

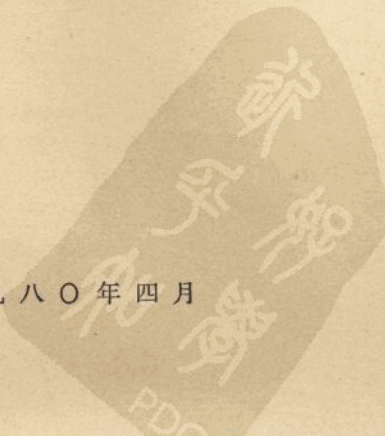
参加全国自然科学史
学术会议论文

植物生态和生理知识的发展

(征求意见稿)

甘肃师范大学 周肇基

一九八〇年四月



前 言

本文系中国科学院自然科学史研究所和北京自然博物馆主持编写的《中国古代生物学史》第三编第五章。一九七七年十二月在中国生物学史学术讨论会上，原决定由华南农学院梁家勉教授和我共同完成本章编写任务。后因梁先生科研和行政工作繁重，函示要我把植物生态知识的发展部分一同承担起来，以后又经主持编写单位正式给甘肃师大生物系来函，经领导研究同意，把编写任务交给了我。在编写过程中多次收到梁教授热情的来函，对我勉励，并在学术上洋加指导。浙江农业大学游修龄教授、西北农学院周尧教授、北京农业大学王毓瑚教授、杨直民先生等十分关心本文的编写工作，不断地来信鼓励、指导。我校、系的有关领导十分重视此项研究任务，并尽力在各方面做了安排，使得本文得以顺利完成。在此一并表示衷心地感谢。本人由于学识浅陋，加之时间短促，谬误之处恳请各位学者、专家、教授和同志们批评指正，本人不胜欢迎。

周肇基

1980.7.

目 录

一、水分的生态生理	(1)
1、植物的水分平衡	(1)
2、伤流现象的发现和利用	(2)
3、合理灌溉的理论和实践	(3)
4、雪水对植物的影响	(6)
5、耕作保墒的生态生理作用	(6)
6、提高植物的抗旱性	(7)
二、植物与土壤	(7)
1、土壤特性与植物的关系	(8)
2、土壤的培肥和改良	(10)
3、合理施肥	(12)
三、植物与光	(15)
1、阳光与植物生长	(15)
2、通风透光	(15)
3、阳生植物与阴生植物	(16)
4、黄化现象的发现和利用	(17)
5、阳光与器官组织的分化	(17)
6、绿叶的功能	(18)
四、湿度、温度、空气对农产品贮藏的影响	(18)
1、种子的安全贮藏法	(18)
2、蔬菜水果的安全贮藏	(19)
3、乾果的贮藏技术	(20)
五、植物体内物质的运输	(20)
六、种子生理	(21)
1、种类繁多的种子处理法	(21)
2、种子生活力的快速鉴定法	(23)
七、植物群落中不可忽视的生态因子——植物分泌物	(23)
八、植物的生长	(25)
1、用物候指导农时	(25)
2、顶端优势的发现和利用	(27)
3、植物的向性运动	(28)
4、植物的器官相关性	(29)

5、控制植物定向生长的妙法·····	(31)
6、关于生长刺激素·····	(32)
九、植物的发育·····	(33)
1、生殖生理与生态·····	(33)
2、果树繁殖法中的生理生态知识·····	(34)
3、控制开花法·····	(35)
4、低温处理——春化作用·····	(37)
十、休眠和抗寒性·····	(38)

植物生态、生理知识的发展

植物生态学是研究植物和环境条件之间的相互关系的科学。植物生理学则是研究植物生命活动规律的科学。它们的研究范畴虽然各有侧重，但是，它们都要探讨环境条件，诸如水分、土壤、阳光、空气、温度等因素对植物生长发育的影响。特别是在植物生态学和生理学知识发展的早期，这两门科学的知识更是密切的联系在一起的，很难把它们截然分开。因此为了讨论的方便，在本章里我们把它们合在一起讨论和分析。

一、水分的生态生理

水是植物体的重要组成部分，也是植物体进行生命活动的必需条件，生活的植物一旦缺水，就会引起生长发育的停滞，甚致生命的终结。因此农谚说：“水是命，肥是劲。”“有收无收在于水，收多收少在于肥。”这是很有道理的。

早在距今二千多年前的《管子·水地篇》中，对水在植物生命活动过程中的作用已有了深刻的比喻，“水者，何也？万物之本原也，诸生之宗室也。”《管子·禁藏篇》里又说：“夫民之所生，衣与食也，食之所生，水与土也。”^①反映当时的人们已经认识到“水”和“土”是植物赖以生长的物质基础。这种认识指导人们去兴修水利发展农田灌溉，促成了战国时期农田灌溉事业的大发展。魏国的漳水渠、秦国的郑国渠、都江堰都是举世闻名的大型农田水利工程，据史书记载，郑国渠开凿泾水，溉田四万顷，关中遂为沃壤，无凶岁，秦以富强。都江堰的建成，使岷江变害为利，蜀中遂成为沃野千里的天府之国，直至现代都江堰仍在发挥着它的巨大作用，可见当时的科学技术已有相当高的水平。后汉、魏晋时期，江淮间及江南先后修复、兴建了不少陂、塘、湖等蓄水灌溉的工程。晋人傅玄说：“陆田者，命悬于天也，人力虽修，苟水旱不时，则一年之功弃矣。水田之制由人，人力苟修，则地力可尽。天时不如地利，地利不如人和。”^②足证当时对于水田的优越性已有很深的认识。元代《王祯农书》对于兴修水利的见解更为气势磅礴，“大可下润于千顷，高可飞流于百尺，架之则远达，穴之者潜通。世间无不可救之田，地上有可兴之雨。”^③这充分地反映出中华民族人定胜天的英雄气概。

1、植物的水分平衡：

保持植物水分吸收和消耗的平衡，这是植物正常生长的重要条件。早在北魏（公元六世

① 《管子》大约成书于战国至西汉时期。

② 《太平御览》卷56又841引傅子。

③ 《王祯农书》公元1313年元代王祯撰。

纪)《齐民要术·种旱稻篇》就记载着移栽时“其苒长者,亦可撮去叶端数寸,勿伤其心也。”这是用减少叶片蒸腾作用的方法以保持水分的相对平衡。种桑柘篇里又说“秋斫欲苦,而避日中,触热树焦枯,苦斫春条茂。冬春省斫,竟日得作。”秋天修剪桑树要重些,但应避开在午热时进行,因为剪口遇到日晒和热,水分散失过多,树就会焦枯。秋,剪得重些,次年春条茂盛。冬、春修剪要轻,因为天时不热,全天都可进行。采桑叶也“要欲旦暮,而避热时。……且暮采,令润泽;不避热,条叶乾。”从修剪到采桑,都十分注意保持树体的水分平衡,这些理论至今仍有其实践的意义。移栽茄子幼苗时要“浇水令彻译,夜栽之。向日以蓆盖,勿令见日。”用蓆遮蔽阳光,减少水分蒸腾。《种艺必用》载:“移大梅树,去其枝梢,大其根盘,沃以沟泥,无不活者。”①减小树冠,以保证移栽成活。清代《花镜》说:“移花接木,在主人以为高事,于花木实系生死关头。若移非其时,种不得法,未有能生者也。”“若大树称春初未芽时,或霜降后根旁宽深掘开,斜将钻心钉地根截去,惟留四边乱根,转成圆垛,仍覆土筑实,不但移栽便,而实结亦肥大。小树转垛后一年,即可移。若大树必须三年,每年轮开一方,乃可移种。”②在移栽花木过程中,能否成活,关键在于尽可能的保留根系以及减少树冠对水分的消耗,移花转垛法,逐年将大树的一部分钻心钉地根截去,而使靠近茎干的“四边乱根”代偿性的发育起来,这样移栽后,水分和营养的吸收主要靠“四边乱根”来保证,从而保证了大树移栽的成活。这种技术是巧妙的。

2、伤流现象的发现和利用:

人类在很早以前必定会看到,从折断或受伤的植物体上有汁液不断溢流出来的现象,这种现象称为伤流,流出的汁液称为伤流液。据《齐民要术·种桑柘篇》的记载,“斫桑:十二月为上时,正月次之,二月为下。白汁出,则损叶。”③为什么截除桑枝十二月是最好的时令呢?因为此时桑树正处于深沉休眠期,各种生理活动都很微弱,根压也最小。此时截枝,不会有白汁——伤流液流出来,对春季新叶的萌生没有什么影响。正月已经立春,桑树逐渐复苏,代谢活跃起来,根压慢慢地增大了;二月树液渐渐开始流动了,植株代谢更加活跃,根压增大,此时截枝伤流液必然就多了。伤流液中不仅仅含有水分,近代科学试验证明,其中还含有氨基酸、生长激素、各种矿质营养和有机营养成分,这些成分正是早春幼芽萌生的营养来源,自然地一旦“白汁出,则损叶”了。这个实例表明,至少在距今一千四百多年以前,我国人民对于伤流的季节性变化及伤流液营养作用已有了相当的认识。在《种瓜篇》里还记述了对于伤流液的利用。种甜瓜时,挖一个大如斗口的坑“纳瓜子四枚,大豆三个,于堆旁向阳中。谚曰:‘种瓜黄抬頭’。瓜生数叶,掐去豆。瓜性弱苗,不能独生,故须大豆为之起土。瓜生不去豆,则豆反扇瓜,不得滋茂。但豆断汁出,更成良润,勿拔之!拔之,则土虚燥也。”④这是借助大豆顶土力强来帮助瓜出苗,然后掐断豆苗,使流出的伤流

① 《种艺必用》宋·吴怱撰,元·张福补述,胡道静校注。农业出版社,1963年,P.35。

② 《花镜》清·陈溴子辑,成书于公元1688年,卷二移花转垛法。

③ 《齐民要术》北魏贾思勰撰,全书九十二篇。

④ 《齐民要术·种瓜篇》。

液来泽润土壤，促进瓜苗的生长，更是直根，扎根深，把土壤深处的水吸上来，对瓜苗是有益的。此法真可谓之妙哉！

3、合理灌溉的理论和实践：

合理灌溉就是使农作物在生长发育过程中，得到所需要的水分供应，使其免受干旱之害。为此人们就必须要知道什么时候灌水最合适？每次灌水多少量？植物什么时候需要水最多？什么时候植物对缺水最敏感？当然合理灌溉的科学知识是经过漫长的岁月，在农业生产过程中一点一滴积累和逐步完善起来的。

(1) 以水调温促进生长：

温度是影响植物生长和发育的重要生态因子之一，水稻不仅是喜水而且是喜温作物，对于环境温度有较严的要求，过冷、过热都不适宜它生长。因此调节好稻田温度，很早就引起了人们的注意。《汜胜之书》就记载着利用灌溉水控制田间温度的方法“始种，稍欲温。温者，缺其塋（地埂），令水道相直。夏至后，大热，令水道错。”①种稻之初天气尚冷，田里的水需要暖和一些，把灌溉的进水口和出水口对直，使田里的水流动得缓慢些，有利于太阳慢慢地把田里的水晒暖，使田间温度保持稳定。夏至以后，天气炎热，稻田温度猛增，过热并不适于水稻生长，故而把进水口和出水口错开，使田里水迅速排出，换入清凉的水，降低稻田的温度，以适水稻的生长。又说种麻“天旱，以流水浇之；树五升。无流水，曝井水，杀其寒气以浇之。”夏日井水清凉，浇地植物易受害，所以要把井水晒热了再浇。其原因就现在看来，显然是避免土温的骤降进而影响到根系的呼吸作用和对水分和矿物质的吸收，由于此时植株的蒸腾作用仍很强烈，低温会使植物水分平衡遭到破坏，以致发生生理萎蔫。植物就会受害。在《养余月令》中，对于午间忌浇水的道理说得更具体些“凡花草浇水，宜清晨暮夜，即阴晦，亦不宜于日中。恐冷热相逼，花卉俱枯。”②明代徐光启《农政全书》在记载利用山泉水灌溉梯田水稻时，也主张委曲导水，经过阳光晒暖后流入田中，可见这种浇灌法是相当普遍的。《沈氏农书》又说：“若值天气骤寒，霜早，凡田中有水，霜不损稻，无水之田，稻即秕矣。先农有言：‘饱水足谷’此之谓也。”③进一步说明了水可以防止田间温度骤降，提高植物的抗寒能力。同样的道理在阳光充足的白天，为了提高秧田温度，可以排除秧水使秧田直接受到日晒，提高土温。

严寒的冬季，自然界温度很低，植物不能生长，但是勤劳的我国劳动人民很早就知道利用温泉水的热能来提高环境的温度，从而在冬季培育出肥嫩的新鲜蔬菜。这从唐代诗人王建

① 《汜胜之书》西汉末年汜胜之撰。

② 《养余月令》明末戴羲撰，三十卷。这段话引自十二卷栽博。中华书局出版，1959年，P.119。

③ 《沈氏农书》明末浙江湖州（吴兴）沈氏撰，清初张履祥加以校订，并加入他自己的补农书一并刻行。

的诗句“内园分得温汤水，二月中旬已进瓜”^①中可以得到肯定。这个事实启示我们，现代，我们为什么不能去利用我国众多的温泉，利用它廉价而巨大的热能去改良环境小气候，在冬季培育出新鲜蔬菜瓜果，满足人民的需要呢？

(2) 独创的渗透灌溉法和地下灌溉法：

在水源不足和雨水缺乏的我国北方旱源地区，经济用水，合理灌溉的特殊技术，早在西汉以前就引起人们的极大注意了。《氾胜之书》区种瓠法载：“……早时，须浇之：坑畔周围小渠子，深四、五寸，以水停之，令其遥润。不得坑中下水。”这是说在瓠坑周围掘一道小水沟，沟里留着水，让水从远处浸润渗透，不要直接在坑里加水。既能保持土壤湿润，又可防止板结。地下灌溉法，在当时也已有过应用，种甜瓜“以三斗瓦瓮，埋著科中央，令瓮口上与地平。盛水瓮中令满。种瓜瓮四面，各一子。以瓦盖瓮口。水或减，辄增，常令水满。”甜瓜是需水较多的葫芦科植物，供水充分对于生长是有利的，但水不能过多，否则瓜品质不好，病虫害也易滋生，古人利用瓦瓮缓缓而不断的把水渗入地下，即可保持土壤湿润，又节约用水，为瓜的生长创造了很好的环境。

(3) 关于“水分临界期”：

《齐民要术·种葵篇》对于当时重要蔬菜作物葵的灌溉法，有详细的描述：“葵生三叶，然后浇之。浇用晨夕，口中便止。”“四月亢旱，不浇则不长；有雨即不须。四月已前，虽旱亦不须浇。”这实际上是讲要根据庄稼的大小，天气的好坏，以及土壤的墒情来确定是否灌水。亦即现代所谓“看天、看地、看庄稼”的灌水经验。至于对作物每次灌多少水，在《氾胜之书》里有了一些原始的记录，种麻“树高一尺，以蚕矢粪之，树三升。……天旱，以流水浇之，树五升。”区种大豆“临种沃之，坎三升水。”在生长期中，亦须“旱者溉之，坎三升水。”

“秋旱，则以桑落时浇之。秋雨泽适，勿浇之！”这是《氾胜之书》里所记载的我国小麦冬灌的最早记录。桑落叶正值秋末冬初，干旱会影响麦苗安全越冬和次年返青、拔节。补救的办法就是冬灌，使土壤里蓄存充足的水分，缓和土壤温度的变化，培育壮苗以利越冬。只是灌水时节上比现代所提倡的早了一些。

据近代植物生理学的研究，在植物的生长发育过程中，有某个时期对于缺水反应最敏感，这个时期特称为水分临界期。禾谷类作物受干旱影响最大的时期(水分临界期)是孕穗期(特别是出穗前11天左右的减数分裂期)和抽穗期，而最大需水期一般都与抽穗开花期一致，这个时期要有足够的土壤水分和适宜的大气湿度^②。所以作物的水分临界期可以作为合理灌溉的重要依据。其实，这种见解早在我国元代及其以后的农书中就有记录了。《田家五行》说：“稻秀雨浇”，这就是说“将秀之时，得雨则堂肚大，谷穗长；秀实之后，得雨则

① 引自《古今图书集成》博物汇编草木典四十六卷第535册13页。

② 《植物生态与植物群落基本知识》，云南大学生物系生态地植物学组编著。科学出版社，1976年，P.61—62。

米粒圆，见收数”①。《沈氏农书》在论述水稻烤田之后说“乾在立秋前，便多乾几日不妨；乾在立秋后才裂缝便要车水。盖处暑正做胎，此时不可缺水。”“做胎”正指的是孕穗期。用现代的话来说就是最大的水分临界期，古人所谓“断断不可缺水”的话，正中要害。完全与我国现今提倡的“有水养胎，足水抽穗，湿润灌浆，干湿壮粒”②的做法相一致。

《天工开物》载“扬州谚云：‘寸麦不怕尺水’谓麦初长时，任水灭顶无伤；‘尺麦只怕寸水’，谓成熟时，寸水软根，倒茎沾泥，则麦粒尽烂于地面也。”③对于小麦在不同生长发育时期抗涝性的不同，作了正确的分析。告诫人们，小麦接近成熟时灌水要谨慎，否则易发生倒伏，反而减产。这与现代农谚所谓春小麦灌水应做到的“头水早，二水满，三水、四水洗个脸”（即灌水要少，水从地表过一下就行了）的经验是一致的。

《知本提纲》对谷子灌溉的论述更为透彻。“养壤沃，地力已无不尽，然雨雪愆期，禾苗多枯，是尚所遗也。故灌溉之养，更需乎人力。必应时兴举，以济雨雪之所不及，地利始能无遗，而丰稔可常致矣。”强调灌溉要及时才能充分发挥地力的作用。“地贵早浇，自然阴阳相和，籽粒繁实而有益。若因水之余剩而频浇之，则苗多空叶，子多糠秕，阴盛而反毁也，可不防哉！”“禾畏深水受淹，腐心堪忧。”④正确地指出了对抗旱性强的谷子灌水的要点，即灌水量要小些，灌水次数不能过多，否则会发生“疯长”——草多谷实少。谷子抗涝性差，水淹则有茎叶腐烂之害。《马首农言》简明地概括出谷子临界期缺水的后果是“伏里无雨，谷里无米。”⑤对灌浆期缺水的危害性说得生动通俗。

（4）烤田的生态生理作用：

烤田是水稻灌溉过程中穿插进去的一项技术措施。它可以调节土壤温度，改善土壤通气状况，促进好气性微生物的活动，加速土壤有机物质的分解，并能促进根系的呼吸和发育，使茎秆健壮，增强抗倒伏的能力。烤田的记载，初见于《齐民要术·种水稻篇》“稻苗渐长，复需薅；薅讫，决去水，曝根令坚。量时水旱而溉之。”《陈旉农书·薅耘之宜篇》提出烤田要烤到土壤干裂的程度，然后“次第灌溉。”这是因为“乾燥之泥，骤得雨即苏碎。不三、五日间，稻苗蔚然，殊胜于用粪也。”⑥高度地评价了烤田的作用。《沈氏农书》总结了烤田的好处是：“根脉深远，苗干苍老，结秀成实，水旱不能为患矣。”可见明代对烤田的生态和生理作用已有深刻的认识了。《沈氏农书》引用古代的农谚说：“六月不乾田，无米莫怨天。”证明在更早的年代里，水稻的栽培上，烤田已是一项夺取丰收的必需措施了。

① 《田家五行》元末娄元礼撰。

② 1973年全国水稻科研协作会议经验，此处间接引自《植物生态与植物群落基本知识》P.61—63。

③ 《天工开物》明·宋应星撰，此书初刻于1637年。此句引自第一篇，乃粒、麦灾。

④ 《知本提纲》清·杨岫撰，公元1747年。其中第五卷专论农事。

⑤ 《马首农言》清·祁雋藻撰于公元1836年。

⑥ 《陈旉农书》南宋·陈旉撰，公元1149年成书，共三卷。

4、雪水对植物的影响：

《氾胜之书》首先记载了古人对雪的利用和雪水与植物抗旱性之间的关系。“冬雨雪，止，以物辄藪麦上，掩其雪，勿令从风飞去。后雪复如此。则麦耐旱多实。”《齐民要术》里种麦、蔬菜、瓜都要利用雪水或用以处理种子，或用于湿润土壤，并认为雪水可使“麦耐旱多实”，使蔬菜“叶又不虫”，使瓜“润泽肥好”。《种树书》又说：“麦最宜雪。谚云冬无雪麦不结”①。这是无稽之谈？还是真有科学道理呢？现代科学研究证明虽然同是水，但雪水、雨水、地下水的成分是有显著差异的。普通雨水每七公斤含重水②一克，而雪水只四分之一克，雪水中所含重水要比雨水少得多。据试验如果用重水养鱼，鱼会很快死去，用重水浸泡种子，发芽力就全部丧失了。此外重水还能使一些微生物致死③。相反，用雪水浸种，发芽率竟比普通水浸种的高出41%，雪水喂养的家畜，家鼠和家禽都是生长迅速，体质健壮。在温室里，用雪水浇灌的黄瓜产量竟比普通水浇灌的增产210%。现在科学试验业已证明，重水对所有生物的生命过程都有抑制作用，雪水对许多动物、植物的生长都有促进作用④。所以对于“雪”对植物的作用绝不仅仅是保暖、保墒、消灭虫害和湿润土壤的作用了。雪水能促进植物新陈代谢以及提高植物抗旱性的机制问题值得进一步去研究。我国古人很早就发现了雪的增产作用，并提出了种种有益的实践经验，虽然那时人们还说不清这种增产的原因，但是这些经验是极可贵的，其中包含着丰富的科学道理，还有待去进一步发掘。

5、耕作保墒的生态、生理作用：

加强耕作保墒，尽可能地保持土壤水分，改善土壤通气状况，这是发展农业生产的关键性措施。早在西周以前就相当重视锄草，到了战国时期由于生产工具的改良，进一步提出了“深耕易耨，”⑤对深耕和锄草是并重的，劳动效率有很大的提高。《吕氏春秋》提出“五耕五耨，必审以尽；其深殖之度，阴土必得，大草不生，又无螟螣。”⑥《庄子》曰：“深耕而熟耨之，其禾繁以滋。”⑦上述表明，战国时期人们已知深耕具有保墒，灭草，消灭病虫害使庄稼繁茂的作用。汉书《食货志》载：“苗生三叶以上，稍耨壅草，因隳其土以附苗根。……比盛暑，壅尽而根深，能风与旱。”把中耕除草和培土结合起来，并认为可以使根扎得更深，抵抗风旱。北魏时期已总结出完整的一套耕作保墒经验和理论，诸如因时制宜，深

① 《种树书》元末明初俞贞木撰。

② 重水：重水是氢的同位素重氢（氘——原子量为2；氚——原子量为3）和氧化合而成的水。比重和沸点都比普通水高。

③ 游修龄，1976：《齐民要术》及其作者贾思勰。人民出版社，P.20，及山西农业科学，1980年第1期，P.24—25雪水对微生物生育的影响。

④ 郑树桓，1979：《水的奥秘》。河北人民出版社，P.92—97。

⑤ 《孟子·梁惠王上篇》战国孟轲门人万章、公孙丑记。成书于公元前三世纪。

⑥ 《吕氏春秋》战国末年，秦相吕不韦的门客们共同编写。这段话引自任地篇。

⑦ 《庄子》战国庄周撰。这句话引自则阳篇。

浅有别；因地制宜，适时耕作；切忌湿耕，耕后就耨、多耨为佳的经验，千方百计保持土壤泽润。中耕锄草要做到“锄早、锄小、锄了”。《齐民要术》还提出了“锄者非止锄草，乃地熟而实多，耨薄米息。锄得十遍，便得八米也。”^①明确的认为中耕除草可以促进土壤熟化，使作物可以得到更多的养分并能显著增加产量和改善品质。《齐民要术·种瓜篇》进一步概括的指出“多锄则饶子，不锄则无实。五谷、蔬菜、果、瓜之属皆如此也。”这些理论和实践经验直到今天仍不失其科学性。

清代《知本提纲》进一步阐述了中耕锄草对谷子根系生长、分布习性的影响，“锄频则浮根去，气旺则中根深。下达吸乎地阴，上接济于天阳。禾赖中根以生。然浮根不去，则中根不深，不能下吸地阴，上济天阳，则子粒干缺，所收白薄。故锄不厌频，中根自深，方能吸阴济阳，气旺而有收矣。”浮根指的是分布在土壤表层的根，中耕锄草斩断了浮根，使土壤疏松，改善了土壤的通气状况，地温增高，土壤微生物活跃，促使根系向土壤深处分布，以吸取土壤深处的水、肥供谷子生长发育的需要，中耕锄草改变了浮根和中根在上层中的比例关系，使根系发育得更加强大，植株抗旱、抗风、抗倒伏的能力增强，植株健壮、子粒饱满、产量自然要增加了。所以“锄不厌频”。中耕锄草改善了植物生活的土壤生态条件，水、气、温度、肥力全都涉及到了。

6、提高植物的抗旱性：

自古以来，干旱就是农业生产的主要威胁，所以选择、培育抗旱品种很早就引起了人们的重视。《汜胜之书》记载了穗选的留种法。《齐民要术》把选育良种摆在显著的地位上，不仅广泛记载了许多作物、果木、蔬菜、瓜类的品种，而且把抗旱性的强弱列为一种重要的特性，予以评价和作为选择优劣的标准。选育和繁殖良种的方法也更加完善。这种重视选育优良品种的思想流传下来，使我国的品种资源更加丰富，它们在和自然干旱的斗争过程中发挥了巨大的作用。就连现代被人们认为十分讨厌的杂草——稗，古人对它的生态习性了解得也很清楚。《汜胜之书》说：“稗，既堪水旱，种无不熟之时。又特滋茂盛，易生。芜秽良田，亩得二、三十斛。宜种之以备凶年。”这是利用稗抗旱性和抗涝性强的特点，来防备遇到灾年。《齐民要术·大小麦篇》“种大小麦：先时逐犁耨种者，佳。再倍省种子，而科大。逐犁掷之亦得。然不如作耨耐旱。”“耨种”是随犁点播盖土。“逐犁掷之”是撒播^②，当时已总结出随犁点播比撒播的麦子耐旱，节省种子。人们业已发现改进播种方式可以提高作物的抗旱性。

播种前，对作物种子进行处理，培育壮苗，提高植物抗旱性的方法见六、种子生理。

二、植物与土壤

土壤是植物生长发育的基地。土壤的水分、营养、温度和空气状况直接影响到植物的生

^① 《种谷篇》。

^② 后魏贾思勰撰，石声汉选释《齐民要术选读本》。农业出版社，1961年，P.91。

命活动。所以我国一向就有“万物土中生”之说。“今是土之生五谷也，人善治之，则亩益数盆。”《荀子·富国篇》。只要善于治理土壤，就可以加倍地得到收成。《吕氏春秋·审时篇》又说：“夫稼，为之者人也，生之者地也，养之者天也”。首先肯定了人、土地和天气候是农业生产的三个重要因素，并且其中人是最第一位的因素。

1、土壤特性与植物的关系：

(1) 相地之宜，安排植物：

要使植物生长繁茂，就要懂得土壤特性和植物的关系。《杂阴阳书》说：“五木者，五谷之先也，欲知五谷，先观五木，择其木盛者，多种之。”^①这是根据树木生长的繁茂与否来判断土壤的肥力情况，然后选种相宜的植物。《周官》载：“草人，掌土化之法。以物、地相其宜而为之种。”^②这是说要针对作物与土地是否相适宜的具体情况来确定该种什么庄稼。《周礼司稼》又说：“掌巡邦野之稼而辨稼德之种，周知其名与其所宜地以为灋而县于邑闾。”说明远在三千年前，我国人民已经知道，成熟期长的稷和成熟期短的黍要种在各自适宜的土壤中^③。自古以来许多历史典籍中一再强调的“土宜”、“相地之宜”，实际上包括着土壤肥力情况（水、肥、温度、空气），地形、地势、地域等内容。虽然地形、地势、地域不是植物直接的同化因子，但它们却是引起光、温、水气诸生态因子发生变化的因素，所以地形、地势和地域能影响植物种类的分佈、形态结构和生长发育。据《禹贡》记载：“禹别九州，随山浚川，任土作贡。”据孔颖达疏：“九州之土，物产各异，任其土地所有，以定贡赋之差。既任其所有，亦因其肥瘠多少不同，制为差品。”^④根据土壤的好坏来决定各地贡赋的多少，说明当时已有一定水平的土壤科学知识。《禹贡》把九州的土壤按照色泽，性质，肥沃程度的不同分为九等，这成为我国土壤地理学的创始^⑤。《周礼》在土地的分类上是有贡献的，它把地势不同的土地分为山地、丘陵、高原、平地、低地和水泽。它根据土地的肥沃程度把地分为“不易之地”、“一易之地”、和“再易之地”和“上地”、“中地和下地。”据郑司农解释“不易之地，岁种之，地美，……一易之地，休一岁乃复种，再易之地，休二岁乃复种。”^⑥说明为了培养地力，当时已经形成了轮换休闲的制度。《淮南子·主术训》记述了土地合理利用的原则“肥、磽、高、下、各因其宜，丘、陵、阪、险，不生五谷者，树以竹木。春伐枯槁，夏取果蔬（瓜），秋蓄蔬食，冬伐薪蒸，以为民资。”^⑦

① 《杂阴阳书》：据王毓瑚先生编著《中国农学书录》。1954年出版，农业出版社，第14页。此书系汉书艺文志阴阳家类著录，没有作者的名氏。

② 《周官》是“三礼”之一，据历史学家们推测，大概是战国到西汉间的作品。参看石声汉著《从齐民要术看中国古代的农业科学知识》。科学出版社，1957年，P.14—15。

③ 《植物生态学》，何景编。高等教育出版社，1959年，P.6。

④ 《禹贡》成书年代，各说不一。参考《中国农学史》上册，P.186注①、②、③。

⑤ 《中国农学史》上册，P.195—197。中国农科院、南京农学院、中国农业遗产研究室编著。科学出版社，1959年。

⑥ 参看《中国农学史》上册，P.197—201。

⑦ 《淮南子》西汉淮南王刘安招宾客所撰写，成书于公元前139年。

“五穀之狀，萎萎然，不忍水旱。”“穀土”貧瘠，持水性差，不忍水旱，是下土^①。在現代的土壤學以及植物生態學中，仍然把土壤持水性、透水性列為鑑定土壤的主要標準之一，所以古人的這些觀點，是很可貴的。

在旱農地區收成的好壞，常常是由雨水來決定的，《齊民要術·種麻篇》說“諺曰：‘夏至後，不沒狗’。或答曰：‘但雨多，沒橛駝’”。俗語說：“夏至後種的大麻，長不高，連狗都遮不住。”另一個人回答說：“只要雨水多，麻長得可以遮得住駱駝。”這個諺語形象地道出了雨水（土壤水分）與植物生長的关系。《齊民要術·種谷篇》又說：“凡種谷，雨後為佳。遇小雨宜接濕種；遇大雨待芟生。小雨不接濕，無以生禾苗；大雨不待白背，濕種則令苗瘦。芟若盛者，先鋤一遍，然後納種……”。《種旱稻篇》載：“五六月中，霖雨時，拔而栽之。”雨水是旱農地區土壤水的來源，對於各種作物來說趁雨播種（栽種）及時把雨水收入土壤是十分要緊的。

（3）土壤肥力與播種期、播種量：

《四民月令》載：“四月時雨降，可種大小豆。美田欲稀，薄田欲稠。”^②顯然這是因為土地肥沃，莊稼發科大。《齊民要術·種谷篇》載：“地勢有良薄，良田宜種晚，薄田宜種早。良地非獨宜晚，早亦無害，薄田宜早，晚必不成實也。山澤有異宜。山田，種強苗以避風霜；澤田，利弱苗以求華實也。”這是根據土地的優劣來確定播種期和選擇所宜品種。

2、土壤的培肥和改良：

（1）廣辟肥源、精耕細作：

西周時期，人們已開始懂得田間雜草的腐爛有利於莊稼的生長。啟示人們去搜尋和製造肥料。春秋——戰國時期的典籍中關於施肥的記載很多。“耕者之所獲，一夫百畝，百畝之糞，上農夫食九人。”^③“民富則田肥以易，田肥以易，則出實百倍……；民貧則田瘠以移，田瘠以移，則出實不半，剝草殖谷，多糞肥田，是農夫眾庶之事也。”^④“水深而回，樹落則糞木。”^⑤“所積力唯田疇，必且糞灌。”^⑥到了北魏時期，僅據《齊民要術》載，當時的肥料計有廐肥、蚕糞、人糞尿、動物骨骼、綠肥、草木灰、田塉土……，並且十分強調肥料的發酵和腐熟。《齊民要術》中的“踏糞法”實際上就是現代的高溫堆肥。這些優質的農家肥料在培養地力方面起了很好的作用。

《氾勝之書》首先記載了兩漢時期勞動人民創造的“區種法”——集中運用灌水、施

① 參看夏維瑛著，《管子地員篇校釋》和李明啟，1979；《管子地員篇》中的植物生理學知識。植物生理學通訊，第1期，P.7—9。

② 《四民月令》公元二世紀崔寔撰。

③ 《孟子·萬章下篇》。

④ 《荀子·富國篇》。

⑤ 《荀子·致士篇》。

⑥ 《韓非子·解老篇》。

肥、精耕细作等技术措施，用园艺式的栽培方法来种植作物，取得了高额的产量。并且当时已经总结出了对许多作物施用基肥、种肥和追肥。西汉时期的农业已经走上了施肥定型化、普遍化的道路。《氾胜之书》已经记载了把杂草压青做绿肥的技术，“春气未通，……慎无早耕；须草生，至可种时，有雨，即种土相亲，苗独生，草秽烂，甚成良田。此一耕而当五也。”公元三世纪的《广志》^①最早的记载了在稻田栽培苕子作绿肥的经验。“苕草色青黄，紫华。十二月稻下种之，蔓延殷盛，可以美田，叶可食。”到了北魏，绿肥的种植更加广泛，种瓜、谷、葵、葱等作物都要用绿肥。绿豆、小豆、胡麻都是当时最好的绿肥品种。用绿豆做绿肥的谷子产量竟比没有用绿肥的高出三倍之多。耐人寻味的是，当时已经发现绿豆开花时翻压下去肥效最高，这个事实用现代植物生理学知识来分析以及用化学分析的方法来验证都是正确的。

《吕氏春秋·任地篇》记载了战国时期已经实行不同作物的轮作制度：“今兹美禾，来兹美麦”。在北魏以前，很早就开始把豆科植物纳入作物轮作的轨道。《齐民要术》总结的轮作倒茬方式达二十种以上之多。当时已经明确提出葵和蔓菁可以连作。如种葵“地不厌良，故墟弥善，薄即粪之。”^②种蔓菁“故墟新粪坏墙垣乃佳。”^③谷子、水稻、麻必须轮作，重茬就要减产。“谷田必须岁易。粱子，则莠多而收薄矣。”^④“稻，无所缘，唯岁易为良。”“麻欲得良田，不用故墟。”^⑤并总结出了作物轮作，茬口间的优劣，豆科植物是谷类和瓜类作物的优良前茬：小豆是麻的最好茬口等。照今日道理来讲，豆科植物根上有根瘤菌，它能固定空气中的游离氮，一亩大豆的根瘤菌可以吸收氮素约七斤，相当于30多斤的硫酸铵。我们的祖先远在显微镜尚未发明，距现今一千七百多年前，从比较研究中能发现豆科植物的这种本领，并广泛应用于农业，造福于人类，这种发现是很了不起的。

我国自古就有大量施用优质农家肥料和精耕细作的优良传统，加之很早就开始实行了栽培绿肥和与豆科植物轮作的制度，把用地和养地紧密地联系起来，所以栽培了几千年的农田，地力非但没有减退而且愈加肥美了。南宋《陈旉农书》提出了“地力常新壮”的理论，“凡田土种三、五年，其力已乏，斯语殆不然也，是未深思也，若能时加新沃土壤，以粪治之，则益精熟肥美，其力当常新壮矣，抑何蔽何衰之有。”^⑥它说种庄稼，只要能充分地“盗天地之时利”就一定能做到“则相继以生成，相资以利用，种无虚日，收无虚月，一岁所资，绵绵相继。”这种与天地做斗争的英勇气概，直到今天仍灿照人间。

(2) 改良土壤：

《吕氏春秋·任地篇》明确地提出了要利用和改良土壤的原则，“力者欲柔，柔者欲力；息者欲劳，劳者欲息；棘者（瘦土）欲肥，肥者欲棘；急者欲缓，缓者欲急；湿者欲燥，燥者欲湿。”《氾胜之书》总结了改“强土弱之”和“弱土强之”的办法。“春地气通，可耕

① 《广志》晋人郭义恭撰，成书于公元三世纪。

② 《齐民要术·种葵篇》。

③ 《齐民要术·种蔓菁篇》。

④ 分别见《齐民要术》种谷、种稻、种麻篇。

⑤ 《陈旉农书·粪田之宜篇》。

坚硬地黑垆土。辄平拿其块以生草；草生，复耕之。天有小雨，复耕。和之，勿令有块，以待时。所谓‘强土而弱之’也。”“杏始花荣，辄耕轻土弱土。望杏花落，复耕；耕辄覆之。草生，有雨，泽，耕近茵之。土甚轻悉，以牛羊践之。如此，则土强。此谓‘弱土而强之’也。”

《管子·地员篇》里记载了黄河流域一些地方有大片的盐碱地，“五桠之状，甚咸之若。其物为下。”《吕氏春秋·乐成篇》记载了引漳水灌溉洗盐取得改土成功的方法。“邺有圣令，时为史公，决漳水，灌邺旁，终古斥鹵（盐碱地），生之稻粱。”①《汉书·沟洫志》记有《白渠歌》曰：“泾水一石，其泥数斗，且溉且粪，长我禾黍。”这就是引洪灌溉成良田的好方法。战国时著名的郑国渠修成后不仅战胜了干旱，也极大地改良了土壤。《史记·河渠书》里载，郑国渠“用注填阡（淤）之水，溉泽鹵（盐碱地）之地”，“收皆亩一钟（六斛四斗），于是关中为沃野，无凶年。”这就是用淤灌压碱的方法，降低耕土层中盐碱的含量，改良了土壤②。此外，还有利用水种草来改良盐碱地的经验。《宝坻劝农书》载“濒海之地，潮水往来，淤泥常积，有碱草丛生，……其地初种水种，斥鹵即尽，渐可种稻。”③为了充分利用山地和保持水土，我国早在宋代已经修起“岭阪上皆采田，层层而上至顶，名梯田。”④元代《王桢农书》还广泛地记录了古人与山斗地斗的同时与河争田，修筑“围田”、“堰田”、“涂田”、“沙田”、“架田”的方法和技术。明代《天工开物》还记载了改造酸性土壤的技术，这部分内容留待合理施肥一节中去讲。

3、合理施肥：

施肥是保持地力增加生产的关键，所以肥料素有“植物的粮食”之称。可是，单有肥美的肥料，若不会及时而合理地供给作物各个生育阶段的需要，也不能实现庄稼的丰收。我们的祖先在这方面积累了丰富的经验也创造了不少颇有见解的理论。

（1）多种营养成分的配合：

芜菁是古代主要的蔬菜（叶子）和各荒食粮（圆锥根）。对它用些什么肥料呢？《齐民要术》说，选用旧墙土和草木灰“乃佳”。在众多的肥料种类之中，为什么只提用这两种呢？原来旧墙土中由于非共生固氮细菌和硝化细菌群的长期活动，积累了大量的氮化物和硝酸盐。把它施入土中，正好能满足叶片迅速生长对氮素的需要。草木灰的主要成分是钾和磷，钾的生理作用主要是促进碳水化合物合成以及它们在圆锥根中的积累，磷的生理作用主要是促进有机物质的合成和运输以及根的发育。草木灰中恰恰缺乏氮素，旧墙土和草木灰的配合施用，既能促进长叶，又能有利于生根，自然芜菁要丰收了。

① 参看华北农业大学农业科学技术史研究组，1978：精耕细作——我国古代农业科学技术的优良传统（一）。《中国农业科学》第一期，P.91—96。

② 参看秦中行，1974：郑国渠渠首遗址调查记，《文物》第7期，P.33—38。

③ 《宝坻劝农书》明代袁黄撰，成书于公元1591年前。

④ 见宋代范成大著《骞鸾录》，成书于公元1172年。

(2) 独创的施用磷肥技术：

人们在采用矿物肥料以前，磷肥的主要来源是取自于动物骨骼。我国古籍中首先记载用动物骨骼做原料来制造肥料的，首推公元前一世纪的《氾胜之书》中所载用煮竹汁来处理种子的“溲种法”。（在六、种子生理一节，详加分析）以后在《齐民要术》种安石榴篇十分强调骨肥是安石榴的“树性所宜”，它可以使石榴科从旺盛，花实繁茂，预示出磷具有促进开花结实的生理作用。明代《天工开物》记述了对于“土性带冷浆的，宜用骨灰蘸秧根，石灰淹苗足”^①的经验。冷浆土是酸性土壤，这种田水温低，排水不良，有机质分解缓慢，土中缺乏磷素。骨灰蘸秧根正好补充了土壤的缺磷，石灰淹苗足中和了土壤的酸性，十分有利于秧苗根系的发育，缓苗期也缩短了，培育了壮苗。徐光启的手迹中也有类似记载^②。这种经济用肥，提高肥效的好方法，直到现代仍然在我国广大水稻产区浙、皖、湘、赣等省继续采用着，所不同的是现今已用过磷酸钙来代替骨灰了^③。

(3) 铁、硫、钙质肥料的施用：

虽然在一百年前欧洲科学家萨克斯（J.Sachs）和克诺普（W.knop）等人创造了植物水培法，人类才首次通过试验，确知了铁、硫、钙等十种元素是植物正常生长发育所不可缺少的元素，但是我国早在此前几百年就已经把它们用作肥料，并通过实践预示出它们的一些生理作用。如元代（公元1330年成书）的《农桑衣食撮要》载，种皂荚“有不结荚者，凿一孔，入生铁三五斤，用泥封之，便开花结子。”^④这是用铁来促进皂角树开花结实。又《花镜》载：“凤尾蕉一名番蕉（苏铁），产于铁山，江西、福建皆有，叶长二、三尺，每叶出细尖，瓣如凤毛之状，色深青，冬亦不凋，如少萎黄，即以铁烧红钉其木上，则依然生活，平常不浇灌，惟以生铁屑和泥煎之自茂，且能生子，分种易活。”^⑤显然这是用铁来治疗凤尾蕉的缺铁生理病。

距今七百年前的《种艺必用》载，种茄“其茄着五叶，因雨移之。种茄子时，初见根处劈开，指硫黄一匕（古代盛具）大，以泥培之，结子大如盏，味甘而宜人。”又“以硫黄调水泼之，撒芥子于其上，经宿已生一、两小叶矣。”^⑥以上是用硫黄促进茄子开花结实，使茄果硕大味甘以及促进芥子发芽。又“种竹法：择大竹，就根上去土三、四寸许截断之，去其上不用，只以竹根截处打通节，实以硫黄末，颠倒种之地。一年生小竹，随即去之。次年亦去之。至第三年生竹，其大如所种者。”^⑦这是用硫来促进竹节插枝生根。《养余月令》又载

① 《天工开物》明代宋应星撰，初刻于公元1637年。

② 《徐光启手迹》1962年，中华书局影印本。

③ 参看陈尚谨等，1963年：施用磷肥对提高丘陵地区水稻产量和防止稻苗“坐秋”的研究，《中国农业科学》，第6期，P.7—12。

④ 元·鲁明善著，王毓瑚校注，《农桑衣食撮要》。农业出版社，1979年版，P.42。

⑤ 《花镜》清代陈淏子撰，共六卷，成书于公元1688年。此处引自卷四藤蓼类考。

⑥ 《种艺必用》宋·吴恽撰，元·张福补遗，胡道静校注。农业出版社，1963年，P.21、P.27。

⑦ 《种艺必用》P.51。