

## 摘要

为组配和利用早熟雄性不育的红麻杂交种,用 4 个材料:K03A、K03B、K03A/992 和 992,分别设摘花和授粉结实对比处理,自开花起,每周取样 1 次,共 10 次,通过 23 个产量、品质指标的测量,研究了红麻花而不实下纤维的发育规律;并选配三个早熟组合:K03A/F37、K03A/PA299 和 K03A/F302,分别作摘花与授粉结实对比处理,裂区试验,前后两批收获,观测 8 个产量、品质性状,研究了早熟雄性不育的红麻杂交种产量与品质的最终形成以及适宜的开花期和收获期,得出如下结论:

1、株高、茎粗、皮厚、脱叶全秆鲜重、鲜皮重、干皮重及干骨重等性状:表现为同一材料摘花处理与结实处理相比,取样初期,二者的变化规律相近;后期,前者增长速度加快,二者逐渐表现差异,至收获时,摘花处理均显著或极显著高于对照;但不同性状,处理与对照出现差异的时期不同:株高、脱叶全秆鲜重和干骨重约在花后 22d 左右,鲜皮重和干皮重约在花后 29 d 左右,茎粗和皮厚约在花后 36d 左右。说明,利用红麻雄性不育的杂交种具有明显的增产趋势和潜力,主要通过株高、脱叶全秆鲜重和干骨重等的较快增长表现出来。

2、皮骨比:同一材料,摘花和结实两处理没有显著差异,但花后皮骨比变化的标准差较大,说明选育出皮骨比较大的优质红麻材料是可能的。

3、韧皮纤维:开花后,单纤维长度和壁厚的平均值比较稳定,但宽度和孔径均略有减小;纤维层数、纤维群数、纤维束数和纤维带厚度表现为,同一材料摘花处理的生长速度比结实处理的快,且均在花后约 29d 左右开始表现出差异,与同一材料两处理的皮重和皮厚表现出差异的时间一致,密切相关;每束纤维细胞数的平均值在开花后比较稳定,不受摘花与否的影响。可见,开花后摘花导致韧皮部产量较快增长主要是通过纤维层数、群数、束数和厚度等群体数量的较快增长来实现的。

4、木纤维长度、宽度、腔径、壁厚和壁腔比:摘花与否没有明显影响。同一材料,摘花比结实引起木质部较快增长的主要原因在于木纤维总数的较快增长。

5、株高、茎粗、皮厚、脱叶全秆鲜重、干骨重和精麻重的最终形成分析表明,前后两批收获时,摘花与结实两处理间均达到了显著或极显著差异,摘花处理表现显著增产效应,因此,利用红麻雄性不育材料具有明显的增产作用。

6、就纤维强力和支数的最终形成而言,9 月 18 日收获时,处理间没有显著差异;10 月 10 日收获时,两处理纤维支数均在增长,却没有显著差异,处理间纤维强力有显著差异。因此,摘花处理具有改良红麻品质的作用,但是,要到花后一定时期才表现其显著效应;当品质满足工艺要求后,根据对产量的要求可以有较长的适宜收获期。

所以,采用早熟红麻雄性不育的杂交种延至花后收获而利用其双重优势可以达到提高产量和改善品质的作用,是红麻杂交育种及利用的重要方向。

**关键词:** 红麻、雄性不育杂交种、异型保持系

## Abstract

According to 23 character's measurement of four varieties, which each of them were dealt with defloration and burliness, and by sampling once a week, ten times in all, fibre's development rule of kenaf's male sterile hybrid were studied. According to 8 yield and quality character's measurement of three varieties in two different stages, which each of them was dealt with defloration and burliness, the formation of last yield and quality and the appropriate harvest of kenaf's male sterile hybrid were studied. The results showed as follow:

1. Plant height, stem diameter, bark thickness, whole fresh stem weight, dry jackstraw, fresh bark weight and dry bark weight of the defloration developed faster than that of the burliness later. Compared each character of the defloration with that of the burliness, the stage of the difference they showed were different: plant height, whole fresh stem weight and dry jackstraw were in 22 days or so after anthesis; fresh and dry bark weight in 29 days or so; stem diameter and bark thickness in 36 days or so. Therefore, sterile kenaf variety had higher yield trend and potential, and showed it through some sensitive character to defloration such as plant height, fresh whole stem weight, and dry jackstraw etc.

2. Ratio of bark to jackstraw of the same variety between the defloration and the burliness showed no significant difference, and couldn't show male sterile kenaf variety's excellence or badness. Variance of rate of bark to jackstraw showed excellent kenaf with larger value of rate of bark to jackstraw could be selected.

3. The mean of the length and the cellar wall thickness of phloem fibre were steady and weren't influenced significantly by defloration or burliness. The mean of the width and the lacuna of phloem both minish and weren't influenced significantly by defloration or burliness. Each of the number of the layer, the group and the bundle and the fibre strip thickness of phloem fibre of the defloration treatment increased faster than that of the burliness, and showed difference in 29 days after anthesis, accordant with the stage of bark weight and bark thickness between the two treatment of one variety. The mean of the cell number per bundle fibre was steady and wasn't influenced by defloration or burliness significantly. Therefore, faster increasing of the phloem yield brought by defloration treatment resulted in that of the number of fibre layer, group and bundle and the fibre strip thickness.

4. The mean of the fibre length, width, lacuna, wall thickness and the ratio of wall thickness to lacuna didn't influence by defloration or not. The micro-mechanism of faster increasing of xylem caused by defloration than by burliness result in faster increasing of the total number of xylem fibre.

5. The last mean of plant height, stem thickness, bark thickness, fresh whole stem weight, dry jackstraw and nice hemp weight of each variety between defloration and burliness were significant or most significant in two different period harvests, so male sterile kenaf variety inferred to be higher yield.

6. Between the defloration and the burliness, the mean of fibre strength and fibre fineness of each variety both showed no significant difference on Sep.18<sup>th</sup> harvest, the mean of fibre strength showed significant difference and the mean of fibre fineness showed no significant difference on Oct.10<sup>th</sup>. Defloration improved fibre quality in later anthesis, and longer appropriate harvest adopted according to yield requirement after quality satisfied with technics.

In all, delaying harvest to anthesis, earliness kenaf male sterile hybridism concluded to increase yield and improve quality by using both heterosis and male sterile superiorit, and expected to be an important direction in kenaf breeding.

**Key words:** kenaf, male sterile hybridism, heterogeneous maintainer line

# 目 录

## 目 录

### 目 录

### 目 录

#### 目 录

## 第一章 前言

红麻(*Hibiscus Cannabinus L.*)原产非洲,锦葵科(*Malvaceae*)木槿属(*Hibiscus*)一年生草本植物,喜温、速生(5个月左右)、高产(年亩产量为松木的3~5倍),有较强的耐干旱、耐涝渍、耐盐碱的能力,适应性广;其CO<sub>2</sub>的吸收能力强(一般植物的3~5倍),被誉为“环境的朋友”<sup>[76]</sup>。

红麻是重要的纤维作物。传统上,红麻主要用作麻纺,现阶段,被世界公认为最有潜力的新型造纸原料。红麻的综合利用和开发在美国、日本等世界各国方兴未艾。例如:生产地毯、墙布、加工土工布、生产可生物降解地膜、替代部分木材和棉短绒制造粘胶纤维、生产甲醇及利用红麻开发衣料制品、利用红麻对CO<sub>2</sub>具有较强的吸收能力开发新型人造板材;红麻的嫩叶、嫩梢富含蛋白质,是良好的饲料,粉碎的麻秆芯是动物精饲料中粗纤维和粗蛋白很好的替代物;红麻种子含油量20%左右,可食用或做肥皂。世界上发达国家对红麻综合开发的潜在市场极为看好<sup>[2,29,31,40,41,54,88]</sup>。

我国是世界三大红麻生产国(另有印度、孟加拉)之一。近些年,受粮食价格等因素影响,红麻的生产面积稍有下降。由于我国森林资源相对贫乏,每年进口大量木浆用于造纸,预计到2020年用纸消费量将达到9000万吨,缺口达70%以上,国外将无法向我国提供如此大量的木浆或纸品。我国政府高度重视红麻造纸用途,在山东、湖南、安徽、新疆等地相继建立了红麻全秆造纸厂<sup>[54]</sup>。为配合工业上对原料的大量需求,实现红麻增产目标的重点在于推广高产优质的红麻杂交种<sup>[54]</sup>。研究红麻杂种优势利用中的纤维发育规律与产量品质形成特点具有重要意义。

## 1 红麻纤维发育研究概况

### 1.1 红麻纤维的形态、结构及化学组成

红麻韧皮纤维群体以次生韧皮纤维较多,初生韧皮纤维较少,它们均呈束状结构,在麻茎切向形成若干纤维群,径向形成多个纤维层,各层纤维由纤维束组成,每个纤维束由多个纤维细胞构成。单个韧皮纤维细胞细长,一端较钝圆,另一端相对较尖细,轴向有结节,胞壁上有孔洞,细胞长度、直径、壁厚、壁腔比、结节数及节间长度分别约为:2.17mm、22.88 $\mu$ m、5.74 $\mu$ m、1.01、5.93、365.94 $\mu$ m。韧皮纤维化学组成主要为纤维素、半纤维素、木质素等,属GS型木素,其基本结构单元的比例为G:S=1:1.87<sup>[18,26]</sup>。

红麻木质纤维也是以次生纤维较多,呈射线状排列,单个木质纤维长度为0.71~1.07mm,结节、转折和扭曲较少,胞壁上孔洞较多较大,孔径为0.05~3.5 $\mu$ m,纤维表面巨原生纤维分布稀少,与纤维轴向的夹角较大。属GSH型木素,基本结构单元的比例为G:S:H=1:1.03:0.26<sup>[18,26]</sup>。

## 1.2 红麻纤维的发育规律

红麻纤维发育的研究以初皮纤维为主，由纤维素分子到组成细胞壁，其间存在多级的微观结构：微晶体、微纤维、细纤维、微细膜及细胞壁。

红麻单纤维细胞的发育过程是纤维细胞先伸长，即纤维细胞初生壁纵向伸长，相应地横向扩大，胞腔大，胞内原生质浓厚；接着纤维素、半纤维素、木质素等在胞壁上沉积，胞腔变小，胞壁增厚；原生质逐渐消失，纤维细胞成熟。第一纤维细胞从分化到成熟约需 4~5 周。因此，纤维细胞的长度主要决定于初生胞壁的伸长生长，强度决定于次生壁的加厚生长。

红麻纤维细胞的发育具有时空差异。单纤维最初形成的短小，每束纤维细胞数也少，生育中后期形成的纤维细胞长而大，数也多；由于取材不同，各学者观察的结果不尽一致，湖南省造纸研究所测定全株上、中、下部韧部的平均值是，纤维长度为 2.284mm，纤维宽度为  $23.08\mu\text{m}$ ，厚度为  $3.05\mu\text{m}$  胞腔直径为  $10.49\mu\text{m}$ 。观察发现，纤维细胞的宽度、胞壁厚度及胞腔的大小，随麻株不同部位而异，初生纤维的宽度，从子叶节向上渐次增大，至中上部最宽，梢部最窄，次生纤维细胞宽度也从子叶节向上增宽，但胞壁减薄，胞腔以子叶节位小，愈向上胞腔愈大，表明纤维脆弱，全株以下部纤维细胞分化早，易木质化，中部比下部纤维细胞长，壁薄、内容物多、较强韧，上部分化迟，细胞长、腔大、不充实易脆断；红麻每一层纤维束长度，以初生纤维最长，次生纤维中以早期分化的外层为长，愈向内层纤维束愈短，初生纤维与次生纤维间没有网状联合，互相隔开。次生纤维内各层次间，呈不规则辐射状愈合，两者明显区分为来源不同的纤维细胞，不同部位的纤维层中，纤维束数及每束纤维细胞数也不一样，一般基部纤维层多，纤维细胞总数也多，愈向上愈少。据胡兆金等观察，高产红麻在生长前中期纤维层、纤维群数增长较快，单株纤维的含量，都是茎基部含量高，愈向上逐次递减，基部、中部及梢部纤维含量分别占单株总重的 18.06%、10%、0.86%，全株纤维的 90% 在茎的第六分段以下 [12]。

## 2 红麻产量与品质的形成

有关红麻产量的研究较多。生产上，人们利用红麻“短日高温”的生物学特性进行晚熟材料“南种北引”，大幅度地延长了红麻的生育期，获得了高产。其原因，刘伟杰认为，决定红麻现蕾的主导因素是日长，这是在南方利用较长暗周期制种的基础；决定其营养体生长快慢，纤维产量高低的主导因素是温度，所以，北方可利用较短的暗周期延迟红麻的开花，同时，利用较高的积温使其营养体迅速生长 [12]。

红麻全秆有两类不同的纤维，其中木质纤维研究很少，而以初皮纤维为主。总的来说，木质部纤维的特点是短宽、壁薄、腔大、壁腔比小；韧皮部纤维细长、壁厚、腔小、壁腔比大 [9,19]。红麻全秆造纸应用中，韧皮纤维的长度接近最适值(3mm)，而木质纤维较短（仅为 0.6~0.7），但是，红麻材料间木纤维长度、皮、骨、髓比例等变异丰富，有望选育出适于造纸的材料 [89]。

据研究, 纺织用红麻要求纤维的可纺性好, 宜在盛花期收获; 造纸用红麻为获得高纸浆得率, 要求纤维更加老熟, 在部分蒴果成熟时收获较好。但是, 生产中“南种北引”使用的主要是晚熟品种, 并习惯将早花作为判断品种优劣的标准, 因而, 主产区的红麻不可能达到工艺成熟期; 采用早中熟品种虽能达到工艺成熟期, 又因过早进入生殖生长, 产量较低, 兼之制浆前需除去蒴果, 增加工作量<sup>[20,53]</sup>, 因此, 也难得推广。

### 3 红麻杂种优势的利用以及雄性不育资源的发现

#### 3.1 红麻杂种优势的利用

红麻是以收获营养体为目的, 杂种优势率可高达 35~40%<sup>[50]</sup>, 且杂种一、二代均能产生超强优势, F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 代分别增产 30~43%和 18~25%<sup>[53]</sup>, 因此, 红麻杂种优势的利用极具潜力。

在制种技术方面, 印度学者帕特和尤格尔等曾对红麻细胞质雄性不育的遗传有过研究, 认为可用于杂种优势, 但其后未见进一步报道; 赵槐等认为, 红麻杂种优势利用的去雄可走短光照制种、创造高温条件、诱导花粉败育的道路, 终归由于不能获得高纯度的杂交种而未成功; 红麻杂种优势利用以中国农业科学院麻类所等研究出一套较为系统的化学杀雄法制种为主, 但是, 红麻株高 3~5 米, 无限花序, 多次用药, 操作不便, 又污染环境, 为约成本, 仅利用 F<sub>2</sub> 代<sup>[20]</sup>。

#### 3.2 红麻雄性不育资源的发现以及本研究的目的

为解决红麻生产中高产与优质的矛盾, 刘伟杰主张在现蕾期喷施化学杀雄剂, 促使花蕾脱落<sup>[19]</sup>, 但是, 红麻株高 3-5 米, 操作不便, 又因无限花序, 要求多次施药, 实难做到。

周瑞阳发现了红麻“营养亏缺型雄性不育”<sup>[50]</sup>, 及细胞质雄性不育资源<sup>[103]</sup>, 并提出了利用异型保持系与雄性不育系组配早中熟且雄性不育的杂交种。在大面积栽培条件下, 雄性不育的杂交种因花而不实, 不必施用化学杀雄剂即可达到高产优质的目标。

利用异型保持系生产雄性不育的杂交种在其它作物已有研究。丛滋金、宋同明认为利用异型保持系杂交获得的优势可进行杂种优势多重利用<sup>[15]</sup>; 吉立柱、陆作帽提出用一个不育系与另一个对其具保持能力的材料(系)杂交获得二元不育系是三交杂种优势利用的新途径<sup>[17]</sup>; 高根来、王向东认为通过回交转育选育出配合力高、综合性状优良的异型保持系, 获得不育型高油玉米杂交种是高油玉米综合利用模式中的关键技术环节<sup>[65]</sup>。季保平、郝治安指出质不育系在以营养器官为生产目的和以果实(单性结实类)为生产目的利用中, 杂交种的育性是不必考虑的, 只需要有不育系、与不育系同型的保持系和与不育系的异型保持系就可以了<sup>[37]</sup>; 邓耀华、张雪清认为萝卜雄性不育异质性的研究很有意义<sup>[16]</sup>; 马亚怀、李彦丽等用异型保持系杂交, 育成多胚二倍体雄性不育系, 并最终获得优质丰产抗病甜菜新品种<sup>[1]</sup>。

但麻类作物利用异型保持系选育雄性不育的杂交种, 前人尚未进行。为组配出

开花期较早且雄性不育的红麻杂交种，急需明确：雄性不育的杂交种在花而不实条件下，韧皮纤维和木纤维的发育规律及产量与品质形成特点；最能实现高产与优质相统一的雄性不育杂交种的开花期要求；以及雄性不育的红麻杂交种是否有较长的适宜收获期等。这就是本研究需要解决的基本问题。

## 第二章 红麻雄性不育杂交种的纤维发育规律

### 1 试验材料及方法

#### 1.1 试验材料

K03A、K03B、K03A/992 及 992。

#### 1.2 试验方法

##### 1.2.1 田间布置及试验处理

将上述 4 材料（论文中均按上述顺序，不再说明）各设授粉结实处理（对不育材料辅以人工授粉）及不育处理（模拟不育材料开花习性于开花次日进行摘花），共计八个处理，分别设标号如下表：

处理标号	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
材料及处理的名称	K03A 结实处理（辅以人工授粉）	K03A 摘花处理（去除自然异交）	K03B 结实处理	K03B 摘花处理	K03A/992 结实处理	K03A/992 摘花处理	992 结实处理	992 摘花处理

将上述材料于 2003 年 12 月 29 日于海南陵水中等肥力田地中对比种植，即 T1 和 T2、T3 和 T4、T5 和 T6 以及 T7 和 T8 各个对应处理对比排列，各小区面积 2m×50m，另外，设 1.5m 宽以上的保护行区，常规管理。自开花（2004 年 3 月 7 日）至收获（2004 年 5 月 9 日）止，每天上午对所有材料的摘花处理将前一天所开的花全部摘除，同时，对不育材料的开花结实处理辅以人工授粉。

##### 1.2.2 取样及相关指标测量

自开花至收获止，每隔 1 周取样 1 次，共计 10 次，从田块的一端向另一端对比随机取样，作发育相关指标的测量、记载。每次取样 40 株，分别用作三方面的研究：

一、30 株用于主要性状的测量，即株高、茎粗（1/3 株高处）、鲜皮厚（1/3 株高处）、脱叶全秆鲜重、鲜皮重、干皮重、干骨重（发育研究部分所有重量指标的值均为 30 株的重量）等（参见李宗道，《中国麻类作物栽培学》，1985）；

二、5 株用于取 1/3 株高处 5cm 茎段，作徒手切片，FAA 固定及保存，以观测木纤维和韧皮纤维细胞及其群体形态结构的发育情况（参见李宗道，《中国麻类作物栽培学》，1985）；

三、5 株用于取株高 1/3 处 5cm 的茎段自然风干，作离析用，以观测单纤维细胞的长度、宽度及腔径，了解壁腔比，研究木纤维及韧皮纤维的单纤维发育（参考杨瑞林，硝酸-酒精法离析法，1987）。操作流程为：取风干样品，剥离皮骨，各称

5g, 切成约 2cm 样段, 装入 250ml 圆底烧瓶, 加入现配的硝酸-酒精 (1: 4 的配比) 混合液约 80ml, 80℃ 水浴 30min (用冷凝回流装置), 取下弃去瓶内液, 加入 3%NaOH80ml, 100℃ 水浴 30min, 弃去碱液, 自来水冲洗 3 次, 加入 150ml 清水振荡, 使纤维分散, 滴管吸取细胞于盖玻片上, 显微观测木质部和韧皮部各 30 个细胞。

### 1.2.3 数据处理

运用 EXCEL 求出上述各指标每次所取样本的平均值, 计算皮骨比和单纤维的壁腔比, 绘出各材料的两处理随着取样进行的变化曲线, 研究摘花处理的效应, 不育系与保持系以及杂种与亲本的纤维发育关系。

## 2 结果与分析

### 2.1 目标性状的变化规律

每指标 4 个折线图, 分别依次为: K03A、K03B、K03A/992 以及 992 各种材料的两处理 (结实处理和摘花处理) 在开花后随取样时期 (横轴) 对比变化折线图。

#### 2.1.1 株高

由折线图 1~4 可见, 在开花后各处理的株高均在不断增长; 花后初期同一材料摘花处理与结实处理的株高变化折线几乎重合, 增长较慢, 随后渐快, 因摘花处理的株高比结实处理的增幅大, 两处理的变化折线发生分离; 同一材料两处理增长速度表现差异大约始于第 4 次取样, 也就是在开花后约 22d 左右的时候; 依次计算 4 种材料最后一次收获时摘花处理比结实处理株高增长百分数分别为: 12.6%、6.9%、10.5%和 9.6%; K03A 的摘花处理与结实处理分别和 K03B 的两处理开花后株高变化折线很相似, 置于同一图中时分别接近重合, 说明利用摘花模拟研究不育材料的株高具有很好的代表性; 图 1、3 和 4 比较可见, K03A/992 的株高花后的发育没有明显的优势。

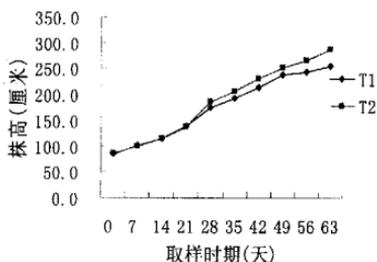


图1. T1和T2的株高对比

Fig1.comparison of plant height between T1 and T2

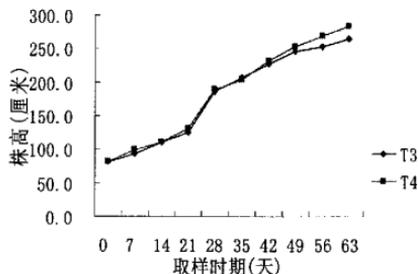


图2. T3和T4的株高对比

Fig.2 comparison of plant height between T3 and T4

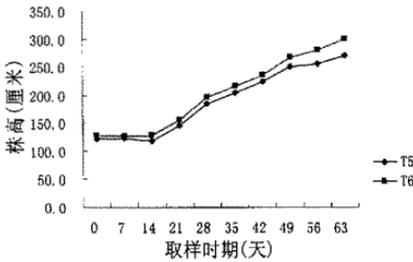


图 3 . T5和T6的株高对比  
Fig.3 comparison of plant height between T5 and T6

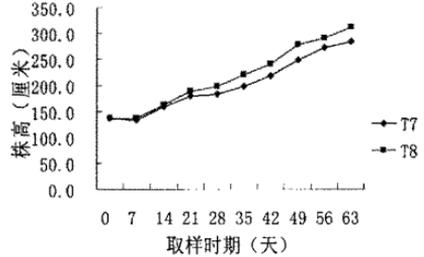


图 4. T7和T8的株高对比  
Fig.comparison of plant height between T7 and T8

### 2.1.2 茎粗

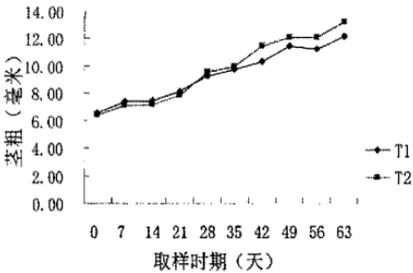


图 5. T1和T2的茎粗对比度  
Fig5.comparison of stem thickness between T1 and T2

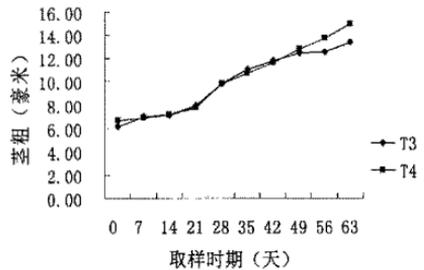


图 6. T3和T4的茎粗对比  
Fig6.comparison of stem thickness between T3 and T4

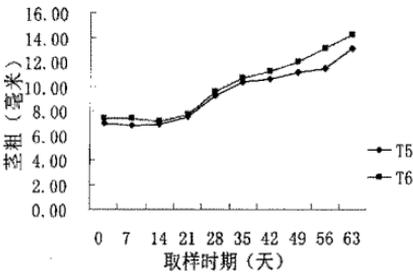


图 7. T5和T6的茎粗对比  
Fig7.comparison of stem thickness between T5 and T6

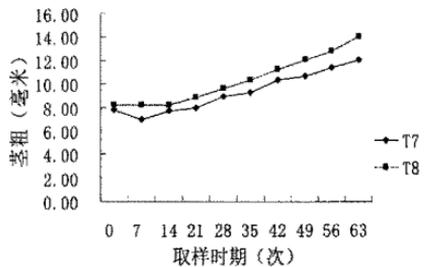


图 8. T7和T8的茎粗对比  
Fig.8 comparison of stem thickness between T7 and T8

由折线图 5~8 可见, 在开花后所有处理的茎粗在整体上呈递增趋势; 同一材料的摘花处理与结实处理比较, 在初期较长时间里二者的变化折线几乎重合, 多数材料在花后 36d 左右时, 摘花处理的茎粗才开始比结实处理的增长较快, 同种材料的两处理逐渐出现差异; K03A 两处理的茎粗变化折线和 K03B 两处理的茎粗变化折线略有差异, 前者的两处理约在花后 36d 左右开始出现差异, 后者的两处理约在花后 50d 左右表现差异; 最后一次取样时 4 材料摘花处理的茎粗比结实处理的茎粗分别增长: 8.3%、11.4%、9.0%和 15.8%; 比较图 5、7 和 8 发现, 花后茎粗的发育没有表现出明显的杂种优势。

### 2.1.3 皮厚

图 9~12 显示, 开花后各处理的皮厚整体上呈递增趋势; 有些材料两处理皮厚的变化有明显差异, 例如, K03A 和 K03B 到后期摘花处理比结实处理增厚快, 前者约在花后 36d 开始出现差异, 后者约在花后 50d 开始; 有些材料两处理皮厚的变化折线图几乎重合, 没有表现出明显的差别, 如 K03A/992 和 992 的两处理皮厚变化折线图。

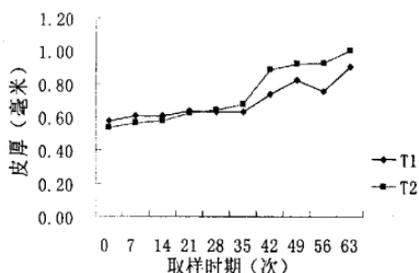


图9. T1和T2的鲜皮厚对比  
Fig9.comparison of fresh bark thickness between T1 and T2

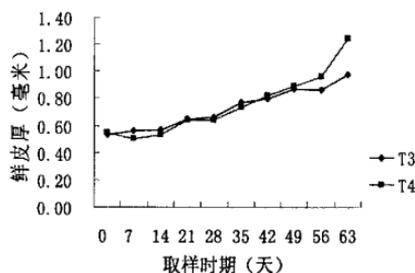


图10. T3和T4的鲜皮厚对比  
Fig10.comparison of fresh bark thickness between T3 and T4

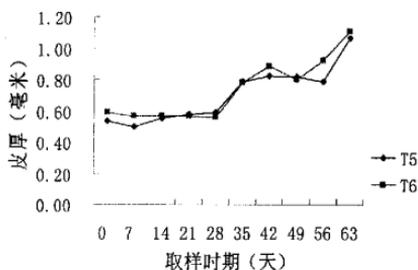


图11. T5和T6的鲜皮厚对比  
Fig11.comparison of fresh bark thickness between T5 and T6

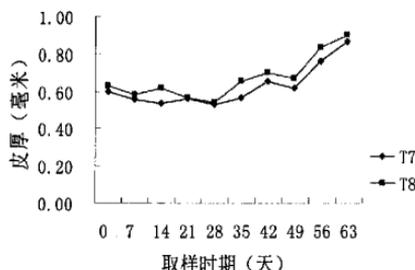


图12. T7和T8的鲜皮厚对比  
Fig12.comparison of fresh bark thickness between T7 and T8

## 2.1.4 脱叶全杆鲜重

从图 13~16 可见,开花后各处理脱叶全杆鲜重整体上不断增长,初期相对较慢,后期渐快;同一材料摘花处理的脱叶全杆鲜重比结实处理的增长较快,大约始于开花后的第 22d,与同一材料两处理的株高开始表现出差异的时期一致;材料之间两处理变化折线图有差异,992 的脱叶全杆鲜重的大幅增长时期较晚,而其它的几个材料的早一些;最后一次收获时,4 个材料摘花处理的脱叶全杆鲜重比结实处理的脱叶全杆鲜重的增长百分数依次分别:39.7%、23.8%、21.4%和 25.7%,增产效应很明显,杂交组合优势很弱,最后一次取样的中亲优势率为 3.9%。

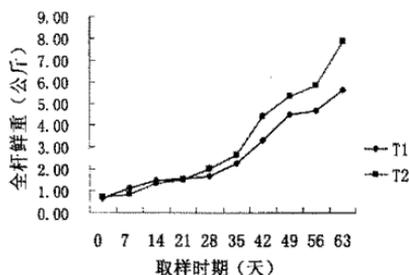


图13. T1和T2的脱叶全杆鲜重对比  
Fig13.comparison of whole stem weight  
without leaf between T1 and T2

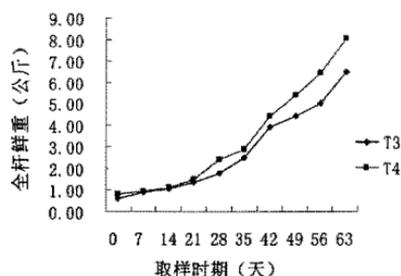


图14. T3和T4的脱叶全杆鲜重对比  
Fig14.comparison of whole stem weight  
without leaf between T3 and T4

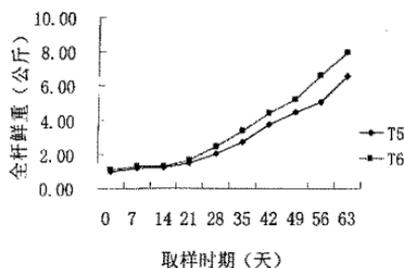


图15. T5和T6的脱叶全杆鲜重对比  
Fig15.comparison of whole stem weight  
without leaf between T5 and T6

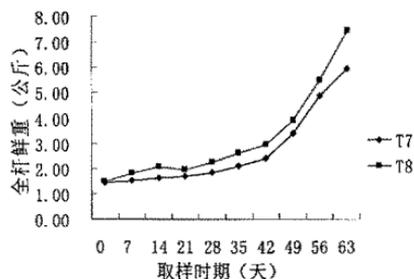


图16. T7和T8的脱叶全杆鲜重对比  
Fig16.comparison of whole stem weight  
without leaf between T7 and T8

## 2.1.5 鲜皮重、干皮重以及干骨重

由图 17~28 可见,开花后各材料鲜皮重和干皮重的变化折线很相似,同一材料摘花处理的鲜皮重和干皮重分别比结实处理的增长快,大约于花后的 29d 左右开始出现差异;最后一次取样时,4 材料摘花处理的鲜皮重比结实处理的依次分别增长 43.6%、30.0%、30.0%和 12.4%,4 材料摘花处理的干皮重比结实处理的依次分别增

长 50.0%、27.3%、23.2% 和 32.1%。同一材料摘花处理的干骨重比结实处理的干骨重增长较快, 大约在开花后的 22d 左右表现出差异, 与株高和脱叶全秆鲜重表现差异的时期一致; 最后一次取样, 4 材料摘花处理的干骨重比结实处理的依次分别增长 32.0%、25.0%、20.9% 和 33.3%。发育过程中, 杂交种这三个指标的优势很弱, 最后取样所得鲜皮重、干皮重及干骨重中的中亲优势率分别为 3.5%、-1.1% 和 -0.8%。

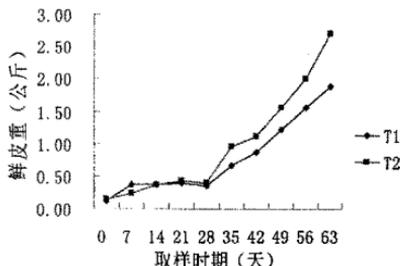


图17. T1和T2鲜皮重对比  
Fig17.comparison of fresh bark weight between T1 and T2

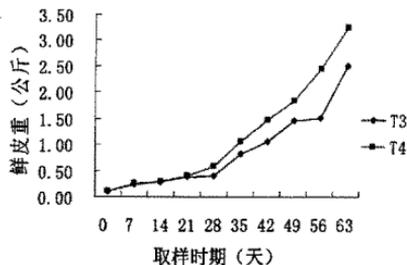


图18. T3和T4鲜皮重对比  
Fig18.comparison of fresh bark weight between T3 and T4

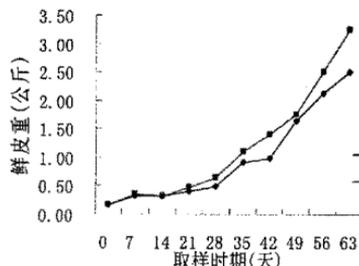


图19. T5和T6鲜皮重对比  
Fig19.comparison of fresh bark weight between T5 and T6

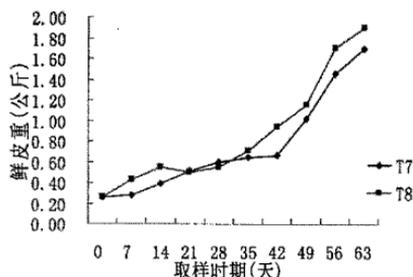


图20. T7和T8鲜皮重对比  
Fig20.comparison of fresh bark weight between T7 and T8

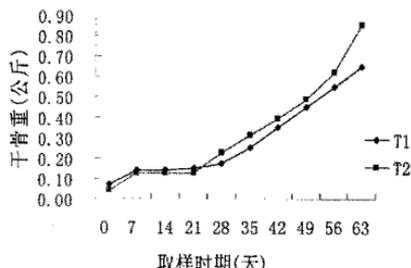


图21. T1和T2干骨重的对比  
Fig21.comparison of dry jackstraw weight between T1 and T2

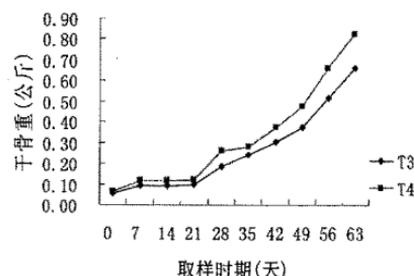


图22. T3和T4干骨重的对比  
Fig22.comparison of dry jackstraw weight between T3 and T4

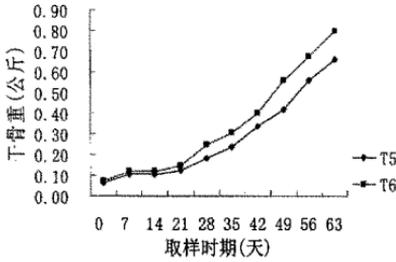


图23. T5和T6的干骨重对比  
Fig23.comparison of dry jackstraw weight between T5 and T6

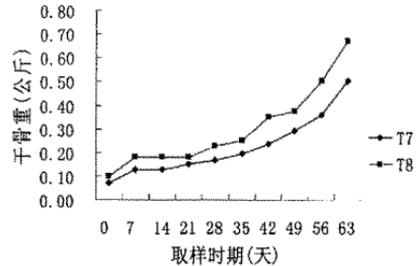


图24. T7和T8的干骨重对比  
Fig24.comparison of dry jackstraw weight between T7 and T8

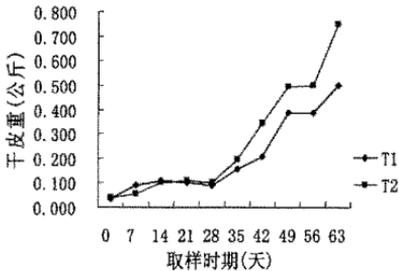


图25. T1和T2的干皮重对比  
Fig25.comparison of dry bark weight between T1 and T2

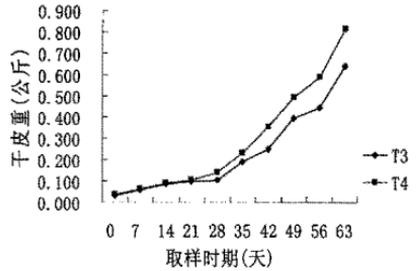


图26. T3和T4的干皮重对比  
Fig26.comparison of dry bark weight between T3 and T4

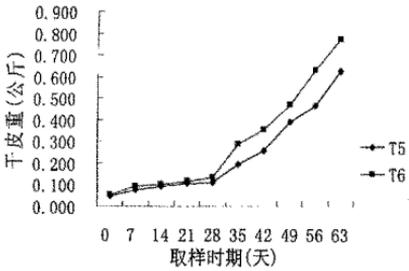


图27. T5和T6的干皮重对比  
Fig27.comparison of dry bark weight between T5 and T6

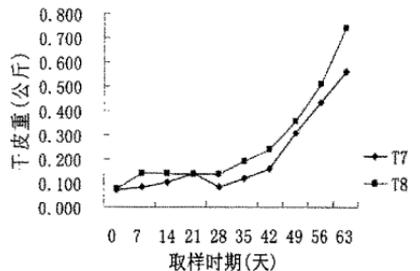


图28. T7和T8的干皮重对比  
Fig28.comparison of dry weight between T7 and T8

### 2.1.6 皮骨比

由图 29~32 可见, 开花后皮骨比的变化折线比较复杂, 各处理不同时期皮骨比平均值的范围为 0.21~0.56; 同一处理不同时期皮骨比变化幅度较大; 同一材料摘

花处理的皮骨比变化与结实处理的没有明显区别与规律，材料间的皮骨比更复杂。

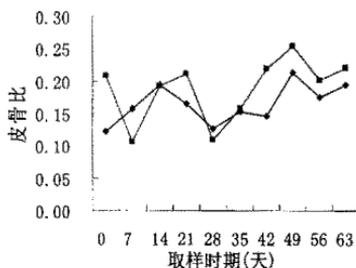


图29. T1和T2的皮骨比对比

Fig29.comparison of weight ratio of dry bark to jackstraw between T1 and T2

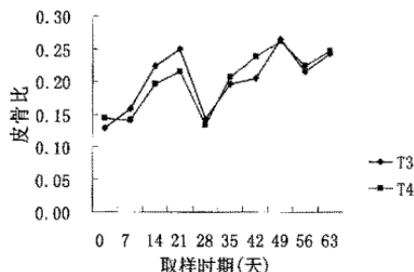


图30. T3和T4的皮骨比对比

Fig30.comparison of weight ratio of dry bark to jackstraw between T3 and T4

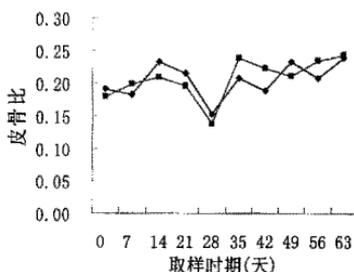


图31. T5和T6的皮骨比对比

Fig31.comparison of weight ratio of dry bark to jackstraw between T5 and T6

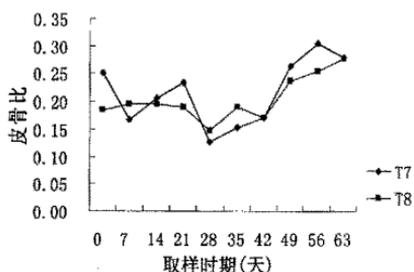


图32. T7和T8的皮骨比的对比

Fig32.comparison of weight ratio of dry bark to jackstraw between T7 and T8

## 2.2 红麻纤维发育的显微观察

### 2.2.1 韧皮纤维的发育

红麻韧皮纤维排列很有规律，由单纤维形成纤维束，进一步形成纤维群，分层排列，形成纤维带，后面所附版图为 K03A/99 两处理花后纤维发育几个典型时期的切片，可见开花后红麻纤维的束数、群数、层数以及纤维带厚度均在不断增长；而且，同材料摘花处理的该4个指标比结实处理的增长更快。

#### 2.2.1.1 纤维带的厚度

图 33~36 显示，花后各处理纤维带厚度总体上都在不断增长，且前期较慢，后期渐快；同一材料摘花处理的纤维带厚度比结实处理增长更快，大约始于花 29d 左右；最后一次取样时（花后 64d）4 材料摘花处理的纤维带厚度比结实处理的依次分

别增长 12.3%、20.2%、29.3%和 25.7%。

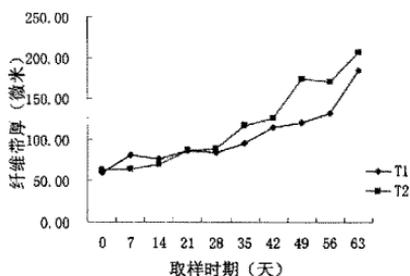


图33. T1和T2的纤维带厚度对比  
Fig. comparison of fibre belt thickness between T1 and T2

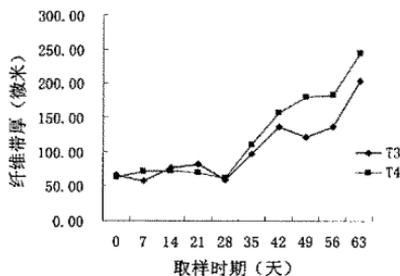


图34. T3和T4的纤维带厚度对比  
Fig34. comparison of fibre belt thickness between T3 and T4

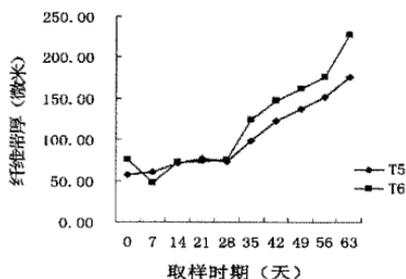


图35. T5和T6纤维带厚度对比  
Fig35. comparison of fibre belt thickness between T5 and T6

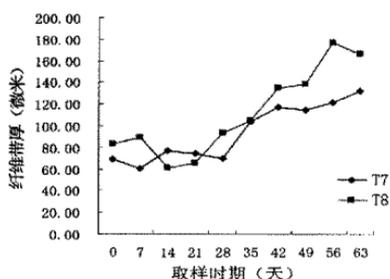


图36. T7和T8纤维带厚的对比  
Fig36. comparison of fibre belt thickness between T7 and T8

### 2.2.1.2 纤维层数

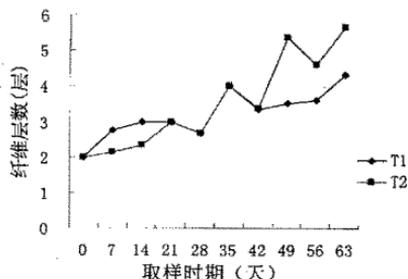


图37. T1和T2的纤维层数对比  
Fig37.comparison of fibre layer number between T1 and T2

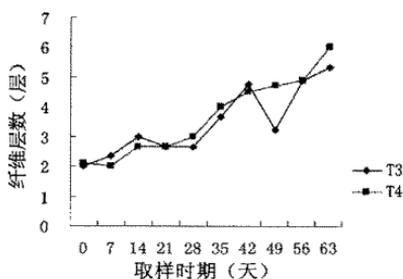


图38. T3和T4的纤维层数对比  
Fig38. comparison of fibre layer number between T3 and T4

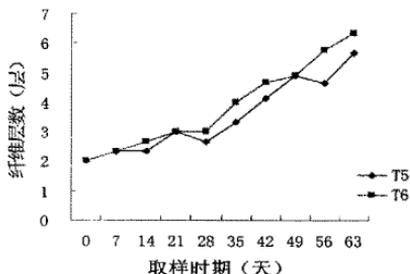


图39. T5和T6的纤维层数对比  
Fig39.comparison of fibre layer number between T5 and T6

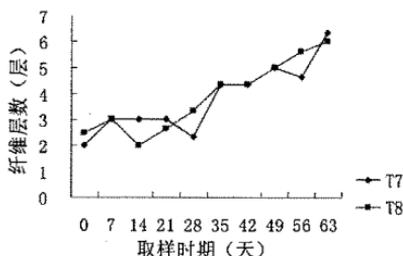


图40. T7和T8的纤维层数的对比  
Fig40.comparison of fibre layer number between T7 and T8

图 37~40 表明, 开花后红麻各处理的纤维层数在增长; 多数材料两处理的纤维层数变化有明显差异, 如 K03A 和 992 各个材料摘花处理的纤维层数均比结实处理的增长较快, 有些材料处理间纤维层数的变化差异不明显, 例如 K03A/992 和 K03B 的两处理间纤维层数变化折线很接近。

### 2.2.1.3 纤维群数

图 41~44 显示, 花后纤维群数在整体上呈递增趋势; 同一材料摘花处理的纤维群数结实处理的增长快, 两处理间表现差异大约始于花后的 29d 左右; 最后一次取样所得 4 材料摘花处理的纤维群数比结实处理的分别依次增长 14.1%、28.2%、22.2% 和 13.5%; 材料间两处理表现差异的时期不相同, 4 材料各自两处理的纤维群数出现差异分别约在花后 29d、22d、22d 和 29d。

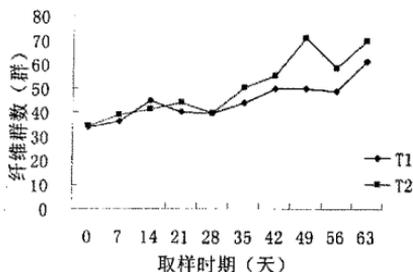


图41. T1和T2的纤维群数对比  
Fig41.comparison of fibre group number between T1 and T2

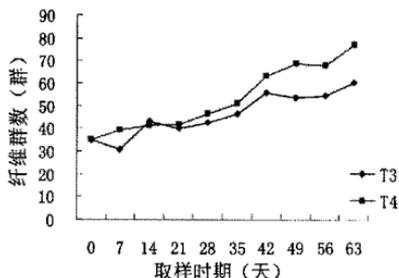


图42. T3和T4的纤维群数的对比  
Fig42.comparison of fibre group number between T3 and T4

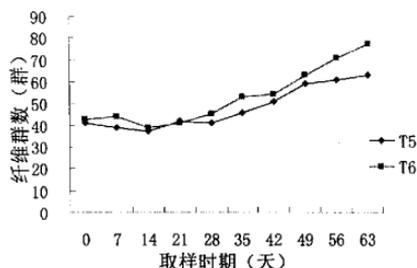


图43. T5和T6纤维群数的对比  
Fig43. comparison of fibre group number between T5 and T6

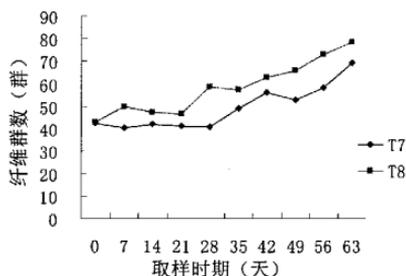


图44. T7和T8纤维群数的对比  
Fig44. comparison of fibre group number between T7 and T8

### 2.2.1.4 纤维束数

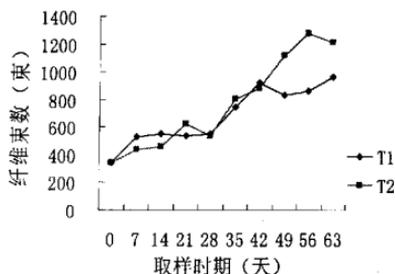


图45. T1和T2的纤维束数对比  
Fig45. comparison of fibre bundle number between T1 and T2

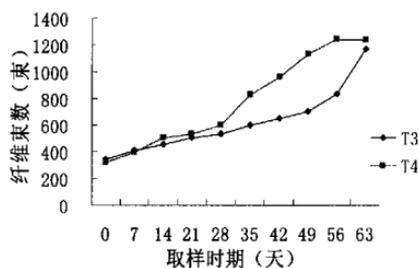


图46. T3和T4纤维束数的对比  
Fig46. comparison of fibre bundle number between T3 and T4

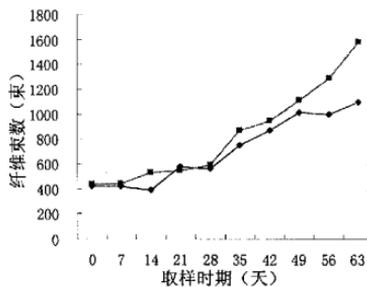


图47. T5和T6纤维束数的对比  
Fig47. comparison of fibre bundle number between T5 and T6

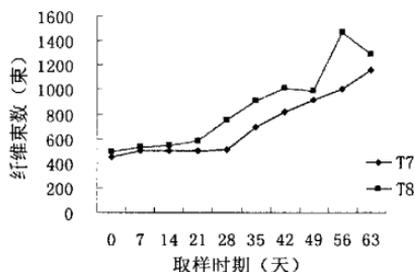


图48. T7和T8的纤维束对比  
Fig48. comparison of fibre bundle number between T7 and T8

由图 45~48 可见, 各处理纤维束数在不断增长, 前期较慢, 后期渐快; 同一材

料摘花处理的纤维束总数比结实处理的增长得快, 大约始于花后的 29d 左右; 材料之间有较小差异, 变化折线也不规则, 第九次取样时, 4 材料摘花处理的纤维束比结实处理的分别依次增长 47.4%、48.6%、29.2%和 46.6%; 第 10 次取样时相应的增长百分数依次分别为 25.3%、5.8%、44.6%和 11.7%。

### 2.2.1.5 束纤维细胞数

图 49~52 表明, 各处理束纤维细胞数的变化折线接近水平, 整体上变化很小; 同一材料的两处理也没有明显的差异; 各处理不同时期束纤维细胞数平均数变化范围为 15~29 个, 各处理束纤维细胞数变化折线的标准差范围为 2~4 个, 变异较小; 材料之间束纤维细胞数平均值为 20~22 个, 差异不大。

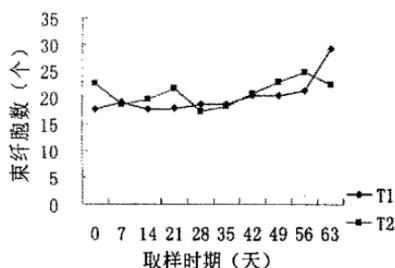


图49. T1和T2的束纤维细胞数对比  
Fig49. comparison of cell number per fibre bundle between T1 and T2

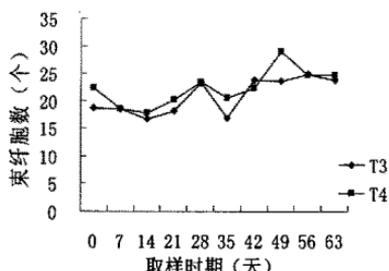


图50. T3和T4的束纤维细胞数对比  
Fig50. comparison of cell number per fibre bundle between T3 and T4

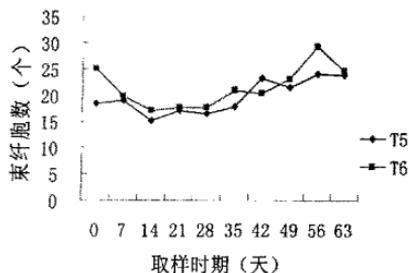


图51. T5和T6的束纤维细胞数的对比  
Fig51. comparison of cell number per fibre bundle between T5 and T6

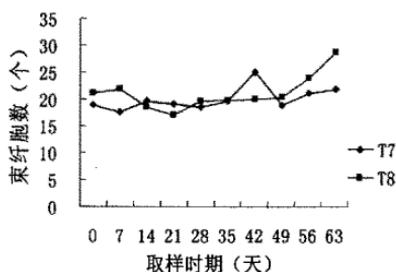


图52. T7和T8的束纤维细胞数对比  
Fig52. comparison of cell number per fibre bundle between T7 and T8

### 2.2.1.6 韧皮纤维的长度

由图 53~56 可见, 韧皮纤维平均长度范围为 3.01~4.61mm; 各处理的韧皮纤维长度变化折线都接近水平, 也就是花后韧皮纤维长度的平均值变化比较小; 材料之间韧皮纤维长度平均值略有差异; 同一材料摘花和结实两处理间的韧皮纤维长度变化折线几乎重合, 没有显著差异。

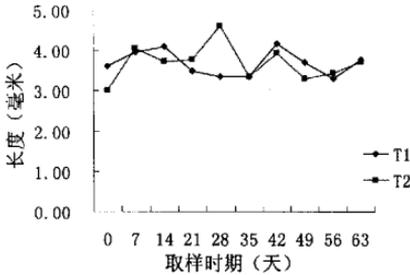


图53. T1和T2韧皮纤维长度对比  
Fig53. comparison of phloem fibre length between T1 and T2

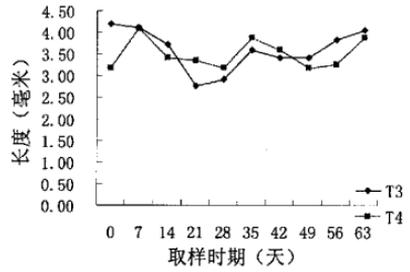


图54. T3和T4的韧皮纤维长度对比  
Fig54. comparison of phloem fibre length between T3 and T4

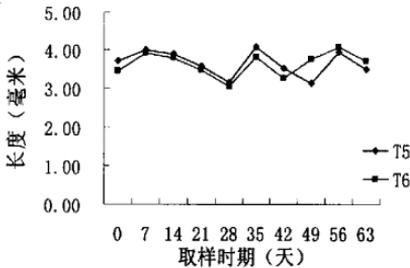


图55. T5和T6韧皮纤维长度的对比  
Fig55. comparison of phloem fibre length between T5 and T6

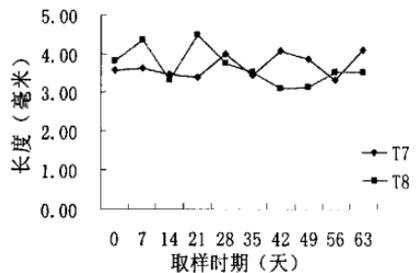


图56. T7和T8韧皮纤维长度的对比  
Fig56. comparison of phloem fibre length between T7 and T8

### 2.2.1.7 韧皮纤维宽度、腔径、壁厚及壁腔比

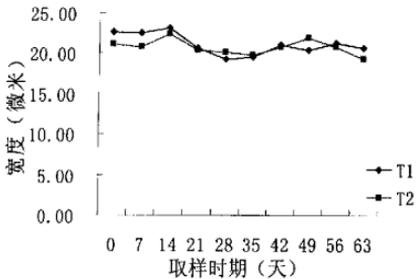


图57. T1和T2韧皮纤维宽度对比  
Fig57. comparison of phloem fibre width between T1 and T2

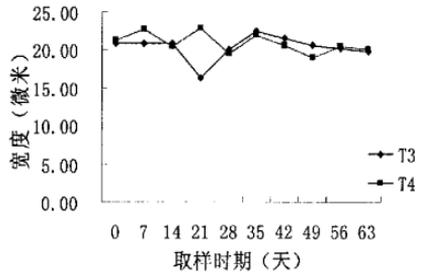


图58. T3和T4韧皮纤维宽度的对比  
Fig58. comparison of phloem fibre width between T3 and T4

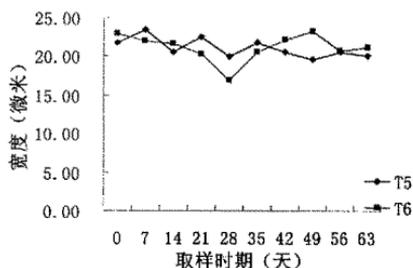


图59. T5和T6初皮纤维宽度对比  
Fig59. comparison of phloem fibre width between T5 and T6

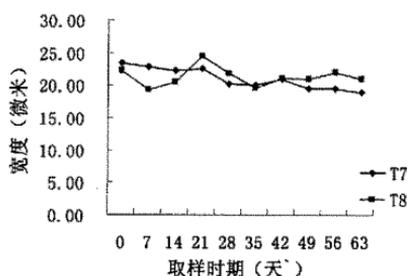


图60. T7和T8初皮纤维长度对比  
Fig60. comparison of phloem fibre length between T7 and T8

由图 57~60 可见, 各处理初皮纤维的宽度变化折线均略呈下降趋势, 不同时期宽度的平均值为 16.37~23.43  $\mu\text{m}$ ; 同一材料两处理宽度变化折线接近重合, 处理间没有表现明显差异; 材料间初皮纤维宽度平均值变化略有差异, 但规律性不明显。

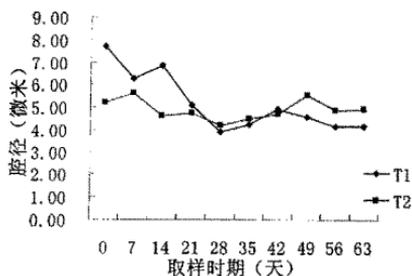


图61. T1和T2初皮纤维的腔径对比  
Fig61. comparison of phloem fibre lacuna diameter between T1 and T2

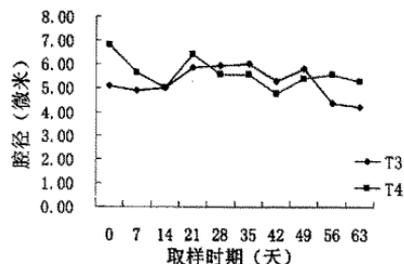


图62. T3和平T4初皮纤维腔径对比  
Fig62. comparison of phloem fibre lacuna diameter between T3 and T4

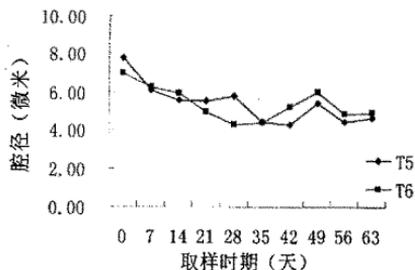


图63. T5和T6初皮纤维腔径的对比  
Fig63. comparison of phloem fibre lacuna diameter between T5 and T6

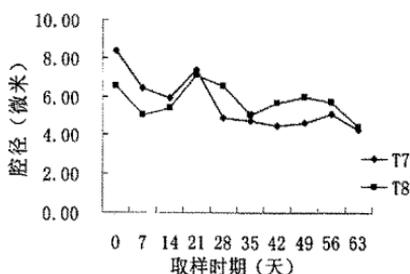


图64. T7和T8初皮纤维腔径的对比  
Fig64. comparison of phloem fibre lacuna diameter between T7 and T8

图 61~64 显示, 与宽度的变化相似, 花后各处理韧皮纤维腔径的变化折线略趋下降, 不同时期平均值为  $3.92 \sim 7.74 \mu\text{m}$ ; 同一材料摘花和结实两处理的韧皮纤维腔径没有显著差异; 材料间韧皮纤维腔径平均值的变化存在差异, K03A 和 K03B 的变化折线下降较明显, K03A/992 和 992 的变化折线下降不很明显。

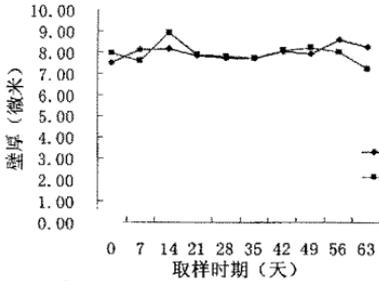


图65. T1和T2韧皮纤维壁厚对比  
Fig65. comparison of phloem fibre cell wall thickness between T1 and T2

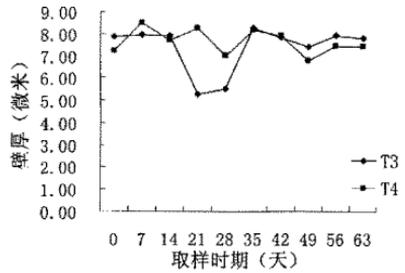


图66. T3和T4韧皮纤维壁厚对比  
Fig66. comparison of phloem fibre cell wall thickness between T3 and T4

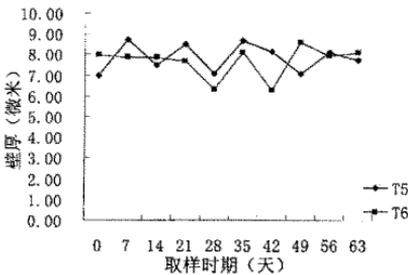


图67. T5和T6的韧皮纤维壁厚对比  
Fig67. comparison of phloem fibre cell wall thickness between T5 and T6

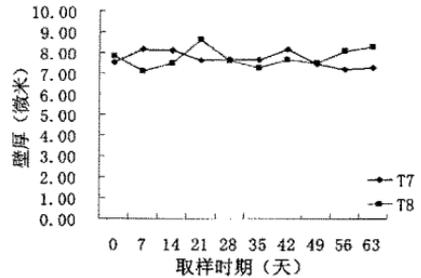


图68. T7和T8韧皮纤维壁厚的对比  
Fig68. comparison of phloem fibre cell wall thickness between T7 and T8

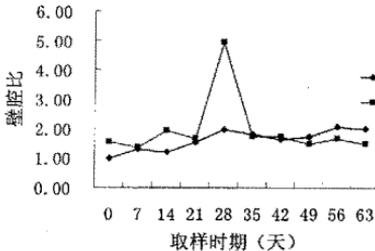


图69. T1和T2韧皮纤维壁腔比对比  
Fig69. comparison of phloem fibre ratio of cell wall thickness to lacuna diameter between T1 and T2

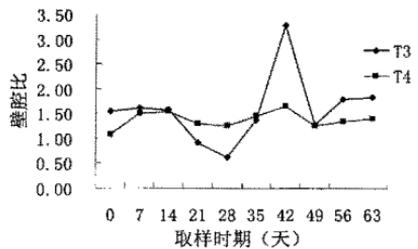


图70. T3和T4韧皮纤维壁腔比对比  
Fig70. comparison of phloem fibre ratio of cell wall thickness to lacuna diameter between T3 and T4

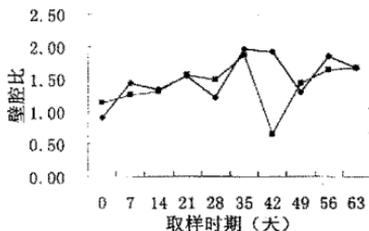


图71. T5和T6初皮纤维壁腔比对比  
Fig71. comparison of phloem fibre ratio of cell wall thickness to lacuna diameter between T5 and T6

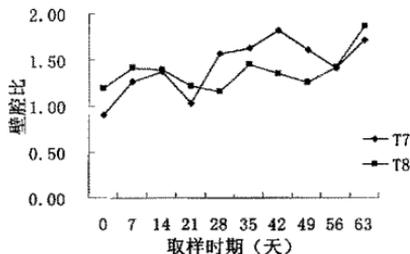


图72. T7和T8初皮纤维壁腔比对比  
Fig72. comparison of phloem fibre ratio of cell wall thickness to lacuna diameter between T7 and T8

由图 65~68 可见, 各处理初皮纤维壁厚的变化折线接近水平, 各处理不同时期初皮纤维壁厚的平均值为  $6.99\sim 8.93\mu\text{m}$ ; 同一材料摘花与结实处理间三分之一株高处初皮纤维壁厚平均值的变化折线几乎重合, 处理间没有明显差异; 材料间初皮纤维壁厚平均值差异较小。

图 69~72 显示, 各处理壁腔比变化折线整体上略呈上升趋势, 各处理不同时期初皮纤维壁腔比的平均值为  $0.90\sim 2.06$ , 变异幅度较大; 同一材料摘花与结实两处理初皮纤维壁腔比的变化折线几乎重合, 处理间三分之一株高处的初皮纤维壁没有明显差异; 材料之间初皮纤维壁腔比的变化存在差异, 例如 992 的变异较大, 但总的说来, 规律性不很明显。

## 2.2.2 木纤维的发育

由附版图可见, 红麻木纤维群体呈射线状排列, 木射线间有导管和管胞; 单个木纤维花后发育变化折线图如下图 73~92, 可见, 从单纤维水平看不出杂交种与其亲本间木纤维各指标的相互关系。

### 2.2.2.1 木纤维的长度

由图 73~76 可见, 各处理开花后木纤维长度平均值为  $0.82\sim 1.12\text{mm}$ , 平均值变异很小, K03A 结实处理的标准差最大, 为  $0.126\text{mm}$ , K03A/992 摘花处理花后的标准差次之, 为  $0.110\text{mm}$ , 其余的小于  $0.01\text{mm}$ , 且折线图略呈下倾, 似乎略有减小的趋势; 摘花和结实处理间三分之一株高处木纤维长度的变化没有明显差异; 4 种材料间稍有差异, 但没有明显的规律性。

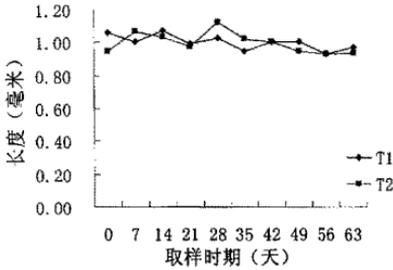


图73. T1和T2木纤维长度对比Fig73.  
compration of xylem fibre length  
between T1 and T2

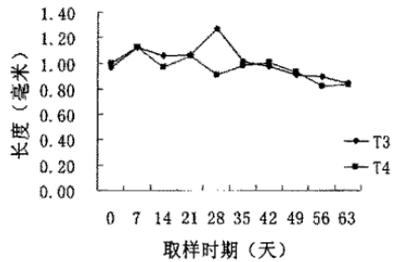


图74. T3和T4木纤维长度对比  
Fig74.comparison of xylem fibre length  
between T3 and T4

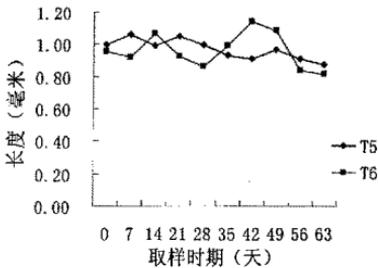


图75. T5和T6木纤维长度对比  
Fig75.comparison of xylem fibre length  
between T5 and T6

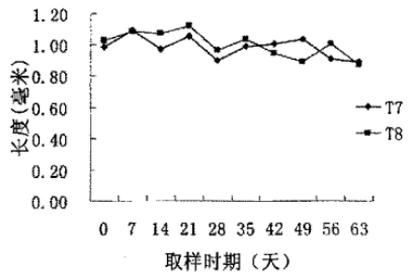


图76. T7和T8木纤维长度对比Fig76.  
comparison of xylem fibre length  
between T7 and T8

### 2.2.2.2 木纤维宽度、腔径、壁厚及壁腔比

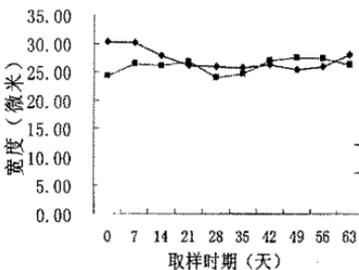


图77. T1和T2木纤维宽度对比  
Fig77.comparison of xylem fibre width  
between T1 and T2

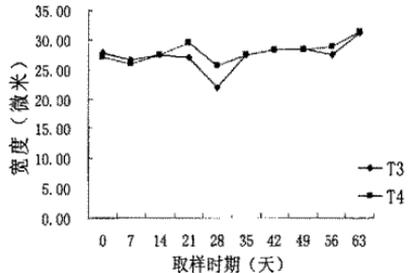


图78. T3和T4木纤维宽度对比Fig78.  
comparison of xylem fibre width  
between T3 and T4

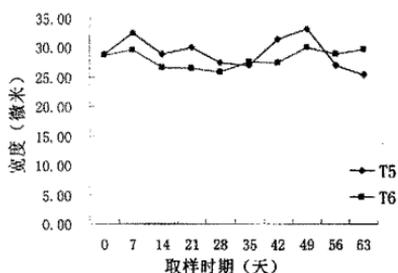


图79. T5和T6木纤维宽度对比 Fig79. comparison of xylem fibre width between T5 and T6

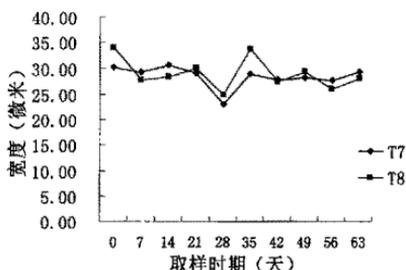


图80. T7和T8木纤维宽度对比 Fig80. comparison of xylem fibre width between T7 and T8

图 77~80 表明, 花后各处理木纤维的宽度变化折线比较水平, 说明花后木纤维宽度平均值变化比较小, 各处理不同时期的宽度平均值范围为 21.9~33.9 $\mu\text{m}$ , 标准差为 1.28~2.971 $\mu\text{m}$ ; 同一材料摘花与结实处理间三分之一株高处的木纤维宽度没有明显差异。

由图 81~84 可见, 各处理木纤维细胞的腔径折线也比较水平, 4 材料不同时期木纤维腔径平均值为 5.53~23.11 $\mu\text{m}$ , 标准差为 0.783~1.811 $\mu\text{m}$ , 变异较大; 同一材料摘花和结实处理间三分之一株高处木纤维腔径的变化没有显著差异。

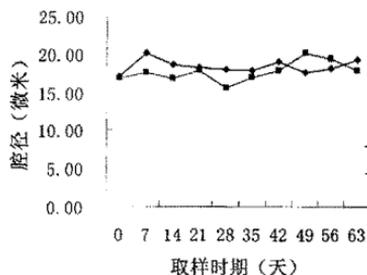


图81. T1和T2木纤维腔径对比 Fig81. comparison of xylem lacuna diameter between T1 and T2

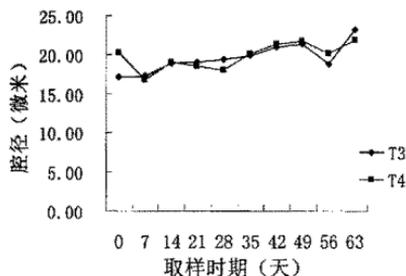


图82. T3和T4木纤维腔径对比 Fig82. comparison of xylem lacuna diameter between T3 and T4

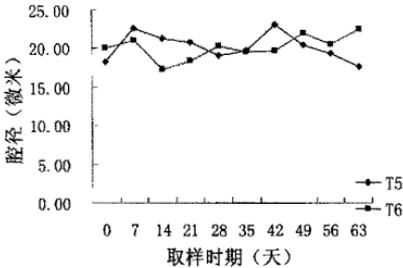


图83. T5和T6木纤维腔径对比  
Fig83.comparison of xylem lacuna diameter between T5 and T6

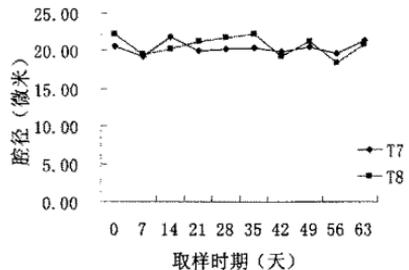


图84. T7和T8木纤维腔径对比  
Fig84.comparison of xylem lacuna diameter between T7 and T8

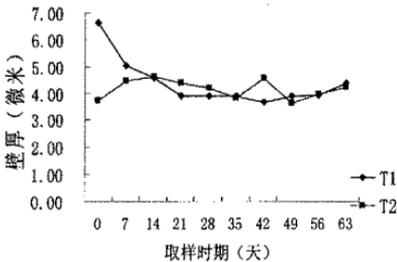


图85. T1和T2木纤维壁厚对比  
Fig85.comparison of xylem fibre cell wall thickness between T1 and T2

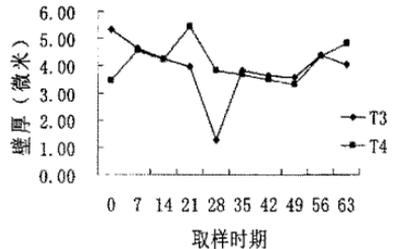


图86. T3和T4木纤维壁厚对比  
Fig86.comparison of xylem fibre cell wall thickness between T3 and T4

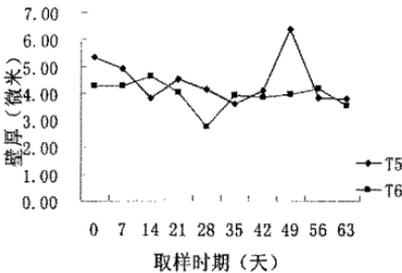


图87. T5和T5木纤维壁厚对比  
Fig87.comparison of xylem fibre cell wall thickness between T5 and T6

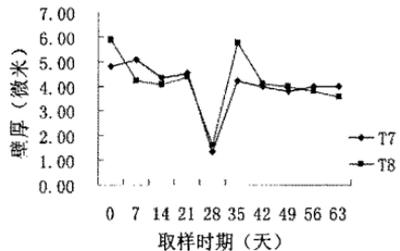


图88. T7和T8木纤维壁厚对比  
Fig88.comparison of xylem fibre cell thickness between T7 and T8

从图 85~88 可见, 所有处理木纤维的壁厚变化折线整体上接近水平; 各处理不同时期木质纤维壁厚的平均值波动较大, 为  $1.25 \sim 6.61 \mu\text{m}$ , 标准差为  $0.509 \sim 1.183 \mu\text{m}$ ; 同一材料摘花和结实两处理三分之一株高处木纤维壁厚平均值的变化没有明显的差异。

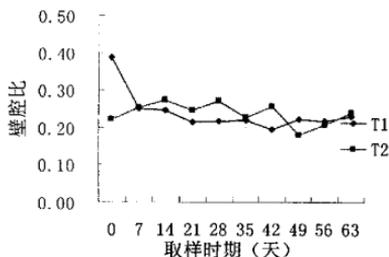


图89. T1和T2的木纤维壁腔比对比  
Fig89.comparison of xylem fibre ratio of wall thickness to lacuna diameter between T1 and T2

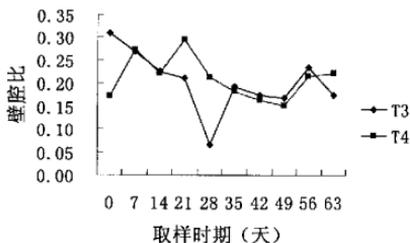


图90. T3和T4木纤维壁腔比对比  
Fig90.comparison of xylem fibre ratio of wall thickness to lacuna diameter between T3 and T4

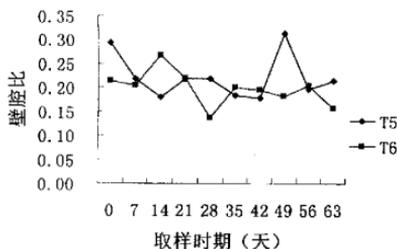


图91. T5和T6木纤维壁腔比对比  
Fig91.comparison of xylem fibre ratio of wall thickness to lacuna diameter between T5 and T6

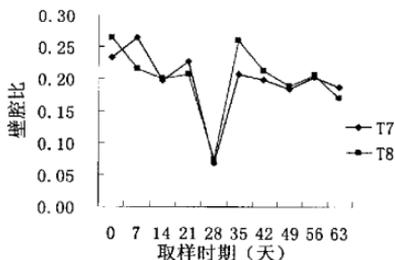


图92. T7和T8木纤维壁腔比对比  
Fig92.comparison of xylem fibre ratio of wall thickness to lacuna diameter between T7 and T8

图 89~92 显示, 各处理木纤维花后壁腔比整体上略有减小的趋势; 各处理不同时期木纤维壁腔比的平均值波动较大, 为 0.06~0.39, 标准差为 0.029~0.054; 同一材料摘花和结实两处理间三分之一株高处木纤维壁腔比的变化没有显著差异。

## 3 结论与讨论

### 3.1 目标性状的发育规律

#### 3.1.1 产量性状的变化规律

脱叶全秆鲜重、鲜皮重、干皮重和干骨重为重要的产量指标，株高、茎粗和皮厚为产量要素指标。本研究表明，红麻开花后产量及其构成要素指标整体上均在不断增长，且一般表现为前期增长较慢，随后渐快的特点，说明开花后红麻的增产作用仍然很重要。花后同一材料摘花处理的产量及其要素指标比开花结实处理的增长较快，说明摘花处理对红麻的产量及其要素指标在花后具有明显的增进作用，因此，应用红麻雄性不育材料延至花后收获对提高红麻的产量具有极大的潜力。

上述产量及其要素指标增长快慢是在花期相对而言的，花后初期的增长是营养生长期增长的延续，由于刚进入生殖生长时，营养体已经比较旺盛，同化作用比较强，生殖器官对营养分配造成的影响还没有明显表现出来，因此，花后初期红麻产量及其要素的增长速度可视为花前的延续。随后进入盛花期和花果期，光合同化作用极为旺盛，营养体和生殖器官均迅速生长，对于结实处理而言，此时花果消耗大量营养，较大比例的同化产物分流至生殖器官，营养体生长速度受到影响；对摘花处理而言，由于花器官被摘除，果实不能形成，生殖器官没有造成同化产物过多的消耗，使得分流至营养体的养分充足。因此，花后同一材料摘花处理的产量及其要素指标比结实处理的增幅较大。

同一材料摘花处理对株高、脱叶全秆鲜重和干骨重三个指标的影响较明显，且三者的变化密切相关，均在花后约 22d 左右开始表现比结实处理的增长更快。结果与分析得知，最后一次收获时同一材料摘花处理这三个指标比结实处理三个指标分别具有较大的增长百分数，说明花后 64d 的摘花处理有很明显的累积效应，换言之，对以营养体为经济目标的红麻来说，开花结实是很大的浪费。

同一材料摘花处理的皮重增长比结实处理的较快，大约始于花后的 29d 左右；同一材料摘花处理的茎粗增长比结实处理的增长较快大约在花后 36~50d 左右；同一材料摘花处理三分之一株高处皮厚平均值的的增长并不都比结实处理的快，由于同种材料摘花处理的株高增长比结实处理的快，因此，在后期测量皮厚时，摘花处理取样株高平均值比结实处理的高，又由于皮厚的空间分布特点是由茎基部向上递减（见前言），所以，对于固定部位而言，摘花处理具有增加皮厚的效应。比较摘花处理对不同指标的效应，发现差异显著：受摘花影响较为明显的株高、干骨重、皮重等是同一材料摘花处理比结实处理增产的主要因子，也是红麻雄性不育材料比正常开花结实材料在开花后具有明显产量优势的主要原因。

K03A/992、K03A 和 992 的株高、茎粗及皮厚的发育折线比较表明，杂交组合这几个指标的发育没有表现明显的优势，而脱叶全秆鲜重、鲜皮重、干皮重和干骨重在最后一次取样时的中亲优势率又都很低，说明 K03A/992 杂交种没有明显的杂

种优势，选育强优杂交组合需要选用合适的亲本。

比较 K03A 摘花处理的株高、茎粗等指标变化折线与 K03B 摘花处理对应指标变化折线发现，各指标几乎两两重合，说明利用 K03B 作摘花处理来研究产量及其要素的发育和利用 K03A 作材料进行研究具有几乎相同的效果，因此，利用模拟红麻开花习性作摘花处理研究红麻雄性不育材料纤维的发育具有代表性。

### 3.1.2 皮骨比的变化规律

汤永海等认为红麻皮骨比值高的材料，其纤维产量也高，在全杆造纸纸浆中的韧皮纤维比例愈大，其品质也愈好，研究红麻的皮骨比值对品种改良和造纸均具有重要意义<sup>[24]</sup>。

本研究表明，开花后红麻皮骨比变化比较复杂。借助 excel 图表的趋势线处理，将皮骨比对取样次数作线性趋势分析，发现 992 结实处理 (T7) 花后皮骨比变化的线性趋势线的斜率值为 -0.0061，略呈下降趋势；其余的 T1~T6 和 T8 (参见试验材料说明) 花后皮骨比对取样次数线性变化趋势线的斜率  $k$  依次分别为 0.0139、0.0101、0.024、0.016、0.02043、0.0025 和 0.0136，均大于零，略有上升的趋势。事实上，用线性趋势线描述花后红麻皮骨比变化太简单，只能大体上说明皮骨比变化趋势，由于所有斜率绝对值均很小，花后皮骨比的变化折线整体上还是比较水平。花后各处理的皮骨比平均值的变化波动性较大，说明皮骨比受多因素的影响。尽管同种材料两处理的变化折线交错重叠，难以区分处理间效应差异，但是，考虑到同种材料摘花株高比结实处理的增长较快，麻株梢部较细，皮骨比较大，因此，对于株高水平接近的麻株，同一材料摘花处理的皮骨比比结实处理的要大，也就是说，摘花处理具有提高皮骨比效应的趋势。

对于正常开花结实红麻的花后收获，刘伟杰认为，“延迟收获导致皮骨比下降”<sup>[20]</sup>。综合上述摘花处理具有提高皮骨比的效应趋势，说明采用红麻雄性不育杂交种具有提高红麻品质的作用。

## 3.2 纤维细胞的发育规律

### 3.2.1 韧皮纤维的发育规律

初皮单纤维发育研究表明，三分之一株高部位的韧皮纤维细胞长度平均值不受摘花与结实处理的影响，本研究结果与胡镇修的结论“红麻延迟收获，纤维细胞长度无明显的变化，而细胞平均宽度明显缩小”一致<sup>[62]</sup>；同一材料两处理三分之一株高部位韧皮纤维宽度、腔径的平均值均有减小的趋势，但壁厚基本上不发生变化，壁腔比有较小的下降趋势，说明花后三分之一株高部位韧皮纤维的长度和壁厚的平均值也比较稳定。由于全株以下部纤维细胞分化早，易木质化，中部比下部纤维细胞长，壁薄、内容物多、较强韧，上部分化迟，细胞长、腔大、不充实易脆断<sup>[12]</sup>。因此，对于固定部位而言，摘花处理具有增加壁厚的效应，从而也具有增加纤维强

力, 改良纤维品质的潜力。

韧皮纤维群体发育研究表明, 花后红麻三分之一株高部位韧皮纤维带的厚度、纤维层数、纤维群数和纤维束数 4 个指标的平均值均在增长, 说明开花后红麻韧皮纤维群体发育对红麻韧皮部产量和品质的形成具有重要作用。因此, 韧皮纤维群体形态结构的发育是红麻纤维产量与品质形成的微观基础。孙焕良等研究主要农艺性状与茎中部韧皮纤维发育相关性认为, 纤维群数的增长主要有赖于茎粗增长的直接效应, 纤维束数、束纤维细胞数和纤维细胞总数主要受单株干皮重和茎粗的制约<sup>[57]</sup>。同样说明了红麻韧皮部的主要性状形成的纤维群体微观基础。

同一材料摘花处理纤维带厚度、纤维层数、纤维群数和纤维束数的增长速度比结实处理的均快, 最后一次取样时摘花处理的这 4 个指标比结实处理的增长百分数也都要高。说明相比于正常开花结实处理, 摘花作用引起韧皮纤维产量出现差异的微观基础与韧皮纤维群体的纤维带厚度、纤维层数、纤维群数和纤维束数的增长差异有关。并且, 同一材料摘花处理这 4 个指标的变化与结实处理的都是约在花后 29d 的时候表现出差异, 说明这 4 个指标密切相关。而同一材料摘花处理的束纤维细胞数变化与结实处理的没有明显差异, 说明三分之一株高处束纤维细胞数的平均值比较稳定, 不受摘花与否的显著影响。

### 3.2.2 木纤维的发育规律

木质单纤维发育研究表明, 各处理木纤维细胞的长度、宽度、腔径以及壁厚壁腔比五个指标的变化折线整体趋势上都比较平坦, 说明不同处理三分之一株高处木质单纤维各指标平均值比较稳定。同一材料摘花处理的这五个指标变化与结实处理的没有明显差异, 说明三分之一株高处木纤维细胞这几个指标在开花后的变化, 不受摘花与否的显著影响。由于摘花处理对株高具有增进效应, 后期摘花处理的取样的部位比结实处理的略高一些; 据木纤维发育规律可知, 从基部向顶端木纤维壁厚平均值递减, 腔径增大。所以, 对于固定部位而言, 摘花处理具有增加壁厚, 减小腔径的趋势。同一个处理不同时期各指标的平均值变化比较大, 呈现没有规律的多样性变化, 说明木质纤维细胞具有复杂的变异, 可以选育到适于造纸工业需求的具有优质木质纤维的红麻材料。

## 第三章 红麻雄性不育杂交种产量与品质的形成

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

所用材料为三个早熟材料与 K03A 配的杂交组合,即:K03A/F37、K03A/PA299、和 K03A/F302。

#### 1.2 试验方法

##### 1.2.1 试验设计及处理

试验采用裂区设计,三次重复,以材料为主处理,共 3 个材料,对每一个材料的摘花处理以及自然开花结实处理作为副处理,共 18 个小区,每小区面积为  $2\text{m} \times 5\text{m}$ ,另外,留沟以及保护行区,沟宽 0.4m,保护行区宽 2m。试验于 2004 年 5 月 31 日在荆州湖北农学院中等肥力实验田中进行,宽窄行种植,按 7000 株/亩的标准进行小区定苗,常规管理。

9 月 18 日开花后,每天对所有副处理中的摘花处理于花开后的次日摘去每株上所有的花,直到收获。

##### 1.2.2 取样及相关指标的测量

分别于 10 月 10 日和 10 月 22 日前后两批收获,每次收获各小区的一半。在收获时,随机取样测量株高、茎粗及皮厚各二十株,同时,测量每个半小区的脱叶全秆鲜重、干骨重、精麻重。

韧皮纤维强力及支数送由中国农业科学院麻类所品质检测中心测量。检验依据 GB/T12411.2-90; 实验条件: 温度  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , 湿度  $65 \pm 3\%$ 。

##### 1.2.3 数据处理

用 EXCEL 文件求出全秆鲜麻的精麻出麻率,借助 SAS 软件对上述裂区试验各测量指标进行方差分析及差异显著性比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 株高、茎粗和皮厚

从表 1 株高方差分析可知, 第一次收获时, 摘花与结实两不同处理间 F 测验结果为  $Pr > F$  为 0.0072, 达到极显著水平; 第二次收获时处理间 F 测验结果为  $Pr > F$  为 0.0403, 达到显著水平。表 7 多重比较进一步显示, 第一次收获时摘花处理与结实处理株高平均值分别为: 356.74cm、334.63cm; 第二次收获时摘花处理与结实处理株高平均值分别为: 368.33cm、343.91cm, 均达 0.01 显著水平的差异。第二次收获比第一次收获两处理的平均株高均在增长, 摘花处理和结实处理的增幅分别为 3.2% 和 2.8%。

表 1: 株高方差分析 (厘米)

Tab1. Variance analysis of plant height (cm)

Source	DF	first				second			
		Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	2	42754.46717	21377.23358	11.60	0.0216	28165.79306	14082.89653	2.49	0.2868
V(A)	2	20889.66050	10444.83025	5.67	0.0680	20709.33472	10354.66736	1.83	0.3536
E(a)	4	7371.28933	1842.82233			13093.51111	3273.37778		
T(B)	1	44029.86025	44029.86025	15.94	0.0072	53704.46944	53704.46944	6.79	0.0403
A×B	2	3071.62550	1535.81275	0.56	0.6004	11328.05139	5664.02569	0.72	0.5261
E(b)	6	16569.14650	2761.52442			47451.97917	7908.66319		

注: “V”表示材料, “E”表示误差, “T”表示副处理(下同)

NOTE: “V” represent variety, “E” represent error, “T” represent treatment ( following the same)

表 2 结果显示, 第一、二次收获时摘花与结实处理间茎粗 F 测验的  $Pr > F$  值分别为 0.0028 和 0.0085, 均达到极显著差异。表 7 多重比较结果为, 第一次收获时摘花处理和结实处理茎粗平均值分别为 19.49cm 和 18.28cm, 第二次收获时的分别为 20.48cm 和 19.06cm, 均达到 0.01 显著水平的差异。第二次收获比第一次收获时摘花处理比结实处理茎粗平均值增幅分别为 5.1% 和 4.2%。

表 2. 茎粗方差分析 (毫米)

Tab2: Variance analysis of stem diameter (mm)

Source	DF	first				second			
		Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	2	19.0993706	9.5496853	0.60	0.5926	3.48704222	1.74352111	0.18	0.8455
V(A)	2	135.4374739	67.7187369	4.24	0.1027	57.30530722	28.65265361	2.88	0.1682
E(a)	4	63.8601194	15.9650299			39.8345378	9.9586344		
T(B)	1	131.4545878	131.4545878	23.74	0.0028	182.8845225	182.8845225	14.77	0.0085
A×B	2	40.6740406	20.3370203	3.67	0.0909	108.7021717	54.3510858	4.39	0.0669
E(b)	6	33.2216067	5.5369344			74.3027133	12.3837856		

表 3 为皮厚方差分析的结果, 可见, 第一次收获时摘花和结实两种处理间的 F 测验  $Pr>F$  值为 0.1325, 差异不显著; 第二次收获时副处理的 F 测验  $Pr>F$  值为 0.0101, 达到 0.05 水平的差异。表 7 多重比较显示, 第一次收获时摘花处理和结实处理茎粗平均值分别为 1.42mm 和 1.31mm, 没有明显差异; 第二次收获时的分别为 1.423mm 和 1.246mm, 在 0.05 水平上差异显著。第二次收获比第一次收获时摘花处理比结实处理皮厚平均值增幅分别为 0.2%和-4.9%, 结实处理皮厚增幅出现负值可能是由于株高在增长, 后一次取样时三分之一株高处的皮厚比前一次的增长略慢而产生的。说明花后摘花处理对皮厚有明显的影响, 但需要经过一定的时期才能表现出效应。

表 3: 鲜皮厚方差分析 (毫米)  
Tab3. Variance analysis of fresh bark thickness (mm)

Source	DF	first				second			
		Anova SS	Mean Square	F	Pr > F	Anova SS	Mean Square	F	Pr > F
Block	2	2.02600667	1.01300333	1.53	0.3214	3.64975389	1.82487694	12.46	0.0191
V(A)	2	2.55180167	1.27590083	1.92	0.2597	1.80715722	0.90357861	6.17	0.0599
E(a)	4	2.65206167	0.66301542			0.58564944	0.14641236		
T(B)	1	1.08790028	1.08790028	3.03	0.1325	2.83201361	2.83201361	13.68	0.0101
A×B	2	0.25957389	0.12978694	0.36	0.7110	0.39266056	0.19633028	0.95	0.4386
E(b)	6	2.15536833	0.35922806			1.24189333	0.20698222		

综合比较方差分析表 1~3 可知, 两次收获时作为主处理的材料间株高、茎粗和皮厚均没有差异显著性, 三个材料是由三个不同的早熟亲本材料分别与同一个不育材料 K03A 所配的杂交组合, 说明三亲本与不育亲本 K03A 的株高、茎粗和皮厚性状的特殊配合力很相近。

## 2.2 脱叶全杆鲜重、干骨重及精麻重

表 4~6 分别为脱叶全杆鲜重、干骨重及精麻重方差分析结果, 可见, 前后两次收获中, 材料间 F 测验只有第二次收获时脱叶全杆鲜重的  $Pr>F$  值为 0.0374, 达到显著差异, 而材料间干骨重和粗麻重都没有达到显著差异。因此, 下面主要讨论处理间的差异。

由表 4 可见, 前后两次收获时脱叶全杆鲜重方差分析中, 处理间 F 测验结果  $Pr>F$  的值分别为 <0.0001 和 0.0003, 都达到 0.01 水平的差异; 从表 7 多重比较结果可见, 第一次收获时摘花处理与结实处理的小区脱叶全杆鲜重平均值分别为 27.84 斤和 19.34 斤, 第二次收获时的平均值分别为 28.59 斤和 21.67 斤, 也都达到极显著差异。摘花处理和结实处理第二次收获比第一次收获时脱叶全杆鲜重平均值分别增长了 2.7%和 12%。

表 4: 脱叶全秆鲜重方差分析(公斤)

Tab4. Variance analysis of weight of the whole fresh stem (kg)

Source	DF	first				second			
		Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	2	41.44777778	20.72388889	4.58	0.0925	62.20444444	31.10222222	8.32	0.0375
V(A)	2	42.20777778	21.10388889	4.66	0.0901	62.35111111	31.17555556	8.34	0.0374
E(a)	4	18.1088889	4.5272222			14.94555556	3.7363889		
T(B)	1	325.1250000	325.1250000	105.81	<.0001	215.6272222	215.6272222	58.23	0.0003
A×B	2	3.8633333	1.9316667	0.63	0.5651	1.9511111	0.97555556	0.26	0.7768
E(b)	6	18.4366667	3.0727778			22.2166667	3.7027778		

表 5: 干骨重方差分析(公斤)

Tab5. Variance analysis of dry jackstraw weight (kg)

Source	DF	first				second			
		Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	2	2.74333333	1.37166667	2.04	0.2454	9.85444444	4.92722222	3.42	0.1363
V(A)	2	3.82333333	1.91166667	2.84	0.1708	9.07444444	4.53722222	3.15	0.1511
E(a)	4	2.69333333	0.67333333			5.76888889	1.44222222		
T(B)	1	30.16055556	30.16055556	94.42	<.0001	49.33555556	49.33555556	113.71	<.0001
A×B	2	0.18777778	0.09388889	0.29	0.7555	0.58111111	0.29055556	0.67	0.5464
E(b)	6	1.91666667	0.31944444			2.60333333	0.43388889		

表 5 结果说明, 前后两批收获的干骨重方差分析中, 摘花与结实两处理间 F 测验结果  $Pr > F$  值分别为  $<.0001$  和  $<.0001$ , 都达到 0.01 显著水平上的差异。表 4 多重比较显示, 第一次收获时摘花处理和结实处理小区干骨重平均值分别为 8.21 斤和 5.62 斤, 第二次收获时摘花处理和结实处理小区干骨重平均值分别为 13.14 斤和 9.83 斤, 都达到了极显著差异。

表 6: 精麻重方差分析(公斤)

Tab6. Variance analysis of the nice hemp weight (kg)

Source	DF	first				second			
		Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	2	0.21777778	0.10888889	3.29	0.1427	0.46333333	0.23166667	2.78	0.1751
V(A)	2	0.08777778	0.04388889	1.33	0.3612	0.20333333	0.10166667	1.22	0.3858
E(a)	4	0.13222222	0.03305556			0.33333333	0.08333333		
T(B)	1	3.12500000	3.12500000	106.13	<.0001	1.22722222	1.22722222	105.19	<.0001
A×B	2	0.02333333	0.01166667	0.40	0.6892	0.00777778	0.00388889	0.33	0.7290
E(b)	6	0.17666667	0.02944444			0.07000000	0.01166667		

由表 6 可知, 前后两次收获的精麻重方差分析中, 摘花与结实两处理间 F 测验

结果  $Pr > F$  值分别为  $< 0.0001$  和  $< 0.0001$ , 具有 0.01 水平的显著差异。表 4 多重比较显示, 第一次收获时, 摘花处理与结实处理小区精麻重的平均值分别为 2.56 斤和 1.72 斤, 第二次收获时, 摘花处理与结实处理小区精麻重的平均值分别为 2.54 斤和 2.02 斤, 都达到极显著的差异; 但第二次收获时摘花处理小区的精麻重比第一次的摘花处理小区的精重量稍小, 这可能是因为后期干旱, 难以剥净麻皮, 以致损失而引起的误差。

表 7: 新复极差法多重比较

Tab7. Duncan's multiple comparisons (Means with the same letter are not significantly different)

Item		First time				Second time		
		means	Duncan Group		means	Duncan Group		
			0.05	0.01		0.05	0.01	
Plant height(cm)	2	356.743	a	A	368.333	a	A	
	1	334.625	b	B	343.906	b	A	
Stem diameter(mm)	2	19.4898	a	A	20.4833	a	A	
	1	18.2813	b	B	19.0578	b	B	
Bark thickness(mm)	2	1.41956	a	A	1.42306	a	A	
	1	1.30961	a	A	1.24567	b	A	
Whole stem weight (kg)	2	27.8444	a	A	28.5889	a	A	
	1	19.3444	b	B	21.6667	b	B	
Dry jackstraw weight( half kg)	2	8.2111	a	A	13.1444	a	A	
	1	5.6222	b	B	9.8333	b	B	
Nice hemp weight ( half kg)	2	2.55556	a	A	2.54444	a	A	
	1	1.72222	b	B	2.02222	b	B	
Fibre strength (N)	1	349.33	a	A	342.67	a	A	
	2	322.22	a	A	307.67	b	A	
Fibre fineness (m/g)	1	261.000	a	A	275.667	a	A	
	2	256.333	a	A	274.778	a	A	

### 2.3 纤维强力和纤维支数

表 8 和表 9 分别为韧皮纤维强力和纤维支数方差分析结果, 可见, 前后两次收获时材料间韧皮纤维强力和纤维支数均没有显著差异, 说明这三个材料的韧皮纤维品质很接近。

由表 8 可知, 第一次收获时纤维强力方差分析中, 摘花与结实两处理间 F 测验结果  $Pr > F$  值为 0.2869, 说明处理间没有显著差异; 第二次收获时纤维强力方的方差分析中, 摘花与结实两处理间 F 测验结果  $Pr > F$  值为 0.0167 达到 0.05 显著水平的差异。结合表 4 多重比较结果, 第二次收获时, 摘花处理与结实处理纤维强力平均值分别为 342.67N 和 307.67N, 差异显著; 但是, 第一次收获时摘花处理和结实处理纤维强力平均值分别为 349.33N 和 322.22N, 相互比较发现, 第二次收获时两处理纤维强力平均值比第一次收获时的小, 这是因为取样部位是三分之一株高处, 第一次取样的部位比第二次的要低, 所以纤维强有力。

表 8: 纤维强力方差分析 (牛)

Tab8. Variance analysis of the fibre strength (N)

Source	DF	first				second			
		Anova SS	Mean Square	F	Pr>F	Anova SS	Mean Square	F	Pr>F
Block	2	7190.111111	3595.055556	1.13	0.4089	692.333333	346.166667	0.11	0.9005
V(A)	2	2192.444444	1096.222222	0.34	0.7281	1297.333333	648.666667	0.20	0.8252
E(a)	4	12752.555556	3188.13889			12868.33333	3217.08333		
T(B)	1	3307.555556	3307.555556	1.37	0.2869	5512.500000	5512.500000	10.79	0.0167
A×B	2	2081.777778	1040.888889	0.43	0.6692	3600.000000	1800.000000	3.52	0.0973
E(b)	6	14530.666667	2421.77778			3066.00000	511.00000		

表 9 显示, 两次收获时, 开花处理 F 测验结果 Pr>F 分别为 0.4577 和 0.8923, 表明两次收获时各次的摘花处理和结实处理之间纤维支数都没有显著差异。表 4 多重比较结果为, 第一次收获时摘花处理和结实处理纤维支数分别为 261.000 公支和 256.333 公支, 第二次收获时摘花处理和结实处理纤维支数平均值分别为 275.667 公支和 274.778 公支, 差异都很小, 但有一个趋势, 两次摘花处理的纤维支数均比结实处理的稍高, 并且, 对开花的同种处理第二次收获时纤维支数都比第一次的高。

表 9: 纤维支数方差分析 (公支)

Tab9. variance analysis of the fibre strength(m/g)

Source	DF	first				second			
		Anova SS	Mean Square	F	Pr>F	AnovaSS	MeanSquare	FValue	Pr>F
Group	2	100.3333333	50.1666667	0.08	0.9236	573.4444444	286.7222222	4.55	0.0931
V(A)	2	122.3333333	61.1666667	0.10	0.9080	120.7777778	60.3888889	0.96	0.4569
E(a)	4	2475.333333	618.833333			251.888889	62.972222		
T(B)	1	98.0000000	98.0000000	0.63	0.4577	3.55555556	3.55555556	0.02	0.8923
v*(A×B)	2	136.3333333	68.1666667	0.44	0.6644	56.7777778	28.3888889	0.16	0.8562
E(b)	6	933.666667	155.611111			1068.666667	178.111111		

## 3 结论与讨论

### 3.1 花后产量的形成

本研究表明,不论是摘花处理和还是结实处理,第二次收获时主要产量(脱叶全杆鲜重、干骨重和麻精重)及其构成要素指标(株高、茎粗和皮厚)平均值的形成都比第一次收获时的大(摘花处理皮厚第二次收获时稍小,与取样方法有关;精麻重略有下降,与干旱有关)。说明开花后红麻产量及其要素指标仍然都在以较快的速度增长,开花后红麻产量的形成十分重要。

前后两次收获中,摘花处理的产量及其要素指标的平均值都比结实处理的大,而且,基本上都达到了显著差异。摘花处理和结实处理第二次收获时脱叶全杆鲜重比第一次收获时分别增长2.7%和12%,可见,并不是延迟至越晚收获摘花处理比结实处理增幅越大。但是,至少说明摘花处理在产量形成中具有明显的增产作用,这与前面纤维发育研究表明增产趋势的结论相一致,由此可以推断,利用红麻雄性不育材料延迟至花后收获,延长其生长期,同样可以达到增产增收的目标。杂种优势是生物界的普遍现象,因此,利用不育材料优势和杂种优势生产红麻雄性不育杂交进行双重优势的利用是提高产量的一个重途径。

红麻同一材料摘花处理比结实处理具有明显增产效应主要是由于开花后营养成分比例不同造成的,前者的光合产物基本上分配至植株营养体中,而后者则除了分配至营养体外,还有相当的一部分用于开花结实。

### 3.2 花后品质的形成

精麻出麻率能够反映长纤维在红麻全杆中的比率,是优质红麻的一个重要指标。对于摘花处理,第一次收获时全杆鲜麻的精麻出麻率为9.2%,第二次的为8.9%;对于结实处理,第一次收获时全杆鲜麻的精麻出麻率为8.9%,第二次的为9.3%。说明不育材料延迟收获尽管全杆产量增加,但精麻出麻率相对略有减少,在全杆红麻利用方面摘花处理对品质的影响具有重要的作用;而正常开花结实材料延迟收获全杆产量增加,精麻出麻率相对也略有上升。

韧皮纤维品质研究表明,第一次收获时,处理间纤维强度和纤维支数均没有显著差异;第二次收获时,处理间纤维强度有显著差异,表明如果延迟收获,同一材料摘花处理的纤维强度比结实处理的显著优良;第二次收获时两处理纤维支数尽管均在增长,但是处理间韧皮纤维支数没有达到显著差异。综合看来,利用红麻雄性不育材料延迟收获可以增强韧皮纤维的强度,达到改良纤维品质的作用。

结合产量讨论可得出结论:应用早熟的不育材料通过延迟收获可以达到提高产量改良品质的双重效果,而且具有较长的适宜收获期。

总之,为探明红麻雄性不育的杂交种纤维发育的规律,通过摘花与结实两处理花后纤维发育的对比研究,发现采用红麻早熟雄性不育杂交种可弥补早花引起产量下降的不足,同时,还有改良红麻纤维的品质的趋势;同样通过模拟研究设摘花和结实两处理,在红麻主产区进行的裂区产量与品质形成实验进一步表明,采用早熟

红麻雄不育的杂交种延迟收获可以达到提高产量和改良品质的双重效果,而且,具有较长的适宜收获期。该研究破除了传统上视早花为劣质品种的观念,为红麻杂种优势的利用开辟了一个全新的方向,也为其它以营养体为经济目标的作物的杂优利用提供了借鉴。由于材料珍贵,本实验采用模拟研究,结论具有一定的客观性,还有待直接利用红麻早熟不育的杂交材料进一步实验确认开花期的遗传、早熟雄性不育的红麻杂交种不同地区开花期的要求和适宜的收获期的长短。

## 参考文献:

1. 马亚怀, 李彦丽, 柏章才, 杨明珠, 郑洪. 优质丰产抗病甜菜新品种 ZD204 的选育. 中国糖料, 2002, 4: 8-11
2. 马厚悦, 钟佩欢. 红麻全杆烧碱法制浆. 纸和造纸, 2003, 6: 59-61
3. 马富裕. 棉铃发育及纤维品质形成的生态效应与模拟研究. [博士学位论文]. 南京: 南京农业大学图书馆, 2004
4. 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
5. 王学德, 李悦有. 彩色棉纤维发育的特性研究. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2002, 28 (3): 237-242
6. 王晓平. 红麻全杆制浆工艺的探讨. 安庆师范学院报(自然科学版), 2003, 9 (3): 42-47
7. 中国农业科学院麻类研究所编. 黄红麻讲义.
8. 甘小洪, 丁雨龙. 毛竹茎秆纤维发育过程的超微结构观察. 植物学通报, 2004, 21 (2): 180-188
9. 石淑兰, 胡惠仁, 陈少鹏, 隆言泉. 红麻的纤维形态与化学组成特征. 天津工业学院学报, 1988, 2: 18-24
10. 龙超海, 张木祥. 我国红麻制浆造纸发展探讨. 中国造纸, 2000, 3: 61-64
11. 卢士森, 黄秀宝. 黄红麻土工布的开发前景. 中国纺织大学学报, 2000, 26 (5): 115-119
12. 卢浩然. 中国麻类作物栽培学. 中国农业科学院麻类作物研究所, 1991: 3-9, 255-261
13. 丘荣熙, 祁碧霞. 红麻受精作用和胚胎发育的研究. 中国麻作, 1991, 3: 1-3
14. 邓丽卿, 粟建光, 李爱青. 红麻种质资源的农艺性状研究与利用. 中国麻作, 1994, 16 (4): 1-4
15. 丛滋金, 宋同明. 谈杂种优势及其多重利用的设想. 种子, 1995, 2: 34-36
16. 邓耀华, 张雪清. 萝卜雄性不育系异质性初探. 长江蔬菜, 2001, 10: 32-33
17. 吉立柱, 陆作媚. 粳稻二元不育系开花习性的研究. 天津农业科学, 2002, 8 (1): 14-17
18. 刘伟杰. 日长和温度对红麻生长发育的影响. 中国麻作, 1986, 2: 1-5, 15
19. 刘伟杰, 谭石林, 许振良, 严重兵. 造纸用红麻品种的鉴定和筛选. 中国麻作, 1988, 2: 1-5
20. 刘伟杰. 红麻. 见: 中国作物协会、国家科委农村司、湖南农学会编: 中国作物栽培. 科学普及出版社, 1991: 329-345
21. 刘继华, 杨洪博, 曹鸿鸣. 棉花纤维的伸长发育 (3). 中国棉花, 1995, 22 (4): 38-39
22. 刘继华, 尹承俗, 孙清荣, 杨洪博, 于凤英, 贾景农, 边栋材. 棉花纤维发育过程中细胞壁超分子结构的变化及与纤维强度的关系. 作物学报, 1996, 22 (3): 325-330
23. 刘恒阳, 尚淑兰, 马跃飞, 何福望, 劳嘉葆. 红麻制浆造纸的研究与应用. 云南工业大学学报, 1996, 12 (2): 41-44
24. 汤永海. 红麻韧皮纤维产量简易预测的研究. 中国麻作, 1996, 18 (1): 20

25. 孙焕良, 邝秀明. 苧麻韧皮纤维发育规律研究 I、麻株韧皮纤维细胞发育过程的定位观察. 中国麻作, 1994, 16 (3): 13-16
26. 孙焕良, 赵立宁, 粟建光, 傅仓生, 徐东萍, 郝宏京. 红林及其同属近缘植物韧皮纤维与木质纤维形态结构研究. 中国造纸学报, 1995, 10 (1): 1-7
27. 邝仕均, 王菊华, 薛崇尚, 王锐, 林茹. 红麻纤维及其造纸基本特征(下). 中国造纸, 1997, 2: 5-8
28. 关凤芝, 徐丽珍, 王玉富, 刘燕. 主要生态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
29. 何木. 红麻在绿色材料领域中的应用. 造纸信息, 2002, 11: 23
30. 何开森. 新疆屯河纸业公司发展红麻造纸取得良好效益. 中国麻作, 2000, 22 (2): 44-45
31. 何开森. 开发红麻的新用途. 造纸信息, 2001, 7: 15
32. 何秋实, 魏德津. 红麻、与田菁的 Kajaani 自动纤维长度分析. 天津轻工业学院学报, 1999, 3: 50-53
33. 李敬机. 红麻制浆造纸现状及发展方向(上). 中国造纸, 1996a, 1: 52-57
34. 李敬机. 红麻制浆造纸现状及发展方向(下). 中国造纸, 1996b, 2: 64-68
35. 李祖士, 俞琦英. 密度施肥对造纸用红麻品质和产量的影响. 耕作与栽培, 1995, 5: 42-45
36. 李祖士. 皮骨兼优红麻新品种浙红 832 的选育. 中国麻作, 1994, 16 (4): 5-8, 15
37. 季保平, 郝治安. 质不育系在杂种优势利用中的应用. 种子, 2002, 5: 66-67
38. 张木祥, 陈壬生, 胡镇修, 李爱青, 陈蔚蓝, 张俊业, 平庆江, 汪鼎恒. 造纸用红麻高产优质高效模式化栽培技术. 中国麻作, 1996, 18 (4): 10-17
39. 杨龙, 吕咏梅, 王杨. 皖西地区红麻早花原因浅析. 六安师专学报, 2000, 16 (2): 39-40
40. 杨晓伶, 程舟. 地球环境保全及植物资源利用——日本第五届红麻等植物资源利用研究会概述. 中国麻业, 2002, 24 (6): 36-37
41. 余莲卿, 黎明秀, 易东玲, 陆军丽. 红麻全秆用于粘胶纤维浆粕的探讨. 纺织学报, 2000, 21 (2): 121-122
42. 沈金权, 黄先军, 胡大坤, 沈晓明, 田新赤, 陈江辉. 红麻单产徘徊的原因与对策. 农业科技通讯, 1999, 10-11
43. 祁建民, 李维明, 吴为人, 林荔辉, 林培青, 卢勤, 郑云雨. 红麻种质资源创新的理论与实践. 中国麻作, 1991, 21 (1): 43-44
44. 祁建民, 林荔辉, 林培青, 李维明. 建立育繁推一体化红麻种业工程实现红麻生产新跨越. 中国麻作, 2001, 23 (1): 26-28
45. 尚征贤, 张晓丽. 红麻纤维形态和化学组成的研究. 南京林业大学学报, 1989, 13: 2
46. 周瑞阳, 涂显平, 袁维琴. 卫星搭载红麻 SP1 代的生长发育观察. 湖北农学院学报, 1996a, 16 (1): 9-13
47. 周瑞阳, 何芷芬, 田小海. 红麻品种青皮 3 号叶龄模式栽培的基础研究 I 叶龄与纤维发育进程. 湖北农学院学报, 1996b, 16 (2): 81-86
48. 周瑞阳, 何芷芬, 田小海. 红麻品种青皮 3 号叶龄模式栽培的基础研究 II 叶龄

- 与生长阶段及产量、品质的形成. 湖北农学院学报, 1996c, 16 (3): 167-174
49. 周瑞阳, 刘少伟, 冯长明, 刘仁. 卫星搭载红麻种子 SP: 代的变异研究空间科学学报, 1996d, 16 (增刊): 142-147
  50. 周瑞阳. 红麻雄性不育株的发现. 中国农业科学, 2002, 2: 212
  51. 周春元, 徐浩然, 刘加勤. 硫酸盐红麻浆配抄普通新闻纸的研究. 黑龙江造纸, 2002, 3: 19-20, 24
  52. 陈安国, 李德芳. 红麻杂种优势的现状与展望. 中国麻作, 2000a, 22 (1): 44-45
  53. 陈安国, 李德芳. 红麻超高产型杂交组合的研究. 中国麻作, 2000b, 22 (3): 1-5
  54. 陈安国, 李德芳. 红麻需求分析与育种技术发展趋势. 中国麻业, 2001, 23 (4): 26-31
  55. 陈祥云. 红麻用于造纸及其选种栽培技术的研究. 中国造纸, 1988, 1: 59-61
  56. 陈祥云, 陈壬生, 张运雄, 肖爱平. 红麻麻株韧皮部与木质部比值的研究. 中国麻作, 1989, 2: 6-11
  57. 陈叔酉. 泰国红麻全杆制浆造纸简介. 中国麻作, 1999, 2: 24-25
  58. 陈幼玉, 林荔辉, 吴建梅, 祁建民, 周瑞阳. 红麻亲本与杂交组合产量、品质性状的遗传效应分析. 中国麻业, 2004, 26 (6): 261-266
  59. 姚光裕. 红麻的最佳采割期为 150 日. 中华纸业, 2000, 4: 56
  60. 姚光裕. 红麻纤维形态、化学组分和制浆性能. 西南造纸, 2002 7 2: 16-17
  61. 郑来久, 季婷, 李英华. 红麻湿法非口造布的开发研究. 产业用纺织品, 2003, 21 (156): 12-14
  62. 胡镇修. 造纸用红麻纤维形态特征与纤维品质的变异. 中国造纸, 1999, 6: 32-34
  63. 贾霄云, 武跃通, 张颖力, 燕玲, 韩浩, 王瑞平. 亚麻韧皮纤维形态结构及发育规律研究. 华北农学报, 1999, 14 (增刊): 64-69
  64. 高根来, 王向东. 高油玉米三种遗传效应综合利用模式研究. 山西师范大学学报(自然科学版), 2002, 16 (4): 68-70
  65. 高东范. 试论优质造纸原料红麻. 河南科学, 16, 1: 119-122
  66. 唐守伟, 熊和平. 我国麻类生产现状和发展对策. 中国麻作, 1999, 21 (3): 45-49
  67. 徐瑜, 施永辉, 冯建勋, 朱玉贤. cDNA 芯片检测棉花纤维发育相关基因的表达. 分子植物育种, 2004, 2 (3): 348-353
  68. 徐其斌. 红麻几个数量性状的相关和通径分析. 中国麻作, 2000, 3: 6-9
  69. 梁洪卉, 程舟, 杨晓伶. 马来西亚的红麻研究及开发进展. 中国麻业, 2003, 25 (6): 286-291
  70. 黄润斌, 曹朴芳, 江曼霞, 郭海泉, 张京原, 林树森. 泰国红麻及非木材造纸技术. 国际造纸, 1995, 14 (2): 30-36
  71. 龚友才, 郭安平, 刘伟杰. 红麻杂种一代及亲本的遗传组成与配合力分析. 中国麻作, 1998, 3: 1-6
  72. 程舟, 蛟岛一彦, 陈家宽. 日本的红麻研究、加工和利用. 中国麻业, 2001, 23 (3): 16-24
  73. 程舟, 蛟岛一彦, 陈家宽. 红麻种质资源遗传变异和亲缘关系的 RAPD 分析. 中国麻业, 2002, 24 (1): 1-12

74. 粟建光, 邓丽卿, 李爱青, 胡建辉, 曾建国. 非洲红麻某些生物学特性的研究. 华中农业大学学报, 1995, 14 (2): 120-124
75. 粟建光, 邓丽卿. 红麻优异种质在不同生态地区的利用潜力研究. 中国麻作, 1997, 19 (3): 9-12
76. 粟建光, 戴志刚, 龚友才, 黎宇. 我国红麻种质资源的遗传多样性与评价利用. 中国麻业, 2004, 26 (1): 5-9, 14
77. 葛继忠, 凌俐, 陈若礼. 红麻早蕾早花的原因及技术对策. 农业科技通讯, 1999,
78. 董合忠, 李维江, 唐薇, 李振怀. 2 个彩色棉材料厂的农艺性状和纤维发育特点研究. 山东农业科学, 2002, 4: 6-9
79. 褚贵新, 孙杰, 刁明, 苏子友, 刘涛, 沈其荣. 北疆特早熟棉区棉花品种更替过程中棉铃发育特性的研究. 棉花学报, 2002. 14 (1): 17-21
80. 汤永海, 陈安国. 红麻茎皮骨比值的测定和分析. 中国麻作, 1994, 16 (2): 3-7, 10
81. 赖占钧. 纸纤两用红麻新品种 86-4. 作物品种资源, 1998, 1: 50
82. 谭石林, 刘伟杰. 高产优质造纸红麻品种的筛选与影响因素研究. 作物研究, 1994, 8 (1): 33-36
83. 谭石林, 李德芳, 龚友才, 刘伟杰, 李爱青, 葛道康, 陈泰益, 刘斌, 梅祯, 陈舟, 阮关海, 俞琦英, 邝仕均, 陈启钊, 黄菊华, 薛崇昀, 王锐, 林茹. 造纸用红麻品种的筛选. 中国麻作, 1998, 20 (4) 25-28
84. 谭石林, 李德芳, 龚友才, 刘伟杰, 邝仕均, 陈启钊, 黄菊华, 薛崇的, 林茹, 王锐, 梅祯, 陈舟, 阮关海, 俞琦. 造纸用红麻品种的筛选 II. 红麻品种纤维形态结构与化学成分的比较研究. 中国麻作, 1999, 21 (1): 13-16
85. 谭石林. 我国红麻制浆造纸原料生产现状及其对策. 中国麻业, 2002, 24 (3): 34-37
86. CHENG Zhou, LI Zhengguo, K. Sa meshi ma, Y. Ohtani, MEI Zhen . On fiber length and its distribution in kenaf. 浙江农业学报 Acta Agriculturae Zhefangensis, 1995, 7 (4): 293-296
87. Midwick V. Byrd, Jr. 博士, 粟建光、戴志刚译, 龚友才校. 红麻替代木材造纸原料的机遇. 中国麻业, 2003, 25 (6): 307-312
88. Thomas A. Rymza, President and Found, KP Products Inc. d. a. Vision Paper, Albuquerque, New Mexico. 戴志刚译, 粟建光校. 美国红麻制浆造纸的开工与利用. 中国麻业, 2002, 24 (6): 45-47
89. Wood, I. M (粟建光译). 通过育种途径提高红麻产量及纸浆品质的可能性. 中国麻作, 1993, 2: 47-48
90. American Kenaf Society (AKS). Proceedings of the third annual American kenaf society conference. Crops Christi, TX, USA, 2000, 23-25
91. Atchison J E. Twenty-five years of global progress in nonwood plant fiber repulping. Tappi J, 1996, 79(10):87-95
92. Clark T F, et al. A search for new fiber crops. V. Pulping studies on kenaf. Tappi J, 1962, 45(10):780-786
93. Clark T F, et al. A search for new fiber crops. VI. Kenaf and wood blend. Tappi J, 1962, 45(10):786-789
94. Clark T F, et al. A search for new fiber crops. VIII. Sulfate pulping of kenaf (*Hibiscus cannabinus*) Tappi J, 1965, 48(6):381-384.

95. Clark T F, et al. A search for new fiber crops. XIV. Bond paper containing continuously kenaf pulped kenaf. *Tappi J*, 1971, 54(1):63-65
96. C. Wayne Smith, et al. Association of Fiber Quality Parameters and Within-Boll Yield Components in Upland Cotton, *Crop Sci.*1997(37):1775-1779.
97. Japan Kenaf Association (JKA). Proceeding of the 2000 international kenaf symposium. Hiroshima, Japan, 2000, 13-14
98. Kitren G. Weis et al. Cytochemistry of developing cotton fibers: A hypothesized relationship between motes and non-dyeing fibers. *Field Crop Research*,1999(62): 107-117
99. Nieschlag H J, et al. A search for new fiber crops. *Tappi J*, 1960, 43(3):93-201
100. Nieschlag H J, et al. A search for new fiber crops. IV. Kenaf composition. *Tappi J*, 1960, 44(7):515-516
101. Special Issue: Materials of Non-Wood Paper. *Farming Japan*, 2001,3:16-24
102. Sellers T, et al. Kenaf properties. processing and products. Mississippi State University, MS, 1999
103. Zhou Ruiyang. Mutation Effects of Space Flight on Kenaf Seeds. In: American Kenaf Society Proceedings. Fourth Annual Conference. Nov.15-17, 2001. Atlanta, Georgia

## 附版图

### 第一部分 纤维群体发育版图



版图 I



版图 II



版图 III

## 附版图

### 第一部分 纤维群体发育版图



版图 I



版图 II



版图 III



版图IV



版图V



版图VI



版图VII



版图VII



版图IX



版图 X

## 第二部分 纤维群体发育的处理间对比



版图 I



版图 II



版图 X

## 第二部分 纤维群体发育的处理间对比

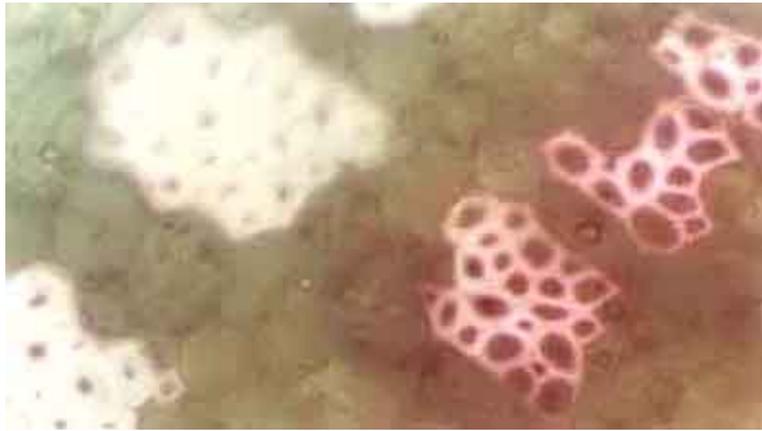


版图 I



版图 II

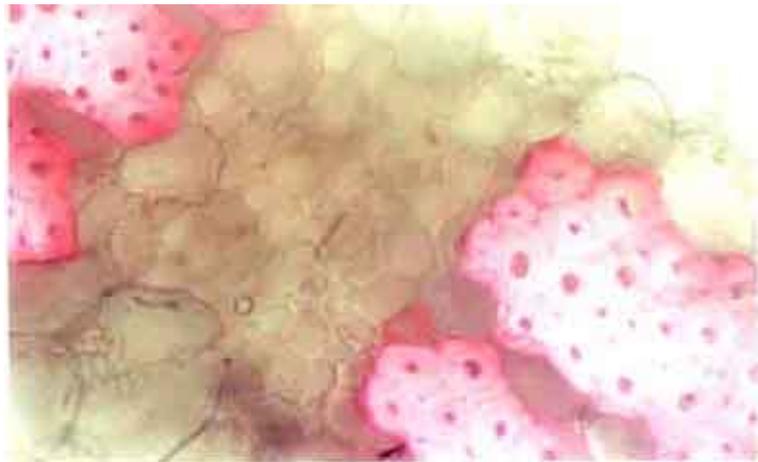
### 第三部分 纤维发育的高倍观察



版图 I



版图 II



版图 III

## 版图说明

在第一部分纤维群体发育版图中，版图 I—X 为 K03A/992 的摘花处理分别依次在开花后的 0d、8d、15d、22d、29d、36d、42d、49d、56d 和 63d 时三分之一株高处切片图，以示韧皮纤维群体发育进展；放大倍数为 400 倍。

第二部分版图 I 和版图 II 分别为 K03A/992 的摘花处理和结实处理在花后 56d 时三分之一株高处切片对比，以示同一材料摘花处理与结实处理间韧皮纤维群体发育差异；放大倍数为 400 倍。

第三部分版图 I、II 和 III 分别为 K03A/992 摘花处理在花后 0d、36d 和 63d 时三分之一株高处的切片在 640 倍显微镜下的图片，以示韧皮单纤维花后的发育。

## 致谢

本实验是尊敬的导师周瑞阳教授的悉心指导下完成的，从论文的设计到实施，从数据的分析处理到论文的写作修改，都得到了导师无微不至的关怀与指导，三年中，导师给了我学习和生活多方面关心与帮助，在论文即将完成之际，谨致最诚挚的谢意！

在课题进行中，长江大学农学院戴绍钧教授、马来运教授、王谧副教授、张再君教授和邢丹英教授给予了指导和建议，长江大学生命科学院贺飞英实验师、动物科学院肖立新老师以及广西大学农学院提供了实验条件；在数据分析中，得到了华中农业大学余家林教授的指导；在田间管理中，工人施祖耀师傅做了付出了辛勤的劳动；在大量实验数据的测量中，得到了师兄刘恒蔚老师和赵合明老师、师姐牛英的帮助，得到了同学李伟国、许锋、周肖荣和徐函兵的帮助，以及实习生尧饶、闵亚丽、李丹、郑军、梅林祥、王晓东和唐乐等的帮助，在此，一并致以由衷的感谢！

最后，要感谢我的父母、妻子以及全家，是他们的理解、鼓励和支持，分担了我的后顾之忧，让我能够顺利地完成学业！谨以此凝结心血与汗水的劳动结晶献给我可爱的儿子！