

植物生理附微生物學原理

北京林學院

1956年

第六章 植物体内有机物的转化与运输

(一) 植物的新陳代謝作用

1. 代謝作用是生命現象的特異——新陳代謝作用 (或简称代謝作用) 是指植物生活上所必需的气体和其他物質从外界环境进入植物体中被综合成为有机物, 並將由於植物利用有机物后形成的廢物排出体外的过程而言。如果植物体和它周围的世界没有这种不断的聯繫, 任何生活的植物都不能生存, 代謝作用的停止, 就意味着生物体的死亡。我们在第一章中就已說明了生物体与非生物体的区别存在於对环境的关系上, 恩格斯指示出: “生命是蛋白体的存在形式”, 这种存在的形式, 实质上就是在於把这些蛋白体的化学的拼成要素, 作经常的自我更新” (反杜林論, 吳譯本, 頁94)。在代謝作用的过程中舊的破坏了, 新的建立了, 在这种物質的轉变裡, 植物得到生長与发育, 所以代謝作用是生命过程的重要内容。

2. 代謝作用的两方面 —— 根据上述代謝作用的含义来看, 这作用必然表现在两个过程的统一中。这作用一方面是同化作用, 即植物体从外界环境中攝取物質并用这些物質建造自己身体内生活物質的过程, 另一方面是異化作用, 即植物将身体内的複杂有机化合物分解成比較简单的化合物, 並將其中貯藏的潛能予以释放的过程。綠色植物的营养过程, 如前面已講过的光合作用, 氮素同化作用, 及矿質营养作用等, 便组成了它新陳代謝中的同化过程的一面, 而有机物的消化即呼吸作用 (就是本章及下一章将要进行討論的) 则代表了異化过程的一方面。同化与異化过程在植物体中不断地发生着, 由外界环境进来的物質不断地被植物体同化形成了体中的活質, 而活質又与进入有机体的物質不断地发生異化, 由之释放出能量又被用於进行同化作用和其他生活过程。因此, 同化作用和異化作用虽然是代謝作用的两个不同方面但彼此是不能分割的。異化作用不是单纯的分解与破坏, 而

也是同化作用的必要條件。沒有異化作用就不可能有同化作用；只有在植物有機體內所含物質可能被分解与破坏的条件下，才能释放出一切生命活动所必需的能量，而生命过程才得以进行。

3. 組成物質与儲藏物質——在營養过程中所合成的各種產物如碳水化合物、蛋白質、脂肪等，其絕大部分或被消耗於呼吸作用以釋放能量，或被同化成為植物體的活質，而成為植物體的組成物質，其剩餘部分，則常被儲藏於不同的組織或器官中，成為儲藏物質。在樹幹的木質部、韌皮部以及皮層中便常有這樣的儲藏組織，而肉質地下莖、塊莖、塊根、鱗莖、球莖以及果實種子等也都是這樣性質的儲藏器官。各種植物所含儲藏物質的種類雖然很多，最主要而常見的仍是碳水化合物、蛋白質与脂肪三大類，只是在儲藏量的比例上隨植物種類而有所不同。如以種子為例，有些植物以脂肪為主要儲藏物質，含量可以達到30—60%，就被叫做“油質種子”如杏仁、蓖麻等；另外有些植物以澱粉（碳水化合物）為主要儲藏物質，叫做“澱粉種子”如白果、稻、麥等。就一般植物而言蛋白質只佔儲藏物質的小部分，通常不超過总量的25%，油質種子所含的蛋白質的百分比通常高於澱粉種子，但豆科植物的種子所含蛋白質特別豐富，例如在我國東北盛產的大豆中可以達到44%，農田上所栽培的植物以生產澱粉種子為主，但在自然界中則以生產油質種子的植物佔多數，達到植物種類的90%。上述各點可以從下表所舉的數字中得到証實：

植物名稱	脂 肪	碳水化合物	蛋 白 質	種子種類
紅 松	78.9	3.7	14.8	油質種子
杏 仁	50%	17%	25%	
甜 桃	63	16	16	
椰 子	57	32	6	
蓖 麻	51	27	19	

表接下頁

白 果	3	80	13	澱粉种子
板栗	3	84	7	
小 麥	14	72	12	
稻	1	73	10	
花 生	46	16	30	蛋白質种子
大 豆	17	30	39-44	

(二). 儲藏物質轉化的催化劑——酶及其作用.

儲藏在各組織或器官中的有機化合物通常多以不溶於水的狀態貯存着，因之便不易發生活動的化學反應，也不可能透過細胞膜。對於長久儲藏，這是有利的，但在植物生活上需要這些物質時，必須要先使它們變成能溶於水並能透過細胞膜的状态才能被植物所利用。這種化合物的轉化過程主要是通過水解作用，使它們由比較複雜的大分子分解成較簡單的小分子。在化學試驗室內通常都利用高溫和強酸來引起這些物質的水解，但在生活的植物體中則不可能如此，因為高溫或強酸都會使細胞的原生質破壞而招致植物的死亡。在儲藏器官或儲藏組織的細胞中常能產生一類特殊的物質，能在常溫下引起有機化合物的水解作用，總稱為“酶”。現將與酶有關的一般理論簡述如下：

1. 酶的產生及其一般特性——酶是生活細胞代謝作用的產物，是極複雜的有機化合物，能推動或加速植物體內的各種生物化學反應。在反應完結時，酶的本身並不改變，具有觸媒的性質可以稱之為有機的觸媒。酶在反應上的特性有下列幾點：(1) 效率高——極少量的酶便使其所作用的大量物質發生反應，1克轉化酶能水解1公噸的蔗糖，一個分子的过氧化氫酶就是在 0°C 時每分鐘也能使5,000,000個 H_2O_2 的分子分解，脲素酶在 20°C 時1.4秒中能水解與之等重量的脲素。反應速度並隨着酶濃度的加強而增高。以酶與有機觸媒相比較，效率顯得更為高。(2) 專化性——一定的酶只能作用於一定的有機物（基質），例如，澱粉酶只能

使澱粉糖化產生麥芽糖，而纖維素則不發生作用。又如纖維二糖，麥芽糖，蔗糖雖然都屬於二糖類，但需三種不同的酶來水解。但酶反應的專化性不應理解為每一種的物質只能被某一特定的酶分解。酶的專化性只在於每一種酶能將複雜有機物分子內一定類型的化學鍵拆開，所以同一種酶可以作用於含有相同類型化學鍵的不同化合物。因此，酶的种类要比所分解物質的种类少得多。(3)可逆性——酶不僅能將所作用的複雜有機物分解成為簡單的化合物，並還能將分解的產物合成為原來的物質。因此，酶的作用是可逆性的，是分解或合成，要看反應的條件。例如，麥芽糖酶能將麥芽糖水解為葡萄糖，但在水分減少葡萄糖增多時，也可使葡萄糖合成為麥芽糖。在種子發芽時使貯藏物質，如多糖、蛋白質、脂肪等，分解的酶，在種子成熟時同樣也能合成這些物質使之大量貯藏在種子中。

2. 酶的化學成分及構成——酶的纯化與提取比較困難，現在已被結晶成為純粹狀態的酶還不過50種，所以對於酶的詳細化學成分與構成所知的還不多，並且也是一個困難的問題。現在僅知道酶是鰐媒性的蛋白質，每一種酶都是單酶的化合物，以它們極高的分子量上可以想像出具有特殊複雜的分子構造，在已知的植物酶分子量中最低為13,000（細胞色素酶C），最高可以到483,000（脲素酶），但以近於13,000的佔多數。有的酶由單純蛋白質所構成，如澱粉酶及脲素酶，有的酶是由綴合蛋白質（結合鰐）所構成的，如氧化鰐羧化鰐。后者可以用透析法分成兩部分，一部分是蛋白質的物質，即稱為鰐蛋白，另一部分是非蛋白質性質的（在有機化學上稱為“鰐補基”），則稱為鰐酶。構成鰐酶的物質或是金屬離子，如銅或鎂，或是其他複雜的有機化合物，如二磷酸脲素，腺苷二磷酸鰐。鰐酶常是鰐媒活動的中心。由於酶是蛋白體，所以化學性質也與之非常相近，成為膠體狀態，具有很大的吸附表面，所以能產生鰐媒作用而有很高的反應效率。

因为它是胶体所以不稳定煮沸时即凝固，失去活动力，通常在 60°C 以上即受影响，但在乾燥状态下则能抵抗 100° 以上的高温。

3. 影响酶反应的各种外界条件——外界条件对酶的反应有很大影响现将主要影响离体酶的各种条件简释如下：首先是温度。酶反应的速度与温度的增加成正比，温度系数在 $1.4 - 2.0$ 之间，与其他生理反应相同，酶反应也有最高，最适，最低的温度三基点，超过一定温度，由於酶分子的钝化速率超过酶反应增加的速率，所以速度下降（参看光合作用的解释）。最适点通常在 $40^{\circ} - 50^{\circ}\text{C}$ 之间，较高於生活细胞的最适点（ $25^{\circ} - 35^{\circ}\text{C}$ ）。其次是氢离子的浓度（ PH ）。每一种酶都有自己最适的 PH 值，在这样条件下反应的效率最高，而在高於或低於这 PH 值时，都不能产生最高的反应，或甚至不能发生反应。例如，糊粉酶最适的 PH 值是 $4.6 - 5.2$ ，麦芽糖酶是 $6.1 - 6.8$ ，轉化酶是 4.2 等。第三是各种的化学化合物。能加强酶反应的化合物叫做“活化剂”例如，氰酸（ HCN ），及硫化氢（ H_2S ）能促进木瓜蛋白酶的反应。与之相反，能减低酶反应的化合物则叫做“抑制剂”，例如，银，汞，铜，等重金属离子对酶都能起毒害作用。一个化合物能产生活化或抑制作用並不固定，常随酶的不同而改变，对於甲酶是活化剂的物质，对於乙酶就可能成为抑制剂。其他的外界条件如水分，基質及作用產物的浓度等也都影响酶反应的速度。所有这些外界条件并不是单独个别地影响着酶的反应，而彼此又有互相制约关系。

4. 生活细胞中酶作用的特性——上述各种外界条件对酶反应的影响，都是用从生活细胞中分离出来的酶进行实验所得的结论。这些知识对於生产事业来说是很重要的。例如在某些食品工业中，可以用一定的外界条件来控制酶的反应，使其能符合於生产上的需要。在焙制麵包的过程中，可以用增加酸度的方法来减低那些害的——糊粉酶的活性，或是用适当的温度来調節造酒

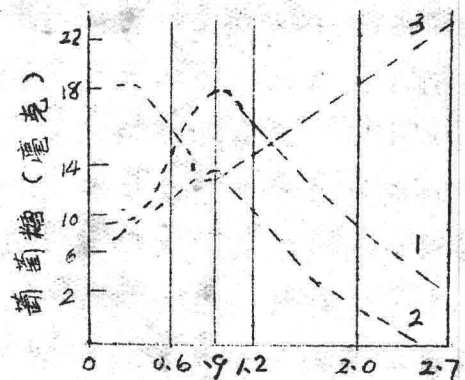
原料中水解酶的活动性，与酶有关的专门知识就这样地被应用到又叶生产的科学控制上。可是在另一方面，直接引用这样研究的结论到生物体内的酶作用时，往往就有很大的出入。有些对于分离的酶不起作用的细微因素，却能使生活植物组织中酶的作用起极大的改变，这样的事实说明，在生活细胞内的酶作用并不与分离酶相同，而有其一定的独立特性。要了解酶在生活细胞内是如何作用的，则必须要直接研究酶在未经破坏的生活组织中所发生的反应。苏联科学院生物化学研究所的一些著名的科学家们如 A. M. 奥把林，A. 几·库尔萨诺夫等，对于这方面的工作曾做了不少杰出的贡献。他们发明了一些巧妙的方法来进行这种研究，得到了不少重要的结果。例如应用真空渗入法来测定完整细胞内由酶所促进反应的性质。进行这个方法的过程是借助于真空使植物的器官能很快吸入受活细胞内酶所作用的物质，然后用定量方法测定该物质在细胞内受到酶的作用之后所发生的变化，由于酶的作用是可逆性的，用这种方法来测定细胞内的酶对于该物质所促起的分解或是合成变化的速率，便可以了解该种酶在生活细胞内所发生作用的方向性，就是说该种酶的活动是合成方向占优势，或分解的方向占优势。如果要研究叶子里细胞内转化酶的作用，为了要估计它的水解活动，就应将蔗糖渗入叶中，然后测定蔗糖的水解变化；为了要估计它的合成作用就应用转化糖代替蔗糖，然后测定在叶中所产生的蔗糖量。

酶在生活细胞中的作用方向，对于植物体中有机物的转化有重要的关系，这样的研究可解决很多农叶生产上的问题。例如在甜菜的根中虽有很活动的转化酶，但却积贮了大量的蔗糖，在没真空渗入法以前，这种现象是很难解释的，应用了这种方法之后，确定了根部活细胞内转化酶的作用以合成方向最占优势，在甜菜根的全部休眠期间都保持了这样优势，因而便解释了这一疑问。但在来年春季当甜菜生出嫩枝时，转化酶的作用则又转变成

以水解方向占优势。苏联的鲁宾教授发现若干蔬菜品种的早熟性与其细胞中酶作用的方向性之间有一定的关系。早熟品种具有高度的水解活动力，而在晚熟的品种中则合成的活动力占优势。因此酶的方向性是品种的重要生物化学特性之一。但酶作用的方向性并不是永久不变的，在植物不同的发育时期，在不同的器官中，以及在不同的外界条件的影响下，相同的酶在作用上可以有不同的方向。如果掌握了生活细胞内酶作用方向性的规律便可以用人力来控制植物体内有机物的合成与分解，因而便大有助于植物的生产事业。

生活细胞中酶反应之所以与离体酶有互别的理论解释现在还不十分了解。根据苏联著名生物化学家A. M. 奥巴林等人的研究，他们认为与原生质膜酶“固定”在它表面上的能力有关，这种“固定”能力虽然已有方法可以测定其大小，但详细情况现在还在研究中，仅能知其必然与原生质的结构有关，而不是单纯的吸附作用，因为它具有非常复杂的生物特性，与细胞的活力有密切关系，常被产生能量的代谢作用（如呼吸与发酵）所决定。据奥巴林的观察当原生质对转化酶的“固定”能力升高时，细胞中蔗糖的综合作用升高；但当这种能力降低时则蔗糖的水解作用升高，（参阅下图）。由此可见，原生质构造的“固定”能力，对于细胞内酶作用的速率和方向起了决定性的作用。因为在离体的酶不受这种原生质结构“固定”能力的影响，所以在生活细胞内酶的反应的性质便与之有所不同。

5. 酶的种类——因为现在对于酶的化学组成所知不多，很多的酶还不能得到纯粹的结晶，而只能被它们所作用物质的反应上来推断其存在与否，所以只能根



乙醚在大气中的浓度 (容量%)

据酶的反应性质进行分类。现在还没有统一的分类方法，最习用的是将已知的酶分为（1）水解酶与（2）碳链酶两大类。

水解酶类的作用是使碳原子与氧或氢原子之间的键拆开而将水分子加入进去促进有机物质的水解作用。

属于这一类的酶通常又可分为以下的五个亚类：（1）酯酶，包括有分解双酯的酶（如转氨酶，麦芽糖酶等），分解多酯的酶（如糊粉酶、纤维素酶等）。（2）酯胺酶，包括分解蛋白质的酶（如番木瓜蛋白酶，胃蛋白酶，胰蛋白酶等）及分解其他与蛋白质类似物质的酶。（3）糖苷酶，包括水解各种糖苷的酶。（4）脂酶包括水解各种酯或磷酸型化合物的酶（如脂肪酶与磷脂酶等）。（5）其他各种不包括在上述各类中的酶类。

碳链酶的作用是使碳原子之间的键拆开，而使能量释放出来，主要是促进呼吸及发酵作用酶类，如氨基酸酶等。与这一类相似的还有氧化还原酶类，能促进氧化或还原作用，如去氢酶，氧化酶，也都与呼吸作用有关，关于这些酶的作用在呼吸作用一章中再作较详细的解释。

（三）种子萌发时储藏物质的消化过程

将生物体内或细胞与组织中所含有的储藏有机化合物，水解成为简单的分子，以便於更进一步的利用便称为消化作用。研究植物体中储藏物质的消化作用以种子作实验材料最为方便，一方面因为乾燥的休眠种子中含有大量性质相同的储藏物质很少化学变化便於比较，另一方面因为种子开始萌发时主要的只有分解过程，只是到后来才有合成过程可以与储藏状态的物质作鲜明的对比，因此便可以更清楚地看出消化作用过程中的变化，前面已讲过种子中含有的主要储藏物质是碳水化合物，脂肪与蛋白质，下面

乙醚對於甜菜叶叶酶的固定以及對於蔗糖的综合和水解的影响曲线1. 轉化酶的“固定”

曲线2. 蔗糖的综合.

曲线3. 蔗糖的水解.

就分别解释这三种物质在种子萌发时的消化过程

1. 淀粉的消化过程——种子中储藏的碳水化合物以多糖类的淀粉为主。因为淀粉在水中不溶解，不增加渗透压所以最利于储藏。在种子的子叶或胚乳细胞中的淀粉都为粒状，其形状大小随植物种类而不同，在显微镜下能根据淀粉粒的形态来判断其来源在商品粘粒上，这是判断麵粉掺杂的主要方法。淀粉遇碘液就显兰色反应，在化学上就用这方法来粘粒淀粉。淀粉是由许多麦芽糖分子联成长链所形成。由于链的形态不同又可将淀粉分子分为两种：一种是直链淀粉长链不分枝，平均长度约有(200)—300—(1,000)个葡萄糖分子，能溶于水、遇碘液则显兰色反应。另一种是枝链淀粉，长链成份形状，是有许多含有24—30(平均18)个葡萄糖分子的短枝链联结而成，不溶于水，遇碘液呈紫色或紫红色反应。现在认为在直链淀粉分子长链中的葡萄糖分子是排列成为螺旋状，每六个葡萄糖分子形成螺旋的一周，枝链淀粉短枝链中的葡萄糖分子排列也可能与之相同。直链淀粉遇碘能呈兰色反应就因为在一匝六分子葡萄糖的螺旋中包有一个 I_2 (碘)分子，形成一个复合体。一个淀粉粒就是由无数这样的直链与枝链淀粉分子所形成，一般认为这些分子在淀粉粒中成为辐射的方向排列，但详细的结构如何，现在还不知道。

种子萌发时储藏淀粉的消化过程，首先可以从其细胞中淀粉粒形态的变化上可以看出来。此时将种子的切片放在显微镜下观察，可以看到在淀粉粒的表面上先发生小的沟穴，这些沟穴逐渐深入到淀粉粒内部而互相联通起来，使完整的淀粉粒被分裂成为若干小的碎块，这些碎块逐渐被溶蚀而变小，最后便完全消失，也就是细胞中储藏的淀粉已被水解成为麦芽糖或葡萄糖。由于糖的累积，所以发了芽的大麦种子便有甜味，而作为制造麦芽糖(饴)的原料。

植物细胞内淀粉的消化主要是靠淀粉酶的活动，这种酶很容

易从发芽的禾穀类种子中取得(例如大麦)。是由 α 与 β 两种酶混合而成的,但在休眠种子中则只有 β —澱粉酶, β —澱粉酶能将直鏈澱粉水解成为麦芽糖,但这一作用却是不可逆性的,就是说, β —澱粉酶不能将麦芽糖合成为澱粉。對於枝鏈澱粉, β —澱粉酶僅使其短的游离枝鏈水解成为麦芽糖,而對於分子中的分枝联结部分則不能发生分解作用,所以水解的產物便包括有麦芽糖及糊精,后者就是枝鏈澱粉被除去游离枝鏈的殘餘物。 α —澱粉酶是种子萌发后才產生的,其作用是将直鏈或枝鏈澱粉水解成为含有六个葡萄糖分子的糊精。

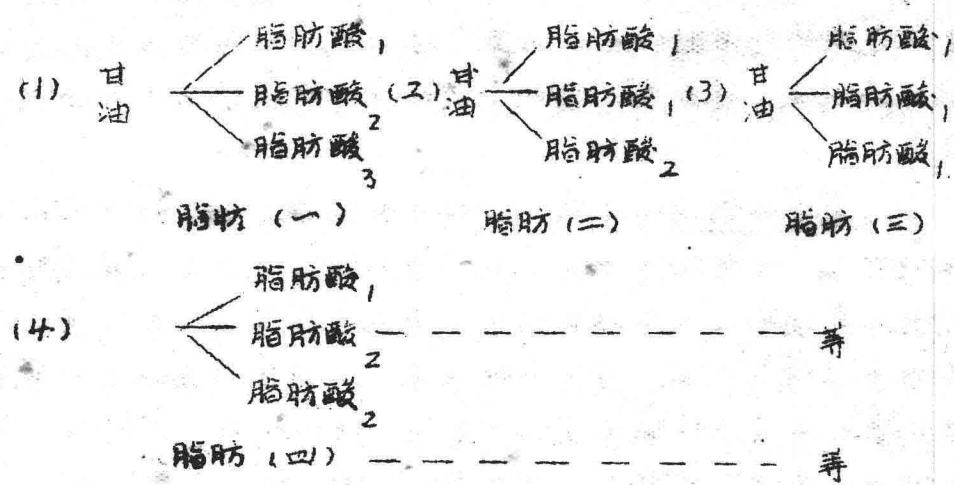
从鏈較長的澱粉分子分解成为鏈較短的糊精分子。中间经过幾個阶段,在这过程中澱粉的分子鏈逐漸被截短,鏈愈短對於碘的兰色反应就愈不显著,所以可以根据其颜色的变化而將糊精分为(1)兰色糊精(分子鏈具有12個或較多的葡萄糖分子)(2)紅色糊精(8—12個葡萄糖分子)(3)无色糊精(六個或較少的葡萄糖分子),最后成为两个葡萄糖分子的麦芽糖。

麦芽糖生成后再經麦芽糖酶的作用而水解成为葡萄糖,就可以供給作为呼吸作用的基質,並可以通过細胞質膜而运送到其他部分,如此便完成了澱粉的消化过程。

2. 脂肪的消化过程——前面讲过在曾經研究过的植物种类中约有90%, (88%) 生產油类种子,所以在种子发芽时,脂肪的消化更比澱粉容易遇到。在某些植物的种子,脂肪是儲藏在胚乳細胞中(如松,蕁麻),有的种类則儲藏在胚的子叶中。(如豆类种子),也有些种类在子叶及胚乳都含有脂肪(如棕櫚)。儲藏在种子細胞內的脂肪多成为較大形的油滴,如用苏丹Ⅲ染色則呈紅色,可以在顯微鏡下看到。

种子儲藏的脂肪,如融点較高在常溫下成固体,習称为脂。如融点較低成为液体的,习称为油。不論脂或油在化学构成上基本是相同的,都是三脂肪酸的甘油酯,因需要三个脂肪酸分子与一个甘油分子结合,这三个脂肪酸按其性質的異同可以有不同結合

而產生多種的脂肪，有如下式：



不同植物種子的脂肪所含主要的脂肪酸並不相同，因此脂肪的性質也有差異，從下表的例中可以看出：

種子 名稱	飽和脂肪酸		非飽和脂肪酸			
	棕櫚酸	硬脂酸	油酸	亞油酸	亚麻酸	桐油酸
胡桃	5.1 %	2.5 %	28.9 %	47.6 %	15.9 %	——
油桐	4.1	1.3	——	2.1	——	79.7
冠谷油	2.44	35.4	38.1	——	——	——

油類種子萌發時，儲藏的脂肪被利用的很快，例如有人觀察向日葵種子，未發芽時每百粒種子的子葉中所含醚的抽取物重量為 2.786 克，發育後四日的幼苗子葉中，每百株醚抽取物的重量為 3 克；五日為 2.53 克；七日，1.298 克；十日 0.501 克；十四日，0.317 克。隨著脂肪的減低，在萌發的種子與幼苗中脂肪酸的含量則顯著增加。例如罌粟的種子在萌發前，脂肪中游离的脂肪酸只佔 10%，萌發兩天後就升高到 53%，四天後可以達 97%。從這個事實可以了解，脂肪是先經水解後才被利用的。脂肪的水解產物除脂肪酸外，還必有甘油，但因為它一經形成，很快便耗盡了，所以在發芽的油類種子中看不見甘油的累積。

萌發種子中脂肪的水解是藉助於特殊的酶而進行的，總稱為脂肪酶，可以從蓖麻種子中得到，其反應速率在酸性中最高（最速）。

为 $\text{pH}5$)。因为在脂肪的水解过程中，游离的脂肪酸逐渐增加而使被作用的溶液酸性逐步升高，所以脂肪酶水解作用的速率是开始比较缓慢，愈到后来愈快，这种性质常被称为“自动催化”的性质。

3. 蛋白质的消化过程——种子中储藏的蛋白质通常都成为特殊的颗粒，叫做糊粉粒，是由淀粉有很多蛋白质的胶泥凝固而成，所以在糊粉粒中可以见到蛋白质的结晶体。(关于蛋白质的化学性质及颜色反应，详见有机化学，不再在此重叙)。种子中储藏的蛋白质多属于简单蛋白质类(单纯肽)在化学析成上比茎叶中的蛋白质要简单些，为了研究的方便也有人将前者称为“种子蛋白质”(种子肽)，而将后者称为“原生质蛋白质”就一般情况来讲，单子叶植物种子(如禾本科)储藏的蛋白质以禾谷蛋白(穀胚)为主，而在双子叶植物中(如豆科)则以球蛋白(球肽)为主。

种子储藏的蛋白质生萌发时，必须先经过水解，使之分解成为分子较小的化合物(如氨基酸)才能被运送到生长的胚茎中加以利用，这样水解作用在种子中是靠被称为脲酶(蛋白酶)的活动而进行的。

小麦及大麦种子萌发时所含脲酶，性质近似木瓜蛋白酶，在花生中则含有花生蛋白酶，这二者的作用与动物的胰蛋白酶相似。在大黄菜、亚麻种子所发现的脲酶，其性质则与动物的胃蛋白酶相似。这些种酶活动的最终结果就是产生氨基酸。根据分析在未萌发的玉米种子中，蛋白质佔含氮化合物的96%，萌发两天后减少为78% 四天后61%，六天后57%，八天后48%，与此同时脲与氨基酸的含量却相对地在增加。与蛋白质的水解作用同时，在种子内也可以发见脲酶活动的加强。根据巴林与奥巴林的观察，在萌发后的第三天，种子中脲酶的活动力为休眠种子的4倍，第六天30倍，第八天45倍。

(二) 种子萌发时的合成过程

种子发芽时贮藏物质的转化并不只限于消化过程，水解作用的最终产物（葡萄糖、脂肪酸、甘油、及氨基酸等）还要进一步经过合成作用转变为形成新器官的物质，因为发芽现象不仅是贮藏物质的消耗，同时也意味着新器官的形成，必须有合成过程来形成所需要的新物质。但在研究这种过程时远比研究消化过程为难，因此往往不容易得到明确的概念。

1. 碳水化合物水解产物的合成过程——种子萌发时较复杂的碳水化物的最终水解产物是葡萄糖。除了用于呼吸作用之外，还可以由之合成纤维素：以供给新器官中形成细胞壁的需要。根据观察，种子萌发后不同日期中碳水化物的消失量如下：三天后 20%；六天后 35%；九天后 60%；十二天后 81%。其中以淀粉减少得最快，萌发几天完全消失。葡萄糖与单糖的量先增加，后来又减少，但纤维素则继续增加。根据布森格所对玉米种子与幼苗的化学分析比较可以证明上述的事实。他用 22 粒未发芽的种子与 22 粒已萌发的幼苗作为分析材料，比较其结果如下表：

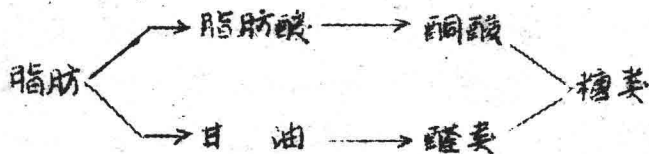
	种子(克)	幼苗(克)	差数
总乾重量	8.636	4.529	-4.107
淀粉及糊精	6.386	0.777	-5.609
葡萄糖及蔗糖	0	0.953	+0.953
纤维素	0.516	1.316	+0.8
脂肪	0.463	0.152	-0.311

2. 脂肪水解产物的合成作用——脂肪的转化比碳水化物更要复杂些。在幼苗发育时，子叶或胚乳中的脂肪经水解后消失的很快，但新生长的部分中，（如胚轴或幼根）并不见有脂肪酸或

自由的累积。所以这些水解的产物必然是经过了继续转化之后，才被转运到其他部份中去，主要是被合成为葡萄糖，再被用于呼吸作用或拼成纤维素。从下表所示向日葵种子发芽时的成分改变中就可以看出这种变化来：

百粒种子内		种子	幼 苗				
			4天	5天	7天	10天	14天
脂 肪	子 叶	3.79克	3.00克	2.53克	1.30克	0.50克	0.32克
	胚轴及幼根	0.22克	0.19克	0.12克	0.24克	0.27克	0.24克
糖	子 叶	0.28克	0.06克	0.09克	0.12克	0.09克	0.05克
	胚轴及幼根	0.02克	0.07克	0.30克	0.43克	0.35克	0.16克

从上表中可以看出，发芽后子叶中脂肪的含量是在减少，就是在新生部分增加也很少，但总量则减少30%，糖的总量虽在初发芽时减少，随后则逐渐增加，特别是在新生长部分中更为显著，但在子叶中则仅有消耗而无增加，这显示出脂肪可以转变为糖（主要是葡萄糖）。这一转变的详细化学过程现在还不完全明瞭，只知道可能是一种氧化过程，进行时需要吸收氧气。按照C. 兀. 伊万诺夫教授的意见，这种转变过程可能采取下列的方式：



3. 蛋白质水解产物的合成过程——前面已提到储藏蛋白质的性质不同於原生质成分中的蛋白质，在幼苗的发育中，细胞数目增加了，因而也增加了原生质的总量，所以需要合成新的蛋白质。其合成所需要的物质则来自储藏蛋白质的水解产物。正与碳水化合物与脂肪相同，储藏於种子中的蛋白质在发芽时先被水解

成为氨基酸，而后转运到生长部分再合成成为构成原生质所需要的蛋白质。将种子在黑暗中发芽便可以看见，这种蛋白质的转变过程。H. H. 普里亚尼希尼河夫发现：在黑暗中发芽的苕子（B V K A）种子，萌发后 10 天的种子尚有 54 % 的蛋白质未分解；20 天后仍有 40 %；30 天后，35 %。40 天后，幼苗虽将近饿死，尚剩有 32 % 的蛋白质未经分解。这个试验证明，即使是在营养极度不良的情况下，细胞的原生质仍然保留一部分的蛋白质，但这种未经分解的蛋白质并不是储藏形态的简单蛋白质（这种形态的蛋白质在此时当然是已完全分解了），而是属于複杂蛋白质类的核蛋白质，这种性质上的变化，使说明储藏蛋白质在水解后又经过合成作用形成了新的蛋白质。

由於组成储藏蛋白质的各种氨基酸与构成原生质蛋白质的氨基酸的种类并非完全相同，所以由前者水解后所產生的氨基酸并不能完全都用於合成新的蛋白质，其不能被利用的部份便剩下来。这种多余的氨基酸，由於去氨基酶的作用而进一步被分解成为通与不含氮的化合物，所以在种子萌发时的分解产物中总发现有氮的存在。但氮在幼苗中的累积量並不大，这说明在其形成后一定马上被转变成为其他物质。这便要增加种子萌发时蛋白质转化过程的複杂性，布森哥曾指出在萌发种子中，特别是富於蛋白质的豆类，常累大量的天冬酰胺（ $\text{CO}(\text{NH}_2)$ ， $\text{CH}_2\text{OH}(\text{NH}_2)$ ， COOH ）。他推想这天冬酰胺的大量累积另是一种固定氮的方法，因为游离的氮是有毒害的。后来舒尔米証明这种化合物并不是蛋白质分解的最初产物，因为它的累积量比在种子的储藏蛋白质中所含的天冬氨酸要多的多，在未发芽的种子中，天冬氨酸不超过所含蛋白质的 20 — 25 %，但在幼苗内天冬酰胺则可以达到发芽前种子内所有蛋白质的 60 — 70 %。在比较发芽一星期和三星期的豌豆幼苗成分时，舒尔米发现最主要的氨基酸和天冬酰胺有如下表所示的量的变化：

	亮氨酸	氨酸	精氨酸	天冬酰胺
第一週	多	少許	微量	无
第三週	很少	消失	幾乎消失	很多

由這一表中可以看出，天冬酰胺的累積，特別是在發芽較晚的階段，是由其他的氨基酸量減少所致。所以天冬酰胺不僅不是水解的最初產物，而是合成的產物。這種對天冬酰胺認為是合成產物的現象，由普里厄布尼可夫的經典實驗而得到証實。當他使种子在鉍鹽溶液中萌發時，發現种子不僅以存在於种子內的氨基酸來合成天冬酰胺，同時也能以來自外界的天冬氨酸合成天冬酰胺。他與他的同事們經過了用各種不同性質的种子，在不同條件下作了多次實驗，對於此種自外界吸收氮的情況下，植物體中累積氮與天冬酰胺的問題得到如下的總結：

試 驗 條 件		產 生 結 果	
碳水化合物	光 照	天 冬 氨 酸	氮
+	—	+	—
—	—	—	+
+	+	+	—
—	+	—	+

根據以上的結果所得到的結論是：天冬酰胺能否累積是與碳水化合物的存在條件有關係，而與光照條件沒有關係，這便是說天冬酰胺是由含氮化合物與碳鏈相結合而形成的。根據這樣的結論，普里厄布尼可夫對於天冬酰胺與植物體中蛋白質的關係用下示