



全国高等农业院校教材

南京农学院 主编

饲料生产学

畜牧专业用

中国农业出版社

全国高等农业院校教材

饲料生产学

南京农学院主编

畜牧专业用

中国农业出版社

主 编 梁祖铎 (南京农学院)
副主编 卢得仁 (西北农学院)
肖文一 (东北农学院)
编写者 陈唯真 (山东农学院)
杜 逸 (四川农学院)
肖贻茂 (华中农学院)
朱邦长 (贵州农学院)
陈德新 (华南农学院)
王槐三 (南京农学院)

前 言

本书是由南京农学院等八所院校共同编写的全国统编试用教材。考虑到我国幅员广阔，南北差异既大，各校条件又不相同，为照顾全国教学的实际需要，故编写时数按 80 学时 40 万字编写。各地、各院校可在教学中，因地制宜，适当取舍。

本书在编写中，参阅了大量国内外有关文献资料，因受篇幅所限，所有参考文献和资料来源一律从略。

在编写过程中，经过充分讨论和多次修改，稿成以后，又邀请了农业部畜牧总局黄文惠、江苏农学院张万鑫、云南农业大学何秀群、河北农业大学缪应庭、宁夏农学院邵生荣、沈阳农学院张玉清、广西农学院梁兆彦、湖南农学院朱成校、内蒙古农牧学院吴渠末、山西农学院万淑贞、靳宗立、福建农学院张昭平、江西共大熊秀英、浙江农业大学郭兢群、新疆石河子农学院刘仲玉，新疆八一农学院闵继淳、青海农牧学院王永福、湖南省畜牧兽医研究所肖春林及黑龙江省肇源草原饲料研究所魏峰等同志参加审稿。中国农业科学院畜牧研究所苏加楷、河南省畜牧兽医研究所祁凌云、河北省畜牧兽医研究所赵佩铮、广西畜牧研究所宋光谟等有关同志用书面提了意见。我们根据各方面的意见，对本书又作了最后一次修订。在最后定稿中，编写组陈唯真同志参加部分总校工作。本书所有插图，除部分由编写单位绘制外，绝大部分均由南京农学院陈友松同志协助绘制。在此一并表示感谢！

编 者

1979 年 8 月

目 录

绪论	1
第一章 农学基础	4
第一节 植物的生活	4
第二节 土壤	11
第三节 土壤耕作	23
第四节 肥料与施肥	26
第五节 种子与播种	34
第六节 田间管理	39
第七节 饲料作物品种的选育	45
第八节 田间试验技术	52
第二章 禾谷类饲料作物	57
第一节 玉米	57
第二节 高粱	63
第三节 粟	66
第四节 大麦	68
第五节 燕麦	71
第六节 荞麦	74
第三章 豆类饲料作物	77
第一节 秣食豆	77
第二节 蚕豆	81
第三节 豌豆	83
第四节 其他豆类饲料作物	86
绿豆 (86) 豇豆 (86) 小豆类 (87)	
第四章 牧草	88
第一节 重要豆科牧草	88
苜蓿属牧草	88
苜蓿 (89) 金花菜 (95)	
三叶草属牧草	98
红三叶 (98) 白三叶 (101) 草木樨 (104)	
巢菜属牧草	108
毛苕子 (108) 普通苕子 (111)	
黄耆属牧草	112

紫云英 (112) 沙打旺 (116) 百脉根 (118) 柱花草 (120) 蝴蝶豆 (122)	
第二节 重要禾本科牧草	122
黑麦草 (122) 鸡脚草 (127) 无芒雀麦 (130) 牛尾草 (133) 羊草 (135)	
披碱草 (139) 象草 (141) 苏丹草 (145)	
第三节 牧草的混种	148
第五章 根茎瓜类饲料作物	152
第一节 块根块茎类	152
甘薯 (152) 马铃薯 (158) 木薯 (161) 蕉藕 (164)	
第二节 直根类	167
胡萝卜 (167) 甜菜 (171) 芜菁甘蓝 (175) 萝卜 (178)	
第三节 瓜类	180
南瓜 (180) 佛手瓜 (184)	
第六章 叶菜类饲料作物	186
第一节 苦苣菜	186
第二节 聚合草	189
第三节 甘蓝	194
第四节 牛皮菜	199
第五节 猪苋菜	202
第六节 蕹菜	204
第七节 小白菜	206
第七章 水生饲料作物	209
第一节 水浮莲	209
第二节 水葫芦	214
第三节 水花生	218
第四节 绿萍	220
第五节 水竹叶	224
第六节 水芹菜	226
第八章 饲料的调制与保藏	228
第一节 青贮饲料及其制作	228
第二节 干草及其调制	243
第三节 块根、块茎及瓜类的保藏	253
第九章 农牧结合建立巩固饲料基地	258
第一节 农牧结合 以农养牧 以牧促农	258
第二节 建立巩固的饲料基地	260
第三节 复种轮作制与饲料生产	262
第四节 大田复种轮作制中安排饲料生产的经验和事例	271
第十章 饲料生产计划的制订	278
第一节 饲料需要计划的制订	278

第二节	饲料供应计划的制订	280
第三节	种植计划的制订	282
第四节	饲料平衡和应注意的问题	287
第五节	青饲轮供制的实施	289
第十一章	草地经营	297
第一节	我国与世界草原的概况	297
第二节	草地学基础	303
第三节	草地的放牧利用	309
第四节	草地的培育与改良	317
第五节	草地生产力的调查	325

绪 论

一

饲料是发展畜牧业的物质基础。畜牧生产实质上就是通过家畜把饲料转化为畜产品的过程。家畜个体生产能力的提高是各项综合措施的共同结果，但饲料是重要因素。饲料是人类获得良好的畜产品、畜力和优良畜种的最重要的保证。目前肥育猪 5~6 月龄可达 90~100kg 屠宰体重，肉用仔鸡 8 周龄体重可达 1.7kg，一些国家蛋用鸡年产量在 230 个左右，乳牛年平均产乳量在 4 000kg 以上。没有良好的饲料条件，不可能发挥优良畜禽的生产性能，也不可能培育出优良的畜禽新品种，而且直接影响畜禽的繁殖和健康。

饲料中的能量和蛋白质是光合作用的产物，因此植物生产是畜牧业的基础，而饲料生产则是农牧结合的纽带和桥梁。部分牧草既是绿肥又是饲料，种植以后可起饲料与肥料结合，用地与养地结合的作用；通过轮、间、套、混作，又可提高复种指数获得各种饲料，使粮食生产、饲料生产统筹兼顾，不仅畜牧业可逐步发展，农业生产也必随之逐步上升。

二

饲料问题，在很大程度上决定畜牧业的规模和发展速度。畜牧业比较发达的国家，以其解决饲料来源途径的不同，可分为四种情况：草地面积比较大，改良和利用草地使畜牧业得到发展的国家，如新西兰等；草地面积比较小，但在耕地中种植饲料作物比较多，种植业为畜牧业提供大量饲料的国家，如丹麦等；实行谷类作物和饲料作物轮作，草地面积占一定比重农牧结合较好的国家，如法国等；靠进口饲料发展畜牧业的国家，如荷兰、日本、德国和英国。我国幅员辽阔，饲料资源极为丰富，要高速发展畜牧业，既要借鉴国外经验，又要结合我国具体情况。为适应当前生产发展形势的需要，加速畜牧业现代化建设，总结多年来的经验，解决我国饲料来源的一些途径略述如下：

(一) 农牧结合 把饲料生产和大田生产结合起来，这是解决饲料问题的基本措施。农牧结合，统一安排有以下一些优点：

首先，可合理安排作物布局，合理轮作，使农作物茬口、劳力、畜力、肥料等得到合理安排和调配，把饲料生产和大田生产结合起来，粮饲兼顾，使精饲料得到更加可靠的保证。

其次，可以使作物的秸秆、藤叶、荚壳等大量副产物得到更充分合理的利用。农作物光合作用的产物（干物质）有一半以上贮在秸秆皮壳之中，它们不能食用，但可用来满足家畜特别是反刍家畜对粗料的需要。

第三，可充分发挥绿肥牧草的作用，扩大绿肥牧草的种植面积，使用地与养地结合起来，又可部分满足家畜对青饲料的需要，缓和农牧之间的矛盾，起农牧结合的桥梁作用。

第四，可采用抢茬、间、套混作等措施，提高复种指数，从而为家畜提供更多的精粗

饲料和青绿多汁饲料。这是南方各地尤为行之有效的办法。

(二) 建立专用饲料地, 种植高产饲料作物 青绿饲料比谷物更能充分利用生长期的光能, 同时全株都能较好的被家畜利用, 因此按单位面积的有效光合作用产量计, 一般都高于谷物。据加拿大调查, 苜蓿的平均干物质单产是小麦的 4.7 倍, 蛋白质的单产是小麦的 7 倍。许多牧草和青饲料可以利用不适于种植谷物的土地种植, 还具有栽培方式灵活, 可利用抢茬、间、套混作等方法栽培和分期播种, 分期收获等优点。建立专用饲料地是保证一定规模畜牧场能够获得青绿饲料常年均衡供应的一个关键措施, 即是在农牧结合得比较好的地方, 这也是解决大田青饲料生产不足、不均的一个重要措施。

(三) 充分利用草地资源 天然草地的合理利用与改良以至栽培草地(人工草地)的建立与管理对畜牧业的发展有巨大的意义。1971 年统计, 永久草地占农用地(指耕地与永久草地合计)面积的比例, 新西兰 94.3%, 澳大利亚 91%, 英国、苏联、荷兰和美国均在 60% 左右。好的天然草地, 草原每公顷可生产牛肉 225~450kg 或满足一头乳牛维持和日产乳 136.5kg 的需要而不需补喂精料。如改良为栽培草地以后, 草地生产力即可显著提高。菲律宾在生长粗劣的白茅山地直接补播或在旱季将白茅烧去后补播蝴蝶豆等豆科牧草后, 可使此类天然草地每 6.67hm² 载畜量由未改良前的 3.3 头牛增至 6.6 头牛; 如翻耕后补播则可达 26.6 头牛。为了提高天然草地的生产力, 不少国家很重视发展人工草地。据 1970 年统计栽培草地面积占永久草地面积英国为 59.1%, 达 713 万 hm², 相当于英国耕地总面积; 法国为 32.6%, 全国牧草栽培面积占耕地面积的 20%; 美国占 9.5%, 达 2 467 万 hm²。我国可利用草原面积达 2 亿 hm², 相当于我国耕地面积的两倍。目前只有人工草地 86.67 万 hm², 开展牧区草原建设工作, 实为当务之急。我国南方山区很多, 适合于放牧的草地也达 4 000~4 700 万 hm²。草滩、荒地、隙地也甚可观。南方水热条件好, 一经开发改良, 草地生产力很高, 这是发展我国南方畜牧生产的又一有利条件。

(四) 改进青饲料加工调制, 大力推广青贮饲料和干草粉的生产 饲料经过加工调制如切碎、打浆、晒干、青贮后, 可减少浪费, 改善适口性, 增加采食量, 提高饲料利用效率和扩大饲料来源。近十几年来, 国外都很重视青粗饲料的调制和保藏。低水分青贮料的制作, 人工干草粉的生产, 既提高了青粗饲料营养价值, 又调剂了青粗饲料的余缺。这对我国畜牧业尤其是现代畜牧业的发展也将起很大的作用。

(五) 充分利用水面, 发展水生饲料植物 利用水面发展水生饲料具有不占耕地、花工少、成本低、繁殖快、产量高、易管理利用, 也可用作绿肥等特点。我国水面辽阔, 水热资源丰富, 具有发展水生饲料的良好条件。今后一段时间内水生饲料在猪的饲料中仍将占一定的比重。

三

综上所述, 发展畜牧业是关系到发展我国农业, 实现四个现代化的重大问题。而要发展畜牧业就必须解决饲料问题, 大搞饲料生产, 建立巩固饲料基地。

饲料生产学是研究关于生产畜禽饲料的经营组织和农业技术的科学。主要内容包括四方面: 农业基础知识, 重要饲料作物的生产、保藏与利用, 饲料生产的组织、安排和草地经营。它是一门综合性的应用科学, 涉及到有关植物学、栽培学和畜牧学等各方面的理论

和技术的学科。

就饲料生产这门学科的性质而言,应属于植物生产范畴,在种植业中居重要地位,乃是农业生产中一个组成部分。就其应用而言,饲料生产又是直接为畜牧业服务的,是畜牧生产中不可缺少的环节,为畜牧专业课程设置中的一门专业课。

随着畜牧业的发展,饲料生产工作日益重要。通过本课课程的设置和学习,可初步掌握饲料牧草生产的基本知识和技术,达到具有组织、安排、指导饲料生产的能力,从而能根据各地具体情况,提出当地切实可行的解决饲料的途径与方法,为促进畜牧生产的发展贡献力量。

第一章 农学基础

第一节 植物的生活

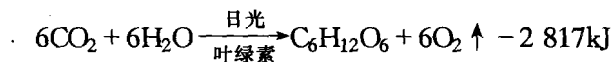
一、植物的新陈代谢

(一) 植物新陈代谢的基本概念 有机物质是植物新陈代谢的产物。在植物体内有机物质占总干物质量的 90%~95%。地球上只有植物的光合作用才能把太阳辐射能转变为化学能,由它所产生的有机物质,直接或间接地成为人类或整个动物界的食物。正如植物生理学家所公认的那样:“食物在我们有机体里是总能量的源泉,这是因为食物不是别的东西,而是太阳光能的储藏者。”同时,有机物质也是煤和石油所贮藏能量的来源。据研究,地球上绿色植物每年所制造的有机物达 4×10^{11} t,通过光合作用能蓄积 7.5×10^{19} kJ 的能量。这构成了地球上一切生命活动的物质基础,是人类社会工业及日常生活能量消耗的源泉;植物光合作用所放出的氧,又是生物维持生命活动所不可缺少的条件。因此可以说,凡是不长植物的地方,也就没有动物,那里就是不毛之地。

植物新陈代谢的过程十分复杂,它表现在同化和异化两个方面。植物从环境中吸收矿物质、水分、二氧化碳、氮素等简单无机物,经过各种变化,综合成自身所需要的糖、脂肪、蛋白质及其他有机物,同时贮藏了能量,这称之为同化作用。相反地,植物体内复杂的有机物在各种酶的作用下,分解为比较简单的有机物或无机物,如氨基酸、二氧化碳和水等,并释放出各种生命活动所需要的能量,这称之为异化作用。在植物的新陈代谢过程中,既有物质代谢,也有能量代谢,在植物的一生中每时每刻都在进行着,同一个细胞中,可以有多种代谢过程同时进行。植物的营养、植物的生长发育以及收获物的形成,都必需建立在正常的代谢基础之上。为了提高饲料的产量,我们既要研究植物的生活,研究植物的新陈代谢,也要研究植物与环境的关系。

(二) 植物新陈代谢的过程和产物 植物新陈代谢包括同化作用和异化作用两个方面,它们是矛盾对立的统一,二者互相渗透、互相影响并互相制约。

1. 植物的同化作用 植物同化作用过程所需要的原料是二氧化碳和水,亦称“碳素同化作用”。植物同化作用是在光的参与下进行的,故又叫“光合作用”。其总反应式可概括为:



高等植物的叶绿体是光合作用的特殊细胞器,绿色,椭圆形,分布在细胞原生质中,每个细胞有几个到几十个叶绿体。叶绿体外面由双层膜所包围,具有调节物质进入叶绿体的功能。叶绿体由很多细小的基粒组成。基粒包含有两类色素:绿色的为叶绿素,其中叶绿素 a ($\text{C}_{55}\text{H}_{72}\text{O}_5\text{N}_4\text{Mg}$) 是蓝绿色,叶绿素 b ($\text{C}_{55}\text{H}_{70}\text{O}_6\text{N}_4\text{Mg}$) 是黄绿色;黄色的是类

胡萝卜素，其中叶黄素 ($C_{40}H_{56}O_2$) 为金黄色，而胡萝卜素 ($C_{40}H_{56}$) 为橙黄色 (有的植物体内有花青素的形成，叶有时成红色)。一般植物绿色素的含量约为黄色素的 4 倍；叶绿素 a 的含量为叶绿素 b 的 3 倍；叶黄素的含量约为胡萝卜素的 2 倍。因此，正常的叶子总是表现为绿色，有的植物细胞中的叶绿素在 72h 之内几乎全部更新，所以叶色变化是田间诊断最敏锐的指标。在黑暗中长出的高等植物幼苗没有绿色；温度太低时也不利于叶绿素的形成；某些矿物质缺乏，如缺铁和镁能引起“失绿症”；氮素不足或水分过多或过少使代谢紊乱，叶子也会发黄。形成叶绿素的条件不足，或叶绿素遭到破坏，均会降低植物光合效能。

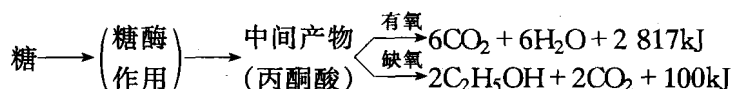
光合作用的全过程可分为两个重要的步骤。一个是必须在光照下才能进行的叫光反应；另一个是二氧化碳的固定和还原不需要光，但在光下也能进行的，叫暗反应。两者是互相联系的，它的步骤是：在光反应中，光被叶绿体吸收，在叶绿体中其他色素也吸收光能，但它只能传递给叶绿素 a，才能用于光合作用。叶绿素吸收光能后，由原来状态（即基态）而转变为激发态，这种激发态的叶绿素可参与光反应，即水的光解和光合磷酸化作用。

长期以来，普遍认为碳水化合物是光合作用的唯一产物。蛋白质、脂肪等物质，都是从碳水化合物转化而来。自从用 C^{14} 研究光合作用的过程以后证明，它不仅产生碳水化合物，而且也产生如氨基酸和蛋白质等化合物，此外还可形成脂肪。当然，氨基酸和蛋白质的形成常要消耗一定数量的碳水化合物。

植物的光合作用产物与遗传关系最为密切。不同种类的植物，光合产物的成分差别很大。如甜菜、甘蔗以形成双糖为主；一些豆科植物如大豆则形成较多的脂肪和蛋白质。同种植物不同的年龄与发育时期，光合产物也不同。如成熟的叶片光合作用往往只形成碳水化合物，幼嫩叶片在氮素营养条件好时，除形成碳水化合物外，还形成蛋白质。

单位面积上光合作用产物的多少取决于光合面积、光合能力与光合时间三个因素。植物在呼吸作用的过程中要消耗一部分光合产物，除去消耗部分就是积累的数量。所积累的有机物又不能全部被人类利用，还要看光合产物的分配利用情况。由此可见，要获较高产量，一般说来光合面积要大，光合能力要强，光合时间要长，光合产物消耗要少，光合产物分配要比较合理。植物生产的一切措施实质上就是通过改善植物的光合性能来夺取高产的。

2. 植物的异化作用 在植物的代谢过程中，异化作用占有重要的地位。异化作用是一个吸收氧并对有机物进行氧化分解的过程。因此，又称它为“呼吸作用”。这种呼吸作用是一切生活的器官、组织和细胞都有的生命现象。没有异化作用就没有生命。正常生活的植物，一般存在着两种呼吸方式：一为有氧呼吸；一为缺氧呼吸，也称发酵。其总反应式如下：



有氧和缺氧呼吸之间既有联系又有区别。最初阶段都有一个不吸氧的分解过程，而形成若干不稳定的中间产物，在有氧的条件下，这些中间产物氧化而产生二氧化碳和水；在

缺氧的条件下, 这些中间产物则分解为酒精和二氧化碳。有氧呼吸及缺氧呼吸都以丙酮酸为起点, 但丙酮酸分解的方向则决定于氧气的有无。缺氧呼吸能够使植物维持短期生命而不死亡, 但时间过久会因有机物过分消耗及体内酒精累积, 使植物中毒而死亡。

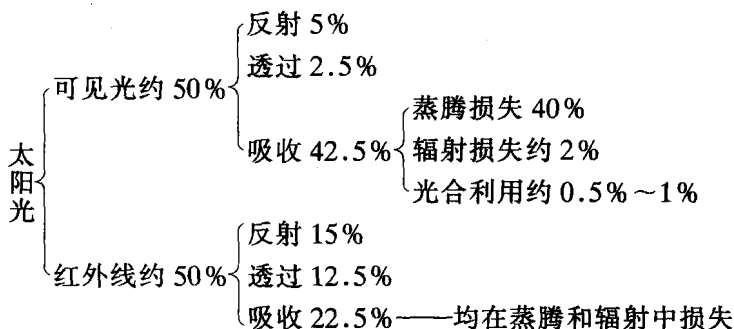
在正常情况下, 植物从环境中吸收氧气, 氧化植物体内有机物质, 放出能量以供植物生活需要。有氧呼吸所产生的中间产物是植物体内物质代谢所必需的。同时, 植物通过呼吸得到所需要的营养物质和能量。呼吸作用把碳水化合物、脂肪、蛋白质等的合成, 转化和分解的全过程相互联结成一个统一整体。因此, 呼吸作用是各种物质代谢的中心。

(三) 植物新陈代谢与环境 植物光合作用强度大, 积累的有机物质就多, 呼吸作用适度, 有机物质消耗就少。如何做到积累多、消耗少, 这首先决定于植物叶绿体的存在状态和光能利用的能力。这是第一位的因素。但它又和植物所处的环境条件互相影响, 互相转化。因此, 调节植物的环境条件, 对加强植物新陈代谢是很重要的环节。

1. 光 植物的光合作用必须在有光的条件下进行, 黑暗中生长的植物幼苗为黄白色, 称黄化植物。植物长期不见光就死亡。在一定范围内, 光照强度愈大, 光合能力愈大, 但超过一定范围, 光合强度也不再增加。强光对植物叶绿素有破坏作用, 因而光合强度反而降低。这称之为光的饱和现象。另一方面, 一种植物在某种光强度下, 叶光合作用所吸收的二氧化碳量等于呼吸作用所放出的二氧化碳量, 这种光强度即为该植物在光合作用时所需光强度的“补偿点”。我们观察田间那些被遮荫的叶片, 变得饥饿枯黄, 它所受光照强度往往低于补偿点。因此, 任何植物对光的需要都必须高于这个补偿点, 才能正常生长发育。

各种植物的光饱和度和补偿点都不一样。阳性植物如南瓜、玉米等叶片厚, 栅栏组织发达, 细胞小, 叶绿体小, 叶单位面积上气孔多, 二氧化碳能很快进入叶内。因此, 它需要光照强度大, 大约为全光照的 $1/2$ 。同时, 阳性植物的补偿点也高于阴性植物。多数阳性植物大约需要 $500 \sim 1\,000$ 烛光*, 而阴性植物只需要 100 烛光, 就能正常生活。

作用的产量高低, 与光能利用率的大小成正比。所谓光能利用率, 是指太阳能被光合作用转化成化学能而贮藏于光合产物中的百分比。太阳放出的能称为总辐射能, 对光合作用有效可见光部分, 称为光合有效辐射能。所谓光利用率, 就是指光合有效辐射能而言。在大田条件下, 光合作用过程中, 对光合有效辐射能的利用率, 大致比例如下:



可见, 由于各种因素影响, 太阳光的光合利用率是很低的。这些因素包括: 第一, 作

* 一支标准鲸油蜡烛, 照射在与光垂直距离 1m 物体上所得到的光强度, 叫一个烛光。

物生长初期，叶面积小，日光大量的漏射在空地上（大约 50% 以上）。第二，由于植物受光饱和现象的限制，很多光能被浪费，多数植物只有在全光照的 $1/3$ 至 $1/2$ 时，光合强度才是最高的。第三，由于温度、水分过高或过低，某些矿物元素的缺乏，二氧化碳供应不足，病虫害等的影响而限制了植物对光能的利用。针对以上原因，提高光能利用率的措施有：培育新品种和合理密植，进行间套作，合理施肥和灌溉，增加二氧化碳的供给，调节温度，防治病虫害等。这样就可以大大提高光合能力。

2. 温度 适当的温度是植物叶绿素的形成和植物体内酶促反应正常进行的重要条件。以小麦为例， 2°C 时形成很缓慢， 16°C 时形成才加快，幼苗在 $26\sim 30^{\circ}\text{C}$ 时叶绿素形成最快。早春草地植物不能立刻变绿，就是因为温度低，叶绿素形成受阻。秋天树叶呈黄叶或红叶，这是因光照强、温度低，加速了叶绿素的破坏，又不利于叶绿素的重新形成，而叶黄素、胡萝卜素、花青素等色素均较稳定，因此叶片变成黄色或红色。高温会破坏叶绿素，造成酶活性下降，使植物失水萎蔫，机体内运输受阻，二氧化碳的吸收也受到影响。因此，温度过高过低都将降低光合作用的强度，对光合效能起显著作用。多数温带植物的光合作用所需的最低温度为 $0\sim 5^{\circ}\text{C}$ ，在 $10\sim 35^{\circ}\text{C}$ 就能正常进行，除阳地植物外，一般以 25°C 为最适宜。在 $30\sim 35^{\circ}\text{C}$ 以上光合作用就开始下降，至 $40\sim 50^{\circ}\text{C}$ 便完全停止。时间稍长就会死亡。当然也有例外，如在热带沙漠地区有的植物可在 55°C 的高温下营光合作用。寒带的雪莲，可以透出积雪而开花。针叶树在零下 $15\sim 35^{\circ}\text{C}$ 时，仍能进行光合作用。

植物呼吸作用在一定范围内，温度增高，则呼吸作用加快，叶面呼吸最适温度，一般是在 $35\sim 45^{\circ}\text{C}$ 之间，但有些植物在零下 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ 时仍有明显的呼吸现象。本来温度升高加强了光合作用，但是呼吸作用提高得比光合作用还要快，光合作用受呼吸作用的牵制而降低。只有当植物光合作用强度大，呼吸作用强度小时，有机物的积累才多，产量才高。白天温度高，日光充足，有利于光合作用的进行；夜间凉爽，呼吸作用消耗的物质则较少。因此，昼夜温差大的地区，作物产量高，积累糖分多，瓜果甜度大。在氮肥充足时，蛋白质、脂肪含量也高。杭州小麦蛋白质含量为 11.7%，黑龙江省克山小麦蛋白质含量为 19%；南京大豆含油量 16.14%，公主岭大豆含油量为 19.6%。

3. 水分 水分是一切生命活动的基础。植物细胞原生质被水分饱和时，气孔张开，有利对二氧化碳的吸收，如能同时满足对光照、温度及其他条件的要求，光合作用强度就大。如叶片含水量少于饱和含水量的 $10\sim 12\%$ 时，光合作用强度就会降低，少于 20% 时就严重降低。当植物因缺水发生萎蔫时，气孔关闭，光合微弱，呼吸强度大，造成无益消耗。干燥的种子（含水 $10\sim 13\%$ ）呼吸作用不显著，生命活动很微弱。假如把含水量提高少许，呼吸作用即可成倍增长，种子膨胀时，呼吸强度可比干燥种子高数千倍之多。

4. 二氧化碳和氧气 二氧化碳是植物进行光合作用的原料。空气和土壤中二氧化碳的含量，直接影响到光合作用的强度，空气中二氧化碳的含量，一般在 0.03% 左右，即 1L 空气中只含有 0.589mg 的二氧化碳。光合作用进行时，每形成 1g 葡萄糖需同化 2500L 空气。这对一般植物来说，均感二氧化碳的不足。如光照与温度适合，适当提高二氧化碳含量，可增加光合作用的速度，提高有机物的产量。当然也不是越多越好，空气中二氧化碳含量达到 0.3% 时，对一般植物就算达到饱和点了。如果达到 1% ，就会抑制呼吸作用

的进行,并削弱光合作用和植物的生长。如厚种皮的种子,由于有来自本身呼吸作用所积累的二氧化碳过多,虽然在潮湿的土壤里保存多年也不会发芽,但仍可保持其发芽能力。植物所需的二氧化碳,大部分是通过叶面气孔从空气中摄取的,植物的根系也可以吸收二氧化碳,其方式是二氧化碳在根部与丙酮酸结合,然后以苹果酸的形式输送到地上部,脱羧后供光合作用需要。

氧气是植物进行呼吸作用所不可少的。氧气充足时呼吸迅速。植物地上部分,通常不致缺乏氧气。但地下部分常有缺氧情况,影响植物根部的正常呼吸。因此深耕改土,中耕排水,对提高作物产量,常有显著的效果。

5. 其他 矿物质营养元素对光合作用的影响也是很重要的。植物缺铁时,不能形成叶绿素,而发生所谓“失绿症”,这种病在碱性土壤中尤为普遍,因为铁在碱性土壤中变为不溶解状态。磷能促进植物体内有机物的转化,可把能量转移到含能量较少的化合物中去。钾能促使碳水化合物的转化,特别是淀粉的转化,使这些物质更快地运输到其他组织与器官中去。铜盐、锌盐能加强酶的活动,它也参与光合作用。这些矿物质元素都直接或间接地影响光合作用的强度。特别是氮素营养更为重要,氮是叶绿素和蛋白质分子的组成部分,氮充足供应,可保证叶绿素的形成,增强光合能力,促进蛋白质的迅速合成,避免淀粉积累过多,使光合物能更充分的被利用。

必须指出,影响植物新陈代谢的外界环境诸因素,都不是孤立的,而是综合性的。虽然某一因素减弱,可因其他因素的加强而得到一定程度的补偿,如森林下面二氧化碳含量较多(常达0.08%),可在某种程度上补偿森林下植物所获得的光照不足,但当完全缺少某一个必要因素时,新陈代谢要削弱,甚至会停止。这就是诸因素彼此间的不可代替性。同时,有的因素在一定条件下可能居于主要地位,但有时又会居于次要地位。因此,在生产实践中应极力找出影响光合强度即产量的主要因素,以便采取措施提高饲料作物的产量。

二、植物的生长和发育

(一) 植物生长发育的概念 植物的生长发育是以正常代谢为基础,也是植物代谢活动的综合表现。在生产上,常把有效控制植物的生长和发育当成提高农业技术的重要任务。

生长和发育是两个既密切联系而又有原则区别的生命现象。所谓生长,就是植物在相宜的外界条件配合下,不断进行营养和代谢,植物体积与重量不可逆的增加,这种新陈代谢所引起的组成物质的增加称为生长。所谓发育就是植物体在量变的基础上,并发生一系列阶段性的质的变化,表现在生理上形态上的转变,特别是由营养体转向生殖体,达到成熟阶段而开花结实、繁衍后代,这称之为发育。由此可见,生长是量的积累,发育是质的转变,二者并不是同一现象。

(二) 植物的生长

1. 植物生长的进程 植物各器官的生长可以用仪器或很简单的方法测量出来。如茎顶端的生长,可用生长计来测定。如没有这种仪器,也可在茎或根的顶端用毛笔蘸上墨汁划上1mm等距离的细线。在测定叶片时,可在叶片上划等面积的方格。过几天以后可观

察到凡生长快的部位，线隔或线方格间的距离就明显增大。生长的事实是显而易见，但植物如何生长，则是我们应该了解的。

植物的生长是通过细胞体积的扩大和细胞数目的增加而实现的。在这一过程中大致可分为三个时期：细胞的分裂期；细胞的伸长期；细胞的成熟分化期。以植物根、茎尖端的生长现象为例说明如下。

分生期：将植物根茎顶端，用锋利的刀片切一很薄的纵剖面，放在显微镜下观察，分生细胞有很薄的细胞壁和浓厚的原生质。这些细胞分生力很强，能不断地分裂，使根茎细胞在数量上很快增加，这为生长奠定了物质基础。顶端细胞总是保持这种分生能力，而明显处于分裂期。离开顶端稍远的细胞就转入生长的伸长期。

伸长期：新形成的细胞这时就要大量吸收水分，因而就出现很多分散的小液泡，由很多小液泡变成为一个大液泡，伸长期主要的生长变化是液泡的发生与液量的增加，使细胞体积增大，特别是长度增加。此时细胞壁也随着扩展，但原生质并不能急剧增加。

分化期：当细胞进入成熟分化期时，细胞体积已基本上不再改变，而主要的发展是细胞壁增厚和细胞功能的分化。由于细胞壁增厚的情况不同就形成了各种不同形状的细胞。这些不同形状的细胞集团就形成不同的组织，如厚角组织、薄壁组织等。

2. 植物各器官生长的差异性 植物各器官的生长表现出明显的差异性。如多数植物叶片各部位的生长大体一致，只是基部伸长较快。同时，叶的生长是有限的，即使外界条件满足要求长到一定大小时，就会停止生长。但根和茎却不同，两者顶端都具有分生细胞，是依靠顶端生长势来生长的。植物在生育期内只要外界条件适合，就会不断地生长。这是它们的共同性。但根和茎之间也有差异性，根的生长主要集中在尖端很短的一段上，长度约1cm左右，而茎的生长部分可达10cm以上。禾本科植物的茎除了用顶端来生长外，在每一节间还有分生组织，能使节间伸长。越靠近顶端的节，由于组织幼嫩，它伸长的速度就越快。

3. 植物各器官生长的相关性

(1) 地上部与地下部之间的关系 根深叶茂，本固枝荣。这正好说明植物各器官之间的相关性。地上部茎叶的生长，需要根部供给水分、矿物养料及含氮化合物等；而地下部根的生长需茎叶供给碳水化合物、蛋白质、维生素等各种有机物。因此，凡能影响地上部生长的因素，也能影响地下部的生长，反之亦然。很多草本植物，主枝顶端具有明显的顶端优势生长，侧枝生长慢，株形成宝塔形。当摘去主枝顶端后，侧枝生长明显加速，甚至有些休眠芽也开始萌动。与此同时，地下部主根生长优势立即被侧根所代替。根据这一现象，在农业生产上就应用摘心、整枝、疏花、疏果、去叶、断根等措施，以改变植物各部分的配合，调节植物生长与发展的进程，达到增产的目的。

(2) 营养器官与生殖器官之间的关系 营养器官生长良好，是生殖器官发育好的基础。但营养性生长如果过旺，消耗大量养分，往往推迟或根本抑制正常的开花结实。有时即使开花结实，也大量落花落果。当植株营养水平很低时，往往也出现因开花结实而造成营养生长不良，出现早衰现象。

(3) 植物生长的节律性 单个植物、群体、甚至个别器官和细胞，它们在生长速度上都表现出初期生长慢，以后逐渐加快，到中期达到高潮，随后又逐渐变慢，以致停止。植

物生长的这种节律性，叫做“生长大周期”。一般地说，可用植物不同阶段生命活动能力的强弱来解释这一现象。因为，生命活动能力的强弱与植物细胞分裂活跃程度及光合能力的大小有直接关系。

植物的这种节律性因植物种类、播种季节、土壤肥力等状况不同而异。豆科牧草在秋播时，从生育前期过渡到中期的时间拖得很长，而春播时则可大大缩短过渡时间。禾本科牧草则表现出各生育期分配比较匀称。在饲料生产上我们经常利用植物生长的这种节律性，解决作物间套作时争夺空间与养分的矛盾。同时，掌握了各种植物的生长节律性以后，就可根据植物初期的生长势，来估测后期何时可能达到的产量，以此作为确定某种作物在各地最适播种期、收获期（刈割期）的依据。

4. 植物生长与环境条件的关系 植物的生长与环境条件有着密切的关系，其中最重要的是温度、光照和水分。

植物的生长，在一定的范围内是随着温度的变化而变化的。植物必须在温度达到一定程度时开始生长。这种开始生长的温度称为生长最低温度。生长的植物，随着温度的升高而生长加快，到植物生长速率最大的温度为生长最适温度。一般温度在 $0\sim 35^{\circ}\text{C}$ 之间，每增加 10°C ，其生长的速度几乎加倍，但超过 $35\sim 40^{\circ}\text{C}$ 时生长速度下降，以至停止生长。这种温度称为最高温度。植物生长的最低、最适与最高温度的高低与植物原产地的气候温暖有关。农作物从开始生长经开花到结实的过程，要求温度逐渐上升，并与当地从春到秋气温的变化相一致。作物播种后，从种子吸水膨胀、生长发育到种子成熟所需温度的总和称为积温。作物种类不同，要求积温也不一致。生产籽粒的饲料作物，只有满足了积温要求，才能获得高产。因此，适期播种很为重要。延迟播种时苗期因温度太高，幼苗生长不健康，同时生长后期错过高温，也会影响到成熟。

植物的生长，必须在细胞原生质中达到饱合水分时期才能进行。适当地控制水分能加快生长速度，提高产量。已生长的植物，如果土壤水分不足或空气的湿度很低，作物吸水困难而蒸腾作用又加速，便发生缺水现象，使生长减慢或停止，植物细胞很小，植株矮小枯瘦，从而降低产量。因此，适时合理的灌溉，保持足够的空气湿度和土壤水分，是提高产量的基础。

光照对绿色植物的生长也有着重要的意义。人们就是靠绿色植物接受光照，经过光合成而获得植物性饲料的。绿色植物生长在黑暗中或光照不足的地方，会出现程度不同的黄化现象。黄化的植株细胞分裂与伸长加快，体大而脆弱，机械组织不发达，茎秆柔软而易倒伏，降低产量和品质。因此，在牧草与饲料作物栽培中，要实行合理密植，加强管理，不断改善田间透光条件。

此外，养料也是影响植物生长的环境因素之一。植物在一定的温度、水分和光照条件下，只有供给足够的养料，才能生长良好而获得高产。这些因素是同等重要和不可替代的，它们在作物的生长和产量形成的作用上，存在相互依赖和相互制约的关系。施肥增产，施肥又浇水的作用更大；施肥浇水增产，施肥，浇水再加上通风透光，则施肥、浇水的作用又更大。因此，满足作物对温度、水分、光照和养料条件的要求，是保证高产稳产的基础。

（三）植物的发育 绿色高等植物的发育，是指从种子萌发开始，到新的种子形成的