

花生荚果发育过程中形态 及有机成分的变化

李安妮 叶柏荣 刘敏敏 陈治禧 陈朝庆 李明启

(广东省农业科学院经济作物研究所)

(农业生物系)

提 要

本文详细研究了花生粤油551—116品种的荚果发育过程中荚壳和种仁的形态、大小、鲜重、干重,以及可溶性糖、淀粉、脂肪、蛋白质等有机成分含量的变化情况。结果表明,在花生荚果发育的初期(开花后约23~40天,果针入土后10~27天),以荚壳膨大为主,并达到其最后的大小。开花后30~65天,转入以种仁发育为主。种仁迅速增大,其干重急剧增加,水分逐渐减少;脂肪和蛋白质均大量积累;可溶性糖和淀粉含量则较少,其含量在种仁发育初期略有增加,以后趋于恒定。在这时期内,荚壳迅速失水收缩,鲜重减少;荚壳的干重及糖、淀粉、蛋白质等有机成分在开始时略有增加,以后干重趋于恒定,上述有机物含量则逐渐减少。开花后约65天是荚果发育的一个明显转折点,以后种仁基本停止增大,其鲜重由于失水而略为减少,而干重则继续略有增加,直至最后一期收获(开花后100天)。此时期内种仁的脂肪和蛋白质均继续有少量增加,糖和淀粉含量较少,无大变化。荚壳继续失水变干硬,糖、淀粉和蛋白质含量均略为减少。开花后86天左右荚果完全成熟,开花后93~100天,荚果由于过熟出现裂荚,部分种子发芽。

根据上述试验结果,我们将花生荚果发育分为①荚果膨大期(开花后约23~40天),②种仁充实期(开花后30~65天),③成熟期(开花后65~85天),并讨论了各个时期在栽培上应注意的措施。

花生是我国的主要油料作物,为要提高花生产量,除选用良种、采用合理的栽培技术、防治病虫害等措施外,提高结荚率、饱果率和果仁重是提高产量的有效途径。因此研究荚果发育过程的形态特性和内部有机物的积累及消长情况,不仅可以系统地了解荚果发育的生物学特性,而且可探索及提出与之相适应的栽培技术措施,以达到增加荚果有机物积累,提高产量及提高含油率的目的,并为花生适期收获提供理论依据。

关于花生荚果发育过程中的形态及有机成分的变化,过去曾有过一些研究。Patel和Seshadri 1935年在印度曾研究了花生种仁内油分的形成,发现在荚果发育的早期及后期,含油百分率增加很慢,而以开花后32至46天内增加最迅速^[8]。Pickett研究了美

国佐治亚州花生发育过程中的脂肪、粗蛋白、可溶性糖、淀粉以及半纤维素的变化情况^[9]。Shear和Miller也研究了蔓生型花生荚果的发育,认为由开花至荚果完全发育所需要的时间有很大变化,约需10~13个星期^[11]。日本的水野进也研究了蔓生型花生千叶74号的荚果及其荚壳和种仁二部分的鲜重增加情况^[5]。Sckenk在美国佐治亚州研究了Virginia Bunch和Dixie Spanish花生荚果发育过程的鲜重和干重、呼吸、粗脂肪、粗蛋白、碳水化合物等有机物含量的变化情况^[10]。Aldana等亦研究了花生种子成熟时核酸和蛋白质含量的变化^[6]。Singh等报道了印度直生和蔓生型花生种子形成过程中碳水化合物和油分含量变化^[12]。Basha等报道了不同品种花生种子成熟过程中游离氨基酸、碳水化合物、蛋白质成分的变化^[7]。在国内,白秀峰和罗瑶年曾对大粒种官半和珍珠豆型狮头企花生在山东地区条件下荚果发育及糖类、脂肪变化作过研究^[1]。徐庆年等亦对山东花生多个品种的籽仁和荚壳增长速度、荚果发育过程中的呼吸强度和主要营养物质的变化作过研究^[2]。刘鸿先等对广东粤油551品种荚果形成过程中的物质积累及B₉的调节作用等作过研究^[3]。上述的研究工作,对阐明在国内外不同地区、不同品种的花生荚果发育情况,具有一定的意义。但上述的研究大多偏重于现象的阐述,而对花生荚果发育的规律,从形态及生化成分方面加以综合的分析,则尚感不足。为此,我们在1976~1980年间,对广东地区推广的花生高产品种直生型“粤油551-116”在广东地区的气候条件和栽培条件下荚果发育过程中的形态及有机成分变化,进行系统的研究,两年的试验结果基本上是一致的。兹将试验结果报导如下。

材 料 和 方 法

供试材料是直生型粤油551-116。于1980年2月25日播种,行株距8×3寸,单粒植。4月13日始花期,开花后13天果针入土。4月29日(果针入土后约3天)用塑料线对长约2.5厘米的果针(子房柄)套线标记,共标记3000条。于开花后23天(果针入土后10天)开始第一期取样,前期(花后44天以前)每周取样两次;后期(花后44天以后)每周取样一次,全生育期共取样十五次。每次取样后,对套有标记的荚果进行外部形态观察,并将样本分为两部分,一部分用以调查果壳、种仁发育情况,含水量和干物量变化等;另一部分荚果,用60℃烘干后,测定荚果及种仁中的粗脂肪、粗蛋白、可溶性糖和淀粉的含量。测定粗脂肪用索氏法(乙醚抽提)。测氮用凯氏法,将含氮量×6.25作为粗蛋白含量。将抽去脂肪的残渣用80%酒精抽提后,用蒽酮法测可溶性糖。抽去可溶性糖的残渣用过氯酸水解后,用蒽酮法测糖,结果×0.9折算为淀粉含量^[4]。

试 验 结 果

一、不同发育时期的荚果和种仁的形态变化

在开花后23天进行第一次取样。此期荚果外形似鸡咀,果壳白色,略见纵纹,荚果内充满白色的海绵状组织。基豆及先豆仅仅开始发育;基豆如芝麻大小,先豆更小,白色。

开花后26天的荚果壳白色,纵横纹可见,其中纵纹较明显,荚果内有很厚的白色海

绵状组织。此期荚果的长、宽、厚度均比前期有较明显的增长。相隔只有三天，荚果的长、宽、厚度分别增大56%、59%和54%。从绝对量看，荚果的长、宽、厚度平均每日分别增大1.7、1.0、0.8毫米。基豆及先豆亦比前期略增大；开花后30天的荚果壳仍呈白色，纵横纹较明显，海绵状组织仍很厚（平均厚5.1毫米），白色；种皮亦呈白色。此期的荚果增大更为迅速，时间相隔只有4天，荚果的长、宽、厚度分别增加68%、60%、65%，平均每日分别增大2.6、1.3、1.2毫米。上述结果表明，自花后23天至30天约一个星期内，是荚壳迅速膨大的时期，在此时期，荚果的长、宽、厚度均为原来的2.5倍。此时期的种仁亦有一定程度的增大，但不如荚壳明显；开花后33天的荚果除厚度有较明显增加外，其他情况与前一期基本相同；开花后37天的荚壳海绵状组织较上期密致，开始干缩，厚度从前期的4.6毫米减至2.6毫米，并出现裂纹，荚壳增大显著减慢，但种仁则较前一期有较明显增大；开花后40天，荚果的外形大小已基本定型，此后不再增大，荚壳开始变浅黄色，网纹加深，海绵状组织明显干缩，厚度减至2.0毫米，裂纹增多，此期的种仁进一步增大，种皮呈白色；开花后44天的荚果除荚壳的海绵组织进一步干缩，荚壳继续变薄（厚1.3毫米）外，其他变化不明显，种仁则继续以稳定的速度增大；开花后51至58天，种仁虽然继续增大，但速度开始减慢，渐趋饱满，种皮呈淡粉红色；开花后65天，荚壳颜色从浅黄变为黄色，并开始变硬，荚壳海绵状组织从白色转为浅棕色，进一步变薄，种仁外观十分饱满，长、宽、厚度均达到最大，种皮呈粉红色。这一系列的明显变化，标志着荚果开始转入成熟阶段；开花后72至86天，荚果的主要变化是海绵组织颜色由浅棕变成深棕色，种皮颜色进一步加深达到品种固有的粉红色，其它各种变化已基本稳定，说明荚果已完全成熟；开花后93天的荚果开始出现裂荚，并有少数荚果的种仁开始发芽。花后100天的荚果大部分裂荚，种皮颜色由红变黄褐色失去光泽，并有部分发芽。

综上所述，在花生荚果发育的初期，以荚壳的增大为主。在开花后23~30天的一星期内，荚壳迅速膨大；以后增大速度减慢，至开花后40天左右达到最大；在此以后，荚果大小基本稳定不变。花生种仁的增大稍迟于荚壳，在开花后30~40天增大较快；以后则以一定的速度继续增大，至开花后65天左右达到最大，以后由于水份减少而略缩小。至开花后100天，可能由于收获过迟，荚果留在田间土壤中时间过长，荚果吸水（见下文），故整个荚果及种仁均略为增大。荚果及种仁在发育过程中的大小变化如图1、2、3所示。

二、不同发育时期荚果鲜重、干重、和含水量的变化

试验结果表明，整个荚果的鲜重增加亦以

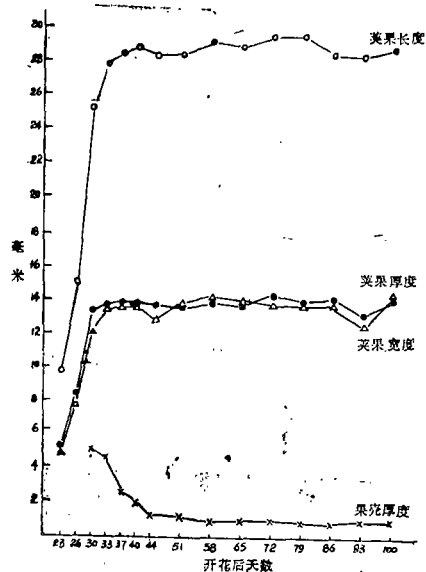


图1 不同发育时期荚果大小及荚壳厚度变化

开花23至30天最为迅速,平均每荚从0.12克急增至2.28克,增加达19倍,这和荚果大小的增加趋势是一致的。以后鲜重的增加速度变慢,至开花后65天增至最高,平均每荚达3.00克。在开花65天以后,整个荚果的鲜重略有下降,表明这时荚果逐渐失水而转入成熟。但至开花后100天,荚果鲜重又略有增加,这是由于后期荚果吸水膨胀引起的(图4)。

将荚壳和种仁分别测定的结果表明,荚壳的鲜重在开始时(开花后26~30天)迅速增加,在30天以后又迅速下降;这是因为荚壳内的海绵状组织在荚果发育初期含有大量水分,以后荚壳逐渐干缩变薄(图1)之故。种仁的鲜重增加在开花后初期不甚显著,以后则以稳定而比较快的速度增加,至开花后65天达到最高(每荚2.03克),以后种仁鲜重略有下降(图4)。

在图4中亦表示出荚果的干重变化。整个荚果以及种仁干重绝对重量(克/荚)变化以在开花后65天以前增加较快;65天是一个转折点,以后干重增加转慢,直至开花后100天,干重仍有所增加。荚壳的干重在开花后40天以前增加较快,以后只有微量增加。上述这些的变化,如以干重占鲜重的百分率表示,则如图5所示,荚果各部分干重所占的百分率在开花后33天内较低,约在10~15%左右。在开花后33~65天的一段时间内,急速上升,至65天以后,上升渐趋缓慢。

荚果及其各部分的含水量百分率,以发育初期最高,在开花后23~37天的期间,维持在85~95%之间,此时期整个荚果及其各部分的鲜重增加较明显,而干重增加较少,故此时期荚果的增重,主要是由于水分增加的结果,这可从图6的曲线看出。在此以后,整个荚果或荚壳的含水百分率逐渐下降,直至荚果成熟。在开花后100天的含水量增加是由于收获过迟,荚果重新吸水的结果。

荚果及其各部分的重量及水分含量的变化与其大小的变化是一致的,这些结果均表明,在荚果发育的初期,在开花23~33天的一段时间内,主要是荚壳的增大和增重,此时期种仁增大很少。在此以后,即转入种仁的增重,其鲜重和干重均急速增加,至开花65天以后,荚果及种仁鲜重均趋于恒定,或甚至略有下降,虽然此时种仁干重仍继续增加,但增加不多。

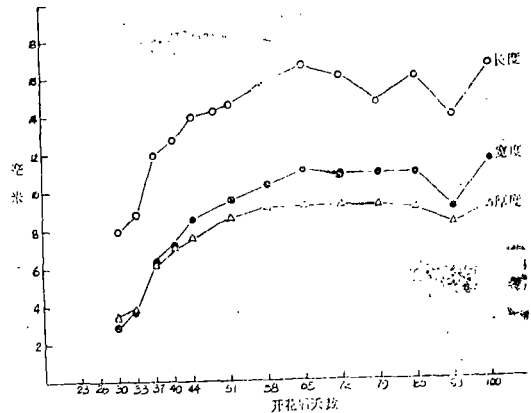


图2 不同发育时期先豆大小的变化

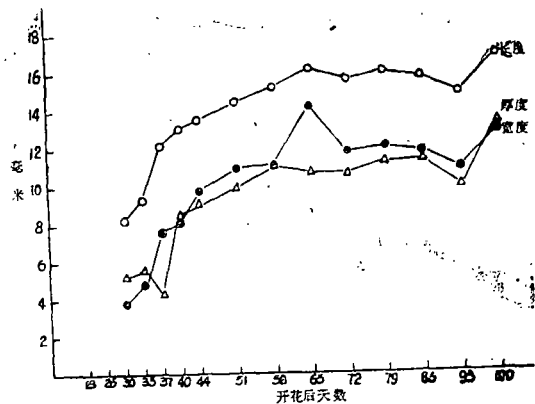


图3 不同发育时期基豆大小的变化

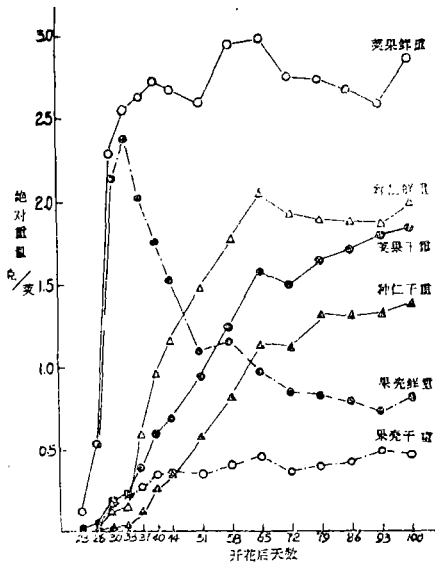


图 4 不同发育时期荚果各部分重量的变化

三、不同发育时期荚果内有机物的积累

累

1. 种仁部分:

(1) 脂肪：在花生种仁发育的较早期，即在开花后30天，已测出含有粗脂肪，但其量甚微。以后，种仁内的脂肪绝对含量和百分率均急剧增加（图 7、8），直至开花后65天。在此后，种仁内的脂肪含量百分率即趋于稳定，维持在50%左右；但由于在此期间种仁的干重仍略有增加，故其绝对含量直至开花后100天仍有一定程度的增加。

(2) 碳水化合物：以含量的百分率表示，种仁内的可溶性糖和淀粉在早期(开花后30天)是较高的，分别为18.0%和15.7%，但其绝对量则甚微。随着荚果发育，种仁内的可溶性糖和淀粉绝对含量均略有增加，尤以早期增加较明显；在花后40~44天以后，即趋于基本稳定。但由于在荚果发育过程中种仁的干重急剧增加，其增重速度超过碳水化合物的增加速度，所以当用含量百分率表示时，反而表现为下降（图 8）。

(3) 粗蛋白：在荚果发育过程中，种仁内的粗蛋白含量百分率变化不大，自始至终保持在种仁干重的三分之一左右（图 8）。这说明种仁内的粗蛋白积累速度与种仁的干重增加速度基本上是平行并进的。如以每荚含粗蛋白的绝对量计，则在开花后65天以前增加较快，在此以后则减慢（图 7）。

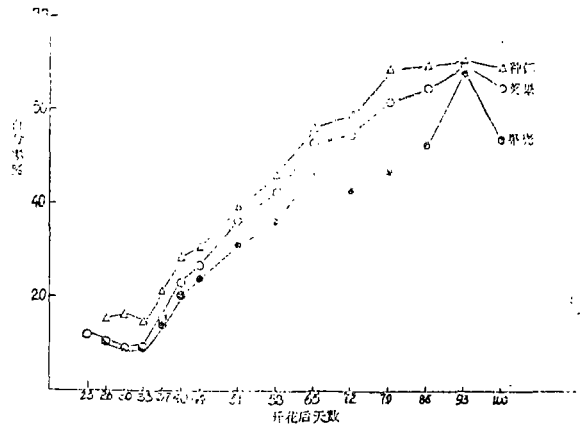


图 5 不同发育时期荚果各部分干重百分率的变化

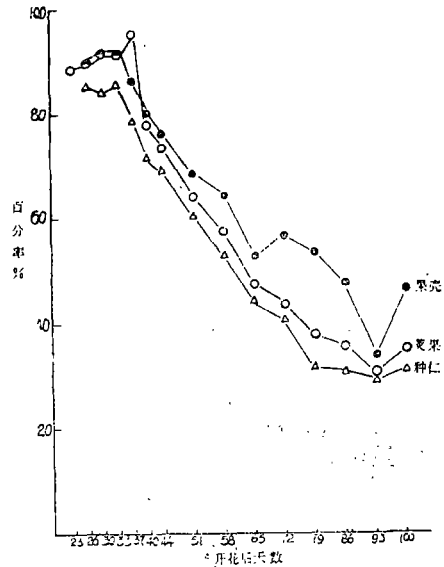


图 6 不同发育时期花生荚果各部分水分含量百分率的变化

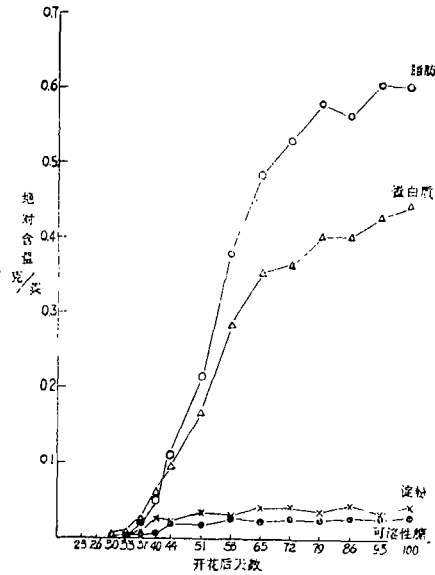


图7 不同发育时期花生种仁内有机物质绝对含量的变化

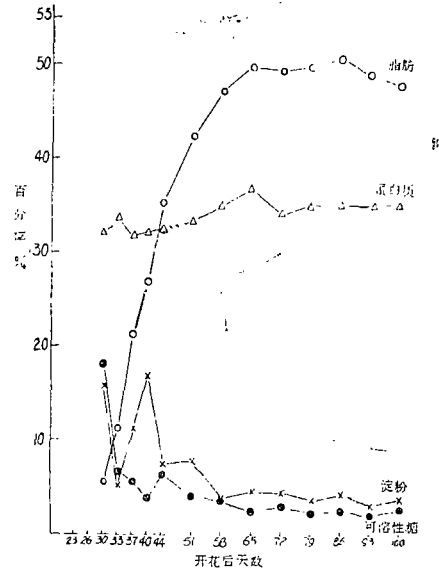


图8 不同发育时期花生种仁内有机物质相对含量的变化

2. 荚壳部分：在花生荚壳中含有少量粗脂肪，在荚果发育过程中，其含量变化不大，每荚约含2~10毫克，占干重的1.1~2.6%。荚壳内的蛋白质含量有较大变化，在开花后30~40天内略有增加（从每荚30.5毫克增至50.0毫克），以后逐渐减少，至最后只余下17.4毫克/荚。如以干重百分率表示，则以初期（开花后30天）为最高（19.7%），以后逐渐下降，至最后为4.3%。荚壳内的可溶性糖和淀粉的变化趋势和蛋白质相似，绝对含量均在开花后40天前略有上升，以后则逐渐下降，至成熟时只有微量存在。如以干重百分率表示，则以初期含量较高，以后逐渐下降，至开花后65天只余下1%左右，此后即维持在此水平（图9、10）。

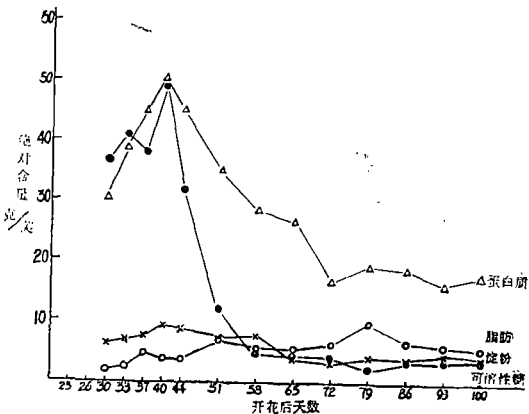


图9 不同发育时期花生荚壳内有机物质绝对含量的变化

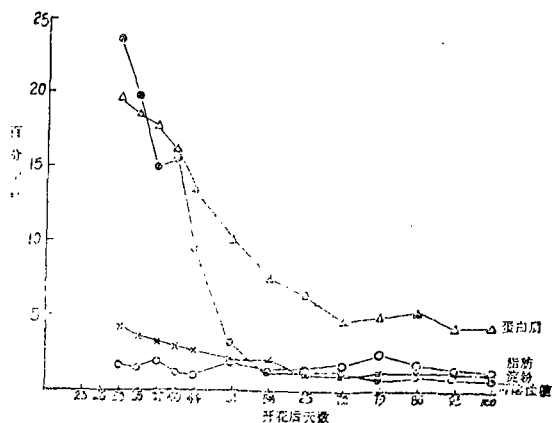


图10 不同发育时期花生荚壳内有机物质相对含量的变化

讨 论 和 结 论

(一) 本文报道了在广东省亚热带气候条件下花生荚果发育过程中的形态及有机物含量变化情况, 这些结果与过去文献中报道的结果的变化趋势基本上是一致的, 但具体进程及荚果的总发育时间则不完全相同, 这是由于品种及栽培条件不同之故。从我们对粤油551—116品种花生荚果发育形态变化进行观察及有机成分分析的结果来看, 荚果的发育可分为三个时期, 当然三个时期并非截然分开, 而是重叠进行的。

1. 荚壳膨大期: 约自开花后起至30~33天(或果针入土后17~20天)止, 在此时期内, 荚壳迅速膨大, 尤以开花后23~30天的一星期内, 增大最为迅速, 至开花40天左右达到其最后的大小。这从图1和图4的荚果长、宽、厚度及荚壳的鲜重变化可以看出。由于荚壳的大小限制了种仁的生长, 为要获得较大的荚果及种仁, 必须保证荚果在此时期内能充分发育。如果在此时期内, 由于栽培条件或气候条件不适宜, 以致荚壳发育受阻, 则整个荚果将变小, 产量也相应下降。

2. 种仁充实期: 约自开花后30天至65天(果针入土后17~52天)。在此时期内, 荚壳的发育逐渐停止, 其大小趋于恒定; 壳荚鲜重由于失水而急剧下降, 干重及各种主要有机成分在开花后40天以前略有减少。此时期的主要特征是种仁充实, 其大小、鲜重、干重、脂肪和蛋白质的绝对含量均急剧增加(图2、3、4、7、8), 而含水量则下降(图6)。这说明在此时期内, 从营养器官运输进来的有机及无机成分, 主要用于种仁的充实, 并以脂肪和蛋白质的形式, 贮存在种仁内。所以在此时期内, 必须保证各种营养物特别是有机物的充足供应, 才能使种仁充分饱满。为此, 必须使植株地上部有足够的叶面积, 并有良好的光照条件以进行光合作用, 合成有机物供种仁充实之用。此外, 在种仁内含有约三分之一的蛋白质, 这就需要有足够数量发育良好的根瘤, 以保证其氮素营养的供应。如果此时期由于叶面积不足, 或病虫害、栽培条件不良等影响光合作用的进行, 以致有机物来源不足, 便会使种仁充实受影响, 饱果率, 百仁重和出仁率降低。

3. 成熟期: 开花后65天, 是一个明显的转折点, 种仁开始转入成熟阶段; 在此以后, 种仁基本停止增大, 并可能由于失水而略为变小; 种仁鲜重亦略为下降, 但干重则继续以较慢的速度增加, 直至最后一期收获(花后100天)为止。在此时期内, 种仁内的脂肪和蛋白质的绝对含量仍以稳定速度继续增加, 虽然其含量百分率维持恒定。但由于开花93天后的荚果, 已开始出现裂荚, 因此, 开花后86天左右应是花生收获的适期。鉴于在此时期种仁仍可继续积累有机物, 所以保证植株地上部有较高的绿叶数, 是十分重要的。如此时花生植株开始衰老, 叶色转黄, 特别是由于锈病和叶斑病的影响而使植株落叶提早, 均影响有机养分的供应而使荚果不能充分饱满, 降低出仁率和含油量。所以防止花生植株后期落叶, 有重要意义。

(二) 花生是油料作物, 了解花生种仁在发育过程中脂肪积累的动态变化, 是十分重要的。我们的试验及Pickett^[9]和Schenk^[10]的试验结果均表明, 在种仁发育的初期(开花后约30天, 果针入土后约17天), 即有粗脂肪出现, 但含量甚微。在此后

10天内, 增加不多。约自开花后40天起, 脂肪的积累即迅速进行; 在开花后40天至65天的25天内, 平均每荚由51.2毫克急增至487.8毫克, 平均每天增加17.5毫克。其中, 以开花后51至58天的一星期内增加最快, 平均每天每荚达23.7毫克。在开花65天以后, 脂肪积累速度逐渐减慢, 但仍有少量增加, 至完全成熟为止。需要指出的是, 上述的脂肪积累动态, 是以每荚为基数计算的。如果以占干重百分率计算(图8), 则虽然在初期仍表现为迅速上升, 但它51天以后上升减慢, 至65天以后即基本停止增加。这是由于在此时期内, 种仁的干重仍在不断增加, 致使计算出脂肪含量百分率增加较少或甚至不增加。因此如果只根据百分率的计算, 便会得出花生种仁在后期不积累脂肪的错误结论。

在花生种仁内也含相当高的蛋白质, 约占干重的三分之一。蛋白质含量的变化与种仁干重的增加趋势基本一致, 所以其含量百分率维持在比较恒定的水平(图7、8)。在种仁内也含有少量淀粉和可溶性糖, 其含量在初期略有增加, 以后维持在恒定水平; 以占干重百分率计算, 在初期含量较高, 以后逐渐下降, 至开花65天以后基本恒定不变(图7、8)。

对花生荚壳有机成分的分析结果表明, 在荚壳内只含有微量粗脂肪, 可能是作为原生质的组成成分存在, 在整个发育期中无大变化。荚壳内的蛋白质在初期略有增加, 以后则逐渐减少, 可能是发生分解而转移至种仁中去。在荚壳内也含有一定量的淀粉和可溶性糖, 也是在初期略有增加, 在后期则可能由于呼吸消耗及运输至种仁而减少(图9、10)。

参 考 文 献

- [1] 白秀峰、罗瑶年, 1979, 花生荚果发育及糖类脂肪积累变化的研究初报, 《花生科技》(1): 10—19。
- [2] 徐庆年等, 1979, 有关花生生长发育几个问题的初步研究; 《花生科技》(1): 19—25。
- [3] 刘鸿先等, 1980, 花生荚果形成过程中代谢途径的变化以及 B_9 的调节作用, 《植物生理学通讯》(3): 27—31。
- [4] 吉田昌一等(北京市农业科学院作物研究所资料情报组译), 1975, 《水稻生理学实验手册》41—44, 科学出版社。
- [5] 水野进, 1959, 落花生的结实に関する生理学的研究第一报, 结实圈に与えられた Ca^{45} の结实部位分别分布につひこ, 日本作物学会纪事, 28(1): 83—85。
- [6] Aldana, A.B., Fites, R.C., Pattee, H.E., 1972, Changes in nucleic acids, protein and ribonuclease activity during maturation of peanut seeds. *Plant and Cell Physiol.*, 13(3): 515—521.
- [7] Basha, S.M.M., Cherry, J.P., Young, C.T., 1976, Changes in free amino acids, carbohydrates, and proteins of maturing seeds from various peanut(*Arachis hypogaea* L.)cultivars. *Cereal Chem.* 53(4): 586—597.
- [8] Patel, J.S., Seshadri, C.R., 1935, Oil formation in groundnut with reference to quality. *India Jour. Agric. Sci.*, 5: 165—175.(转引自参考文献9。)
- [9] Pickett, T.A., 1950, Composition of developing peanut seed. *Plant Physiol.*, 25: 210—224.

- [10] Schenk, R.V., 1961, Development of the peanut fruit. Georgia Agric. Expt. Sta. Techn. Bul. N.S., 22, 53pp.
- [11] Shear, G.M., Miller L.I., 1955, Factors affecting fruit development of the Jumbo Runner peanut. Agron. Jour. 47(8); 354—357.
- [12] Singh, D.P., Singh, R. 1974, Effect of growth habits on carbohydrate and oil content during germination and seed formation of peanut (*Arachis hypogaea*). India Jour. Agric. Res., 8(1): 61—63. (见Field Crop Abstract 28: 7356).

CHANGES IN MORPHOLOGY AND COMPOSITION OF DEVELOPING PEANUT FRUIT

Li Anni, Ye Bairong, Liu Minmin, Chen Zhixi, Chen Chaoqing,

(Industrial Crops Research Institute, Guangdong Agricultural Academy)

Li Mingqi

(Department of Agricultural Biology)

ABSTRACT

A detailed study was made on the morphological and compositional changes, including changes in size, fresh weight, dry weight, and contents of soluble sugars, starch, fat and protein of the shell and seeds of developing peanut (var. Yue-you 551—116) fruits. Results showed that three stages of development may be distinguished.

(1) The stage of development and enlargement of the shell—This occurred right after the penetration of the peg into the soil to about 40 days after anthesis (about 27 days after penetration). In this period the shell enlarged and increased both in weight and in size rapidly, especially during the last week of this period when its fresh weight increased from 0.52g/shell to 2.37g/shell and, at the end of this period, attained its maximal size. The seeds within the shell developed only insignificantly and were very small in size.

(2) The stage of seed development and filling—The next month after the shell attained its full size is a period of seed development and filling, during which the seeds increased in size, fresh and dry weights rapidly, attaining their maximal size and fresh weight up to about 65 days after anthesis. In this period the seeds withdrew most of their organic constituents from other parts of the plant and stored them mainly in the form of fat and protein in the cotyledons. The seeds also contained a small amount of soluble sugars and starch which increased at the beginning of this period and remained unchanged (in g/fruit) afterward. Water content decreased both in seeds and shell; the latter became dried, thin, and hardened, and changed in color from yellowish to pale yellow.

(3) The stage of maturation—About 65 days after anthesis a critical change in the development of peanut fruit occurred which marked its change from enlargement into maturation. In this stage the gain in dry weight and the rate of accumulation of fat and protein in the seeds slowed down with further loss of water content. But the whole fruit or its seeds continued to increase in dry weight at a rate much slower than those in the preceding periods. Slow accumulation of fat and protein in the seeds also continued to proceed up to about 100 days after anthesis when the fruit became overripe and the shell cracked due to reabsorption of water. It is recommended that harvest should be made before the fruit is overripe.

A discussion was made as to the improvement of cultural techniques to meet the requirements of the developing fruit in order to obtain high yield.