                     | 68.4  |
|                           | 阿里安             | 129.4    | 121.2 | 74.1                     | 99.1                     | 72.8  | 49.3                     | 55.3                     | 120.8 |
|                           | 依罗娜             | 97.6     | 96.9  | 68.8                     | 114.6                    | 66.6  | 56.7                     | 68.9                     | 71.5  |
| ZR                        | 油用              | 105.5    | 48.8  | 70.2                     | 87.0                     | 56.5  | 55.2                     | 60.4                     | 49.4  |
|                           | 兼用              | 113.6    | 61.1  | 100.5                    | 136.4                    | 59.9  | 82.9                     | 109.9                    | 61.6  |
|                           | 双 5             | 89.2     | 96.1  | 93.6                     | 88.4                     | 60.2  | 63.8                     | 103.9                    | 89.2  |
|                           | 黑 7             | 169.5    | 66.0  | 108.6                    | 128.4                    | 69.8  | 56.0                     | 51.6                     | 68.4  |
|                           | 阿里安             | 96.8     | 158.7 | 72.6                     | 92.9                     | 69.4  | 43.6                     | 46.3                     | 77.9  |
|                           | 依罗娜             | 86.9     | 73.8  | 60.8                     | 107.8                    | 79.7  | 53.5                     | 72.9                     | 66.6  |

青熟期茎中不同部位各激素重新进行了分配,图 3-15 表明青熟期茎各部位麻皮 GA<sub>3</sub>、IAA、ZR 含量分布情况,依罗娜、阿里安上部麻皮中 GA<sub>3</sub> 含量要低于黑亚 7 号、双亚 5 号,而中部麻皮中含量要高于黑亚 7 号、双亚 5 号;IAA 含量在不同部位间的分布没有显著规律性,但黑亚 7 号、双亚 5 号各部位激素含量水平明显高于其它品种,高水平生长素使这两个品种株高(99.3±3.7cm)明显高于其它品种(75±10.7 cm);各品种茎中各部位 ZR 含量差异不大,没有表现出明显的梯度,差异不显著表明在此期纤维分化已结束,因而 ZR 含量不再出现波动,这意味着在纤维成熟阶段 ZR 对茎中不同部位纤维细胞内在生长变化已不具有明显影响。而油用品种上部麻皮含量显著高于其它部位,这有可能因为油用品种为晚熟品种,此期纤维仍处于不断的生长发育过程中,因而距激素合成位点较近的距离使得上部麻皮 ZR 含量较高。

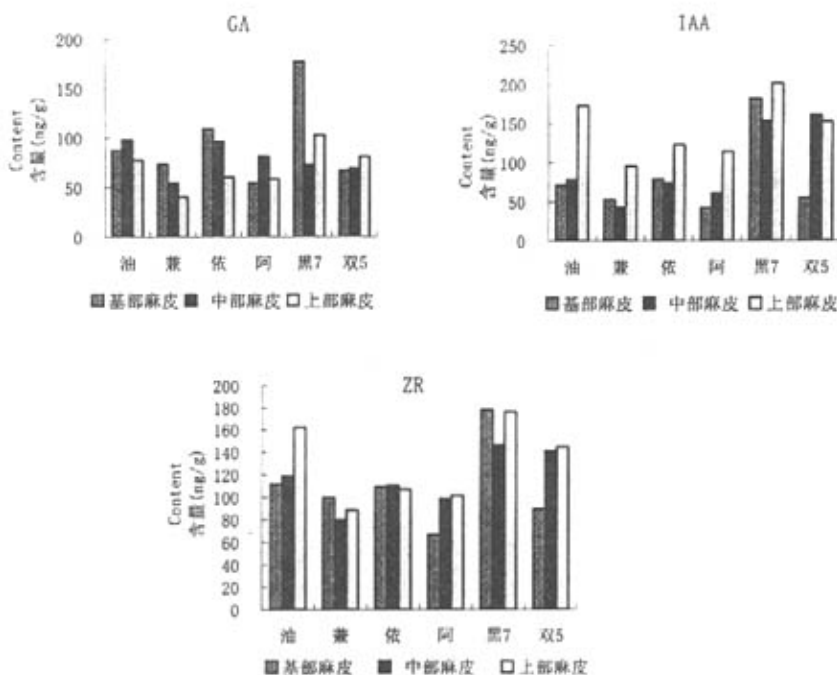


图 3-15 青熟期茎中不同部位韧皮纤维中  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量动态变化 (2002 年)  
Fig3-15 Dynamic change of  $GA_3$ 、IAA、ZR content in different locations of bast(2002)

### 3.3.3.内源激素与纤维产质量之间关系

表 3-12 青熟期茎中部麻皮激素含量与产量相关关系 (2002 年)

Table3-12 Correlation analysis of hormones content and yield (r-vale)

|                           | GA   | IAA  | ZR   | IAA+GA | GA/IAA | IAA+GA/ZR |
|---------------------------|------|------|------|--------|--------|-----------|
| 原茎产量 Straw yield          | 0.14 | 0.57 | 0.48 | 0.59   | -0.43  | 0.87**    |
| 全麻产量 Yield of total fiber | 0.57 | 0.20 | 0.44 | 0.49   | 0.06   | 0.66      |
| 长麻产量 Yield of long fiber  | 0.40 | 0.53 | 0.63 | 0.69   | -0.32  | 0.78*     |

由于每种器官都存在数种激素,因而决定生理效应的往往不是某种激素的绝对含量,而是激素间的相对含量。青熟期茎中部麻皮中积累的激素量与产量性状密切相关,通过对其与产量相关关系分析可得(表 3-12),长麻产量、原茎产量与  $(IAA+GA)/ZR$  相关分别达到显著水平 ( $r=0.78^*$ )、极显著水平 ( $r=0.87^{**}$ ),全麻产量与其相关关系也接近显著水平 ( $r=0.66$ ),这说明生长激素与分裂激素比例控制着产量的形成,合理的比例关

系对于产量的形成十分有益；原茎产量、全麻产量、长麻产量与 GA、IAA、ZR、IAA+GA 均为正相关关系。

表 3-13 绿熟期茎中部麻皮激素含量与纤维品质相关关系 (2002 年)

Table3-13 Correlation analysis of hormones content and quality (r-vale)

|                     | GA    | IAA    | ZR     | IAA+GA | GA/IAA | IAA+GA/ZR |
|---------------------|-------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| 强度 Intension        | 0.19  | 0.84** | 0.84** | 0.86** | -0.65  | 0.70      |
| 分裂度 Division degree | 0.79* | 0.36   | 0.79*  | 0.75*  | 0.04   | 0.50      |
| 可挠度 Flexibility     | -0.15 | -0.50  | -0.55  | -0.53  | 0.39   | -0.38     |

绿熟期茎中部麻皮激素与纤维品质相关关系如表 3-13 所示，纤维强度与 IAA、ZR、IAA+GA 相关达到极显著水平 ( $r=0.84^{**}$ ,  $0.84^{**}$ ,  $0.86^{**}$ )，纤维分裂度与 GA、ZR、IAA+GA 相关达到显著水平 ( $r=0.79^{*}$ ,  $0.79^{*}$ ,  $0.75^{*}$ )，纤维强度、分裂度与可挠度成负相关关系，因而各激素与可挠度也呈负相关关系。

表 3-14 花蕾中激素与产量相关关系 (2002 年)

Table3-14 Correlation analysis of hormones content of bud and yield (r-vale)

|                           | GA   | IAA   | ZR    | IAA+GA | GA/IAA | IAA+GA/ZR |
|---------------------------|------|-------|-------|--------|--------|-----------|
| 原茎产量 Straw yield          | 0.74 | 0.04  | 0.08  | 0.31   | 0.51   | 0.41      |
| 全麻产量 Yield of total fiber | 0.44 | -0.50 | -0.47 | -0.22  | 0.86*  | 0.71      |
| 长麻产量 Yield of long fiber  | 0.18 | -0.75 | -0.78 | -0.52  | 0.93** | 0.82*     |

现蕾期是亚麻产质量形成的重要时期，此期花蕾中激素与产质量相关关系显示 (表 3-14, 15)，GA/IAA 与全麻产量、长麻产量相关分别达到显著、极显著水平，原茎产量与其相关程度也较高 ( $r=0.51$ )。GA/IAA 与纤维分裂度相关也达到极显著水平 ( $r=0.84^{**}$ )，现蕾期细胞分裂已接近结束，纤胞数与分裂度相关程度接近显著水平 (表 3-6)，现蕾期纤维分裂度可以说初步形成，因此 GA/IAA 对纤维分裂度形成十分重要。现蕾以后纤维细胞仍要进行一系列生长发育过程，因而现蕾期各激素对产质量尤其是品质影响均刚刚显现出来。

表 3-15 花蕾中激素与纤维品质相关关系 (2002 年)

Table3-15 Correlation analysis of hormones content of bud and quality

|                     | GA    | IAA   | ZR    | IAA+GA | GA/IAA | IAA+GA/ZR |
|---------------------|-------|-------|-------|--------|--------|-----------|
| 强度 Intension        | -0.66 | -0.73 | -0.52 | -0.81  | 0.20   | -0.07     |
| 分裂度 Division degree | 0.42  | -0.53 | -0.59 | -0.25  | 0.84*  | 0.81*     |
| 可挠度 Flexibility     | 0.11  | -0.41 | -0.41 | -0.27  | 0.59   | 0.48      |

### 3.4 植物生长调节剂对亚麻产质量影响

试验通过对不同品种亚麻不同时期喷洒不同植物生长调节剂的处理, 来分析植物生长调节剂对亚麻生长发育及产量品质的影响。

#### 3.4.1 植物生长调节剂对亚麻生长的影响

乙烯利快速生长期处理各品种喷后第 10~20 天株高、工艺长度生长速率高于对照, 叶面积与对照相比各有增减, 干物质积累在喷后 10 天内均较对照小, 第 10~20 天阿里安、维京增长速率超过对照, 黑亚 11 号与对照相比下降幅度也由 41.3% 下降到 19.3% (表 3-16)。

表 3-16 快速生长期喷施乙烯利对亚麻植株生长速率的影响 (2003 年)

Table 3-16 Effect of ethylene on the plant growth rate (quick-growth stage)

| 品种<br>Cultivars |    | 株高 (cm/d)<br>Plant height |      | 工艺长 (cm/d)<br>Tech-Length | 全株叶面积 (cm <sup>2</sup> /d)<br>LA |       | 干物重 (g/d)<br>DW |      |
|-----------------|----|---------------------------|------|---------------------------|----------------------------------|-------|-----------------|------|
|                 |    |                           |      |                           |                                  |       |                 |      |
|                 |    | 10 天                      | 20 天 | 20 天                      | 10 天                             | 20 天  | 10 天            | 20 天 |
| 阿里安             | 处理 | 2.33                      | 1.22 | 0.92                      | 0.19                             | -1.34 | 0.19            | 0.06 |
| 黑 11            |    | 3.37                      | 0.89 | 0.42                      | 0.17                             | -0.13 | 0.15            | 0.12 |
| 维京              |    | 2.13                      | 0.40 | 0.09                      | 0.35                             | 0.7   | 0.14            | 0.11 |
| 阿里安             | 对照 | 2.03                      | 0.29 | 0.29                      | 0.29                             | -1.09 | 0.25            | 0.01 |
| 黑 11            |    | 3.32                      | 0.77 | 0.36                      | 0.85                             | -0.57 | 0.26            | 0.15 |
| 维京              |    | 2.41                      | 0.34 | 0.16                      | 0.82                             | -0.34 | 0.16            | 0.06 |

赤霉素各处理工艺长度生长速率较对照有所提高, 株高在喷施后 10~20 天增长速率较对照高, 阿里安略有降低 (4.5%), 干物质积累速度在喷后 10 天低于对照, 而喷后第 10~20 天干物质积累速度大大高于对照 (黑亚 11 号略有降低) (表 3-17)。

在枞形期多效唑处理中, 各品种喷后第 10~20 天内株高生长速率大大降低 (维京降低 41.4%), 各品种叶面积增长速率在两个阶段均高于对照, 两个阶段阿里安、黑 11 干物质积累速率较对照明显增加, 达 20.1% 以上, 而维京增长速率较对照两个阶段分别减少 65%、40.3% (表 3-18)。该处理除维京株高、干物重增长速率降低较多外, 阿里安、黑 11 呈现出增加或较小减少趋势, 这与该处理最终产质量性状不相一致, 这可能是该处理时期较早, 而多效唑的延缓作用将一直持续至生育末期, 而调查取样时期较早使多效唑延缓作用表现不明显, 同时需注意的是多效唑虽对生长具有抑制作用, 使株高降低, 但与之相反的是叶面积、干物质增长速率较高, 由此更恰当的处理浓度可能在株高降低与叶面积、干物质增加之间寻找到平衡点, 从而多效唑在防止亚麻植株徒长同时, 也有可能提高亚麻产质量水平。

表 3-17 快速生长期喷施赤霉素对亚麻植株生长速率的影响 (2003 年)

Table3-17 Effect of GA<sub>3</sub> on the plant growth rate (quick-growth stage)

| 品种        |    | 株高 (cm/d)   |      | 工艺长 (cm/d)  | 全株叶面积 (cm <sup>2</sup> /d) |       | 干物重 (g/d) |       |
|-----------|----|-------------|------|-------------|----------------------------|-------|-----------|-------|
| Cultivars |    | Plant hight |      | Tech-Length | LA                         |       | DW        |       |
|           |    | 10 天        | 20 天 | 20 天        | 10 天                       | 20 天  | 10 天      | 20 天  |
| 阿里安       | 处理 | 2.00        | 0.28 | 0.17        | 0.61                       | -1.11 | 0.18      | 0.03  |
| 黑 11      |    | 3.48        | 0.81 | 0.61        | 0.38                       | -0.57 | 0.22      | 0.13  |
| 维京        |    | 2.22        | 0.88 | 0.29        | 0.46                       | 0.11  | 0.14      | 0.14  |
| 阿里安       | 对照 | 2.03        | 0.29 | 0.08        | 0.29                       | -1.09 | 0.25      | 0.002 |
| 黑 11      |    | 3.32        | 0.77 | 0.36        | 0.85                       | -0.57 | 0.26      | 0.15  |
| 维京        |    | 2.41        | 0.34 | 0.16        | 0.82                       | -0.34 | 0.16      | 0.06  |

表 3-18 枞形期喷施多效唑对亚麻植株生长速率的影响 (2003 年)

Table3-18 Effect of pp333 on the plant growth rate (slowly-growth stage)

| 品种<br>Cultivars | 株高 (cm/d)<br>Plant hight |      | 全株叶面积 (cm <sup>2</sup> /d)<br>LA of 1 plant |       | 干物重 (g/d)<br>Dry weight |      |
|-----------------|--------------------------|------|---------------------------------------------|-------|-------------------------|------|
|                 |                          |      |                                             |       |                         |      |
|                 | 10 天                     | 20 天 | 10 天                                        | 20 天  | 10 天                    | 20 天 |
| 阿里安 处理          | 1.05                     | 2.72 | 0.62                                        | 0.45  | 0.064                   | 0.16 |
| 黑 11            | 0.91                     | 2.53 | 1.10                                        | 0.64  | 0.066                   | 0.14 |
| 维京              | 0.85                     | 1.65 | 0.62                                        | 0.73  | 0.024                   | 0.11 |
| 阿里安 对照          | 1.26                     | 2.95 | 0.54                                        | -0.23 | 0.052                   | 0.11 |
| 黑 11            | 0.85                     | 3.02 | 0.85                                        | 0.26  | 0.030                   | 0.12 |
| 维京              | 1.66                     | 2.81 | 0.46                                        | 0.60  | 0.069                   | 0.19 |

表 3-19 现蕾前喷施多效唑对亚麻植株生长速率的影响 (2003 年)

Table3-19 Effect of pp333 on the plant growth rate (bud-emerging stage)

| 品种<br>Cultivars | 株高 (cm/天)<br>Plant hight |      | 工艺长度 (cm/天)<br>Tech-length |      | 全株叶面积 (cm <sup>2</sup> /天)<br>LA of plant |       | 干物重 (g/天)<br>DW |        |
|-----------------|--------------------------|------|----------------------------|------|-------------------------------------------|-------|-----------------|--------|
|                 |                          |      |                            |      |                                           |       |                 |        |
|                 | 10 天                     | 20 天 | 10 天                       | 20 天 | 10 天                                      | 20 天  | 10              | 20 天   |
| 阿里安 处理          | 1.66                     | 0.08 | 2.66                       | 0.09 | 0.22                                      | -1.20 | 0.17            | 0.0036 |
| 黑 11            | 1.57                     | 0.23 | 3.14                       | 0.19 | 0.06                                      | -1.13 | 0.11            | 0.0586 |
| 维京              | 1.75                     | 0.23 | —                          | —    | 0.36                                      | -0.25 | 0.13            | 0.03   |
| 阿里安 对照          | 2.04                     | 0.26 | 2.71                       | 0.23 | 2.50                                      | -1.51 | 0.22            | 0.002  |
| 黑 11            | 1.80                     | 0.37 | 3.33                       | 0.28 | 2.32                                      | -0.71 | 0.15            | 0.07   |
| 维京              | 2.28                     | 0.25 | —                          | —    | 0.08                                      | -0.11 | 0.15            | 0.02   |

现蕾前喷施多效唑处理结果如表 3-19 所示,各品种株高、工艺长度生长速率较对照降低,在喷施 10 天后各处理、对照叶面积均呈下降趋势,阿里安、黑 11 下降速率分别比对照高 57.72%、136.5%。随生育进程推进,各处理、对照干物质日积累速率值非常小,而且处理与对照之间积累速率绝对值相差不大。

综上分析,在喷后 20 天内各处理对叶面积变化、干物质积累影响不够明显,但各处理在株高、工艺长度上的促进、延缓作用已具有明显的趋势,这种趋势最终形成与其功效相符的结果。

### 3.4.2 植物生长调节剂对亚麻生理指标的影响

#### 3.4.2.1 不同植物生长调节剂对叶绿素含量影响

表 3-20 不同处理对叶绿素含量影响方差分析 (2003 年)

Table3-20 Influences of different treatments on chlorophyll content

| 处理<br>Treatments | 品种<br>Cultivars | 项目<br>Items | 叶绿素含量(mg/g)            |     | Chlorophyll content    |     |
|------------------|-----------------|-------------|------------------------|-----|------------------------|-----|
|                  |                 |             | 喷施后 10 天               |     | 喷施后 20 天               |     |
|                  |                 |             | 10 days after spraying |     | 20 days after spraying |     |
| 乙烯利<br>(快速生长期)   | 黑 11            | 处理          | 26.56                  | a A | 22.24                  | a A |
|                  |                 | 对照          | 25.56                  | a A | 21.29                  | a A |
|                  | 阿里安             | 处理          | 21.66                  | a A | 16.09                  | a A |
|                  |                 | 对照          | 21.40                  | a A | 12.38                  | b B |
|                  | 维京              | 处理          | 21.22                  | a A | 21.22                  | a A |
|                  |                 | 对照          | 17.43                  | b A | 17.43                  | b A |
| 赤霉素              | 黑 11            | 处理          | 24.93                  | a A | 20.40                  | a A |
|                  |                 | 对照          | 25.56                  | a A | 21.29                  | a A |
|                  | 阿里安             | 处理          | 19.70                  | a A | 11.58                  | a A |
|                  |                 | 对照          | 21.40                  | a A | 12.38                  | a A |
|                  | 维京              | 处理          | 26.77                  | a A | 17.43                  | A A |
|                  |                 | 对照          | 26.65                  | a A | 17.28                  | a A |
| 多效唑<br>(现蕾前)     | 黑 11            | 处理          | 20.31                  | a A | 14.82                  | a A |
|                  |                 | 对照          | 21.97                  | a A | 13.68                  | a A |
|                  | 阿里安             | 处理          | 19.74                  | a A | 11.18                  | A A |
|                  |                 | 对照          | 19.79                  | a A | 10.15                  | a A |
|                  | 维京              | 处理          | 25.26                  | b B | 17.05                  | b B |
|                  |                 | 对照          | 28.10                  | a A | 18.56                  | a A |

注: a, b 和 A, B 分别代表 0.05、0.01 显著水平

Note: the different capital and small letters denote significant at the 0.01 and 0.05 levels, respectively

由表 3-20 可得, 乙烯利快速生长期处理各品种叶绿素含量略高于对照, 其中阿里安在喷后第 20 天达极显著高于对照, 维京在喷后第 10、20 天显著高于对照; 赤霉素处理中黑 11、阿里安在喷后第 10、20 天叶绿素含量低于对照, 维京略高于对照, 都没有达到显著水平; 多效唑处理中黑 11、阿里安处理与对照差异不大, 只略有增减, 维京在喷后第 10、20 天均极显著低于对照, 表现出明显的抑制作用。以上分析说明各激素处理对叶片光合作用的影响不明显, 只有个别品种处理达到显著、极显著水平。

#### 3.4.2.2 植物生长调剂对亚麻内源激素含量影响

通过分析乙烯利、赤霉素处理对  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量影响可知, 乙烯利(快速生长期)处理不同品种间各激素含量变化不尽一致(图 3-16), 乙烯利提高了阿里安、黑亚 11 号中的  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量, 喷施后第 10~20 天这一阶段各激素增长速率明显大于前一阶段, 其中黑亚 11 号  $GA_3$ 、IAA 的含量增加较明显, 阿里安中 ZR 含量也获得显著增加, 而维京处理与对照中  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量无明显的差别, 无论处理与对照均呈下降趋势; 图 3-17 显示了赤霉素对三品种中  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量的影响, 阿里安、黑 11 中  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量均获得提高, 其中 ZR 得到了显著提高, 这说明外源赤霉素对 ZR 合成具有积极作用, ZR 含量增加使原茎产量获得提高(表 3-26)。而赤霉素对维京中  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量没有明显的影响, 同乙烯利处理表现一致各激素含量也呈下降趋势。

乙烯利、赤霉素对维京中三激素含量均无明显影响, 维京早熟的遗传特性可能是导致这种结果的主要原因, 早熟品种各生育时期相对缩短, 因而其最佳接受外源刺激时期还有待探索。

枞形期喷施多效唑处理对  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量影响如表 3-18 所示, 阿里安、黑亚 11 号喷施后 10 天  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量同对照相比均减小, 各激素降幅在 6.16%~7.17%, 但阿里安同对照相比  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量均增加, 增幅分别为 11%、18%、12%; 三品种喷施后 20 天  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量同对照相比表现出一致的降低趋势, 黑亚 11 号  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量同其它两个品种相比降幅最大(除维京  $GA_3$ ), 分别达 6%、13%、14%, 而且黑亚 11 号原茎产量、全麻产量在三个品种中较对照相比降低最多, 分别为 36.2%、37.4%(表 3-28)。在喷施后第 10 天和第 20 天横向比较中, 阿里安、黑亚 11 号喷施后第 10 天三种激素减小幅度( $0.121 \pm 0.044$ )要高于喷施后第 20 天的减小幅度( $0.086 \pm 0.039$ )。

现蕾前喷施多效唑对  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量抑制作用如图 3-19 所示, 阿里安、黑亚 11 号、维京中  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量均较对照降低, 其中黑亚 11 号 ZR 含量在喷施后 20 天时降低幅度最大(29%), 其余降低幅度 0.4%~28%, 从曲线来看维京中 IAA、ZR 含量波动较明显。

综合以上分析, 不同基因型在接受乙烯利、赤霉素、多效唑外源激素的刺激时, 内源激素变化表现出明显的品种间差异, 这意味着要充分发挥植物生长调节剂的调节作用, 需针对各基因型所特有的遗传特性选择适宜的剂型、作用时期、施用量, 只有这样才能获得良好的作用效果。

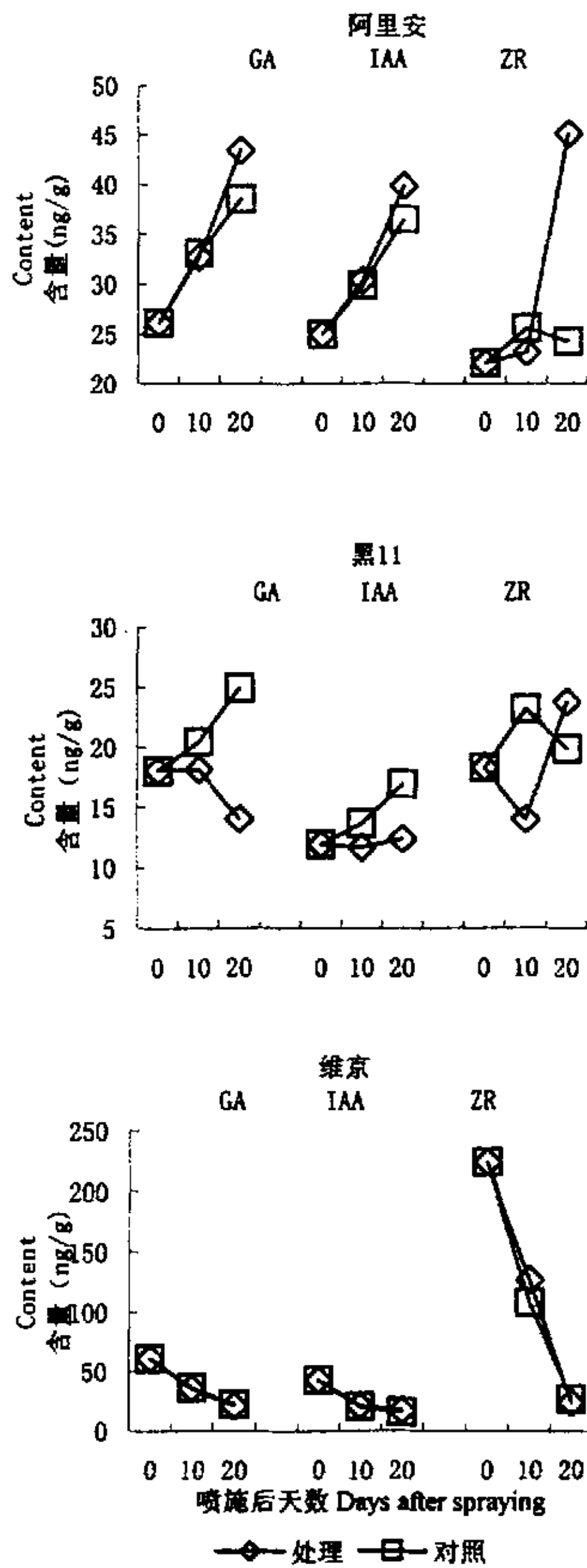


图 3-16 快速生长期喷施乙烯利对 GA<sub>3</sub>、IAA、ZR 含量影响 (2003 年)  
Fig3-16 Effect of ethylene on GA<sub>3</sub>、IAA、ZR content in quick-growth stage

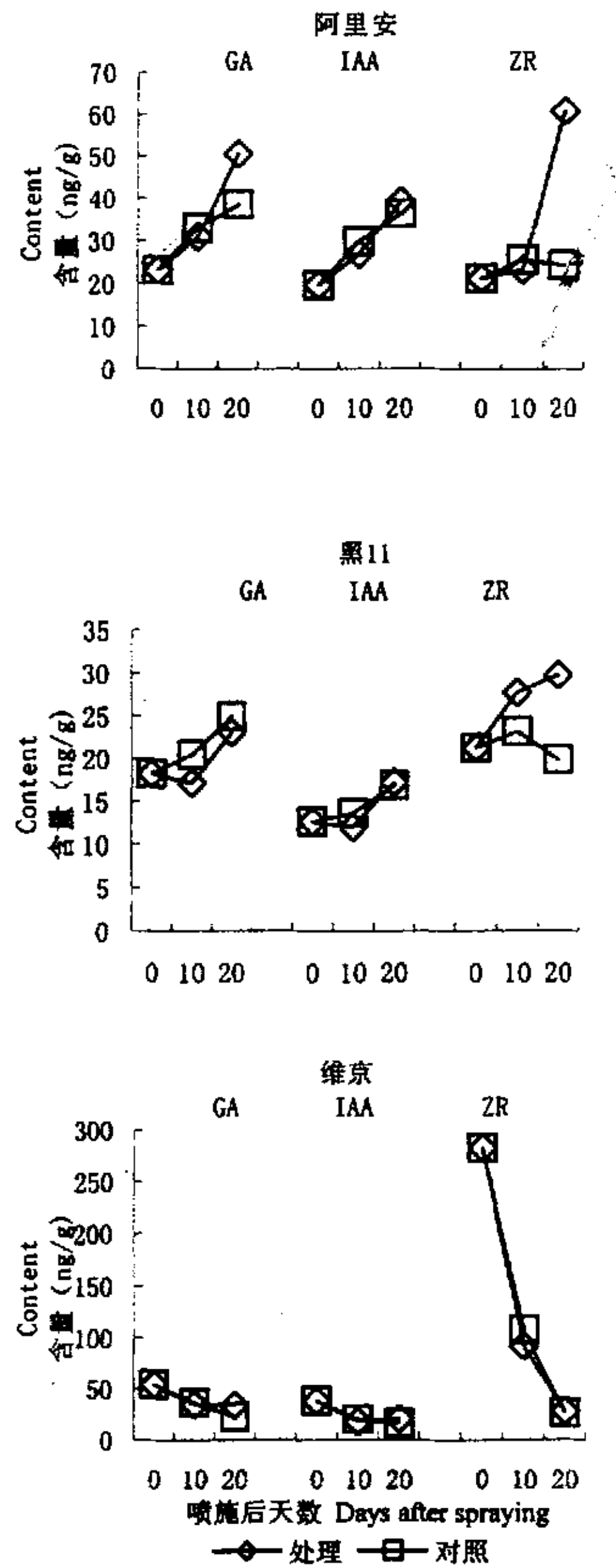


图 3-17 快速生长期喷施赤霉素对 GA<sub>3</sub>、IAA、ZR 含量影响 (2003 年)  
Fig3-17 Effect of GA<sub>3</sub> on GA<sub>3</sub>、IAA、ZR content in quick-growth stage

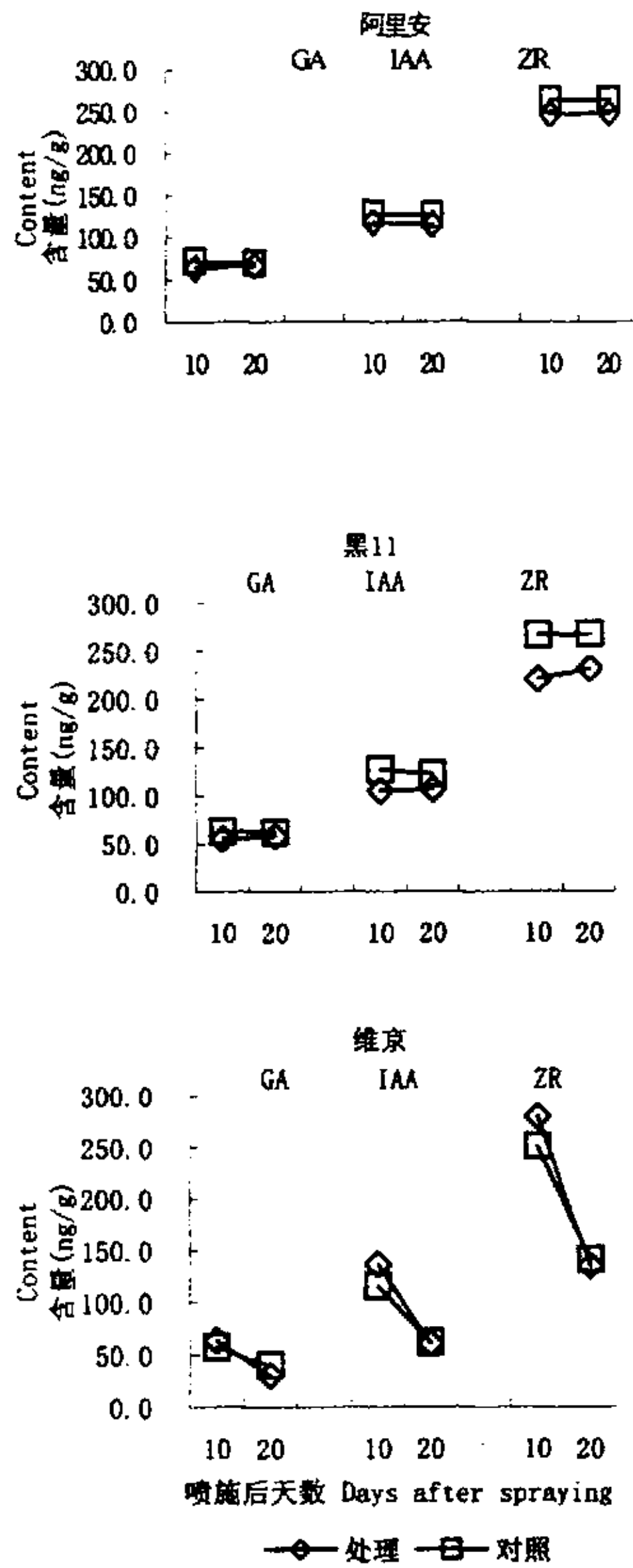


图 3-18 枞形期喷施作多效唑对 GA<sub>3</sub>、IAA、ZR 含量影响 (2003 年)  
Fig3-18 Effect of pp333 on GA<sub>3</sub>、IAA、ZR content in quick-growth stage

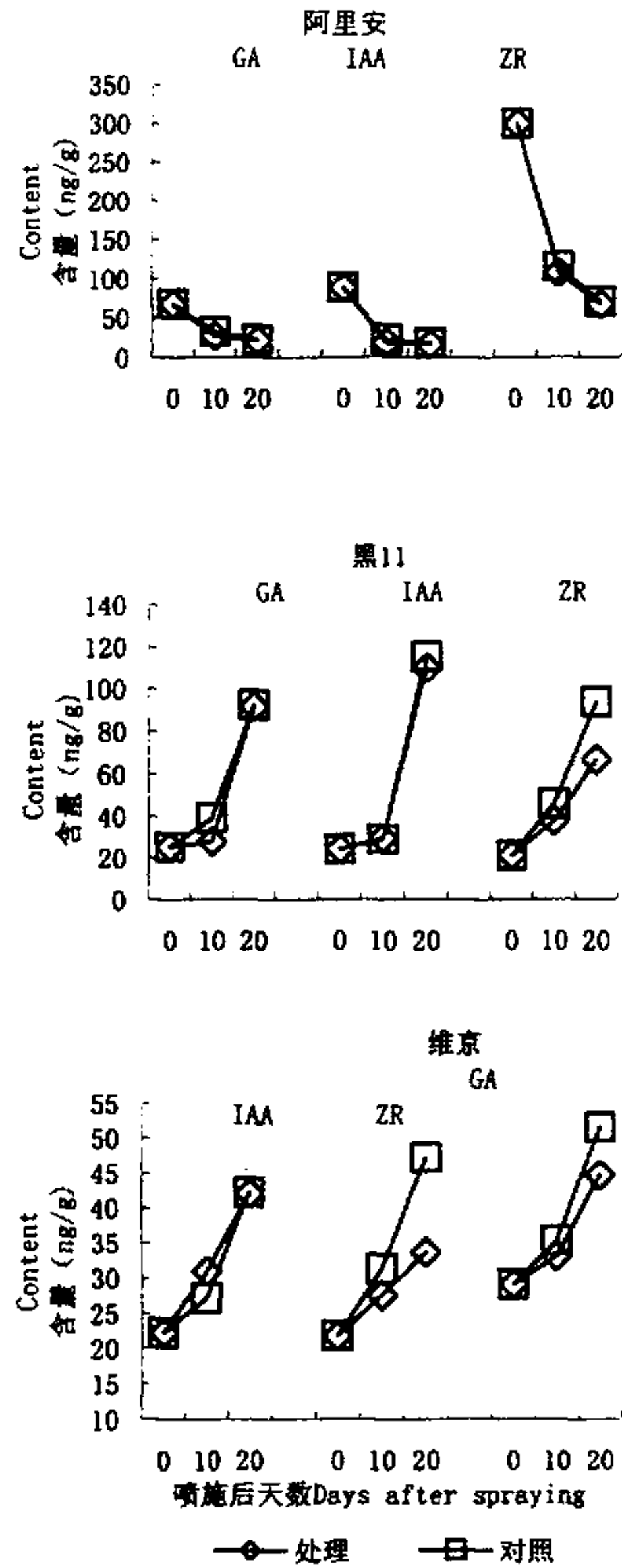


图 3-19 现蕾前喷施作多效唑对 GA<sub>3</sub>、IAA、ZR 含量影响 (2003 年)  
Fig3-19 Effect of pp333 on GA<sub>3</sub>、IAA、ZR content in bud-emerging stage

### 3.4.3 植物生长调节剂对亚麻农艺性状及产质量的影响

#### 3.4.3.1 乙烯利处理对亚麻农艺性状及产质量影响

对快速生长期喷施乙烯利的农艺性状、产量结果和品质指标分析发现(表 3-21, 22), 三个品种中只有维京的株高是降低的, 阿里安、黑亚 11 号株高增加都在 2cm 左右, 三个品种的径粗都增加, 其中阿里安、黑亚 11 号增加在 0.1cm 以上。由于株高和径粗的增加, 相应的阿里安、黑亚 11 号的原茎产量增加都在 18% 以上。从方差分析来看品种处理和对照间差异是极显著的, 快速生长期喷洒乙烯利极显著的增加了阿里安和黑亚 11 号的原茎产量, 但是对早熟品种维京的影响不显著。花序分枝数与蒴果数多少关系密切, 并对种子产量产生影响, 快速生长期喷施乙烯利使三个品种的分枝数都有增加, 但只有黑亚 11 号增加较多(0.6 个)。虽然阿里安和黑亚 11 号的种子产量都增加了, 但新复极差检验显示只有黑亚 11 号的种子产量增加达到显著水平, 而维京的种子产量下降呈显著水平。

表 3-21 快速生长期喷施乙烯利对亚麻农艺性状及品质影响(2003 年)

Table 3-21 Effect of ethephon on properties of agronomy and fibre quality

| 品种        | 项目    | 株高(cm) | 工艺长度        | 茎粗(mm)   | 分枝数    | 纤维强度               | 可挠度         | 纤维含量             | 长麻率(%)     |
|-----------|-------|--------|-------------|----------|--------|--------------------|-------------|------------------|------------|
| Cultivars | Items | Plant  | (cm)        | Stem     | (个)    | (N)                | (mm)        | (%)              | Long fibre |
|           |       | height | Tech-length | diameter | Ramify | Fibre<br>intension | Flexibility | Fibre<br>content | content    |
| 阿里安       | 处理    | 74.3   | 48.9        | 1.64     | 3.7    | 176                | 28          | 20.4             | 15.1       |
| 黑 11      |       | 77.0   | 61.3        | 1.65     | 4.2    | 133                | 44          | 19.6             | 10.2       |
| 维京        |       | 56.7   | 44.2        | 1.55     | 4.2    | 123                | 27          | 25.9             | 19.0       |
| 阿里安       | 对照    | 72.3   | 49          | 1.53     | 3.5    | 172                | 34          | 21.9             | 11.9       |
| 黑 11      |       | 75.1   | 61.1        | 1.36     | 3.6    | 191                | 40          | 18.9             | 13.3       |
| 维京        |       | 59.4   | 45.4        | 1.50     | 4.1    | 224                | 25          | 25.3             | 16.4       |

快速生长期喷施乙烯利对不同品种亚麻的纤维含量和纤维产量影响是不同的。此期喷施的乙烯利对纤维含量的影响较小, 其中阿里安略有减少(6.8%), 而另两个品种略有增加(3.7%和 2.4%), 因此纤维产量的变化主要受原茎产量变化的影响。但是乙烯利对长麻率的影响较大, 阿里安和维京的长麻率均有所增加, 而黑亚 11 号明显降低, 并因此导致各自长麻产量的变化, 阿里安由于原茎产量和长麻率均增加, 因此长麻产量大幅度增加(57.7%), 而黑亚 11 号、维京的长麻产量只略有增加。

乙烯利快速生长期处理对不同亚麻品种的纤维品质影响各不相同, 其中阿里安的纤维强度略有增加, 而黑亚 11 号和维京的纤维强度值下降较大。可挠度的变化三个品种都不大。

表 3-22 快速生长期喷施乙烯利对亚麻产量的影响 (2003 年)

Table3-22 Effect of ethephon on yield of flax (quick-growth stage)

| 品种        | 项目    | 原茎产量                  |      | 增减   | 种子产量                  |       | 增减    | 长麻产量                  |  | 增减   | 全麻产量                  |  | 增减   |
|-----------|-------|-----------------------|------|------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|--|------|-----------------------|--|------|
|           |       | (kg/hm <sup>2</sup> ) |      |      | (kg/hm <sup>2</sup> ) |       |       | (kg/hm <sup>2</sup> ) |  |      | (kg/hm <sup>2</sup> ) |  |      |
| Cultivars | Items | Straw yield           |      | (%)  | Seed yield            |       | (%)   | Long fibre yield      |  | (%)  | Total fibre yield     |  | (%)  |
| 阿里安       | 处理    | 4678.6                | a A  | 17.9 | 769.9                 | b AB  | 4.9   | 612.2                 |  | 57.7 | 952.8                 |  | 9.7  |
| 黑 11      |       | 3825.8                | b B  | 23.3 | 785.0                 | b AB  | 33.8  | 348.7                 |  | 5.2  | 749.0                 |  | 27.6 |
| 维京        |       | 2780.3                | d C  | -8.5 | 724.5                 | bc AB | -24.5 | 458.7                 |  | 6.4  | 721.0                 |  | -6.3 |
| 阿里安       | 对照    | 3967.5                | b B  |      | 733.8                 | bc AB |       | 388.1                 |  |      | 868.4                 |  |      |
| 黑 11      |       | 3101.7                | c C  |      | 586.7                 | c B   |       | 367.8                 |  |      | 586.9                 |  |      |
| 维京        |       | 3038.1                | cd C |      | 959.2                 | a A   |       | 431.1                 |  |      | 769.5                 |  |      |

成熟前喷施乙烯利同快速生长期喷施相比,三个品种除株高、纤维强度,其余各指标普遍降低(表 3-23, 24)。其中阿里安和黑亚 11 号株高增加都在 5 厘米以上,但茎粗都有所降低。与之相应的原茎产量变化各异,新复极差检验显示阿里安的下降达到显著水平,而其它两个品种原茎产量变化很小。三个品种分枝数的变化不明显,各品种处理与对照的种子产量无显著变化。成熟初期喷洒乙烯利降低了各品种的纤维含量,并由此导致各品种的全麻产量明显下降。阿里安、维京因喷施乙烯利使长麻率获得提高,维京因此提高了长麻产量,阿里安长麻产量因原茎产量显著减少而没有得到提高。维京长麻产量提高的原因我们推测,因维京是早熟品种,乙烯利喷施后在其体内作用时间相对较长,这可能持续延缓了纤维的老化进程,也可能使即将老化的纤维细胞受到刺激而得到锻炼,并因此提高了纤维素质,这一系列的结果使长麻率增加,纤维强度也同时得到增加。成熟初期喷洒乙烯利对阿里安、黑亚 11 号的产量不利,但是对品质的影响却不同,三个品种的纤维强度都是增加的,可挠度的变化不大。

表 3-23 成熟前喷施乙烯利对亚麻农艺性状及品质影响 (2003 年)

Table3-23 Effect of ethephon on properties of agronomy and fibre quality (green-ripe stage)

| 品种   | 项目 | 株高(cm)      | 工艺长度 | 茎粗(mm)        | 分枝数 | 纤维强度(N)         | 可挠度  | 纤维含量(%)       | 长麻率(%)             |
|------|----|-------------|------|---------------|-----|-----------------|------|---------------|--------------------|
|      |    | Plant hight | (cm) | Stem diameter | (个) | Fibre intension | (mm) | Fibre content | Long fibre content |
| 阿里安  | 处理 | 72.2        | 52.7 | 1.45          | 3.7 | 190             | 28   | 22.0          | 13.1               |
| 黑 11 |    | 84.0        | 64.5 | 1.57          | 4.2 | 176             | 23   | 18.3          | 9.1                |
| 维京   |    | 59.4        | 42.3 | 1.56          | 4.6 | 156             | 33   | 23.1          | 16.5               |
| 阿里安  | 对照 | 67.5        | 42.6 | 1.48          | 3.4 | 140             | 24   | 20.5          | 9.8                |
| 黑 11 |    | 78.9        | 58.2 | 1.65          | 4.6 | 141             | 46   | 19.1          | 11.9               |
| 维京   |    | 58.9        | 40.9 | 1.59          | 4.7 | 143             | —    | 27.6          | 14.2               |

表 3-24 成熟前喷施乙烯利对亚麻产量的影响 (2003 年)

Table3-24 Effect of ethephon on yield of flax (green-ripe stage)

| 品种<br>Cultivars | 项目<br>Items | 原茎产量<br>(kg/hm <sup>2</sup> )<br>straw yield |        | 增减<br>(%) | 种子产量<br>(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Seed yield |     | 增减<br>(%) | 长麻产量<br>(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Yield of Long fibre |       | 增减<br>(%) | 全麻产量<br>(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Yield of total |       | 增减<br>(%) |
|-----------------|-------------|----------------------------------------------|--------|-----------|---------------------------------------------|-----|-----------|------------------------------------------------------|-------|-----------|-------------------------------------------------|-------|-----------|
|                 |             |                                              |        |           |                                             |     |           |                                                      |       |           |                                                 |       |           |
| 阿里安             | 处理          | 2280.0                                       | c C    | -35.9     | 590.4                                       | a A | -23.5     | 298.4                                                | -14.2 |           | 502.2                                           | -31.2 |           |
| 黑 11            |             | 4022.5                                       | a AB   | -4.1      | 609.0                                       | a A | 1.6       | 366.6                                                | -26.3 |           | 737.9                                           | -8.1  |           |
| 维京              |             | 2447.5                                       | bc BC  | 0.0       | 776.6                                       | a A | -2.0      | 403.8                                                | 16.3  |           | 565.6                                           | -16.3 |           |
| 阿里安             | 对照          | 3555.0                                       | ab ABC |           | 771.6                                       | a A |           | 347.8                                                |       |           | 730.4                                           |       |           |
| 黑 11            |             | 4196.4                                       | a A    |           | 599.3                                       | a A |           | 497.6                                                |       |           | 802.5                                           |       |           |
| 维京              |             | 2447.5                                       | bc BC  |           | 792.5                                       | a A |           | 347.3                                                |       |           | 676.0                                           |       |           |

综上所述, 在亚麻不同时期喷洒乙烯利的效果不同, 在快速生长期喷施乙烯利处理中品种阿里安和黑亚 11 号的产量指标基本都是增产的, 而在成熟初期喷施乙烯利因纤维细胞的分化已基本停止, 使纤维含量和原茎产量获得大幅提高很困难, 但选择好适宜的喷施时期、浓度对纤维素质具有良好的作用。

### 3.4.3.3 赤霉素处理对亚麻农艺性状及产质量影响

试验结果表明(表 3-25, 26), 赤霉素处理对三品种的株高和茎粗影响都不大, 其中黑亚 11 号增加的幅度较大, 株高增加 2.4 厘米, 茎粗增加 0.18 厘米, 黑亚 11 号原茎产量因此提 13%, 阿里安原茎产量提高了 2.8%。三个品种的花序分枝数都呈增长趋势, 但只有阿里安的种子产量明显增加 23.9%, 达到极显著水平。

表 3-25 快速生长期喷施赤霉素对亚麻农艺性状及品质影响 (2003 年)

Table3-25Effect of GA on traits of agronomy and fibre quality(quick-growth stage)

| 品种<br>Cultivars | 项目<br>Items | 株高(cm)<br>Plant<br>hight | 工艺长度<br>(cm)<br>Tech-length | 茎粗(mm)<br>Stem<br>diameter | 分枝数<br>(个)<br>Ramify | 纤维强度(N)<br>Fibre<br>intension | 可挠度<br>(mm)<br>Flexibility | 纤维含量(%)<br>Fibre<br>content | 长麻率(%)<br>Long fibre<br>content |
|-----------------|-------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
|                 |             |                          |                             |                            |                      |                               |                            |                             |                                 |
| 阿里安             | 处理          | 69.7                     | 48.4                        | 1.58                       | 3.6                  | 134                           | 33                         | 19.1                        | 12.6                            |
| 黑 11            |             | 77.5                     | 64.0                        | 1.44                       | 3.9                  | 236                           | 33                         | 18.8                        | 14.2                            |
| 维京              |             | 61.8                     | 48.1                        | 1.41                       | 4.7                  | 199                           | 23                         | 26.8                        | 18.9                            |
| 阿里安             | 对照          | 72.3                     | 49.0                        | 1.53                       | 3.5                  | 172                           | 34                         | 21.9                        | 11.8                            |
| 黑 11            |             | 75.1                     | 61.1                        | 1.36                       | 3.6                  | 190                           | 40                         | 18.9                        | 14.1                            |
| 维京              |             | 59.4                     | 45.4                        | 1.50                       | 4.1                  | 224                           | 25                         | 25.3                        | 16.1                            |

表 3-26 快速生长期喷施赤霉素对亚麻产量的影响 (2003 年)  
Table3-26 Effect of GA on yield of flax (quick-growth stage) (2003)

| 品种<br>Cultivars | 项目<br>Items | 原茎产量<br>(kg/hm <sup>2</sup> )<br>straw yield |       | 增减<br>(%) | 种子产量<br>(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Seed yield |      | 增减<br>(%) | 长麻产量<br>(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Long fibre yield |      | 增减<br>(%) | 全麻产量<br>(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Total fibre yield |       | 增减<br>(%) |
|-----------------|-------------|----------------------------------------------|-------|-----------|---------------------------------------------|------|-----------|---------------------------------------------------|------|-----------|----------------------------------------------------|-------|-----------|
|                 |             |                                              |       |           |                                             |      |           |                                                   |      |           |                                                    |       |           |
| 阿里安             | 处理          | 4078.6                                       | a A   | 2.8       | 909.0                                       | a AB | 23.9      | 515.9                                             | 10.0 |           | 777.8                                              | -10.4 |           |
| 黑 11            |             | 3521.9                                       | bc AB | 13.6      | 690.2                                       | b BC | 17.6      | 500.8                                             | 14.5 |           | 663.7                                              | 13.1  |           |
| 维京              |             | 2913.9                                       | d B   | -4.1      | 899.1                                       | a AB | -6.3      | 551.3                                             | 12.6 |           | 781.7                                              | 1.6   |           |
| 阿里安             | 对照          | 3967.5                                       | ab A  |           | 733.8                                       | b AB |           | 469.0                                             |      |           | 868.4                                              |       |           |
| 黑 11            |             | 3101.7                                       | cd B  |           | 586.7                                       | b C  |           | 437.4                                             |      |           | 586.9                                              |       |           |
| 维京              |             | 3038.1                                       | d B   |           | 959.2                                       | a A  |           | 489.5                                             |      |           | 769.5                                              |       |           |

赤霉素处理对三个品种的纤维含量影响不大, 全麻产量变化也不大, 只有黑亚 11 号增加 13%。但是三个品种的长麻率均有所提高, 长麻产量均增加 10% 以上。品质指标显示, 赤霉素处理增加了黑亚 11 号的纤维强度, 但是其它两个品种下降。可挠度都呈降低趋势, 但变化不大。

### 3.4.3.2 多效唑处理对亚麻农艺性状及产质量影响

枞形期喷施多效唑表现出较明显的抑制效应 (表 3-27, 28), 三个品种的株高、工艺长度和茎粗明显降低。原茎产量的下降都在 10% 以上, 其中黑亚 11 号下降 34%, 达到显著水平。分枝数只有维京是增加的, 而种子产量维京和黑亚 11 号都是增加的, 阿里安略有降低, 新复极差检验显示处理与对照间产量变化不显著。

表 3-27 枞形期喷施多效唑对亚麻农艺性状及品质影响 (2003 年)  
Table3-27 Effect of ppp333 on traits of agronomy and quality (slowly-growth stage)

| 品种<br>Cultivars | 项目<br>Items | 株高(cm)<br>Plant<br>hight | 工艺长度<br>(cm)<br>Tech-length | 茎粗(mm)<br>Stem<br>diameter | 分枝数<br>(个)<br>Ramify | 纤维强度(N)<br>Fibre<br>intension | 可挠度<br>(mm)<br>Flexibility | 纤维含量(%)<br>Fibre<br>content | 长麻率(%)<br>Long fibre<br>content |
|-----------------|-------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
|                 |             |                          |                             |                            |                      |                               |                            |                             |                                 |
| 阿里安             | 处理          | 57.7                     | 37.2                        | 1.37                       | 3.6                  | 183                           | 36                         | 20.9                        | 16.8                            |
| 黑 11            |             | 57.6                     | 44.2                        | 1.28                       | 3.3                  | 162                           | 33                         | 19.2                        | 22.2                            |
| 维京              |             | 43.6                     | 32.1                        | 1.33                       | 4.9                  | 113                           | 22                         | 26.1                        | 5.4                             |
| 阿里安             | 对照          | 68.1                     | 49.2                        | 1.41                       | 3.6                  | 129                           | 37                         | 23.0                        | 15.1                            |
| 黑 11            |             | 76.8                     | 59.8                        | 1.48                       | 4.1                  | 115                           | 44                         | 19.6                        | 11.5                            |
| 维京              |             | 59.3                     | 45.3                        | 1.38                       | 4.0                  | 175                           | 24                         | 26.7                        | 16.0                            |

品质指标显示阿里安和黑亚 11 号的纤维强度是增加的, 而维京的纤维强度下降。三个品种的可挠度都没有增加。

表 3-28 枞形期喷施多效唑对亚麻产量的影响 (2003 年)  
Table3-28 Effect of ethephon on yield of flax (slowly-growth stage)

| 品种        | 项目    | 原茎产量<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 增减<br>(%) | 种子产量<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 增减<br>(%) | 长麻产量<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 增减<br>(%) | 全麻产量<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 增减<br>(%) |
|-----------|-------|-------------------------------|-----------|-------------------------------|-----------|-------------------------------|-----------|-------------------------------|-----------|
| Cultivars | Items | straw yield                   |           | Seed yield                    |           | Long fibre                    |           | Total fibre yield             |           |
| 阿里安       | 处理    | 2229.4                        | b A       | 524.4                         | b B       | 374.5                         | -6.5      | 466.8                         | -23.8     |
| 黑 11      |       | 2333.8                        | b A       | 655.5                         | b AB      | 517.2                         | 23.2      | 448.2                         | -37.4     |
| 维京        |       | 2371.9                        | b A       | 875.8                         | a A       | 129.1                         | -70.1     | 618.8                         | -14.0     |
| 阿里安       | 对照    | 2657.8                        | b A       | 551.1                         | b B       | 400.4                         |           | 612.6                         |           |
| 黑 11      |       | 3657.2                        | a A       | 632.7                         | b AB      | 419.9                         |           | 716.2                         |           |
| 维京        |       | 2698.6                        | b A       | 859.5                         | a A       | 432.0                         |           | 719.8                         |           |

三个品种喷施多效唑后纤维含量均略有下降, 长麻率的变化各不相同, 其中维京由于植株过矮, 工艺长度仅 32 厘米, 导致长麻率大幅度降低, 其它两个品种长麻率均有增加。由于纤维含量和原茎产量的降低, 导致三个品种的全麻产量均降低。长麻产量除了黑亚 11 号由于长麻率的明显增加而增加外, 其它两个品种长麻产量都下降。

表 3-29 现蕾前喷施多效唑对亚麻农艺性状及品质影响 (2003 年)  
Table3-29 Effect of ppp333 on properties of agronomy and fibre quality (bud-visible stage)

| 品种        | 项目    | 株高(cm)      | 工艺长度 | 茎粗(mm)        | 分枝数 | 纤维强度(N)         | 可挠度  | 纤维含量(%)       | 长麻率(%)             |
|-----------|-------|-------------|------|---------------|-----|-----------------|------|---------------|--------------------|
| Cultivars | Items | Plant hight | (cm) | Stem diameter | (个) | Fibre intension | (mm) | Fibre content | Long fibre content |
| 阿里安       | 处理    | 64.6        | 48.0 | 1.49          | 3.4 | 184             | 32   | 21.7          | 13.6               |
| 黑 11      |       | 66.8        | 56.4 | 1.38          | 3.6 | 171             | 34   | 21.0          | 14.0               |
| 维京        |       | 48.4        | 41.3 | 1.29          | 4.5 | 160             | 22   | 27.4          | 15.2               |
| 阿里安       | 对照    | 70.6        | 51.7 | 1.50          | 3.7 | 107             | 37   | 24.4          | 16.0               |
| 黑 11      |       | 73.8        | 60.3 | 1.40          | 3.6 | 225             | 30   | 21.0          | 14.0               |
| 维京        |       | 58.9        | 46.6 | 1.31          | 4.3 | 139             | 34   | 28.4          | 17.5               |

现蕾前喷洒多效唑同样导致三个品种的株高、工艺长度和茎粗都有所下降, 并导致原茎产量也都是下降的, 但是并没有达到显著水平 (表 3-29, 30)。花序分枝数的变化各不相同, 而种子产量阿里安和黑亚 11 号略有增加, 但是同样未达显著水平。现蕾前喷施多效唑导致阿里安和维京的纤维含量与长麻率均呈下降趋势, 而黑亚 11 号不受影响。由于原茎产量和纤维含量的减少, 全麻产量和长麻产量均下降, 特别是全麻产量下降的幅度较大。

表 3-30 现蕾前喷施多效唑对亚麻产量的影响 (2003 年)  
Table3-30 Effect of pp333 on yield of flax (bud-visible stage)

| 品种<br>Cultivars | 项目<br>Items | 原茎产量<br>(kg/hm <sup>2</sup> )<br>straw yield | 增减<br>(%) | 种子产量<br>(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Seed yield | 增减<br>(%) | 长麻产量<br>(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Long fibre | 增减<br>(%) | 全麻产量<br>(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Total fibre<br>yield | 增减<br>(%) |
|-----------------|-------------|----------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------|-----------|
| 阿里安             | 处理          | 2708.3 ab A                                  | -8.0      | 581.4 b AB                                  | 16.2      | 367.4                                       | -22.1     | 586.8                                                 | -18.4     |
| 黑 11            |             | 2478.6 ab A                                  | -17.3     | 562.2 b AB                                  | 3.5       | 346.5                                       | -17.1     | 521.1                                                 | -17.0     |
| 维京              |             | 2151.9 b A                                   | -24.1     | 788.4 a AB                                  | -9.7      | 326.4                                       | -34.0     | 590.3                                                 | -26.6     |
| 阿里安             | 对照          | 2943.1 a A                                   |           | 500.2 b B                                   |           | 471.3                                       |           | 719.5                                                 |           |
| 黑 11            |             | 2995.8 a A                                   |           | 543.1 b B                                   |           | 418.2                                       |           | 627.8                                                 |           |
| 维京              |             | 2834.7 ab A                                  |           | 872.8 a A                                   |           | 494.8                                       |           | 804.6                                                 |           |

从品质指标看, 维京和阿里安的可挠度下降, 而二者的纤维强度增加, 黑亚 11 号的处理效应正好相反。

总体比较多效唑的两个处理相似, 均导致产量的下降。

## 4 讨论

### 4.1 关于亚麻纤维发育规律

亚麻纤维发育问题是亚麻研究中的核心问题,纤维发育的好坏不仅影响到纤维产量的高低,也影响到纤维品质的优劣。前人围绕纤维发育开展了一系列研究(曾寒冰,1963;关凤芝,1993,1999;武跃通等,1999;李明等,2000),但这些研究多存在选取基因型比较单一、调查部位不固定、调查范围不够全面等问题,缺乏系统性、整体性和全面性。

通过本研究,各类型品种纤维发育与麻株生长均具有协同性,随生育进程,同一节间茎粗、纤维细胞分化数量、纤维径向大小、纤维壁厚都随株高和干物质的增加而增加,虽然不同类型品种在增加数量、增加速率上有所差异,但都呈增加的态势。同一品种在7月6日与7月14日间变化很小,这说明6月26日纤维细胞伸长生长与加厚生长同时进行,而7月6日纤维细胞伸长生长已基本停止,只进行加厚生长,而且7月6日后纤维长径迅速上升,说明加厚生长速率在7月16日后显著提高,这同关凤芝等(1993)研究结果一致。对固定节间纤维发育的研究表明纤维发育在时间上具有连续性,贯穿于整个生育期,这从图版1,2,3,4,5可以比较直观看出来。由此,各节间纤维发育的连续进行对于麻茎的形态建成与最终产质量的形成起着决定性作用。

纤维发育在茎向空间分布上表现出明显的位置效应,快速生长期基端纤维数已基本确定,纤维细胞不再继续伸长生长,而第50节间处纤维细胞生长还在进行,顶端则刚刚开始伸长生长;从现蕾期基端纤维壁厚已不再明显增加,但颈端纤维细胞壁刚刚开始加厚。纤维细胞进行增粗生长时,不同节间纤维的增粗速率是不一致的,颈端增粗速率明显大于其它节间;开花期、青熟期纤维壁厚变化趋势同其它时期明显不同,均呈“V”型变化,这也说明纤维壁在加厚的同时不同节间的加厚速率是不同的,而且不同节间停止加厚生长的时期也是不同的。不同类型品种在生育进程中发展变化具有很大差异,在整个生育期中兼用、油用品种基端纤维壁厚度在现蕾期就已达到最大,而纤维用品种基端纤维壁的加厚则一直延续到开花期,但各品种颈部纤维壁的加厚一直持续到工艺成熟期。不同品种各解剖性状茎向的曲线变化充分说明不同节间纤维发育在时间上是不同步进行的,是由基端向颈端依次发生的,而且不同节间在发育速度上也是不一致的。从出苗到工艺成熟期亚麻营养生长、韧皮纤维发育和纤维产量积累虽是同步进行的,但是不同节间纤维发育的不同步性,发育速度的差异导致麻株各茎段发育进程不相同。

不同类型品种间亚麻纤维发育不尽相同,体现在彼此解剖性状的差异,图版6,7,8显示了不同类型品种工艺成熟期纤维发育状况。其中纤维品质较差的油用品种茎各节间处茎粗、纤维腔长径、纤维腔宽均最大,各节间处纤维细胞数在各类型品种中也最多,纤维壁厚小于纤维用品种,虽然茎粗较大但由于株高过矮、纤维数虽较多但其实际分化数量却较少,所以纤维产量很低。纤维品质因较大的纤维腔、较小的壁厚而明显劣

于其它类型品种；高纤品种与中纤品种相比较，高纤品种各节间处径粗、茎截面纤胞数、纤胞壁厚均大于中纤品种，纤维细胞径向大小也大于中纤品种，这些因素决定了高纤品种较高的纤维含量、出麻率、长麻率。各品种纤维发育表现出明显遗传效应。

纤维发育过程中纤维细胞的分化、伸长、壁加厚乃至老化是相互交织在一起的，但不同类型品种之间、不同节间之间不同发育阶段之间同时并存的时间是多少以及单纤维长度变化在纤维发育中的作用与地位均需进一步的研究明确。此外，纤维超微结构的变化对纤维形成发育具有重要意义，开展亚麻纤维超微结构的研究对于进一步提高我们对纤维发育的认识以及后续研究的深入具有重要意义。

## 4.2 关于碳氮积累与亚麻纤维发育关系

亚麻纤维主要由纤维素、半纤维素和果胶质组成，这三者合称结构多糖。因此，碳代谢是亚麻纤维形成的生理基础。有关亚麻纤维发育过程中由运转到茎中的光合产物—葡萄糖如何一步步合成转化为各种结构多糖还存在一系列不清楚之处，有待进一步探讨。同时碳代谢与氮代谢之间又存在紧密的联系，合理的氮代谢是碳代谢正常进行的基础，而不合理的氮代谢将会导致碳代谢的不正常，“倒青麻”的形成就是例证。

卡特（1975）曾提出，亚麻纤维的分化生长与来自叶片中的刺激和糖含量有关，这表明叶片中的糖分浓度以及向茎中转运量可对纤维发育形成重要影响。随生育期叶片中糖分含量的持续升高说明了亚麻叶片具有持续同化  $\text{CO}_2$  的能力，并随叶片生长叶片同化  $\text{CO}_2$  能力不断提高，“源叶”中大量糖分积累为茎中“纤维库”的建立和库容的增大提供了强有力的支持。而油用品种糖分含量的大幅度升降，尤其是开花后（7月6日）含量的急剧下降主要是由于分枝以上部分形态建成及基籽粒发育需要大量的糖所致，同时表明纤维在与籽粒争夺糖分中处于下风。油用品种的糖分变化特点从另一方面说明糖分含量稳定增加对纤维发育十分重要，而且从糖分积累角度看，花后这一阶段对纤维发育甚为重要，油用品种糖含量迅速降低导致了对纤维内容物增加的不利影响。糖分含量在花后从峰值的快速下降说明花后糖分积累同样可对纤维素质形成具有重要作用。

可溶性糖是被亚麻直接吸收利用的主要糖分形式，在纤维发育中占有重要地位。茎中可溶性糖含量与茎中部纤胞数相关关系达到显著水平（ $r=0.67^*$ ），与纤胞壁厚呈正相关关系，与纤胞腔呈负相关关系，由此糖分积累对纤维分化及产质量均具有一定的影响，但糖对纤维分化及纤维产质量的影响机理还有待深入研究。叶片中糖分含量虽不断升高，但茎中糖含量却不断下降，同一时段内叶茎不同变化趋势是因为“源叶”不再向“纤维库”中转运糖，还是库已完全建成并拒绝接受来自叶中的糖，亦或是茎中糖转化为其它物质还需进一步研究探讨。同时茎中糖分如发生转化，那么其最终转化为其它物质的比例应对纤维素质的形成起决定作用，但糖分中的可溶性糖转化为何种物质、不同类型品种各自转化量是多少等均需今后深入研究。

氮素对纤维具有良好的作用，但氮素过多会使植株生长迅速而发育缓慢，延长生育期，降低纤维品质（李明，1996）。油用与兼用品种含有较高的氮素虽可促进纤维细胞的分化和伸长生长，但却抑制了生育后期纤维细胞壁的加厚，这可能是由于较高的氮素水

平限制了叶片中光合同化产物向茎中的转运。随着纤维的不断发育,纤维素、木质素含量不断增加,因而氮对纤维发育、纤维化学成分以及氮在亚麻叶片中合成、运输、分配影响机理还有待进一步深入研究。

在合理的碳、氮含量水平下,一定范围内碳氮比例对纤维发育影响很大。无论叶片还是茎中,随生育进程碳氮比不断增加,茎粗、纤维数、纤维壁厚均明显增加。碳氮比的提高在一定程度上意味着同化产物积累量与转运量的增加,这些促进了纤维细胞的形态建成。但不同类型品种最适碳氮比的确定以及对碳氮代谢有效的调控方式还有待进一步研究。

### 4.3 关于亚麻内源激素与纤维发育关系

尽管激素作用机理尚不十分清楚(张石城等,1999;许智宏,1999),但是植物激素对植物生长、发育、分化和衰老起着重要调节作用。国内关于粮食作物生殖器官内源激素研究较多(刁家连等,1996;秦武发等,1996;王振华等,1996;王瑞英等,1997),而关于纤维作物内源激素的研究较少,且大多局限于棉花(沈新莲等,1998;陈德华等,2000,2002),棉纤维也属于生殖器官。而亚麻韧皮纤维是营养器官,前人关于亚麻内源激素及其与纤维发育的关系研究鲜见报道。Aloni(1980,1987,2000)指出 IAA 作为一种内源激素几乎参与所有的维管分化。有关亚麻纤维细胞分化、发育规律与内源激素动态变化之间的关系未见报道,深入此方向研究可为有针对性地采取外源激素措施促进纤维细胞的分化和生长,提高亚麻纤维产量奠定理论基础。

不同时期纤维品种  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量在茎中分布为:花蕾>茎中部麻皮>茎基部麻皮>茎尖叶,而油用、兼用品种表现为:茎中部麻皮>茎基部麻皮>茎尖叶>花蕾。这说明了激素是在运输移动的过程中按照浓度梯度发挥着各自的作用,而且距激素合成位点的距离是造成同一麻茎不同节间纤维发育各有差异的重要因素之一。纤维品种花蕾中  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量与韧皮纤维中含量的比例关系与油用、兼用品种中比例有很大不同,这证明花蕾中各激素对于纤维生长成熟同样具有重要意义。高纤维品种和中纤维品种茎中部麻皮中  $GA_3$  含量与 IAA 含量相比较相差较大,高纤维品种  $GA_3$  含量较高,这可能对其纤维内容物的充实形成重要影响,而较低 IAA 含量有可能限制了高纤维品种株高的持续增加,使得高纤维品种株高较中纤维品种低,但茎中(松树和白杨)韧皮部和韧皮网的分化受茎中较低生长素水平的调控(Aloni 1987,1995),由此茎中部较低 IAA 含量可能促进了高纤维品种的纤维分化。

不同类型品种基部麻皮、中部麻皮  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量变化趋势一致,说明各激素在不同生育期对纤维发育具有相同的作用,引起纤维发育差异的原因可能是各激素绝对含量大小不同亦或是各激素中真正起作用的那部分激素占各自总量比值大小的不同。

本研究发现,成熟期茎中部麻皮中的激素量与产质量性状密切相关,长麻产量、原茎产量与  $(IAA+GA_3)/ZR$  相关分别达到显著水平( $r=0.78^*$ )、极显著水平( $r=0.87^{**}$ ),全麻产量与其相关关系也接近显著水平( $r=0.66$ ),这说明生长激素与分裂激素比例控制着产量的形成,合理的比例关系对于产量的形成十分有益,原茎产量、全麻产量、长麻

产量与  $GA_3$ 、IAA、ZR、IAA+ $GA_3$  均为正相关关系, 可见各激素对产量的形成均有促进作用, 但相关都没达到显著水平表明单独某一激素并不能起决定性作用, 亚麻产量的形成依赖于各激素间的相互作用。纤维强度与 IAA、ZR、IAA+ $GA_3$  相关达到极显著水平 ( $r=0.84^{**}$ ,  $0.84^{**}$ ,  $0.86^{**}$ ), 纤维分裂度与  $GA_3$ 、ZR、IAA+ $GA_3$  相关达到显著水平 ( $r=0.79^*$ ,  $0.79^*$ ,  $0.75^*$ ), 纤维强度、分裂度与可挠度成负相关关系, 因而各激素与可挠度也成负相关关系。由以上得, 纤维品质的形成与产量不同, 其更多依赖于各激素绝对量的大小, 如何通过外源激素措施协调产质量对激素需求的矛盾关系还需要不断深入的研究。

内源激素与亚麻产质量的关系已初步探讨, 但各激素对纤维化学组成、微纤丝的堆砌方向和堆砌速度的影响以及叶片与韧皮纤维中激素运转、分配机理还需进一步的探索研究。

#### 4.4 关于植物生长调节剂对亚麻产质量的影响机理

近年, 植物生长调节剂作为挖掘作物增产潜力和改善品质的有效措施, 越来越得到广泛的应用。本试验通过喷洒不同植物生长调节剂处理来分析植物生长调节剂对亚麻生长发育及产量品质的影响机理。

乙烯利处理提高了阿里安、黑亚 11 号中的  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量, 喷施后第 10~20 天这一阶段各激素增长速率明显大于前一阶段, 对维京中三激素含量均无明显影响, 维京早熟的遗传特性应是导致这种结果的主要原因, 早熟品种各生育时期相对缩短, 因而各处理有可能错过接受外源激素的最佳时期, 从而使各处理对维京影响不够明显。乙烯利对叶片光合作用的影响不明显, 只有维京中叶绿素含量获得显著提高。一般认为乙烯利对植株茎叶生长的生理作用主要是抑制生长, 促进脱落, 前人曾利用它在亚麻生育前期使用, 来预防其倒伏, 但是年份间效果不同。本试验结果显示不同品种亚麻对快速生长期喷洒乙烯利的反应是不同的, 其中中早熟品种阿里安和中熟品种黑亚 11 号的原茎产量获得极显著提高, 这一结果与前人的报道相似, 显示这两个品种受到暂时的抑制后有一个自我调整的过程, 其作用机理还需要进一步研究, 而早熟品种维京出现的抑制效果可能与生育期较短有关, 其机理可能与成熟期喷洒乙烯利的相同。中国农科院麻类所曾在黄麻、红麻的收获前喷洒乙烯利, 利用其脱落的作用, 改善群体结构, 获得提高产量, 改善品质的效果。本试验由于前期干旱, 亚麻植株不高, 群体不大, 特别是维京株高较矮, 群体较小, 因此进一步抑制其生长, 促进叶片的脱落, 必然减少光合作用, 影响碳水化合物化合物的合成及向纤维细胞的分配, 从而导致减产。

赤霉素使阿里安、黑 11 中  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量均获得了提高, 其中 ZR 得到了显著提高, 对维京中三激素同样均无明显影响。对叶片光合作用也无明显影响。赤霉素的主要生理作用就是促进细胞的伸长, 前人也有利用喷洒赤霉素和硫酸锌促进亚麻生长, 提高原茎产量的报道。中国农业科学院麻类所在苧麻上使用赤霉素促进纤维发育, 细胞层增加 100 微米左右, 纤维壁增厚 3-4 微米, 出麻率增加 0.81~1.2%。从本试验结果看喷洒赤霉素的增产效果并不明显, 可能是喷施次数少, 或者药剂浓度配置不当。但是长

麻率略有提高，长麻产量增加 10% 以上。

枞形期多效唑处理喷施后第一阶段对  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量影响要明显于下一阶段，同时结合多效唑对株高、叶面积、干物质影响分析可获知伴随生育进程多效唑对内源激素的调节作用呈现逐步弱化的趋势。这也再次说明在发挥多效唑延缓作用同时，其产质量形状在适应多效唑刺激后，形成有利于产质量性状形成的趋势是可能的。

现蕾前多效唑处理对  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量表现出较明显的抑制作用，阿里安、黑亚 11 号、维京中  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量较对照均降低。阿里安、黑亚 11 号光合作用受其影响不大，只有维京叶绿素含量显著降低。

多效唑对多种作物都有抑制纵向伸长和参与横向生长的形态效应。用多效唑处理水稻，水稻基部二个节间的茎壁厚度增加 10-19%，机械组织厚度增加 7.1%，纤维素含量增加 6.1%，木质素含量增加 11.6%，茎秆的单位干物重也有增加（陈善坤等，1987；汤日圣等，1988）。从本试验看，无论是枞形期还是现蕾前喷洒多效唑，均延缓了亚麻生长。从亚麻生育的不同时期来分析，可能是由于枞形期纤维细胞处于分裂和伸长生长，而多效唑减缓了细胞的分裂与伸长。现蕾前到成熟期，多数纤维细胞开始细胞壁的加厚生长，此时使用多效唑可能没有起到促进作用，在后期使用通过减少次数或降低浓度，是否会促进纤维细胞壁的生长，其机理还有待进一步探讨。多效唑做为植物生长延缓剂，在前期使用可以降低株高，而产量降低并不显著。

各激素处理对叶片光合作用的影响不明显，只有个别品种处理达到显著、极显著水平。这似乎也可表明植物生长促进剂、延缓剂的施用对光合同化产物的积累的影响不大，但不同剂型最终形成了不一致的产质量，这可能是不同的植物生长调节剂对同化产物的运输、分配影响不同造成的，而植物生长调节剂对亚麻叶片同化产物的运输、分配机理还有待明确。

亚麻的纤维强度和可挠度主要是受到亚麻茎中纤维细胞的发育状况影响，具体体现在细胞结构和化学组成上。植物生长调节剂对纤维细胞的影响主要受到喷洒时期的限制。喷洒时期在生育后期必然影响纤维细胞的加厚生长，改变其结构和化学组成，从而影响纤维强度和可挠度。在本试验中成熟初期喷洒乙烯利增强了纤维强度，其它处理品种间变化不同，其作用机理还需要今后研究。

综上，乙烯利可以作为发生倒伏时的紧急补救措施，其临时性的抑制作用不但可起到减少倒伏危害作用还可提高和改善纤维产质量构成；通过本研究发现，赤霉素对生长的促进作用需要良好的栽培条件作前提，在适宜的条件下赤霉素对亚麻各生理指标、解剖性状均会起到明显的改善作用；枞形期多效唑处理对各生理指标的抑制作用不是很强烈，通过进一步降低喷施浓度可以促进纤维的分化形成，从而为纤维产质量的形成奠定良好的基础。

## 5 结论

5.1 各类型品种纤维发育与麻株生长具有协同性，同一茎段内不同节间茎粗、纤维细胞分化数量、纤维径向大小、纤维壁厚都随株高和干物质的增加而增加，在时间分布上表现出连续性。随生育进程（从枞形期~开花期）不同基因型茎第 50 节间处茎粗、纤维细胞数、纤维细胞壁厚度曲线走向均为上升趋势，其中纤维壁厚曲线变化较陡，纤维细胞长径、短径也呈现明显的上升趋势，纤维细胞腔宽先下降而后急剧上升。

纤维发育在茎向空间分布上表现出明显的位置效应，不同节间纤维发育在时间上是不同步进行的，是由基端向颈端依次发生的，而且不同节间在发育速度上也是不一致的，麻株各茎段发育进程因此存在差异。

比较工艺成熟期关键部位各类型品种解剖性状，高纤品种茎粗、茎截面细胞数、纤维细胞壁厚、纤维长短径均大于中纤品种。尽管茎截面上油用亚麻纤维细胞最多，但是其细胞最小，细胞壁最薄。

纤维细胞数与长麻率、强度、可挠度、原茎产量、长麻产量呈正相关。纤维细胞壁厚与各产质量性状均呈正相关关系，其中与分裂度呈显著正相关关系（ $r=0.52^*$ ），而与纤维含量（ $r=0.75^{**}$ ）、长麻率（ $r=0.68^{**}$ ）、长麻产量（ $r=0.85^{**}$ ）相关达到极显著水平，纤维细胞腔宽与各性状均呈负相关关系，其中与纤维细胞壁厚呈显著负相关（ $r=-0.54^*$ ），与原茎产量（ $r=-0.66^{**}$ ）、长麻产量（ $r=-0.66^{**}$ ）负相关达到极显著水平。

5.2 亚麻叶片中氮含量随着生育进程呈较明显的下降趋势，茎中氮含量变化也呈下降趋势，但降低的幅度较小。成熟期亚麻茎秆内氮素含量与茎中部纤维数呈显著正相关（ $r=0.64^*$ ），氮含量与纤维腔宽成负相关关系。此外，氮与颈部纤维数呈极显著正相关关系。各品种叶片中糖含量呈明显的增高趋势，各品种茎中糖含量变化规律较为一致，均是先不断的升高，在 7 月 6（开花期）日达到峰值，而后下降至最低。叶片、茎中碳氮比动态变化随纤维生长发育均呈上升态势，这种态势与径粗、细胞数、纤维长短径、纤维壁厚变化具有相对的一致性。可溶性糖含量与纤维腔呈负相关关系，与纤维壁厚呈正相关关系，而与纤维数正相关达到极显著水平（ $r=0.67^{**}$ ）。

5.3 高纤品种茎尖叶中  $GA_3$  含量随纤维生长发育表现为先下降再上升，在出苗后第 51 天时达到最高点，而后迅速下降；中纤品种先保持上升趋势，在出苗后第 40 天达最大，然后逐渐降低至最低。在现蕾期（出苗后第 51 天）花蕾中  $GA_3$  含量要高于叶中；高纤品种 IAA 含量变化为先下降再上升然后再下降，其中最后一阶段含量急剧下降，在快速生长后期、现蕾开花期 IAA 含量在各类型品种中最高，中纤品种也为先下降再上升而后再下降，只不过升降的趋势出相对较平缓。

随生育期不同类型品种亚麻基部、中部韧皮纤维中各激素含量的动态变化具有相一致的规律，均呈先下降再上升“V”型变化。纤维品种  $GA_3$ 、IAA、ZR 含量在茎中分布为：花蕾>茎中部麻皮>茎基部麻皮>茎尖叶，而油用、兼用品种表现为：茎中部麻皮>茎基部麻皮>茎尖叶>花蕾。

长麻产量、原茎产量与 (IAA+GA<sub>3</sub>)/ZR 相关分别达到显著水平 ( $r=0.78^*$ )、极显著水平 ( $r=0.87^{**}$ )，全麻产量与其相关关系也接近显著水平 ( $r=0.66$ )。原茎产量、全麻产量、长麻产量与 GA、IAA、ZR、IAA+GA 均为正相关关系。纤维强度与 IAA、ZR、IAA+GA 相关达到极显著水平 ( $r=0.84^{**}$ ,  $0.84^{**}$ ,  $0.86^{**}$ )，纤维分裂度与 GA、ZR、IAA+GA 相关达到显著水平 ( $r=0.79^*$ ,  $0.79^*$ ,  $0.75^*$ )，纤维强度、分裂度与可挠度成负相关关系。

5.4 乙烯利快速生长期处理提高了阿里安、黑亚 11 号中的 GA<sub>3</sub>、IAA、ZR 含量，中早熟品种阿里安和中熟品种黑亚 11 号的原茎产量获得极显著提高，乙烯利对长麻率的影响较大，阿里安和维京的长麻率均有所增加，乙烯利使阿里安的纤维强度略有增加，而黑亚 11 号和维京的纤维强度值下降较大。

赤霉素处理对三个品种的株高和茎粗影响都不大，对三个品种的纤维含量影响也不大，品质指标显示，赤霉素处理增加了黑亚 11 号的纤维强度，但是其它两个品种下降。

枞形期喷施多效唑使三个品种的株高、工艺长度和茎粗明显降低，原茎产量的下降都在 10% 以上。品质指标显示阿里安和黑亚 11 号的纤维强度是增加的，而维京的纤维强度下降。现蕾前喷洒多效唑同样导致三个品种的株高、工艺长度和茎粗都有所下降，并导致原茎产量也都是下降的，但是并没有达到显著水平。从品质指标看，维京和阿里安的可挠度下降，而二者的纤维强度增加，黑亚 11 号的处理效应正好相反。

## 参考文献

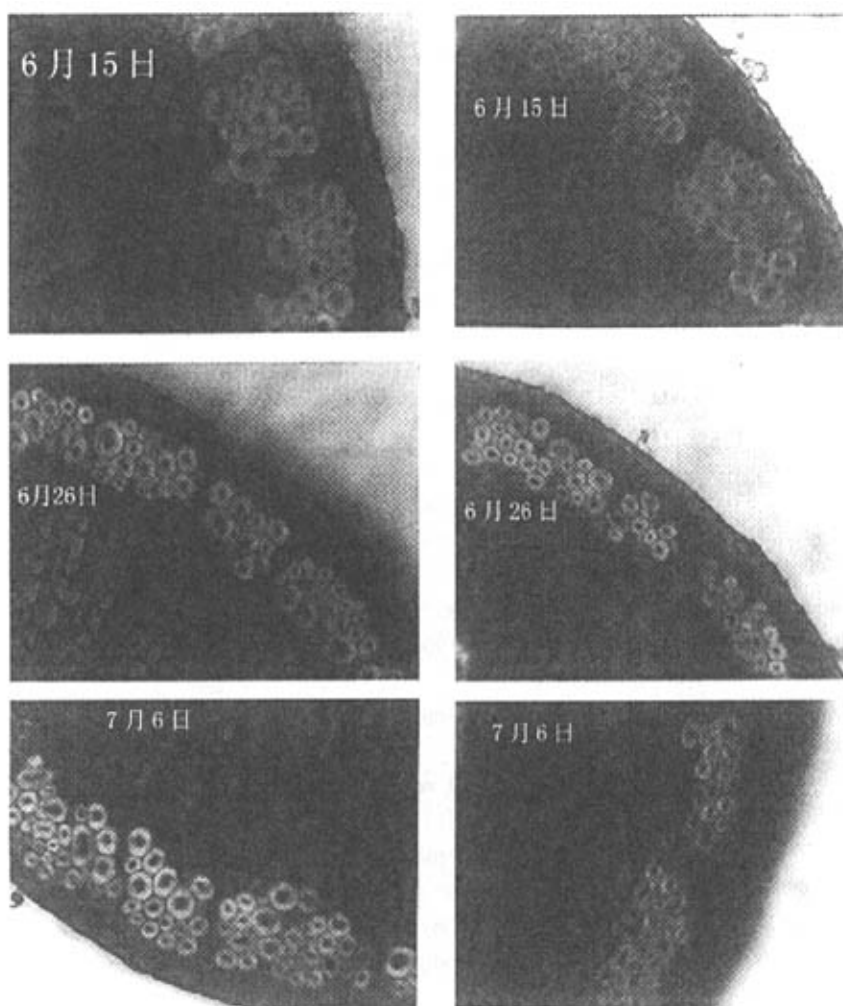
- 1 K·伊稍. 植物解剖学. 科学出版社. 1996, p157~158
- 2 陈德华, 成广明, 周桂生等. 高产棉花整株铃重的提高与棉铃内源激素 GA<sub>3</sub> 及 ZR 的关系. 扬州大学学报. 2002, 23 (1): 68~71
- 3 陈德华, 何钟佩, 徐立华等. 高产棉花叶片内源激素与氮磷钾吸收积累的关系及其对棉铃增重机理的研究. 作物学报, 2000, 26(16): 659~665
- 4 陈金桂, 杨军, 周燮. 植物激素对微管和纤维素微纤丝排向的调节. 生命科学. 2001, 13 (3): 139~141
- 5 陈学梅. HPLC 法定量分析植物激素组织中 ABA、IAA、NAA. 植物生理学通报. 1992, 28(5): 368~371
- 6 刁家连, 于翠芳. 夏玉米籽粒发育过程中内源激素动态变化. 莱阳农学院学报. 1996, 13(4): 251~256
- 7 董至新. 大豆栽培生理的激素调控效应. 石河子大学学报. 2001, 12(4): 339~341
- 8 方能虎, 侯树泉, 邵学广等. 植物激素的反相高效液相色谱法分离和鉴定. 色谱. 1998, 16 (5): 417~420
- 9 关凤芝, 张福修, 赵德宝等. 亚麻纤维发育规律的研究. 中国麻作, 1993(1): 14~17
- 10 关凤芝, 宋宪友, 王殿奎. 亚麻原茎综合高产栽培技术的研究. 中国麻作. 1997, 19 (4): 15~18
- 11 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. 黑龙江农业科学, 1999, 6: 9~12
- 12 桂明珠. 亚麻站立脱胶技术初探. 中国麻作, 1995, 17(2): 36~39
- 13 郭雅琳. 亚麻的化学组成和微观结构对染色性能的影响. 化学通报. 2002, 6: 407~410
- 14 韩锦峰, 赫冬梅, 刘华山等. 不同植物激素处理方法对烤烟内烟碱含量的影响. 中国烟草学报. 2001, 7(2): 22~25
- 15 赫冬梅, 胡国公, 穆琳. 烟草内源激素的酶联免疫吸附法 (ELISA) 测定. 烟草科技. 2000, 5: 41~42
- 16 黄敬芳, 邝秀明, 孙焕良等. 主要麻类韧皮纤维发育规律研究. 中国麻作. 1994, 16(增刊): 1~35
- 17 江洁, 刘晓兰, 郑喜群. 化学助剂在亚麻脱胶工艺中的应用. 齐齐哈尔工学院学报, 1997, 9: 1~4
- 18 姜广虹, 王克荣, 马秀峰等. 稀土对亚麻产质量效果的影响. 东北农业大学学报. 1994, 25 (1): 15~19
- 19 金幼菊. 气相色谱-质谱联用在植物激素分析中的作用. 植物生理学通报. 1992, 28(1): 72~77

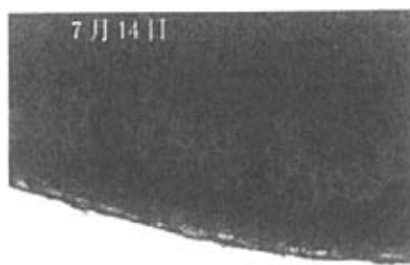
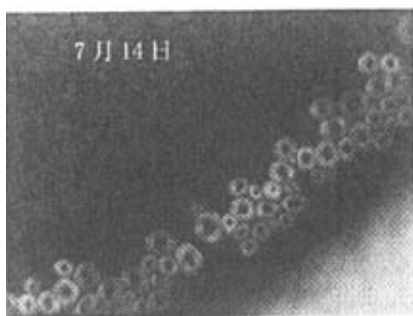
- 20 雷蕾, 康庆华, 张晓波等. 反相高效液相色谱法分离和测定亚麻植株中植物激素. 黑龙江农业科学. 2001, (6): 21~22
- 21 李彩凤, 李明, 王克荣. 钾对亚麻纤维产量和品质影响机理初探. 东北农业大学学报. 1998, 29(1): 21~26
- 22 李桂琴, 胡宝忠, 桂明珠等. 亚麻原茎结构与站立脱胶的解剖学效应观察. 中国麻作, 1997, 19(2): 41~43
- 23 李明, 陈克农. 高纤亚麻品种茎的解剖构造特点. 中国麻作, 2000, 22(1): 17~19
- 24 李明, 王克荣. 关于亚麻韧皮纤维生长发育阶段划分的探讨. 中国麻作, 1996, 18(1): 29
- 25 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. 中国麻作, 1996, 18(2): 37~39
- 26 李宗道. 麻作的理论与技术. 上海科学技术出版社. 1980, p272~273
- 27 刘继华, 尹承俏, 于凤英等. 外源激素对棉纤维超分子结构及强度的影响. 1994, 20(1): 120~125
- 28 刘林德, 姚敦义. 植物激素的概念及其新成员. 生物学通报. 2002, 37(8): 18~19
- 29 刘晓兰, 江洁, 郑喜群. 亚麻酶法脱胶工艺的研究. 齐齐哈尔大学学报, 1998, 6: 11~14
- 30 刘秀辉. 高分子表面活性剂对亚麻化学脱胶的影响. 西北师范大学学报. 1997, 4: 108~109.
- 31 龙德树, 杨传强, 曾宪庆等. 亚麻和胡麻性能的研究. 纺织学报. 1999, 6: 136~140
- 32 潘廷慧, 张振福, 李殿一等. 亚麻纤维产量构成因素的分析. 中国麻作, 1996, 18(3): 29~31
- 33 秦武发, 董永华, 张彩英等. 植物激素对小麦品质的影响. 河北农业大学学报. 1996, 19(4): 93~98
- 34 任喜英, 李桂琴等. 亚麻站立脱胶区域适应性试验总结. 中国麻作, 1997, 19(4): 36~38
- 35 沈新莲, 周保良, 顾立美等. 棉纤维发育过程中内源激素动态变化研究. 江苏农业学报. 1998, 14(4): 204~206
- 36 史加强. 亚麻纤维理化性能对染色机理的影响. 纺织学报. 1999, 2: 16~19
- 37 宋宪友. 提高雨露沤麻品质技术的研究. 中国麻作, 2000, 22(2): 41~43
- 38 孙焕良, 傅仓先, 赵立宁等. 麻类近缘(属)种纤维形态、结构的研究. 中国麻作. 1994, 16(增刊): 35~47
- 39 孙玉亭等. 黑龙江省农业气候资源及其利用. 气象出版社. 1986: 243-255
- 40 王立群, 宣世纬, 关凤芝等. 亚麻微生物脱胶技术的研究. 中国麻作, 1995, 17(1): 34~36
- 41 王瑞英, 于振华. 稻麦及豆科作物籽粒发育过程中的内源激素水平变化. 麦类作物. 1997, 17(3): 44~47
- 42 王晓楷, 胡宝忠, 李桂琴等. 亚麻站立脱胶的喷施技术探讨. 中国麻作, 1998, 20(2): 30~32

- 43 王学东,崔琳,胡宝忠.不同品种亚麻纤维发育特点的研究.东北农业大学学报,1998, 29(3): 311~313
- 44 王玉富,关凤芝,宋宪友.亚麻种植业与 WTO.中国麻作,2001,23(1): 29~32
- 45 王玉富.中国亚麻育种工作的现状及发展方向.黑龙江农业科学,1999,5: 44~46
- 46 王兆木,焦清亮,王振华等.高档纺织纤维资源—亚麻的开发利用.新疆农业科学,2001,38(4): 211~214
- 47 卫德林.亚麻温水沤麻机理与新技术.黑龙江科技出版社,1988,12~64
- 48 卫德林编译.亚麻译丛.黑龙江科技出版社,1986.167~169
- 49 吴昌斌,孙洪涛,范志辉等.亚麻韧皮部的化学组成及果胶的结构.中国麻作,1997, 19(3): 38~40, 45
- 50 吴广文.亚麻鲜茎雨露沤制技术的初步研究.中国麻业,2002,24(2): 18~21
- 51 武跃通,贾霄云.亚麻韧皮纤维的形成与相关因子研究.内蒙古农业科技,1999, 10:5~6
- 52 谢君.高效液相色谱测定多种内源激素方法研究.四川农业大学学报,1997, 15(3):297~299
- 53 徐丽珍,关凤芝.密度对亚麻纤维细胞发育的影响.中国麻作,2000,22(1):20~22
- 54 徐丽珍.高产纤维用亚麻生育规律的研究.中国麻作,1998,20(3):22~24
- 55 徐丽珍.气象因素对亚麻产量的影响.中国麻作,1992,4: 22~25
- 56 许智宏等.植物发育的分子机理.科学出版社,1999, p171
- 57 雅可夫·莱什姆著.植物生长调节及激素基础.科学出版社,1980,98~100
- 58 杨建昌,王志琴,朱庆森.外源激素对水稻光合能力与产量的影响.江苏农学院学报,1995,16(1):27~31
- 59 姚晓敏,李桂琴,桂明珠等.站立脱胶对亚麻种子的应影响.中国麻作,1998, 20(1):39~41
- 60 曾寒冰.亚麻栽培学.东农校内教材(孙凤舞主编),1980
- 61 张石城等.植物化学调控原理与技术.中国农业科学出版社,1999, p227~228
- 62 张志.稀土微肥及亚麻种子包衣在亚麻生产中的作用.高师理科学刊,2000,11,20 (4): 53~55
- 63 周晓舟.植物激素家族新成员.生物学杂志,2000,17(2):47
- 64 周燮等.ABA 的放射免疫法.南京农大学学报,1985,1:89
- 65 周续邦.植物生长调节剂在不同作物上的应用.青海农林科技,1994,3
- 66 庄馥萃.植物纤维和纤维植物.生物学通报,2001,36(11): 16~18
- 67 Abe H, Funada R, Ohtain J, et Annals of Botany, 1995; 75: 305~310
- 68 Abo El Saod I; Momtaz A; Mansor-M. Effect of foliar application with  $ZnSO_4$  and  $GA_3$  on growth and yield of flax crop. Fibra. 1975, 20(2): 42~50
- 69 Aloni R etc.2000. Hormonal control of vascular differentiation in plants: the physiological basis of cambium ontogeny and xylem evolution.In:Savidge RA, Barnett JR, Napier R, editors. Cell and molecular biology of wood formation. Oxford: BIOS

- Scientific Publishers. p 223~236
- 70 Aloni R. 1995. The induction of vascular tissues by auxin and cytokinin. In: Davies PJ, editor. Plant hormones . Netherlands:Kluwer Academic Publishers. p 531~546
- 71 Aloni R. etc. 1983. The control of vessel size and density along the plant axis-a new hypothesis. *Differentiation* . 24: 203~208
- 72 Aloni R. 1980. Role of auxin and sucrose in differentiation of sieve and tracheary elements in plant tissue cultures. *Planta* 150: 255~263
- 73 Aloni R. 1987. Differentiation of vascular tissues. *Annu Rev Plant Physiol*. 38: 179~204
- 74 Bodlaender KBA, Waart M vander. The effect of growth regulating chemicals on flax. *Bedrijfsontwikkeling*. 1975, 6 (5): 439~443
- 75 Cosgrove D J. Bioassay, 1996; 18: 533~540
- 76 D. Lindsay , Roisin Molloy. Rettying-a Key Process in the Production of High Value Fibre from Flax. *Outlook on Agriculture*, 1990, 25(4): 235~242
- 77 Danny E Akin ect. Chemical and Structural Analysis of Fibre and Core Tissues form Flax. *Jouenal Science Agriculture*, 1996, 72 (2): 155-165
- 78 Davidyan GG, Anashchenko AV. *Trudy po Prikladnoi Botanike, Genetike Seleksii*. 1977, 60 (1): 106~110
- 79 Derebon Yu G. Effect of different forms of nitrogen on changes in chemical composition jian of fibre of fibre flax. *Nauchnye Trudy Ukrainskaya Sel skokhozyaistvennaya Akademiya*. 1975, 171: 152~154
- 80 El-Shourbagy-MN, Abdel-Ghaffar-BA, El-Naggat-RA. Effect of IAA and GA<sub>3</sub> on the anatomical characteristics、straw and fiber yield and quality of flax. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 1995, 174 (1): 21~26
- 81 Feihu Liu, Xueni Liang, NaigenZhang etc. Effect of growth regulators on yield and fibre quality in ramie , China grass. *field crops research*. 2001, 69:41~46
- 82 G. C. Davies, and D. M. Bruce, J. Master. *Sci*. 1997, 32: 5425
- 83 H. L. BOS etc. In suit ESEM study of the deformation of elementary flax fibres. *Joournal of Materials Science*. 1999, 34: 3029~3034
- 84 Huang-XM, Zhang-YX. Study of the effects of gibberellin on the quality and yield of ramie(*Boehmerianivea*). *Fujian Agricultural Science and Technology*. 1989, 5: 14
- 85 Kalikinskii-AA etc. Effectiveness of localized fertilizer applications in soil for fibre flax on light loamy dernopodzolic soil. *Agrokhimiya*. 1991, 4: 53~62
- 86 Karpova-ES etc. Role of boron in formation of yield of fibre flax. *Len-i-Konoplya*. 1975, 12: 21~22
- 87 Kevorkov-AP etc. Effect of vanadium on yield and quality of fibre flax. *Trudy Vsesoyuznyi Institut Udobrenii-i-Agropochvovedeniya*. 1972, 53: 142~147
- 88 Khodyankova-S etc. Study of fertilizer application methods for fibre flax in rotation in

- relation to the fertility level of dernopodzolic light-loamy soil. *Vestsi Akademii Agrarnykh Navuk Respubliki Belarus*. 1999, 1: 42~48
- 89 Kondratowicz-J. The influence of some agrotechnical factors on the yield and crop quality of fibre flax. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczo Technicznej w Olsztynie, Rolnictwo*. 1977, 20: 21~70
  - 90 Mayumi K, shibaoka H. *Protoplasma*, 1996, 195: 112~122
  - 91 Prodhan A K M A, Funada R, Ohtani J et al. *Planta*, 1995; 196: 577~585
  - 92 R. E. Mark, "Cell Wall Mechanics of Tracheids" Yale University Press, New Haven, 1967
  - 93 R. O. Herzog, " 'DerFlachs' in 'Technologie der Textilfasern' " Julius Springer, Berlin, 1930
  - 94 Sachs T. 1981. The control of patterned differentiation of vascular tissues. *Adv Bot Res* 9: 151~162
  - 95 Sakurai A, Yokoda T, Clouse S D, eds *Brassinosteroids Steroidal Plant Hormones* Toyoko: Springer, 1999; 137~161
  - 96 Sauter M, Seagull R W, Kende H. *Planta*. 1993, 19: 354~362
  - 97 Serra-G; Lartaud-G; Lipatoff-V. Possibilities of using bentazone in crops of flax and peas. *Mededelingen van de Faculteit Land bouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent*. 1974, 39: 2, I, 571~586
  - 98 Sundberg B etc. 2000. Cambial growth and auxin gradients. In: Savidge RA, Baenett JR, Napir, editors. *Cell and molecular biology of wood formation*. Oxford: BIOS Scientific Publishers. p 169~188
  - 99 Uglla C etc. 1996. Auxin as a positional signal in pattern formation in plants. *Proc Natl Acad Sci USA* 93:9282~9286.
  - 100 Uglla C etc. 1998. Indole-3-acetic acid controls cambial growth in Scots pine by positional signaling. *Plant Physiol* 117: 113~121
  - 101 WH Morrison III etc. Chemical, microscopic, and instrumental analysis of graded flax fibre and yarn *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1999, 79: 3~10
  - 102 Yagodin-BA etc. Utilization of nitrogen by fibre flax plants and yield of straw with different rates of nitrogen fertilizer. *Izvestiya Timiryazevskoi Sel'skokhozyaistvennoi*. 1991, No. 1: 89~9



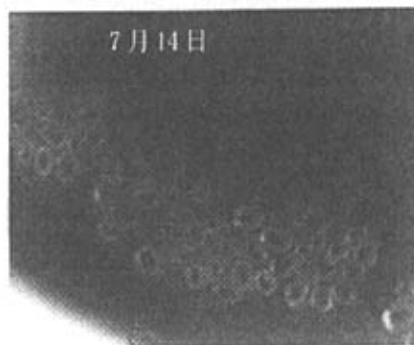
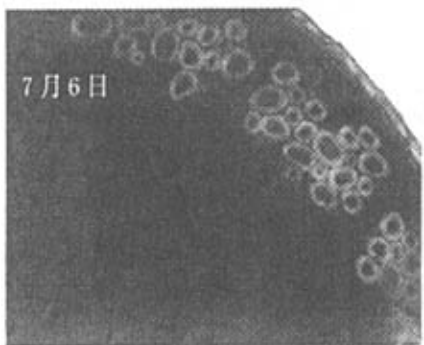
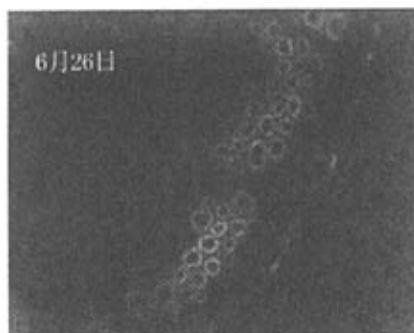


图版 1 不同生育期维京第 50 节间显微照片

Plate 1 Microphotos in 50<sup>th</sup> internode of  
Viking in different growth stages

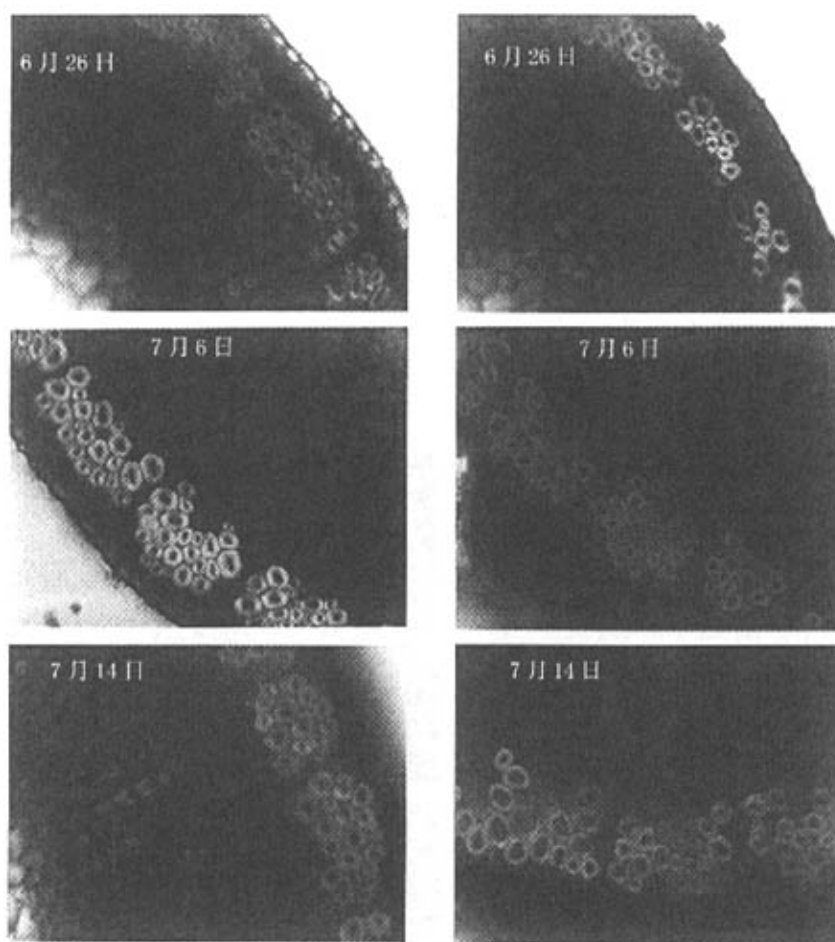
图版 2 不同生育期双 7 第 50 节间显微照片

Plate 2 Microphotos in 50<sup>th</sup> internode of  
Shuangya7 in different growth stages



图版 3 不同生育期油用亚麻第 50 节间显微照片

Plate 3 Microphotos in 50<sup>th</sup> internode  
of Yi ya 1 (linseed) in different growth stages

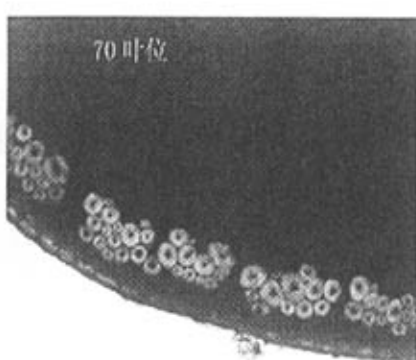
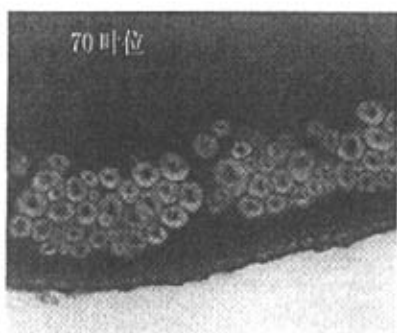
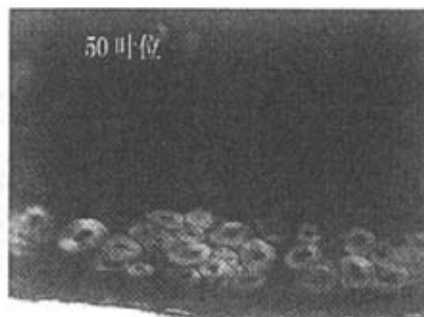
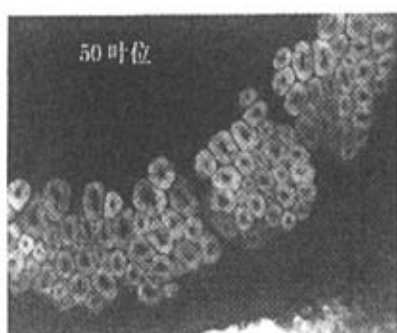
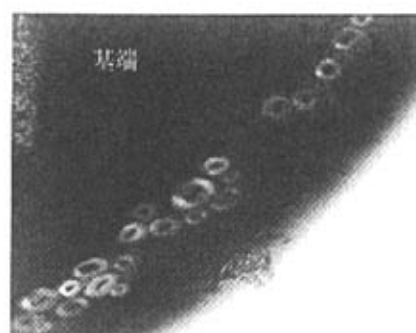
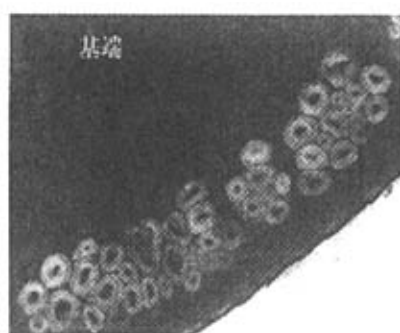


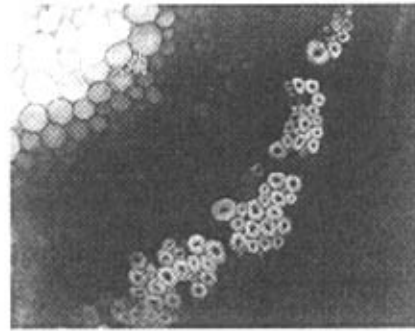
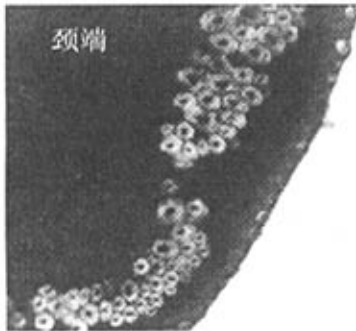
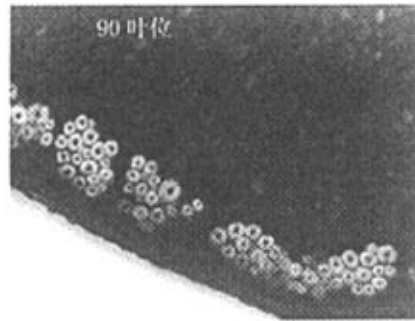
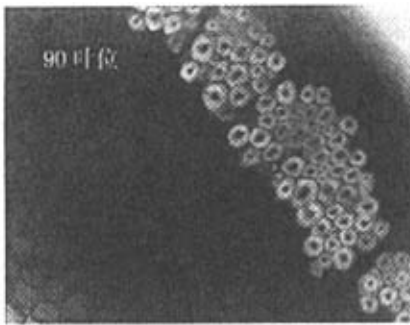
图版 4 不同生育期维京第 90 节间显微照片

Plate 4 Microphotos in 90<sup>th</sup> internode of  
Viking in different growth stages

图版 5 不同生育期双 7 第 90 节间显微照片

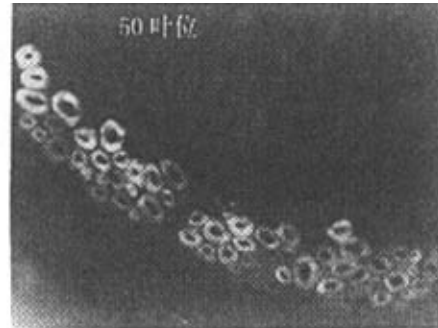
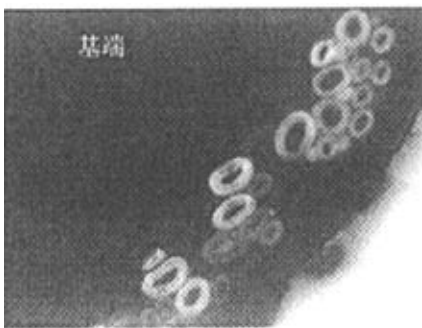
Plate 5 Microphotos in 90<sup>th</sup> internode of  
Shuangya7 in different growth stages

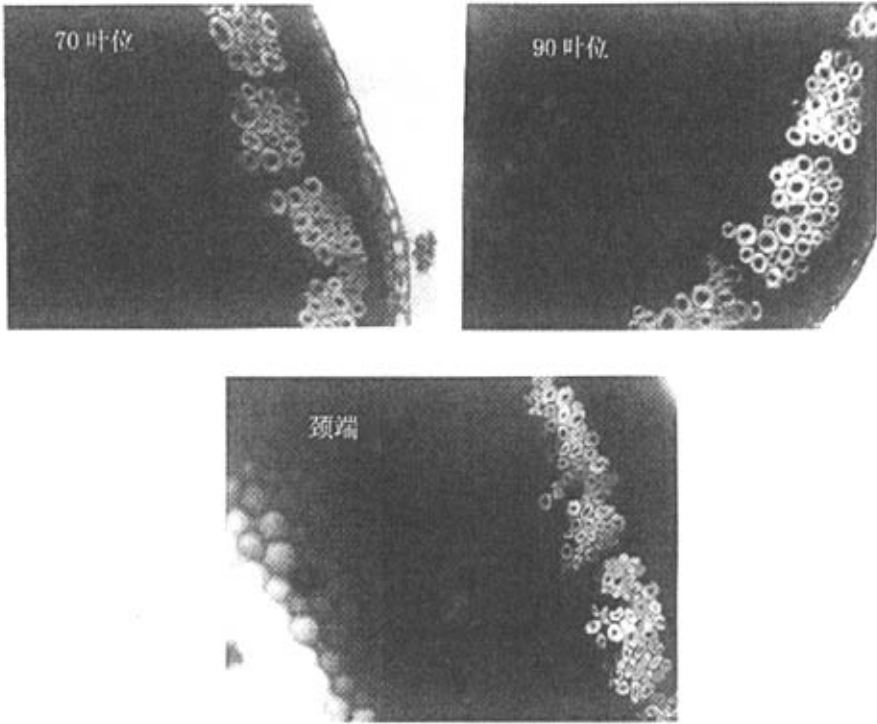




图版 6 工艺成熟期维京各节间显微照片  
Plate 6 Microphotos of different internode  
of Viling in techno-mature period

图版 7 工艺成熟期黑亚 11 号各节间显微照片  
Plate 7 Microphotos of different internode  
of Heiya11 in techno-mature period





图版 8 工艺成熟期油用亚麻各节间显微照片  
Plate 8 Microphotos of different internod  
of Yi ya 1 (linseed) in techno-mature period

## 攻读硕士学位期间发表学术论文

付兴, 李明, 李冬梅, 孙羽. 亚麻纤维特点及其与产量、品质关系研究进展. 中国麻业. 2004, 26 (2): 60~64

## 致 谢

本文是在导师李明研究员的悉心指导下完成的。从论文的选题、试验的设计到论文的撰写都凝聚了导师大量的智慧和心血。导师严谨的科学态度、渊博的学识、身体力行的工作作风将我一步步引入科学的殿堂。导师敏锐的思维、对科研的创新进取精神、待人接物的平和、对生活的善待都是我永远学习的榜样。三年研究生学习期间，无论在工作上还是在生活上导师都给予了我无微不至的关怀。在此论文即将完成之际，我向导师致以最衷心的感谢和最诚挚的敬意。

在激素测定试验中得到杂草教研室的陶波教授和中国农业大学作物化控研究室的王保民副教授、李刚博士的热情帮助。在此，表示衷心的感谢。

感谢研究生部马风鸣教授、李琳老师以及作物栽培学与耕作学学科各位老师在过去三年对我的培养、鼓励、关心和帮助。

感谢本研究室硕士研究生李冬梅、贾新禹、于琳以及农学 1999 级裴占江、张明，2000 级邢天秋、吴贯域等同学给予的帮助与支持。

感谢我的家人多年来对我无私的奉献、理解、支持和鼓励。

最后对所有曾帮助过我的人表示最衷心的感谢和最诚挚的祝福。