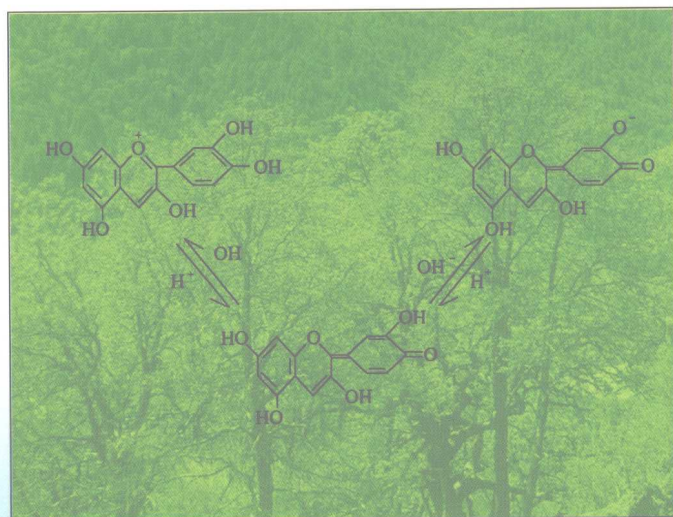


东北林业大学出版基金资助出版
全国高等林业院校试用教材

植物化学

Z H I W U H U A X U E

孙中武 编著 李坚 主审



东北林业大学出版社



植 物 化 学

孙中武 编著 李 坚 主审

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

植物化学/孙忠武编著. —哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2001.4

ISBN 7-81076-155-2

I. 植... II. 孙... III. 植物学: 生物化学 IV. Q946

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 22719 号

责任编辑: 崔兆玉

封面设计: 曹 晖



NEFUP

植物化学

Zhiwu Huaxue

孙忠武 编著

李 坚 主审

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

哈尔滨市工大节能印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 20.75 字数 478 千字

2001 年 4 月第 1 版 2001 年 4 月第 1 次印刷

印数 1-1 000 册

ISBN 7-81076-155-2

Q·87 定价: 29.00 元

主 编 孙中武

副主编 尹洪滨 范兆廷 高海钰

主 审 李 坚

编写说明

本教材是按照全国高等林业院校野生动植物资源管理类教学指导委员会“九五”教材建设规划而编写的全国高等林业院校统编教材。根据 1995 年林业部野生动植物资源管理类教学指导委员会“面向 21 世纪全国高等林业院校野生动植物资源管理类教学工作会议”精神，植物化学被列入野生植物资源开发与利用专业的主干课，为专业基础课。

《植物化学》共 11 章，按章节分别介绍了植物体中 11 大类有效化学成分用途、分布、化学结构、物理化学性质、提取、分离、鉴定的方法等内容。本教材为高等林业院校本、专科学生以及研究生的教科书，也可供专门从事与植物化学相关工作的教师和科研技术人员参考使用。

限于水平，欠妥和疏漏之处难免，恳请读者指正。

编者

2000.11.28 于哈尔滨

目 录

绪 论	(1)
第一章 水和无机元素 (Water and Inorganic elements)	(2)
第一节 水	(2)
一、水的作用	(2)
二、植物样品中水分的测定	(2)
第二节 无机元素	(3)
一、无机元素与植物生长的关系	(3)
二、无机元素与人类生存的关系	(11)
三、无机元素的检测	(14)
第二章 有机酸类 (Organic acids)	(18)
第一节 概述	(18)
第二节 有机酸的分类及化学结构	(19)
一、脂肪族有机酸	(19)
二、芳香族有机酸	(20)
三、萜类有机酸	(20)
第三节 有机酸的分布与用途	(21)
一、脂肪族有机酸的分布与用途	(21)
二、芳香族有机酸的分布与用途	(30)
第四节 有机酸的提取和分离	(30)
一、有机酸的一般性质	(30)
二、有机酸的提取和分离方法	(31)
三、有机酸提取分离实例	(32)
第五节 有机酸的定性定量分析	(33)
一、有机酸的定性检测方法	(33)
二、有机酸的定量检测方法	(39)
第三章 糖类 (Saccharides)	(49)
第一节 糖的化学结构	(49)
一、单糖类	(49)
二、单糖的衍生物	(52)
三、低聚糖类	(52)
四、多聚糖类	(55)
第二节 糖类的性质	(58)
一、物理性质	(58)

二、化学性质	(59)
第三节 糖类的提取与分离	(61)
一、多糖的提取	(62)
二、多糖的分离	(62)
三、多糖的干燥	(63)
四、多糖的精制	(63)
第四节 糖类的鉴别	(64)
一、糖类的一般试验	(64)
二、醛糖与酮糖的区别试验	(65)
三、五碳糖与六碳糖的区别试验	(65)
第五节 糖类含量的测定	(66)
一、可溶性糖的测定	(66)
二、五碳糖含量的测定	(66)
三、糖与淀粉的测定	(67)
第四章 甙类 (Glycosides)	(71)
第一节 概述	(71)
一、甙类的定义	(71)
二、甙类的结构	(71)
三、甙类的分布	(71)
四、甙类的性质	(71)
五、甙类的提取与分离	(73)
六、甙类的鉴定	(73)
七、甙的分类	(75)
第二节 氰甙类	(75)
一、氰甙类的结构	(76)
二、氰甙类的性质	(76)
三、氰甙类的鉴定	(78)
四、氰甙类的提取与分离	(78)
五、氰甙类的含量测定	(79)
第三节 酚甙类	(79)
一、酚甙类的结构与性质	(80)
二、酚甙类的定性鉴别	(81)
三、酚甙类的提取方法	(81)
第四节 黄酮类化合物及其甙类	(82)
一、黄酮类的基本结构与分类	(82)
二、黄酮类化合物及其甙类的性质	(94)
三、黄酮类化合物及其甙类的提取与分离	(98)
四、黄酮类化合物及其甙类的鉴定	(100)

第五节 蒽醌类化合物及其甙类	(101)
一、蒽醌类化合物的化学结构	(101)
二、蒽醌类化合物的性质	(104)
三、蒽醌类化合物及其甙类的提取与分离	(105)
四、蒽醌类化合物及其甙类的鉴定	(106)
第六节 香豆素及其甙类	(108)
一、香豆素类的基本结构类型	(108)
二、香豆素及其甙类的性质	(111)
三、香豆素及其甙类的提取与分离	(112)
四、香豆素及其甙类的鉴定方法	(113)
第七节 甾类化合物及强心甙类	(114)
一、甾类化合物概述	(114)
二、强心甙类	(116)
三、强心甙的提取分离方法	(120)
第八节 皂甙类	(122)
一、皂甙的化学结构	(122)
二、皂甙的性质	(131)
三、皂甙的鉴别	(131)
第五章 氨基酸、多肽、蛋白质和酶 (Amino acids, Polypeptides, Proteins and Enzymes)	(133)
第一节 概论	(133)
第二节 氨基酸	(133)
一、氨基酸的基本结构和一般性质	(134)
二、氨基酸的分类及其化学结构	(137)
三、必需氨基酸与非必需氨基酸	(139)
四、非蛋白氨基酸	(140)
五、氨基酸的制备、分离	(141)
六、氨基酸的定性、定量分析	(143)
第三节 多肽和蛋白质	(147)
一、概述	(147)
二、蛋白质的分类	(148)
三、蛋白质的重要性质	(150)
四、蛋白质的分离和纯制	(153)
五、蛋白质的定性定量分析	(154)
六、植物体中蛋白质资源的开发和应用	(155)
第四节 酶	(159)
一、概述	(159)
二、酶的分类和命名	(160)

三、酶的分离、提纯和鉴定·····	(161)
四、同工酶·····	(163)
五、植物体中各种酶类的开发利用·····	(164)
第六章 脂质类 (Lipids) ·····	(168)
第一节 概述·····	(168)
第二节 脂质的分类与化学结构·····	(169)
一、根据脂质的化学组成分类·····	(169)
二、根据脂质分子中脂肪酸的分布情况分类·····	(170)
三、根据油脂的性质分类·····	(172)
第三节 油脂·····	(173)
一、油脂的分布·····	(173)
二、油脂的用途·····	(174)
三、油脂中的脂肪酸和固醇类成分·····	(174)
四、油脂的性质·····	(177)
五、油脂的品质鉴别和定量分析·····	(178)
六、油脂的提取和制备方法·····	(183)
七、主要植物油脂与应用·····	(185)
八、植物油脂开发利用·····	(190)
第四节 蜡类·····	(193)
一、概述·····	(193)
二、重要蜡类化合物·····	(193)
第七章 挥发油类 (Volatile oils) ·····	(195)
第一节 概述·····	(195)
一、挥发油的定义·····	(195)
二、挥发油的分布·····	(195)
第二节 挥发油的组成成分及其化学结构·····	(195)
一、脂肪族化合物类·····	(195)
二、脂环族化合物类 (萜类)·····	(196)
三、芳香族化合物类·····	(206)
四、酯类·····	(208)
第三节 挥发油的性质·····	(209)
一、物理性质·····	(209)
二、化学性质·····	(209)
第四节 挥发油的提取与测定·····	(210)
一、提取方法·····	(210)
二、挥发油的含量测定·····	(211)
第五节 挥发油组成成分的分离·····	(212)
一、分级分馏法·····	(212)

二、化学分离法·····	(214)
三、层析法·····	(216)
第六节 天然香料·····	(217)
一、概述·····	(217)
二、重要的天然香料·····	(218)
第八章 维生素 (Vitamin) ·····	(221)
第一节 概述·····	(221)
一、维生素的一般概念·····	(221)
二、维生素缺乏症的原因·····	(221)
三、维生素拮抗物·····	(222)
四、维生素过多症·····	(222)
五、维生素分类与命名·····	(223)
第二节 各论·····	(226)
一、维生素 A ·····	(226)
二、维生素 D ·····	(228)
三、维生素 E ·····	(230)
四、维生素 K ·····	(231)
五、维生素 B ₁ ·····	(233)
六、维生素 B ₂ ·····	(234)
七、维生素 B ₃ ·····	(236)
八、维生素 P. P. ·····	(238)
九、维生素 B ₆ ·····	(239)
十、维生素 B ₇ ·····	(241)
十一、维生素 B ₁₁ ·····	(242)
十二、维生素 B ₁₂ ·····	(243)
十三、维生素 C ·····	(245)
第三节 维生素的检测分析·····	(247)
一、维生素检测分析的目的·····	(247)
二、维生素检测分析的方法·····	(248)
三、维生素检测分析实例·····	(249)
第九章 鞣质 (Tannin) ·····	(254)
第一节 概述·····	(254)
一、鞣质的定义·····	(254)
二、鞣质的分布·····	(254)
三、鞣质的用途·····	(254)
第二节 鞣质的分类及其化学结构·····	(255)
一、可水解鞣质类·····	(255)

二、缩合鞣质类·····	(259)
第三节 鞣质的通性·····	(261)
一、一般物理性质·····	(261)
二、一般化学性质·····	(262)
第四节 鞣质的提取与分离·····	(263)
一、鞣质的提取·····	(263)
二、分离精制·····	(263)
第五节 鞣质的含量测定·····	(264)
一、滴定法·····	(264)
二、比色法·····	(265)
第十章 生物碱类 (Alkaloids)·····	(266)
第一节 概述·····	(266)
一、生物碱定义·····	(266)
二、生物碱的分布·····	(266)
第二节 生物碱的一般性质·····	(267)
一、一般物理性质·····	(267)
二、化学性质·····	(268)
第三节 生物碱的提取和分离·····	(269)
一、总生物碱的提取·····	(270)
二、生物碱的分离·····	(271)
第四节 总生物碱的含量测定·····	(272)
一、提取·····	(272)
二、纯化·····	(273)
三、滴定·····	(273)
第五节 生物碱的分类及其代表性生物碱·····	(274)
一、有机胺类生物碱·····	(274)
二、吡咯衍生物类生物碱·····	(277)
三、吡啶衍生物类生物碱·····	(279)
四、莨菪烷衍生物类生物碱·····	(281)
五、喹啉衍生物类生物碱·····	(285)
六、异喹啉衍生物类生物碱·····	(285)
七、吲哚酮衍生物类生物碱·····	(293)
八、吲哚衍生物类生物碱·····	(293)
九、咪唑衍生物类生物碱·····	(296)
十、喹唑酮衍生物类生物碱·····	(296)
十一、嘌呤衍生物类生物碱·····	(297)
十二、甾体生物碱类·····	(297)
十三、萜生物碱类·····	(299)

十四、大环生物碱类·····	(300)
十五、其他类型生物碱·····	(301)
第十一章 植物色素 (Phytochrome) ·····	(302)
第一节 脂溶性色素·····	(302)
一、叶绿素·····	(302)
二、类胡萝卜素·····	(304)
三、类黄酮·····	(306)
第二节 水溶性色素·····	(308)
一、化学结构·····	(309)
二、主要花色素的结构式·····	(309)
三、性质·····	(309)
四、提取和纯化·····	(310)
五、定性和定量分析·····	(311)
参考文献·····	(317)

绪 论

一、植物化学的涵义与研究内容

植物化学是应用化学的理论和研究方法研究植物体中有效化学成分的一门科学。

植物化学系统地讲述植物体中各类可被开发利用的有效化学成分（水及无机元素、有机酸、糖类、甙类、脂类、挥发油、氨基酸、蛋白质、酶类、维生素、鞣质、生物碱、色素等）的用途、分布状况、化学结构、物理和化学性质，根据其结构特点和性质，设计合理的提取分离方法，将所需要的化学成分从植物体中提取分离出来；通过定性、定量分析加以鉴定，研究其应用价值，使其造福人类。

二、植物化学的发展

植物化学和其他自然科学一样，它的发生和发展都是由生产实践和科学试验所决定的，随着生产和科学研究的需要而向前发展。它也经历了由认识→实践→再认识→再实践→应用的过程。

早期的植物化学与我国历史悠久的中草药学密不可分，《黄帝内经》、《神农本草经》、《金匱要略》、《本草纲目》、《植物名实图考》等均详实地记载了我国人民对植物及其有效化学成分的认知、领悟与应用。随着历史的发展，人类对植物资源，尤其是植物体内的有效化学成分的认知和应用也日益增多。例如，利用鞣质鞣制皮革，葡萄酿酒，油脂生产肥皂，挥发油用于食品及化妆品等。据不完全统计，迄今世界每年有近万篇文献报道是有关植物化学成分的研究，而且研究更趋于实用性，取得的进展和成果也更加显著。例如，从植物红景天中分离出的红景天甙具有抗疲劳等生理功效，从植物红豆杉中提取的紫杉醇具有较好的抗癌作用。

我国地大物博，具有丰富的植物资源，植物化学方面的研究也取得了很多成就。但是，我们更应注意到，在许多地方都存在着大规模毁灭性的采伐植物资源的现象。这种毁灭性的采伐，造成许多珍稀植物物种濒临灭绝，使植物资源遭到严重破坏。

因此，植物化学的学习和研究，不仅要开发应用植物体中的有效化学成分，更应通过植物化学的学习和研究，清楚地了解、掌握植物体中含有哪些、含有多少有效化学成分，它们有何应用价值，应当如何去合理开发，如何保护植物资源。只有知道了开发和保护之间的辩证关系，才会真正懂得保护是为了更好地开发和利用。

第一章 水和无机元素

(Water and Inorganic elements)

第一节 水

一、水的作用

水是植物生存的基本营养源。首先，水是植物主要的组成成分。植物体一般含60%~80%的水分，有的甚至高达90%以上；水是很多物质的溶剂，土壤中所有矿物质、氧、二氧化碳等都必须先溶于水后，才能被植物吸收并在体内运转；水还能维持细胞和组织的紧张度，使植物器官保持直立状态，以利于各种代谢的正常进行；水是植物光合作用制造有机物的原料，它还作为反应物质参加植物体内很多化学反应，如淀粉、蛋白质、脂肪的水解过程；更重要的它还是生命物质——原生质的组成成分，没有水，原生质就会死亡，生命就会停止。此外，由于水具有较大的热容量，当温度剧烈变动时，能缓和原生质的温度变化，以保护原生质免受伤害。

水可以通过不同形态、量和持续时间三方面的变化对植物起作用。不同形态的水是指水的三态（固态、液态和汽态）；量是指降水量的多少和大气湿度的高低；持续时间是指降水、干旱、水淹等持续的日数。这些方面的变化对植物的生长、发育、生理生化活动都能产生重要的影响。

水分除了在植物体中具有上述功能外，在许多实际应用或科研工作中也有着不可低估的作用。例如：植物种子（粮库的粮食）的保存，木材加工贮藏等，若含水量过多会发生霉烂；新鲜水果在保鲜过程中失去水分，就失去了保鲜的含义。可见植物体中含水量的多与少，可能是有益的，也可能是有害的，这就需要根据实际工作的目的和要求，具体情况具体分析，真实地掌握植物的含水量，并加以适当的调节控制。另外，在植物样品的各种化学成分分析工作中，最终得出的结果均是以植物样品的干物质为基础表示它们的相对含量。这些工作都需要以准确测定植物含水量为前提。因此，测定植物的含水量既是一项基础工作，又具有十分重要的应用价值，这也是本章学习研究的目的之所在。

二、植物样品中水分的测定

测定植物样品的含水率通常采用105℃烘干称重法。

取称量瓶置105℃烘箱内烘2h，然后用坩埚钳将称量瓶放入干燥器内冷却至室温后称重。再烘0.5h，称重，直至称量瓶在分析天平上保持恒重为止。

取新鲜待测样品2~10g，剪碎后放入上述已称至恒重的称量瓶中，在分析天平上

准确称其重量后, 移入烘箱中, 打开盖子, 在 105℃ 下烘 4 h, 将称量瓶盖重新盖好, 取出置干燥器中, 冷却至室温, 称重。按下式进行计算:

$$\text{水分}(\%) = \frac{W - W_1}{W} \times 100$$

$$\text{干物质}(\%) = \frac{W_1}{W} \times 100$$

式中: W ——被测植物样品烘干前的质量, g;

W_1 ——被测植物样品烘干后的质量, g。

说明:

(1) 为了准确获得植物样品的含水量, 通常将被测植物样品在相同条件下平行测定三个, 然后把三个平行样品的测定结果相加, 取其平均值为该植物样品的含水率。

(2) 某些植物样品在 105℃ 烘干时, 容易分解、挥发或变质。例如有些植物所含的还原糖易焦化, 芳香油易挥发, 此时可采用减压 (6.67~13.33 kPa) 低温烘干法。

第二节 无机元素

一、无机元素与植物生长的关系

无机元素即通常所说的矿物质元素或矿质元素。

早在两千多年前的农业生产中, 人们就已经知道了向土壤中施用矿物质肥料 (如草木灰和石灰等), 这对改善植物生长有良好的作用。植物通过根际吸收, 经木质部的长距离运输, 将这些矿物质元素作为养分送入果实、种子和贮藏器官, 并由叶片再转运完成营养代谢。然而, 植物从土壤中吸收的大量无机元素并非都是植物生长所必需的或者是有益的, 其中也包含一些不需要的, 甚至是有毒的元素。由此可以看到, 土壤中无机元素的组成以及植物生长的生态环境对植物的影响是相当大的。长期的生产实践与科学研究使人们对无机元素在植物生长过程中的作用有了清楚的认识和准确的评价。根据这些无机元素对植物生长起积极作用还是消极作用将其分成有益元素和有毒元素。

(一) 有益元素

有益元素包括所有对植物生长起积极促进作用的无机元素。其中也包括通常所说的对植物生长不可缺少的必需元素 (或称必需营养元素)。

1939 年 Arnon 和 Stout 提出了确定必需元素的三条标准:

(1) 这种化学元素对所有植物的生长发育是不可缺少的。缺少这种元素植物就不能完成其生命周期, 对高等植物来说, 即是由种子萌发到再结种子的过程。

(2) 缺少这种元素后, 植物会表现出特有的症状, 而其他任何一种化学元素均不能代替其发挥某种作用。只有补充这种元素之后上述症状才能减轻或消失。

(3) 这种元素必须是直接参与植物的新陈代谢, 对植物起直接的营养作用, 而不是改善环境的间接作用。

符合上述三条标准的化学元素才能称为植物的必需元素。到目前为止, 国内外公认

的高等植物所必需的无机元素有 16 种：碳 (C)、氢 (H)、氧 (O)、氮 (N)、磷 (P)、钾 (K)、钙 (Ca)、镁 (Mg)、硫 (S)、铁 (Fe)、硼 (B)、锰 (Mn)、铜 (Cu)、锌 (Zn)、钼 (Mo)、氯 (Cl)。以上 16 种必需元素是经过长时间的研究确定的。而其他不符合必需元素标准的无机元素皆属于非必需元素，但要严格地区分开必需元素和非必需元素是非常困难的。在这些非必需元素中，有一些元素对特定植物的生长发育有益，或为某些种类植物所必需，例如：藜科植物需要钠 (Na)；豆科植物需要钴 (Co)；蕨类植物和茶树需要铝 (Al)；硅藻和水稻需要硅 (Si)；紫云英需要硒 (Se) 等等。把这样的无机元素称之为有益元素。

对植物生长发育有益的无机元素有许多种，它们在植物体中的含量相差也很大，一般可根据植物体内含量的多少分为宏量元素和微量元素。宏量元素含量通常占干物质的质量的 0.1% (质量分数) 以上，它们主要是碳、氢、氧、氮、磷、硫、钾、钙和镁等；微量元素的含量则在 0.1% 以下，主要有铁、锰、硼、氯、铜、锌、钼、钠、硅、钴、镍、硒和铝等。

以上这些对植物生长发育有益的无机元素在植物体内的含量常受植物种类、年龄以及环境中矿物质元素含量等因素的影响，可使体内各种无机元素的含量发生很大的变化。在植物组织中常出现某些微量元素含量明显超过生理需要量，例如铁、锰的含量能接近植株中硫和镁的含量，这主要是环境条件影响的结果。应当指出，植物各器官中无机元素的含量，并不能完全反映植物对这些无机元素的实际需要量，尤其是一些非必需无机元素常常是被动吸入植物体的。

下面简要概述有益元素在植物生长发育过程中的作用：

1. 碳、氢、氧、氮、硫

碳、氢、氧是植物有机体的主要组分。它们占植物干物质质量的 90% (质量分数) 以上，是植物中含量最高的几种元素。它们在植物中所起的作用往往不能分割。碳是构成有机物骨架的基础。碳与氢、氧可形成多种多样的碳水化合物，如木质素、纤维素、半纤维素和果胶质等，这些物质是细胞壁的重要组分，而细胞壁是支撑植物体的骨架；碳、氢、氧还可构成植物体内各种生物活性物质，如某些维生素和植物激素等，它们都是体内正常代谢活动所必需的；此外，它们也是糖、脂肪、酚类化合物的组成成分，其中以糖最为重要，糖类是合成植物体内许多重要有机化合物，如蛋白质和核酸等的基本原料。

植物通过光合作用同化二氧化碳，陆生植物光合作用所需二氧化碳主要来自空气，空气中的二氧化碳含量约为 0.03% (体积分数)。

氢不仅可以与碳和氧结合构成许多重要有机化合物，同时它还有许多极其不寻常的功能。由静电吸引形成氢键比其他化学键的结合力弱，具有明显的弹性及易分易合的特点。在许多重要生命物质的结构中氢键占有重要的地位，例如在蛋白质和酶的分子结构中，通过多肽链的折叠、卷曲和交联，使之变成复杂的空间结构而具有各种奇特的功能。这种空间结构的形成，氢键起着很大作用。又如，作为遗传物质的 DNA，是由两条相当长的多核苷酸链以双螺旋形式相互盘卷而成，而这种盘卷结构正是通过碱基对之间所形成的氢键来实现的。由于氢键的易分易合性，非常有利于 DNA 的复制和转录。

氢和氧形成水在植物体内有非常重要的作用。水分能使叶片与幼嫩部分伸展,使细胞原生质膨润,膜与酶等保持稳定状态,使生化反应得以正常进行。水是植物体内一切生化反应的最好介质。

在植物体内氧化还原反应过程中,氧是有氧呼吸所必需的,在呼吸链的末端,氧(O_2)是电子(e^-)和质子(H^+)的受体。大多数植物的氧来自 CO_2 和 H_2O 。植物呼吸作用产生的能量,为植物吸收养分提供了充足的能源。

氮在植物所需的多种无机元素中尤为重要。它是限制植物生长和形成产量的首要因素,对改善产品品质具有明显作用。

一般植物含氮量占植物体干重的0.3%~5%,而含量的多少与植物的种类、器官、发育阶段有关。豆科植物含有丰富的蛋白质,含氮量也高。按干重计算,大豆植株中含氮2.49%,紫云英植株含氮2.25%,而禾本科植物一般含氮量较少,大多在1%左右。作物种类不同含氮量也不同,如玉米含氮量常高于小麦,而小麦又高于水稻。植物体内氮素主要存在于蛋白质和叶绿素中,因此,幼嫩器官和种子中含氮量较高,而茎秆中含量则较低。

氮是植物体内许多重要有机化合物的组成成分,例如蛋白质、核酸、叶绿素、酶、维生素、生物碱和一些激素等都含有氮素。氮素也是遗传物质的基础。在所有生物体内,蛋白质最为重要,它常处于代谢活动的中心地位。这些重要的有机化合物在生物体内的作用是至关重要的,而氮素又恰恰是它们不可缺少的组成成分,因此氮素在植物体中的作用就不言而喻了。

硫在植物体中的含量一般为0.1%~0.5%,其含量变化受植物种类、品种、器官和生育期的影响。十字花科植物含硫量最多,豆科、百合科植物次之,禾本科植物较少。植物体中的硫大约90%以上存在于植物蛋白的含硫氨基酸中(如胱氨酸、半胱氨酸、甲硫氨酸等),因此,硫是蛋白质合成不可缺少的化学元素之一。硫在蛋白质分子中形成二硫键对蛋白质的结构和功能具有重要意义。硫在植物体中另一重要作用是在氧化还原体系中起着传递电子的作用。

2. 磷

磷在植物体中的含量一般为0.2%~1.1%,含量差异较大,而大多数植物的含磷量为0.3%~0.4%,其中大部分为有机态磷,约占全磷量的85%,而无机态磷仅占15%,有机态磷主要作为核酸、磷脂等物质的组成成分存在,无机态磷主要以钙、镁、钾的磷酸盐形式存在,它们在植物体中均具有重要作用。

通常,油料作物含磷量高于豆科作物,豆科作物又高于谷类作物。

磷是核酸的组成成分,核酸既是遗传信息的载体,又是生命活动的指挥者。核酸在植物个体生长、发育、繁殖、遗传和变异等生命过程中起着决定性作用。由磷酸参与组成的三磷酸腺苷(ATP)是细胞中的高能化合物,它在植物体内糖酵解、呼吸作用和光合作用的能量释放过程中合成,并为细胞中那些需能的代谢反应提供能量,在细胞代谢中起了能量的中转和调控作用。此外,由磷元素参与形成的磷脂、植素等重要化合物在植物体中的作用不一—列举。