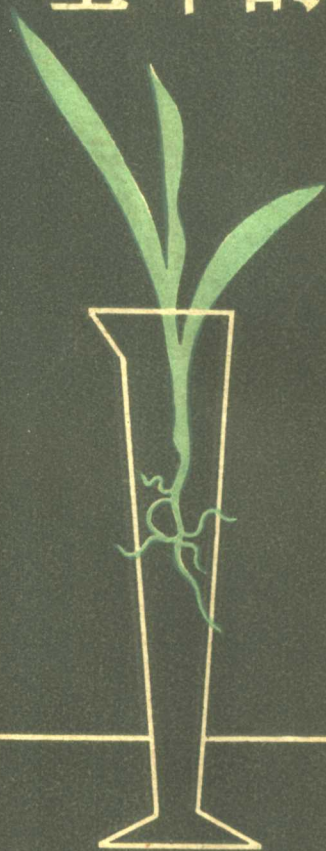


# 玉米的生物化学

斯米尔诺娃-依康尼柯娃著



农业出版社

# 玉米的生物化学

斯米尔諾娃-依康尼柯娃著

顾慰連 戴俊英 譯

于尔任 顾学华

于尔任 沈剑霞 校

农业出版社

А. И. Ермаков, М. И. Княгинчев, И. К. Мурри

БИОХИМИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

ТОМ 1

Сельхозгиз

Лененград 1958

根据苏联国立农业书籍出版社

1958年列宁格勒俄文版本选译

### 玉米的生物化学

[苏] М. И. 斯米尔诺娃-依康尼柯娃著

顾慰速 戴俊英 译

于尔任 顾学华

于尔任 沈剑霞 校

农业出版社出版

北京老钱局一号

(北京市书刊出版业营业许可证出字第106号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

农业出版社印刷厂印刷装订

统一书号 13144.152

1964年4月北京制版

1964年8月初版

1964年8月北京第一次印刷

印数 1-3,500 册

开本 787×1092 毫米

三十二分之一

字数 104 千字

印张 四又四分之三

定价 (料六) 六角

## 出版說明

《栽培植物生物化学》是植物生物化学方面的巨著。本书第一卷专门阐述粮食作物，水稻、小麦、玉米、黍、大麦、燕麦、荞麦和黑麦的生物化学方面的各种特性。第一卷由 А. И. Ермаков, М. И. Княгиничев, И. К. Мурри 主编，1958年由苏联国立农业书籍出版社出版。为适应需要，现将本书第一卷八种粮食作物的生物化学陆续翻译出版单行本。

1963年6月

## 目 录

玉米的分布、生物学特性简介及其在国民 经济中的意义 .....	1
玉米植株的化学成分 .....	4
最主要化学物质的成分和特性 .....	15
栽培条件对玉米化学成分的影响 .....	23
栽培方法对玉米化学成分的影响 .....	33
玉米各品种和亚种在化学成分上的差异 .....	50
玉米籽粒在发芽、成熟和贮藏时期各种物质的 量和质的转化 .....	64
在选种及杂交的影响下玉米化学成分的变化 .....	101
玉米的用途 .....	117
参考文献 .....	134

## 玉米的分布、生物学特性簡介及其在 国民經济中的意义

玉米在世界各国农业中的地位愈来愈重要。它在各国的播种面积見下表(表 1)。

表 1 玉米在各国的播种面积 (千公頃)

国 家	年 份	
	1934—1938	1953
美 国	30,404	29,147
加 拿 大	63	146
阿 根 庭	4,362	2,508
墨 西 哥	2,976	4,835
南 斯 拉 夫	2,672	2,409
印 度	2,233(1933—1938)	3,560(1952)
印度尼西亚	2,048	3,290
意 大 利	1,458	1,268
阿联(埃及)	649	847
土 耳 其	442	619
法 国	342	372
荷 兰	2(1938)	11(1951)

苏联第六个五年計划結束时，玉米的播种面积将增加到 2,800 万公頃。

苏联玉米的播种面积主要分布在乌克兰、白俄罗斯、格魯吉亚、卡查赫斯坦、烏茲別克斯坦、莫尔达維亚等地。由于青

貯品種的運用，玉米播種面積有了很大的增加。

玉米是播種期較晚的作物。它的發芽溫度應不低於6°C。玉米植株對霜凍的反應敏感。

玉米是異花授粉作物，其自花授粉率極低(1—5%)；雌雄同株異花。雄花(圓錐花序)與雌花(果穗)處在同一植株的不同花序上。這種作物屬於“古老的”谷類作物，屬於禾本科(Gramineae)，玉蜀黍屬(*Zea* L.)，玉米種(*Zea mays*)。一年生植物，高50厘米到6—9米。

根據大多數學者的意見，玉米的原產地是美國。

按照茹可夫斯基(П. М. Жуковский, 1950)的意見，在分類上，玉米種(*Z. mays*)由在形態特征上和用途上差別不大的八個亞種組成。

在玉米籽粒中，不同類型的多糖和不同質性的澱粉(直鏈澱粉和支鏈澱粉)的比例是區別玉米各亞種的主要化學特征。

這些特征的變異和玉米亞種原產地的條件有密切的關係。茲將現有文獻中有關玉米各亞種的多糖數量及澱粉的性質成分的分類資料引述如下：

1. 馬齒型(*Z. m. indentata*, Sturt) 籽粒胚乳的側面透明，其餘的部分是疏松的粉質。籽粒的澱粉含量變幅為60—63%。澱粉中有21%的直鏈澱粉和79%的支鏈澱粉。起源於墨西哥的中部和南部。馬齒型玉米品種是最有價值的。在生產上已被廣泛的推廣。

2. 燧石型(*Z. m. indurata*, Sturt) 胚乳的內部為粉質，而外部是透明的，這部分細胞中充滿了多稜澱粉粒，在這種澱粉粒之間則充滿了蛋白質。籽粒的澱粉含量變幅為56—75%。澱粉中含有21%的直鏈澱粉和79%的支鏈澱粉。本亞種分布廣泛。

3. 甜玉米 (*Z. m. saccharata*, Sturt) 在玉米各亚种中, 本亚种的胚乳含淀粉量最少, 仅为25—37%, 但含有很多水溶性多糖, 其含量为19—31%。碘反应呈浅红褐色。淀粉中的直链淀粉含量达60—98%, 而支链淀粉仅2—40%。籽粒干燥后, 其整个表面明显的皱缩。分布不广, 为其第二特征。

4. 爆裂型 (*Z. m. everta*, Sturt) 胚乳透明, 几乎完全为角质淀粉粒组成。淀粉含量达62—72%。在淀粉中有23%为直链淀粉, 77%为支链淀粉。显然这是一种古老的亚种, 栽培极少。本亚种在苏联被称为稻米型玉米 (Рисовая кукуруза)。

5. 粉质型 (*Z. m. amylaceae*, Sturt) 籽粒的胚乳为疏松的粉质, 基本上由圆形的小淀粉粒组成。淀粉含量为55—80%; 由20%的直链淀粉和80%的支链淀粉组成。这是栽培型玉米中最古老的亚种。

6. 蜡质型 (*Z. m. ceratina*, Kulesh) 籽粒外部的硬度不亚于爆裂种的透明胚乳。胚乳淀粉完全由角质淀粉粒组成。籽粒中的淀粉含量达60%。根据淀粉成分的性质, 这种亚种和其它亚种的显著区别在于它含有100%的支链淀粉, 而完全没有直链淀粉。遇碘液呈紫红色。由于这种淀粉的物理化学特性, 该亚种具有很大的生产意义。蜡质玉米的起源是次生的, 它不是起源于美洲, 而是起源于亚洲东部。

7. 甜粉型 (*Z. m. amyleo-saccharata*, Sturt) 是中间类型的亚种, 在苏联分布不广。

8. 有稃型 (*Z. m. tunicata*, A. Saent-JL) 是少见的亚种, 其特征为籽粒有稃包住。在栽培上不用。

在生产上应用最广的品种是马齿型、燧石型、粉质型和甜玉米的品种。



玉米的价值取决于它在食用上、工业上和飼用上的品质。

在食用方面，玉米的籽粒被煮熟食用与制成罐頭。玉米粉可以掺入面粉中制面包，磨碎的玉米粒可以做粥，此外玉米还可以做成苞米花。在工业上可作淀粉和酿酒的原料。在1937年，有40.7%的淀粉制品是用玉米籽粒加工的〔西皮亚金等(A. C. Сипягин), 1950〕。在玉米加工中还能获得有价值的副产物。由胚可得到食用与工业用的油脂。在生产抗生素时，籽粒浸湿后的浸出物可作为培育白霉菌的培养基。在畜牧业特别是在养猪业中，玉米也起着主要的作用。同时还可以作为牛的飼料。在美国，90%以上的玉米用于畜牧业作为飼料，其中半数以上用来养猪。

## 玉米植株的化学成分

**主要物质的变化幅度** 植株的各种器官如籽粒、胚乳、胚、穗軸、茎、叶、苞叶和花絲在工业和农业上都能被利用。因此，了解这些器官的化学成分及其因栽培条件而引起的变化极为重要。

决定玉米植株經濟价值的最主要的物质是蛋白质、脂肪、淀粉和各种糖。这些物质的分配，在植株上不同的器官内是不一样的，而且即使在同一器官中，在不同的阶段也发生变化。茲将玉米植株各器官中最主要的营养物质的变化幅度列于表2。表中的蛋白量是以总氮乘上系数6.25而計算出的。

**籽粒的化学成分** 除了表2内的物质之外，玉米的籽粒中还含有1.5—5%的糖，1.0—6.0%的糊精，7%的多縮戊糖。在含有大量油分的种子中，含有1.0—1.3%的硬脂酸

表 2 玉米植株不同器官中主要营养物质含量的变化

(以干物质的%計算)

植株器官	粗蛋白 (N × 6.25)	脂 肪	淀 粉	灰 分	纤 维 素
籽 粒	6.3(4.9) — 19.7(23.6)	3.2(1.0) — 6.4(15.3)	60.9—75.6	0.91—2.1	1.68—2.69
胚 乳	7.0—11.2	0.61—0.73	77.1—84.0	0.31—0.79	2.56—2.43
胚	14.0—26.0	17.2—56.8	1.5—5.5	7.3—10.6	2.4—5.2
叶	12.8—22.1	4.1(2.4)—5.3	2.1—5.3	6.2—12.4	23.7—30.7
茎	5.8—14.7	2.6—7.0	2.0—6.3	5.6—8.6	24.5—31.8
茎叶总计*	8.9—15.1	—	1.4—2.3	4.8—8.4	21.0—28.0

\* 根据列宁格勒地区玉米开花期的黄料。

精和固醇；还含有0.82%的磷，其中0.27%为植物磷脂的磷。

在玉米籽粒的灰分中，大约有 3/4 为  $K_2O$  和  $P_2O_5$  (26—38%的 $K_2O$ 和40—50%的 $P_2O_5$ )、14—18%的  $MgO$ 、1—3%的  $CaO$ 、0.5—5.0%的 $SiO_2$ 以及少量的 $SO_3$ 、 $Na_2O$ 、 $Fe_2O_3$  和 $Al_2O_3$ 。在灰分中也同时发现微量元素  $Cu$ 、 $As$ 、 $Ni$ 、 $Co$  以及  $Au$ ，后者在 100 克中含有 0.1 毫克[奈梅思(Nemec), 1936]。在 100 克籽粒的灰分中，同时也找到了0.16—0.18毫克的溴和0.065—0.085%的氯。

在玉米的籽粒中含有各种不同的维生素。在黄玉米的籽粒和面粉中富含维生素 A 元；在红色籽粒中含的比较少，白玉米则完全没有[弗来普斯(Fraps), 1931]。霍奇和特劳斯特(Hauge a. Trost, 1930)在遗传方面的研究证实了这一点，即维生素 A 元与黄色胚乳有关。艾瑟冷、费勒斯和依斯克(Esselcn, Fellers a. Isqur, 1937)也得出了同样的研究结果。根据摩里(И. К. Мурри, 1949)的资料，黄玉米种子中维生素 A 元的含量，在每 100 克风干物质中变动于 0.3—0.9

毫克之間，而在白玉米種子中，則含量甚微。

弗來普斯和凱米勒 (Fraps a. Kemmerer, 1941) 在研究了 22 個黃玉米樣本的色素成分之後，發現在其中存在着一系列具有生物活性的類胡蘿蔔素，其組成如下：23.7% 的  $\alpha$ -胡蘿蔔素，3.5% 的  $\beta$ -胡蘿蔔素，5.6% 的 K-胡蘿蔔素，43.4% 的玉米黃素，在總量中還有 17.3% 的非玉米黃素。其他研究者們 [薩達那和阿赫邁德 (Sadana a. Ahmad), 1946] 也得到了關於黃玉米籽粒的類似資料。

在玉米籽粒中，具有生物活性的類胡蘿蔔素含量的變動取決於栽培地區的条件。根據摩里 (И. К. Мурри, 1957) 的資料，當玉米逐步推向東南地區種植時，其結果總是所合成的具有生物活性的類胡蘿蔔素逐步減少；在庫班試驗站所積累的類胡蘿蔔素比烏茲契莫斯克試驗站的少，而在中亞細亞地區試驗站則比庫班試驗站少；至於類胡蘿蔔素的成分、性質則變化不大。

維生素 B 屬是極為多種多樣的。在粉質玉米和甜玉米的胚乳中存在着核黃素、維生素 B<sub>6</sub> (泛酸)\*、尼克酰胺、硫胺素 (維生素 B<sub>1</sub>)、肌糖 (即肌醇，纖維糖，環己六醇)、胆鹼和促維生素 (即俾奧汀，維辛素)。以上物質在玉米籽粒中的分布數量見表 62 [梯斯 (Teas), 1954]。

波沃洛茨卡婭 (К. Л. Поволоцкая, 1955) 發現，在植株中，有維生素 B<sub>2</sub> (核黃素) 和以本身的穩定性著稱的蛋白質相結合的新類型。

作者列舉了玉米籽粒中不同類型核黃素的含量如下 (微

---

\* 原文為維生素 B<sub>6</sub> (泛酸)，按維生素 B<sub>6</sub> 不是泛酸，泛酸是 B<sub>5</sub>，恐原書有誤——譯者注。

克/克)；游离的及与蛋白质结合不稳固的核黄素为 1.4，与蛋白质紧密结合的核黄素为 4.4，总含量为 5.8。

在美国不同地区研究了 25 个玉米样本后表明：在一公斤玉米籽粒中存在着维生素 B<sub>1</sub> 4.9 毫克，维生素 B<sub>2</sub> (核黄素) 1.02 毫克，尼克酰胺 6.42 毫克 [萊薩卡等 (B. C. Ray Sarkar), 1951]。在六个杂交种玉米样本中，泛酸的含量变动于 4.6—5.6 微克/克之間 [亨特等 (Hunt), 1952]。

在黄玉米籽粒的醚浸出液中发现了维生素 E [巴納特·希优 (Barnet Sure), 1924]。维生素 E 在玉米胚油中的含量达到 0.230% [捷諾維耶夫 (А. А. Зиновьев), 1952]。在新鲜的未成熟种子中，以及在成熟的种子中还含有微量的维生素 D 与 C，它們在儲藏时很快地便被破坏了。

在不同成熟度的玉米种子中，在叶和幼苗中找到了各种不同的酶群：酯酶 (磷酸酯酶和脂肪酶)；糖酶 (麦芽糖酶， $\alpha$  与  $\beta$  淀粉酶，細胞解糖酶)；从碳水化合物代谢的各种酶中得到了磷酸化酶。

酶的活性与种子的成熟阶段和幼苗的年龄有关，随着种子的成熟和幼苗的发育，酶的活性显著降低，当籽粒发芽时活性又重新加强 [海史根斯 (Haskins), 1955；高立克 (М. Г. Голлик), 1955；貝恩斯坦 (Bernstein), 1943；克列多維奇 (В. Л. Кретович), 1954；李西津 (Д. И. Лисицын), 1937 等]。

此外，在玉米幼苗中发现两种酰胺酶，这两种酶是实现天门冬酰胺和谷氨酰胺的酰胺基的水解分离的，并且使其形成氨及相应的二羧基氨基酸。而在幼小的幼苗中則含有更活跃的酰胺酶 [克列多維奇 (В. Л. Кретович)；叶甫斯捷涅耶娃 (З. Г. Евстигнеева)；馬卡連柯 (М. М. Макаренко), 1954]。

**胚的化学成分** 胚是玉米籽粒工业加工的有价值的副产物。胚占整个籽粒重量的12—20%，有时甚至达到22%。

胚的价值在于有很高的含油量，其数量变动于17.2%到54.2%之间[米勒(Miller), 1951]。胚含有14.0—26.0%的蛋白质物质[许尔兹等(Schulz), 1949], 35—50%的无氮浸出物, 2.4—5.2%的纤维素, 7.3—10.6%的灰分(与干物质相比的数字)。同时还找到了甘油脂、磷脂、谷固醇以及包含着戊糖和肌醇磷酸的甙类、结晶的蛋白质水解产物、胍(亚氨基甲二胺)和微量的谷胺酰胺。

斯米尔诺娃(М. И. Смирнова, 1931)的资料指出, 随着品种的不同, 玉米籽粒胚中蛋白质和油分的含量将变动于以下的范围内(表3)。

表3 在玉米籽粒的胚和胚乳中蛋白质与油的含量

品 种	以干物质的%计算				以整个籽粒计算的重量(%)	
	胚 乳		胚		胚 乳	胚
	油	粗蛋白	油	粗蛋白		
粉质型						
Гиккори-Кинг	0.73	7.06	40.32	18.88	89.2	10.7
Айвори-Кинг	0.73	9.81	43.07	19.31	87.3	12.6
燧石型						
V. Vulgata	0.61	11.25	35.38	20.18	89.6	10.3
V. Teucodor	0.64	9.93	41.03	17.72	86.8	13.1

玉米籽粒的胚比其它部分含有更多的灰分元素。根据布隆姆斯基(И. Д. Буромский, 1926)的资料, 籽粒各部分灰分元素的含量如下(表4)。

因此, 胚含有其发芽时所必需的各种物质。在胚中储存了大量的油、含氮物质和无机盐类; 而在无机盐中含有特别多

表 4 在玉米籽粒的不同部分中灰分的成分

籽粒部分	灰分 总量	其 中						
		SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
种 皮	1.71*	0.36	0.35	0.04	0.16	0.04	0.03	0.45
胚 乳	0.26	0.05	0.13	0.002	0.03	0.01	0.13	—
胚	8.23	1.58	3.55	0.66	0.56	0.05	2.04	—

\* 数字可能有誤——譯者注。

的磷酸盐和鈉盐。

在比較玉米胚和小麦胚中蛋白质的生物学价值后指出，玉米只含有很少的种种芳香属氨基酸和亮氨酸，但是在布洛克和包林(Block a. Bolling, 1944)的种种試驗中，这两种蛋白质却能 and 通常的动物蛋白质很好的保持平衡。

这些資料說明，玉米的胚無論对于玉米植株本身，或者是作为工业加工的有用原料，都具有重要的意义。

**花粉和花絲的化学成分** 由于花粉化学成分对受精作用的重要性，因此研究它就具有特殊的意义。研究表明，花粉的成分包含有：粗蛋白质 14.38%、无氮浸出物 3.37%、淀粉 16.2%、糊精 0.8%、非还原糖 0.5%、多缩戊糖 5.73%、粗纖維素 5.12%、油 1.55%、灰分 1.79% 和水分 14.4%。

在磷脂中，非結晶形的有 1.94%，結晶形的为 0.67%，肌醇为 0.83%，胆碱为 0.34%，还有微量的三十醇。此外还有熔点为 88°C 的植物固醇—軟脂酸酯 (Эфир фитостерин-пальмитиновый)；熔点为 136°C 的 C<sub>30</sub>H<sub>62</sub>O 醇。在油中有 25% 是熔点为 121—154°C 的植物固醇的非皂化混合物；在醚浸出物中有 14% 的 C<sub>29</sub>H<sub>60</sub> 和 14.4% 的熔点为 125—126°C 的植物固醇。

每 100 克鮮重的玉米花粉中，含有 2.72 毫克的类胡蘿卜

素,以及 0.98 毫克的胡蘿卜素[列別杰夫 (С. И. Лебедев), 1949]。

淀粉类和蔗糖类的碳水化合物是花粉中的主要儲存物质。不同品种的玉米花粉的化学成分是不同的 [安德逊和寇恩 (Anderson a. Kuln), 1923; 表 5]。

表 5 玉米不同品种花粉的化学成分  
(以干物质的%計算)

物 质	黄色馬齿型	白色燧石型	爆 裂 型
粗 蛋 白	28.31	27.68	24.06
淀 粉	11.07	19.04	18.03
还 原 糖	3.50	5.38	4.95
蔗 糖	9.09	2.97	14.18
多 缩 戊 糖	10.60	—	—
粗 纤 維	5.35	—	—
油	1.48	—	—
灰 分	3.46	—	—

分析花粉的灰分成分后得知, 鉀和磷的含量超过其它所有的元素, 鉀的含量达35.58%, 磷达18.92%(表 6)。

表 6 黄色馬齿型玉米花粉的灰分含量  
(以干物质的%計算)

P	S	Cl	SiO <sub>2</sub>	Ca	Mg	K	Na	Fe	Al
18.92	0.69	0.80	3.76	1.02	4.60	35.58	0.69	0.25	0.22

上述各品种花粉化学成分之差异, 在以各种花粉进行品种間异花授粉时, 有重要的生物学意义。

在整个受精过程中花絲的化学成分也具有显著的作用。关于这一点, 可以从花絲中存在着很多积极参与物质代謝的

維生素來加以証實。花絲的化學成分以其成熟度為轉移而有變化[蘭納恩、坦納和普菲弗(Lanen、Tanner a. Pfeifer), 1948;表7]。

表 7 在成熟過程中不同玉米品種花絲的化學成分

(近似分析的平均資料)

成熟時期	水分 (%)	以干物質的 % 計算				
		蛋白質	油	灰分	纖維素	碳水化合物
早期	70.9	18.5	5.8	4.5	22.8	48.4
後期	54.6	17.1	4.3	4.6	18.5	55.5
整個籽粒變黃	10.5	10.4	5.0	1.4	2.1	81.1

維生素的含量變化如下(表8)。

表 8 玉米花絲在成熟過程中維生素含量的變化(微克/克)

成熟時期	維生素 B <sub>2</sub>	尼克酰胺	泛酸	維生素 B <sub>6</sub>	維生素 B <sub>1</sub>	胡蘿蔔素
早期	6.5	58.0	23.0	3.9	6.1	—
後期	9.4	62.5	22.8	3.0	8.8	—
整個籽粒變黃	1.1	21.7	9.1	7.4	5.4	1.1

霍歐納和斯尼林(Hoener a. Snelling, 1940)的研究指出,在花絲組織中進行的生物化學過程與受精過程有關。作者指出,四個玉米近親授粉單系的花絲,其化學成分不同於未授粉的同樣的單系。授過粉的單系其花絲含有較多的蛋白質和最少的水分百分數(表9)。

在所研究的玉米單系中,汁液中氫離子濃度(pH)的變化是沒有規律的,有兩個單系幾乎沒有看到變化,一個表現增大,而第四個則相反,汁液中的氫離子濃度降低。在兩種



表 9 授粉后在四个玉米单系的花丝中化学成分的变化

单 系	规定的指标	K <sub>4</sub>	317	51	540
未 授 粉	} 蛋白质 (%)	13.97	20.97	14.72	14.13
		15.0	22.07	15.06	15.22
未 授 粉	} 干物质 (%)	10.71	91.82	88.63	89.86
		10.94	91.33	87.10	89.02
未 授 粉	} 汁液之 pH	5.13	5.43	5.12	5.18
		5.10	5.41	5.24	4.75
未 授 粉	} 汁液之 n <sub>D</sub> <sup>20</sup>	1.3420	1.3440	1.3450	1.3422
		1.3435	1.3440	1.3469	1.3425

情况中授粉都没有使花丝汁液的折射系数引起很大的变异。因此，如同资料所表明的那样，花丝化学成分的变化大小取决于玉米原始样本和花丝本身的成分。

叶、茎和果穗的化学成分 地上营养器官是玉米植株整个重量中的主要部分。

玉米植株各器官化学物质的分配，可以维塞 (Weiser, 1913) 的资料来加以说明 (表10)。

表 10 玉米植株各部分的化学成分  
(以干物质的%计算)

植 株 部 分	水	粗蛋白	纯蛋白	氮	灰分	醚浸出物	粗纤维	无氮浸出物
叶: 茎上的叶	18.40	6.13	5.42	0.71	10.43	1.45	24.40	39.19
苞 叶	32.39	3.09	2.42	0.67	2.72	1.03	20.34	40.43
茎	50.06	2.28	1.29	0.99	2.82	0.79	17.08	26.42
雄 穗	12.45	6.10	5.20	0.90	7.24	1.87	29.00	43.28
果 穗	47.11	1.64	1.35	0.29	1.00	0.36	18.50	31.39
种 子	30.05	7.85	7.43	0.42	1.11	3.15	1.92	55.92

根据李西津 (Д. И. Лисицын, 1937) 的资料, 叶片中含有