

高等学校教学用书

植物生理學簡明教程

下 册

Н. А. Максимов 著



人民教育出版社

高等學校教學用書



植物生理學簡明教程

下 冊

H. A. 馬克西莫夫著
劉富林 李 華 等譯
孫善澄 張永平

人民教育出版社

本書係根據蘇聯國營農業出版社 (Государственное издательство сельскохозяйственной литературы) 出版的馬克西莫夫 (Н. А. Максимов) 著“植物生理學簡明教程” (Краткий курс физиологии растений) 1948 年莫斯科第八版譯出的。原書經蘇聯高等教育部審定為高等農業學校教科書。

本書中譯本分上下兩冊出版。

參加本書翻譯工作的為東北農學院蘇聯教材翻譯室劉富林、李華、孫善澄、張永平等，參加校閱工作的為該校植物生理教研組溫士銓、張良誠等。

本書原由高等教育出版社出版。自 1960 年 4 月 1 日起，高等教育出版社奉命與人民教育出版社合併，統稱“人民教育出版社”。因此本書今採用人民教育出版社名義繼續發行。

植物生理學簡明教程

下 冊

Н. А. 馬克西莫夫著

李華等譯

人民教育出版社出版 高等學校教材編輯部
北京宣武門內大街 25 號
(北京市市刊出證登字第 2 號)

上海洪興印刷廠印刷
新華書店上海發行所發行
各地新華書店經售

統一書號 13010·285 開本 850×1163 1/32 印張 10 1/16
字數 228,000 印數 17,501—19,500 定價 (4) ¥ 0.98

1963 年 4 月財政經濟出版社初版

1967 年 2 月第 1 版 1960 年 6 月上海第 6 次印刷

下冊目次

第五章 植物體內有機物質之轉化與運輸	273
§48. 植物之化學成分。貯藏物質與結構物質。這些物質之 主要種類	273
§49. 在種子及其他植物部位中醣類最重要的代表	276
§50. 貯藏脂肪。擬脂與磷脂類。有機酸	284
§51. 貯藏蛋白質及其水解產物	288
§52. 種子發芽時，貯藏醣類與脂肪之水解。遺留這種分解之 酶類	298
§53. 發芽時貯藏蛋白質之分解、蛋白質分解酶	303
§54. 酶的一般特性及其分離和精製的方法	305
§55. 在活的植物細胞內酶的工作特性。酶作用的方向，這 方向隨着植物的遺傳性質和周圍環境影響而改變	313
§56. 發芽時的合成過程。發芽種子內醣類和脂肪類的轉變	319
§57. 發芽時蛋白質的轉變。分解和合成過程，氮和天門 冬酰胺的意義。種子發芽時貯藏物質轉變的一般情形	321
§58. 植物內蛋白質的最初合成	328
§59. 維生素、它們的特性及在動植物生活中的意義	333
60. 植物激素或生長物質。酵母活素類物質。生長素及與 其相似的物質	339
1. 有機物質在植物體內之運輸與貯藏	347

第六章 植物之呼吸	355
§62. 在植物生活中呼吸之意義及呼吸作用之本質	355
§63. 研究呼吸作用的方法。各種植物及其各部分之呼吸 強度	357
§64. 呼吸時所消耗的物質、呼吸係數	362
§65. 呼吸強度與周圍環境條件的關係	364
§66. 缺氧呼吸和酒精發酵	369
§67. 酒精發酵的酶及酒精發酵的化學本性	373
§68. 酸類——乳酸、丁酸、醋酸——的發酵及其化學本性	378
§69. 發酵與呼吸之間的發生與發展之關係、巴赫氏的生 物氧化學說	383
§70. 柏拉琴之呼吸學說及其最近的變更。呼吸之能力學	388
第七章 植物的生長和運動	395
§71. 對植物生長的一般概念。種子發芽的進程	395
§72. 各個細胞的生長及生長之組成過程。生長的三個時期：分 生期、延長期和內部分化期。細胞生長的機械作用	399
§73. 酵母活素型的生長物質對於分生生長的活化作用。 創傷激素	406
§74. 生長素類的物質是延長的生長的活化劑。關於它們 的作用的物理過程的問題	410
§75. 測量生長之方法。生長之一般法則與用數學公式來 表示它們的嘗試	415
§76. 溫度對生長的影響。基點。親熱生物	423
§77. 光對生長的影響。光之形成作用。生長之晝夜週期性	427
§78. 植物水分飽和程度對生長之影響	431

§79. 化學刺激劑對植物生長之影響。生長之刺激作用	436
§80. 植物之休眠狀態。樹木嫩枝之秋季成熟。落葉。休眠 之人工剋制法	438
§81. 種子發芽的條件	444
§82. 重力對正在生長的器官的方向之影響。向地性	448
§83. 光對正在生長的器官的方向之影響。向光性	455
§84. 向化性、向水性和向熱性	460
§85. 感夜運動和感震運動	463
§86. 植物各部分之相互作用。相關現象	468
§87. 利用插條與壓條之植物人工繁殖法。再生作用與極 性。生長素與合成生長物質對根形成之刺激作用	472
§88. 嫁接。關於接穗與砧木之相互作用的米丘林學說。無 性雜種	479
第八章 植物發育之生理學	486
§89. 高等植物正常的發育史。一次結實的與多次結實的 植物。生長與發育間之相互關係	486
§90. 植物轉向生殖的條件。克列勃斯論植物化學成分改 變的意義之學說	490
§91. 李森科關於植物階段發育之學說。關於春化期與光 照期的一般概念	493
§92. 植物通過春化階段的條件和在這時植物體內所產生 的變化。春化的農業方法,其理論根據和實踐意義。 李森科在改造植物本性方面的研究	497
§93. 植物通過發育之光照階段的條件。晝夜間光照與黑 暗期長短之影響——光週期現象	502

§94. H. П. 克連啓的年齡週期性學說及其在實踐中的應用.....	511
§95. 授粉與受精時之生理過程。花粉之發芽及花粉管之 生長。子房之脫落及其原因.....	516
§96. 果實和種子的成熟及與成熟同時進行的生物化學過 程。成熟的人工加速法.....	521
§97. 外界條件對成熟進程之影響。種子之風旱不實及其 原因。果實與種子之化學成分與地理因子之關係.....	526
第九章 植物對不良外界影響的抵抗性.....	531
§98. 低溫對植物之影響。植物組織之結冰以及這時所發 生之過程.....	531
§99. 植物具有不同的抗寒性的原因。對低溫的鍛鍊。測定 抗寒性的方法.....	534
§100. 在越冬時其他不良之影響：雪害、水澇、冰害及冬季 乾旱。抗寒性育種之生理基礎.....	540
§101. 高溫對植物之影響。耐熱性及其理化原理.....	544
§102. 水分不足對植物的影響。土壤乾旱與大氣乾旱.....	548
§103. 旱地植物體內水分狀況的特點。旱生植物、中生植物 及濕生植物.....	550
§104. 外界條件對於蒸騰器官結構的影響。植物的旱性結 構及抗旱性.....	554
§105. 人工灌溉之生理學原理.....	560
§106. 水分過多對植物之損害。沼澤植物抗水澇的原因。植 物的倒伏，倒伏的原因及其防止的方法.....	563
§107. 鹽類過多對植物之損害。鹽生植物之生理特性。作物 之抗鹽性.....	565
俄中名詞對照.....	571

第五章 植物體內有機物質之 轉化與運輸

§48. 植物之化學成分。貯藏物質與結構物質。這些物質之主要種類

要研究構成植物的化學材料及它與植物的全部生命活動密切相關的主要轉變，最好從研究種子的化學成分及其發芽時所發生的物質轉變過程開始。因為：一方面，我們能擁有較多和研究起來較便利的性質十分相同的貯藏營養物質；另一方面，十分乾燥的種子是植物的休眠部分，在這休眠部分中，所有化學的轉變或則完全停止，或則其進行的速度非常緩慢。同時在分離時，組成種子的物質並不會由於生活過程而起本質上的變化。此外，在開始發芽的種子中，最重要的是生物化學過程進行得十分旺盛；對它們作量的研究時，這種情況對我們便十分有利。最後一點好處就是：剛開始發芽時，差不多只有分解過程，後來才加上合成過程；這樣就使我們可以分開來研究這兩種過程。而研究植物成長部分的生命活動時，分開來研究它們就十分困難甚至是不可能的。其他貯藏營養物質的器官也是優良的研究對象；這些器官一方面在不宜於合成活動的冬季貯藏營養物，一方面又作為植物的無性繁殖器官，或者同時具有其他功用。比方，肉質地下莖、塊莖、鱗莖與越冬根都是這樣。

的,此外,位於木本樹幹之木質部和皮部的貯藏組織也是這樣的。

爲了研究物質轉化上的許多問題,也常常在各種培養基上培養低級的異養植物,特別是酵母和黴菌(плесневые грибы)。低等植物所引起的物質轉化十分旺盛,其速度常常很快。但實驗者能夠很容易地以各種作用去控制它們。

按其化學性質來說,貯藏在植物各種貯藏器官內的營養物質的種類是很多的,但其中只有三種是最主要的,就是醣、脂肪與蛋白質。在成分上,其中的頭兩種比較簡單,因爲它們的分子僅由三種元素(碳、氫與氧)所組成。所以它們被稱爲三元的(тройные)或無氮的化合物。蛋白質分子之成分便遠較複雜,除了上述三種元素外,我們還在其中發現氮和硫,並且常常還發現有磷。除了醣、脂肪與蛋白質之外,在貯藏器官中還有其他物質,例如:各種配醣物、磷脂類(фосфатиды)、植物鹼、有機酸等等。可是,它們的作用是比較次要的,並且我們也知道得很少;所以我們將集中注意力去研究這些主要種類的轉變;至於對其他次要種類有興趣者,則可以去參考較詳細的植物生理教程或專門的生物化學教程。

在各種植物的種子中,我們可以在這三種主要的貯藏物質中間發

種 子		油脂百分比	糖百分比
大	麻	30—35	20
亞	麻	30—35	25
向	日 葵	45—55	10
罌	粟	40—50	25
扁桃(миндаль)		40—45	20
椰子(кокосовая пальма)		65	12
蓖麻(клевещина)		60—65	15

現各種量的關係。如果我們首先來談談無氮物質時，我們就將看到：在各種植物中，脂肪和醣好像是彼此相剋制似的。那就是說：在一部分植物的種子中，脂肪佔優勢；而在另一部分植物，則醣、特別是澱粉佔優勢。由於這個關係，種子便被分為兩類：油料種子和澱粉種子。在油料種子中，油脂之含量達 30—60%。上面是在油料種子中油脂和醣的含量表(見 274 頁)。

相反的，在澱粉種子中油脂通常很少，其油脂與醣的含量如下表：

種 子		油脂百分比	醣 百 分 比
小	麥	1.3	69
燕	麥	5.3	60
蕎	麥	2.7	72
豌豆	豆	1.9	53
玉	米	5.8	66
稻		1.3	77

在農業上，人類栽種的主要是能產生澱粉種子的植物；用澱粉種子可以製成麵包和粥品；而這麵包和粥品是人類的主要食糧。

一般說來，在自然界中，油料種子植物佔優勢；在地球上，絕大多數(達 90%)植物都結油料種子。

脂肪，由於其含氧較少，和具有高度的發熱能力(關於這一點，在下面我們將較詳細地談到)，所以脂肪是較醣為集約的貯藏物質。

在種子的貯藏物質中，蛋白質經常是比較少的；它很少達到種子全重的 25%。在這方面，油料種子所含的蛋白質百分比通常較澱粉種子為大；比方，大麻含 18% 蛋白質，亞麻 23%，罌粟 19%，扁桃 22%，向日葵 30%；而小麥只有 14—18%，蕎麥 10%，玉米 10%，稻 7%。但是豆科植物的澱粉種子含有多量的蛋白質；在這方面，它們並不差於油

料種子。例如，豌豆含有 29% 蛋白質，菜豆 23%，羽扇豆達 40%，大豆達 44%。很顯然的，豆科植物的種子所以會含有這樣多的蛋白質，是與它們靠根瘤菌的活動（見上面 §43）來利用大氣中的游離氮的特性分不開的。由於在自己的生活過程中，豆科植物的氮素來源是無限的，所以它們能在種子中貯藏多量的含氮物質。

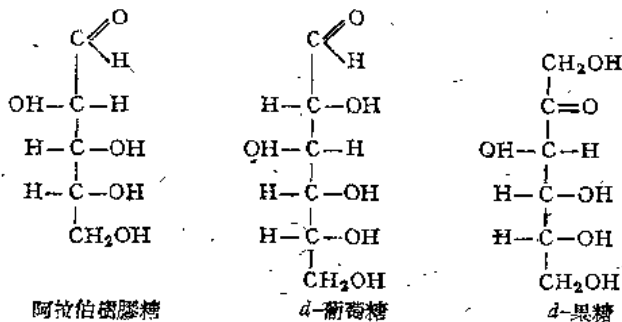
§49. 在種子及其他植物部位中醣類最重要的代表

按照 §1 所舉的分析，在黏菌（слизистые грибы）的原生質中，醣類約佔全乾重之 25%。但是在高等植物體中則不然，由於它們的細胞壁主要由纖維素所構成，並且它們的細胞差不多經常都含有澱粉及其類似物質，所以醣類通常便佔其所有物質的一半以上。碳水化合物【譯者註】是一種非常廣泛和重要的有機物質，其得名是由於：它由碳、氧與氫組成，並且後兩種元素的比例與在水中氧和氫的比例一樣，也就是說，每一個氧原子可以分得兩個氫原子。因此醣類的實驗式可用公式 $C_mH_{2n}O_n$ 表示之；在這式中，在最簡單的醣類（葡萄糖型——分子式為 $C_6H_{12}O_6$ ），C 原子的數目恰好與 O 原子的數目相等；但是在較複雜的醣類（如蔗糖—— $C_{12}H_{22}O_{11}$ ），氧原子的數目便較碳原子為少，這是因為複雜醣類由簡單醣類形成時要除去若干水分子，也即是說要除去一個（如形成蔗糖時）或者更多（如形成多醣類時）的氧原子之故。按其化學特性來說，醣類是醛醇（альдегидоспирты）或酮醇（кетоспирты），同時它分為兩大類：簡單醣類或稱單醣類（моносахариды 或 монозы）與複雜醣類或稱多醣類（полисахариды 或 полиозы），後者是由幾個單醣類的分子去水所合成的化合物。按照結合在一起的單醣分子的數目，又分為雙醣類、三醣類等。當構成多醣類的單醣分子的數目不大

【譯者註】除此處外，在本書中均譯作醣類。

時，這多醣類則仍保有爲單醣所特有的結晶性與水溶性；因此它們便常與單醣類一道被歸併到糖的一類中去。但當單醣分子很多時（六個以上），所得出的多醣類便具有膠體的性質，不能在水中形成真溶液，因爲它們的複雜分子已達到膠粒一般的大小了。植物體內的澱粉和纖維素就是這膠態多醣類中最主要的代表。

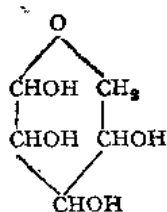
按照組成單醣的原子數目，可以分爲帶三原子的丙醣（триозы），其實驗式爲 $C_3H_6O_3$ 及丁醣（тетрозы） $C_4H_8O_4$ ，戊醣（пентозы） $C_5H_{10}O_5$ ，己醣（гексозы） $C_6H_{12}O_6$ 等。在植物中較常見的是戊醣和己醣。屬於戊醣的有木醣（ксилоза）、阿拉伯樹膠糖（арабиноза）、鼠李醣（рамноза）等；屬於己醣的有葡萄糖、果糖、半乳糖（галактоза）、甘露糖（манноза）等。通常都假定單醣的結構是一根由相當的碳原子數目所聯成的鏈，每個碳原子又聯結着氫原子和氫氧根。按照這個假定，阿拉伯樹膠糖、葡萄糖與果糖的結構可以下列結構式表示之：



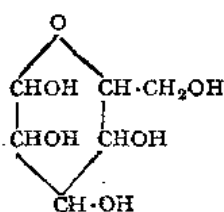
在這些同時含有醇根和醛根（葡萄糖）或酮根（果糖）的化合物中，很容易發生分子內的重新排列（перегруппировка）；發生重新排列時，碳鏈便彎曲，通過氧而接合成環狀。

於是便得到環狀的醣類，其結構可以下列結構式表示之（見278頁）。

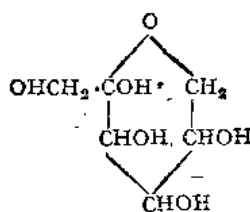
醣類的溶液普通是複雜的系統，在這些系統中，同時有環狀和非環



阿拉伯樹膠糖



葡萄糖



果糖

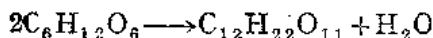
狀的糖，而非環狀的糖具有很大的能力來參加各種反應。

由於具有不對稱碳原子(асимметрические углеродные атомы)，所有自然界中的單醣類在光學上都是活動的，並且能够在溶液中旋轉光的偏極面；它們中有的是右旋，有的是左旋立體異構體(стереоизомеры)，用旋光計(поляриметр)來測定水溶液中含糖量的十分簡單的方法就是根據它們具有旋轉能力的原理的，這方法在甜菜糖的及其他類似的生產中已被廣泛地採用了。

由於具有大量的親水根 CHOH 與 CH_2OH ，單醣類和雙醣類便容易溶於水中。多醣類的大分子溶解起來便困難得多，雖然其中也有可以溶解的，例如菊糖(инулин)和肝醣(гликоген)。不過就是那些不溶於水的多醣類，如澱粉與纖維素，也顯示出其親水性是很大的；這一點表示在它們的很明顯的吸脹能力上。

葡萄糖和果糖在植物體內的分佈至為廣泛，可以這樣說：沒有一個活細胞不或多或少地含有這些已醣中的一種。我們在下面就將知道，在原生質所特有的呼吸過程中它們是原生質所必需的基本原料，此外，在許多其他最重要的生物化學過程中，它們也參加在內。

雙醣類是由兩個單醣分子合成的類酯化合物。可以下列方程式表示其形成：



由上式可見，由單醣合成雙醣時要去掉一個水分子。在植物中分佈最廣

的是蔗糖 (сахараза 或 тростниковый сахар)，這是一種雙醣，其複雜的分子由一個葡萄糖分子和一個果糖分子所組成。這種容易結晶和味道很甜的糖常貯藏在植物的各種器官中，並且可以在甜菜的根(含 20—25% 蔗糖)、甘蔗、糖槭(сахарный клён)及某些其他植物中大量地取得。在稀酸或特殊的轉化酶的作用下，蔗糖容易水解，也即是說，與水分子結合後，便平均地分解為 *d*-葡萄糖和 *d*-果糖。這過程被稱為轉化(инверсия)。

在其他的雙醣中，我們應該談一談麥芽糖(мальтоза)與纖維二醣(целлобиоза)。水解時，它們兩者都放出葡萄糖，但是在纖維二醣，其兩個葡萄糖分子間的聯繫較在麥芽糖中者要堅牢些。在植物體內，這些雙醣類普通不成游離狀態貯，但它們容易作進一步的聚合，就是說，麥芽糖形成澱粉，而纖維二醣則形成纖維素。

配醣物類(группа глюкозидов)與雙醣類非常接近，配醣物是糖與其他物質(如醇、酚、醛、酸等)的類酯化合物。在植物界，配醣物的分佈非常廣泛。特別是在貯藏器官中，我們常常可以發現它們，並且我們還可以把它們當作是特殊的貯藏物質，當發芽時，這些物質能釋放與糖相聯結的綜合物(комплекс)。苦杏仁素(амигдалин)是植物體中分佈最廣的配醣物之一，它存在於扁桃、桃、杏、李、蘋果及其他薔薇科植物的種子中。水解時，它能放出葡萄糖、安息香醛(бензойный альдегид)與氫氰酸(синильная кислота)。氫氰酸很易被除去，它使種子帶苦味。在各種樹的樹皮中，以及在羽扇豆及某些其他植物的種子中有由葡萄糖及對氫醌(гидрохинон)組成的熊葡萄葉素(арбутин)，而在很多植物的根中則有皂素(сапонины)，這皂素與水混合時能形成起泡沫的溶液，這溶液常用於醫藥和工業上(肥皂根)。因為很多配醣物都有毒和烈味，所以我們可以把它們看作是保護植物之種子及其他部分，使免為

動物所食所傷的特殊保護物質。也許，它們還能阻止種子之多汁果實中過早發芽。

人們又把配醣物分為 α -配醣物及 β -配醣物，前者右旋，而且能被酵母細胞的酶所分解；後者左旋，能被苦杏仁酶（эмulsion）所分解；而苦杏仁酶對於 α -配醣物則完全不起作用。在這兩種配醣物中間所以會產生這種差異，是因為在 α -配醣物中含有旋轉較強的葡萄糖的變異體（модификация），即 α -葡萄糖，而在 β -配醣物中則含有旋轉較弱的 β -葡萄糖之故。

作為貯藏物質來說，在植物體內，膠態的多醣類是分佈最廣的，它們的複雜分子由很多的單醣分子組成。對於植物說來，貯藏分子大而且處於膠體狀態的多醣類有這好處：它們的累積並不會過度地提高細胞中的滲透壓；而當種子逐漸乾燥時所提高的滲透壓應比多醣類的累積所提高的滲透壓更大些。在這方面，就是雙醣類亦較單醣類為優；當它們的溶液的百分比（指重量）一樣時，在單位容積內，雙醣類溶液的分子數幾乎要比單醣類溶液的分子數少 $1/2$ ，因此其所產生的滲透壓亦差不多較單醣類小 $1/2$ 。這一點也許就可以說明：為什麼在貯藏器官中，單醣類的分佈較雙醣類和多醣類的分佈要小得多。

在貯藏的多醣類中，在植物體內分佈最廣的就是澱粉，它是不溶於水的多醣，實驗式為 $C_6H_{10}O_5$ 。我們可以在兩個地方找到它，一個地方是：白天時候的葉子之同化組織，在這裏只能看到醣類的暫時累積，也即是說，那些還來不及運到莖中去的過多的同化物所形成的澱粉；另一個地方便包括種子、木質部和地下貯藏器官等，在這些部位常常稠密地充滿了澱粉，而其貯藏時間也很長。由於澱粉不溶於水，所以在細胞中它成各種形狀和各種大小的粒狀貯藏着，而每一種植物的澱粉粒的形狀和大小都是不同的。所以在顯微鏡下，憑了澱粉粒的形狀可以決定它

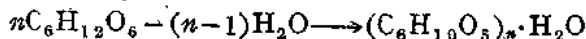
們到底屬於那一種植物，在鑑定麵粉中是否含有其他混雜澱粉時，這是最主要的方法之一（圖 96）。按其內部結構，澱粉粒是一種球狀結晶（сферокристаллы），這種球狀結晶是由很細的、彼此緊密相接和成放射狀排列的針狀結晶（或叫毛狀結晶（трихиты））所組成的。

由於碘對澱粉會引起非常敏感的顏色反應（碘能把澱粉染成暗藍色，有時則差不多成黑色），所以對澱粉作微量化學觀察時，便利用這反應。由於這個反應，在顯微鏡下，就是最小的澱粉粒我們也能清楚地窺見。

實驗式 $C_6H_{10}O_5$ 不能準確地

表示出澱粉的組成。所有測定分子量的方法都毫無疑問地表示出：澱粉的分子是非常大的，所以其分子式應寫為 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 。冰點降低法（криоскопический метод）所測定的澱粉分子特別大；各個作者所測定的 n 之大小，各有不同，從 30—2,000 左右。

澱粉屬於多醣類，在稀酸的作用下，它便糖化而產生葡萄糖，所以我們可以認為：澱粉分子是由若干葡萄糖分子去水後結合而成的；所以我們可以用下面的代表方程式來表示葡萄糖合成澱粉的過程：



而澱粉的糖化則按下式進行：

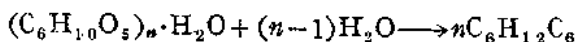


圖 96. 澱粉粒：

上 馬鈴薯的； 中 玉米與蠶豆的；
下 稻與小麥的。

這公式表示出，澱粉分子比普通以公式 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 表示者多含一個 H_2O 分子。

對澱粉作純粹的化學水解時(例如，將澱粉與稀無機酸在一起煮沸時)，便會很快地發生澱粉的完全分解，而形成水解的最終產物，即葡萄糖。這時，在普通條件下，由於水解得很快，所以我們並沒有發現其中間產物。在室內溫度下由稀酸的作用而引起的水解進行得很慢，而形成普通所謂的可溶澱粉(растворимый крахмал)。這種可溶澱粉與原來澱粉不同的地方在於：它的分子較小，因此便容易溶於水中。不過加入碘時，它們仍能變成暗藍色。

澱粉的較有次序的水解是由特種酶——澱粉酶(диастаз)——來完成的(見下 §52)。在澱粉酶的作用下，首先形成的是各種糊精(декстрины)——多醣類，這些糊精彷彿是由大的澱粉分子割裂而成的碎屑，然後形成麥芽糖——雙醣。要把麥芽糖的分子分解成兩個葡萄糖分子，便須要酸或特種酶——麥芽酶的作用。

一般人都認為：大的澱粉分子是由許多個的麥芽糖分子組成的，這些麥芽糖分子彼此相結成小鏈，這些小鏈與纖維素的小鏈很相似；至於纖維素的小鏈，我們已在 §3 談過了。但是這些小鏈比較短(每一小鏈大約有 10 個麥芽糖殘基)，並且彼此連接成銳角，因此，整個分子並不像纖維素一樣伸長呈一小鏈狀，而呈多枝狀。由於這個緣故所以纖維素和澱粉的物理特性是完全不同的。

在冷水中，澱粉是不溶解的，但能大大地膨脹起來，能吸收 40% 的水分。它能牢牢地保持這水分，甚至在空氣乾燥狀態下，它亦含有達 15% 的水。它的比重很大(1.5—1.6)，所以當澄清時，很易洗澱；因此人們也常利用這個原理來精製澱粉。

當澱粉粒在水中被加熱達 50° — 60° 或更高時，它們便大大地膨脹