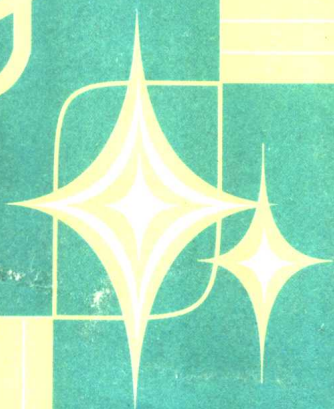




全国高等农业院校教材



大豆栽培生理



农学类专业用



董 钻 编著



中国农业出版社

全国高等农业院校教材

大豆栽培生理

董 钻 编著

农学类专业用

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大豆产量生理/董钻著. -北京: 中国农业出版社,
2000.11

ISBN 7-109-06398-4

I. 大... II. 董... III. 大豆-栽培 IV. S565.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 26867 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 沈镇昭

责任编辑 张兴瓚 杨天桥

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2000 年 11 月第 1 版 2000 年 11 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 14.25

字数: 322 千字 印数: 1~1 000 册

定价: 68.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

编著者的话

本书的蓝本是编著者长期为大学农学专业本科生和作物栽培学与耕作学学科硕士研究生讲授大豆高产栽培和大豆产量生理课程的讲义。在大豆生产实践中有许许多多的问题需要作出回答,诸如,为什么大豆的产量赶不上谷类作物?为什么大豆不能连作?大豆根瘤能够固氮,为什么还要施用氮肥?等等。同样,在大豆栽培理论上也有不少似是而非的问题应当加以澄清,诸如,大豆单叶的光合速率与大豆群体的产量究竟有无关系?大豆是不是“养地作物”?“大豆开花,垄沟摸虾”是不是大豆的需水规律?等等。

据编著者体会,大豆栽培生理是介乎大豆栽培技术与大豆基础生理之间的一门科学。对于大豆栽培上的某些问题,简单地运用基础生理的知识是解释不了的;弄得不好,还可能产生“误导”。譬如,国内外的测定结果均表明,大豆叶片的光饱和点在3万—4万 lx 之间,即再强的光照对于大豆叶片已属多余。于是,大豆往往被误认为是“耐阴作物”。其实,在田间条件下,对大豆群体来说,根本不存在光饱和问题。恰恰相反,大豆群体冠层中部特别是下部光照严重不足才是光能利用问题的症结所在。看来,不论光合生理、营养生理,也不论水分生理、抗逆生理,一旦被用于解决生产问题,都将受到新的检验,并需作出新的解释。这便是栽培生理之所以产生的原因,之所以存在的理由。

本书不是大豆基础生理学,而是大豆栽培生理学。它围绕着提高大豆产量这个中心,试图对若干生产实际问题进行理论阐述,并尝试将某些试验研究成果与栽培实践问题结合起来。不论论述任何一个问题,编著者都比较广泛地引证了国内外的最新研究文献,尽量客观地介绍了各种不同的观点,力求言之有据,力求避免偏颇。当然,这些文献中也包括编著者本人的研究结果,这些观点中也包含编著者本人的拙见。

本书分大豆产量品质和生产潜力、器官建成和生育进程、光合生理、营养生理、根瘤和固氮、水分生理、群体结构和物质生产、连作障碍生理等共8章,大致上涉及了大豆栽培生理的各种重要问题。本书既可供高等农业院校本科生、硕士生、博士生、教师采用,也可供农业科研工作者、农业技术推广工作者参考。

由于目前尚无现成的大豆栽培生理专著可资借鉴,本书的选材不一定合适,论述也未必恰当,敬请同行和读者赐教。本书原稿承蒙苗以农教授审阅,谨致谢意。

编著者

1995年8月

前 言

作物栽培学涉及的因素比较复杂,概括起来大体包括三大方面,即作物、环境和措施。它是研究农作物生长发育规律及其与外界环境条件的关系,以及农作物高产、稳产、优质、低成本的理论和技术措施的一门科学。

为了便于高等农业院校本科农学专业学生比较深入地学习作物栽培学,根据1988年7月作物学科组全体成员会议通过,并经同年12月农业部全国高等农业院校教材指导委员会会议审核通过,确定编写“作物栽培生理系列参考书”,聘请余松烈(山东农业大学)为主编,钱维朴(南京农业大学)为副主编,并确定这套作物栽培生理系列参考书共十二册,包括小麦、水稻、玉米、薯类、棉花、大豆、花生、油菜、甘蔗、甜菜、麻类、烟草,聘请各该参考书的主编及副主编名单如下:

小麦栽培生理:主编余松烈(山东农业大学),副主编钱维朴(南京农业大学)。

水稻栽培生理:主编莫家让(广西农业大学),副主编黄丕生(南京农业大学)、朱庆森(江苏农学院)。

玉米栽培生理:主编胡昌浩(山东农业大学)。

薯类栽培生理:主编李尧权(四川农业大学)。

棉花栽培生理:主编陈布圣(华中农业大学)。

大豆栽培生理:主编董 钻(沈阳农业大学)。

花生栽培生理:主编张高英(山东农业大学)。

油菜栽培生理:主编刘启鑫(西南农业大学),副主编官春云(湖南农业大学)。

甘蔗栽培生理:主编苏广达(华南农业大学)。

甜菜栽培生理:主编曲文章(东北农业大学)。

麻类栽培生理:主编黄完基(江西农业大学)。

烟草栽培生理:主编韩锦锋(河南农业大学)。

各种作物栽培生理的主要内容应该是讨论各作物的高产、稳产、优质、低消耗的生理基础,讨论各作物有关光合性能、群体结构、个体营养以及调节生长发育、培育壮苗、促进产品器官发达等方面的问题。但是由于每种作物都有其自身的生育规律,生产上对它们需要的部分也各不相同,而且对各种作物在栽培生理上的研究深度、广度也各异,因此本系列参考书对各书的内容和编辑上的要求是充分发挥各书的特点,不强调一致性。

本系列参考书除供高等农业院校本科农学专业师生参考外,也可供广大农业科技工作者参考。

本系列参考书的每本书虽然在编写上花了较大精力,力求精益求精,但缺点和错误之处在所难免,请广大读者指正。

余松烈 钱维朴

1991年1月

目 录

前言

第一章 大豆的产量、品质和生产潜力	1
第一节 大豆的产量	1
一、大豆与粮食作物产量的比较	1
二、大豆的单位面积产量	1
三、大豆产量限制因素的分析	3
第二节 大豆的品质	7
一、大豆的蛋白质及其组成	7
二、大豆的脂肪及其组成	9
三、大豆籽粒蛋白质与脂肪的关系	11
第三节 大豆的生产潜力	11
一、大豆气候生产潜力的估算	11
二、大豆高产特异株型的创新	13
第二章 大豆的器官建成和生育进程	16
第一节 大豆的器官建成	16
一、大豆种子萌发	16
二、大豆根的形成和生长	16
三、大豆茎的形成和生长	17
四、大豆叶的形成和生长	18
五、大豆的花芽分化和花的形成	19
六、大豆受精和胚胎发育	21
七、大豆荚果和种子的形成	21
第二节 大豆的结荚习性	23
一、大豆的三种结荚习性类型	23
二、不同结荚习性大豆的开花和结荚状况	24
三、大豆结荚习性及其适应地区	25
四、结荚习性等位基因系的产量比较	26
第三节 大豆的生育期和生育时期	27
一、大豆的生育期及其影响因素	27
二、大豆的生育时期	30
第三章 大豆的光合生理	33
第一节 大豆单叶的光合作用	33
一、大豆光合速率的品种间差异	33
二、大豆植株不同叶片光合速率的差异	34
三、大豆叶片光合速率的日变化	36
四、大豆叶片光合速率的季节变化	39
五、影响大豆叶片光合速率的内在因素	40

六、影响大豆叶片光合速率的外界因素	45
第二节 大豆群体的光合速率	48
一、大豆群体中单株的光合速率	48
二、大豆群体的光合速率	49
三、大豆群体光合速率的日变化	49
四、大豆群体光合速率与籽粒产量的关系	50
第四章 大豆的营养生理	53
第一节 大豆的氮磷钾营养	53
一、大豆所需养分的种类及其分布	53
二、大豆的氮素营养	54
三、大豆的磷素营养	54
四、大豆的钾素营养	55
第二节 大豆植株氮磷钾含量的变化动态	56
一、大豆植株氮磷钾含量(%)的变化	56
二、大豆植株氮磷钾绝对含量的积累	59
三、大豆植株氮磷钾的吸收速率	60
四、大豆的土壤氮磷钾摄取量	61
第三节 大豆对氮磷钾肥的反应和化肥的施用	62
一、大豆对不同来源氮素的吸收	62
二、大豆对氮肥的反应和氮肥的施用	66
三、大豆对磷肥的反应及磷肥的施用	73
四、大豆对钾肥的反应及钾肥的施用	76
五、氮、磷、钾肥的配合施用	78
第四节 大豆对次要元素和微量元素的需求	79
一、次要元素的生理作用及施肥效应	79
二、微量元素的生理作用及施肥效应	80
三、稀土元素的生理作用及施肥效应	85
第五章 大豆的根瘤和固氮	88
第一节 大豆根瘤的形成和发育	88
一、根瘤菌的感染和侵入线的形成	88
二、根瘤的发生和构造	89
三、豆血红蛋白和固氮酶	89
第二节 氮的固定和氮的同化	90
一、氮的固定	90
二、氮的同化	90
三、酰胺的形成	91
第三节 大豆根瘤固氮动态和固氮量	92
一、根瘤固氮的季节动态	92
二、根瘤固氮的日变化	95
三、根瘤固氮量	95
第四节 影响大豆共生固氮的因素	96
一、气象因素	96
二、土壤因素	97
三、结合态氮对固氮的抑制作用	98

第五节 大豆根瘤菌接种	100
一、大豆根瘤菌剂的使用	100
二、大豆根瘤菌剂的接种效果	101
三、快生型和超慢型大豆根瘤菌的发现和应用	102
第六章 大豆水分生理	105
第一节 水分在大豆体内的运输	105
一、大豆吸水动力和水势	105
二、水分传导过程中的阻力	106
三、大豆的吸收表面和蒸腾表面	107
四、大豆的蒸腾作用	109
第二节 大豆的需水规律	112
一、大豆的蒸腾系数及其影响因素	112
二、大豆产量与耗水量的关系	114
三、大豆不同生育时期的耗水量	116
第三节 水分亏缺和水分过多对大豆的影响	118
一、水分亏缺对大豆的影响	118
二、水分过多对大豆的影响	121
第四节 大豆灌溉、排水和保水剂的应用	122
一、大豆的灌溉	122
二、大豆的排水	123
三、保水剂在大豆上的应用	124
第七章 大豆的群体结构和物质生产	127
第一节 大豆的群体结构及合理结构的建立	127
一、大豆群体的结构	127
二、大豆叶片的调位运动和群体结构	128
三、大豆株型与群体结构	129
四、大豆种植密度与群体结构	131
五、大豆植株田间配置与群体结构	132
第二节 大豆群体的光合生产	133
一、大豆群体的光合作用系统	133
二、大豆群体的叶面积指数	134
三、大豆群体内的光强分布和消光系数	136
四、大豆群体内 CO ₂ 的层次分布和日变化	139
五、大豆群体的净光合率	140
六、大豆群体的光合势	141
第三节 大豆群体产量的积累及分配	142
一、大豆群体产量的积累	142
二、大豆的器官平衡和经济系数	144
第八章 大豆连作障碍生理	148
第一节 大豆茬口及重茬迎茬的后果	148
一、大豆的倒茬方式	148
二、大豆重茬迎茬的后果	148
第二节 大豆茬口评价	154
一、茬口间的关系和产量效应	154

二、“大豆养地”辨析	156
第三节 大豆连作障碍及其克服措施	159
一、大豆连作障碍机理探讨	159
二、克服大豆连作障碍的措施	162

第一章 大豆的产量、品质和生产潜力

第一节 大豆的产量

一、大豆与粮食作物产量的比较

大豆，一般被认为是“低产作物”。的确，在土壤肥力相同、栽培措施相近的条件下，大豆的产量远远地低于粮食作物的产量。据中国统计年鉴的资料，按单位面积平均产量(kg 亩^{-1})计，1990—1992年3年中，我国粮食作物的产量是大豆产量的2.70—2.81倍。由于大豆和玉米都是旱田作物，两作物所要求的气候土壤环境和耕作栽培条件相当接近，因此，下面对这两个作物的产量作一比较。

据日本国际生物学事业计划(JIBP)在日本实施的结果，1967年玉米产量为 9.07t ha^{-1} ，大豆产量为 2.87t ha^{-1} ，二者之比为3.16:1；1968年玉米产量为 7.56t ha^{-1} ，大豆产量为 2.76t ha^{-1} ，二者之比为2.74:1。今野(1988)在论述日本大豆高产生育模式时也曾提及，大豆产量只占玉米产量的1/3。据美国新泽西州的Flannery(1982)报道，该作者于1980—1982年进行玉米、大豆产量试验的结果表明，玉米产量约相当于大豆产量的2.93倍。

生产实践经验和科学研究结果均已证明，肥水条件越好，生产水平越高，玉米、大豆产量的差距越大。表1—1列举了沈阳农业大学土壤农化系在棕壤土上进行长期施肥定位监测试验的作物产量结果。

表1—1资料表明，在棕壤土长期不施肥的条件下，玉米与大豆多年平均产量之比约为1.9:1。随着施肥种类和数量的增加，两种作物的产量差距有加大的趋势。譬如，施NP处理中，玉米与大豆产量之比为3.11:1；而施 M_1 +NP处理中则为3.36:1。这一结果显然是由于两种作物对肥料反应的敏感程度不同所致。与不施肥(CK)处理相比，施NP后，玉米产量由平均 227.3kg 亩^{-1} 提高到 471.2kg 亩^{-1} ，增长率达107.3%，而大豆产量则由平均 119.5kg 亩^{-1} 提高到 151.6kg 亩^{-1} ，增长率仅为26.9%。

二、大豆的单位面积产量

我国大豆的单位面积产量，近年来约在 100kg 亩^{-1} 上下。随着商品经济的发展和人们需求的增长，大豆生产正呈上升趋势。据我国农业部大豆专家顾问组(1994)的资料，春大豆主产省黑龙江省，1993年4500万亩大豆平均亩产达110kg。东北农业大学和黑龙江省农业科学院所属的嫩江农业科学研究所、克山小麦研究所、黑河农业科学研究所等单位，于1990—1991年在地处北纬 $46^{\circ}58'$ — $49^{\circ}12'$ ，当地无霜期只有110—120天的讷河县、德都县、克山县、海伦市推广高寒地区大豆高产技术，选用黑河7号、克辐8305-2、北86-19、黑农35号等优良品种，增施有机肥，实行化肥深施和侧施，采用垄上双条精密播种等，两年内在24万亩试验田上获得了平均亩产210.1kg的高额产量(张瑞忠等，1994)。黑龙江省

表 1—1 1979—1993 年棕壤施肥长期定位监测
试验的作物产量* (kg 亩⁻¹)
(邹德乙, 1994)

处理 年份 作物	CK (不施肥)	NP	NPK	M ₁	M ₂	M ₁ +NP
1979, 玉米	296.7	358.4	397.7	346.3	372.3	375.4
1980, 大豆	125.7	136.4	142.8	144.0	139.6	150.9
1981, 高粱	199.7	214.9	238.0	239.2	240.4	248.7
1982, 玉米	230.0	430.8	421.9	308.2	400.0	429.8
1983, 大豆	121.0	147.4	151.6	151.6	141.3	112.4
1984, 玉米	319.9	493.4	493.7	497.4	513.8	493.7
1985, 玉米	192.5	449.0	450.0	367.5	376.8	408.7
1986, 大豆	144.8	172.0	173.9	175.8	167.1	157.3
1987, 玉米	199.6	487.2	516.4	453.6	525.5	570.6
1988, 玉米	162.3	477.5	490.3	352.0	470.8	505.0
1989, 大豆	86.3	157.9	154.5	156.3	158.0	160.1
1990, 玉米	223.9	538.5	600.7	534.8	593.3	609.7
1991, 玉米	—	438.8	466.2	395.8	496.1	601.7
1992, 大豆	—	144.5	155.5	144.9	134.3	192.6
1993, 玉米	193.4	567.3	576.3	587.1	598.8	684.3
平均						
玉米	227.3	471.2	490.4	453.5	483.0	519.9
大豆	119.5	151.6	155.7	154.5	148.1	154.7

- * 表中: 1. N、P、K 施用量: 玉米施纯 N 8kg 亩⁻¹, P₂O₅ 4kg 亩⁻¹, K₂O 4kg 亩⁻¹; 大豆施纯 N 2—4kg 亩⁻¹, P₂O₅ 6kg 亩⁻¹, K₂O 6kg 亩⁻¹。
2. M₁ 为低量猪厩肥, 亩施用量 1.25t; M₂ 为高量猪厩肥, 亩施用量 2.5t。
3. CK、M₁ 和 M₂ 3 个处理均为 4 次重复平均产量; 其他处理为每年单区产量。

赵光农场推广垄体深松、分层施肥、垄上精量点播“三垄栽培”技术, 种植 11 万亩大豆, 1991—1993 年连续 3 年亩产超过 175kg。850 农场 3 连于 1987—1989 年, 在 3000 亩大豆田上连续 3 年创造了 206kg 亩⁻¹的高产水平(杨方人等, 1994)。辽宁省开原县 1981 年 24.5 万亩大豆平均亩产 166.5kg。台安县韭菜台乡杨塘村 0.4 万亩大豆连片种植, 平均亩产达到 222.5kg (单维奎, 1993)。

我国黄淮海河流域夏大豆区, 多在冬小麦收获之后种植大豆。夏大豆生育期虽短, 但也出现了大面积高产的事例。例如, 1991 年山东省菏泽地区进行夏大豆开发试验, 在 3.4 万亩面积上获得了平均亩产 210.9kg 的良好收成(王滔等, 1992)。又如, 地处淮北平原区的阜阳市邵营乡查仁村采用适当稀植、增施肥料、培土防倒等措施, 1200 亩豫豆 8 号平均亩产 231.1kg (桑益群等, 1994)。河南省是我国夏大豆种植面积最大的省份之一。据任

洪志(1993)报道,该省选用豫豆8号、中豆19号、诱变30、豫豆10号等适宜良种,抢墒早播,推广测土配方施肥,调整行株距等措施,提高了大豆单位面积产量。滑县、浚县、社旗等县的大豆面积每年均在10万亩以上,平均亩产超过125kg。江苏省推广大豆品种洪引1号和高产配套栽培技术后,1992年泗洪县太平乡100亩大豆平均亩产269.5kg,灌南县李集乡103亩平均亩产达270.5kg。

从上面列举的高产事例可以看出,大豆大面积亩产200、250kg在我国已经到处可见。然而,亩产达到300kg的高产地块却十分罕见,即使在个别年份出现一次这类高产典型,也缺少重演性。究其原因,主要在于品种的产量潜力不高,人们对高产的最适表达条件知之不多。因此,“八五”(1991—1995)期间,全国大豆育种攻关目标之一是,在东北地区创造出亩产达到325kg,黄淮海夏大豆地区亩产300kg,南方地区亩产250kg(边行除外,净面积不小于1亩)的大豆高产特异株型材料并揭示其最适表达条件。在这一大豆超高产指标提出之后,许多单位纷纷选用最优良的品种(品系),采取最佳栽培技术措施,开展了超高产试验。新疆石河子农8师143团18连农户解新发1992年种植大豆黑农33号7亩,测产结果平均亩产293.0kg(罗赓彤等,1994)。辽宁省辽中县茨榆坨镇偏堡子村农户徐殿国在沈阳农业大学和辽宁省农业科学院大豆高产课题组指导下,于1992年种植大豆辽豆10号2亩,经现场实收实打,平均亩产达到290.7kg(王彦丰,1993)。据张性坦等(1995)报道,1994年河南省泌阳县杨集和邓县刘集在除去边行的净面积1亩大豆田上分别获得了302.5和325.2kg。这两个乡所采用的品种为诱变4号。

三、大豆产量限制因素的分析

限制大豆产量的因素很多。苗以农(1994)对此曾作过专门的分析。总结国内外的研究结果,可以认定,生化的、生理的、形态的、栽培的诸多因素都限制着大豆的产量。大豆产量低的原因,大体上可概括为:能量的消耗大,物质的转化效率低,营养生长和生殖生长竞争激烈,固氮耗能多、源库关系复杂、株型特征导致光能利用率低等。

(一) 能量的积蓄和消耗 作物产量形成的过程是能量积蓄和消耗的过程。Howell(1961)曾对大豆和玉米籽粒形成过程中能量的积蓄和消耗作过如下的比较(表1—2)。

从表1—2可以看出,形成1bu大豆共积蓄和消耗能量238000kcal,而形成1bu玉米只积蓄和消耗能量107600kcal。若换算成重量等值籽粒的能量积蓄和消耗,则1kg大豆为8750kcal,1kg玉米为4236kcal。

大豆和玉米籽粒的能量差异,主要是二者籽粒的化学成分不同所致(表1—3)。大豆籽粒富含蛋白质和脂肪,而含碳水化合物相对较少;相反,玉米籽粒碳水化合物含量高,而蛋白质和脂肪含量较少。从热量的观点来看,1g碳水化合物生热量为4.10kcal,1g蛋白质生热量为5.65kcal,而1g脂肪生热量则为9.45kcal。由此不难看出,在同等条件下,大豆籽粒的产量必定低于玉米,同样也低于其他粮食作物。

(二) 物质的转化效率 作物收获器官(对于粮食作物和大豆来说,即指籽粒)的构成成分产生于初级光合产物,如葡萄糖。关于由葡萄糖转化为各种储藏物质的效率,有多种计算方法。在上述物质转化过程中,一些初级光合产物被用于呼吸作用以产生生物合成所需的能量。1个单位葡萄糖可以生产的淀粉、蛋白质和脂肪分别为0.84、0.38、0.31个

表 1—2 大豆和玉米籽粒产量的能量比较 (kcal bu⁻¹)*

(Howell, 1961)

成 分	大 豆			玉 米		
	含 量 %	积蓄能量	消耗能量	含 量 %	积蓄能量	消耗能量
碳水化合物	33	32000	0	84	75000	0
脂 肪	22	50000	40000	4	8000	6200
蛋白质	40	54000	29000	10	12000	6400
灰 分	5	0	0	2	0	0
固 氮	—	0	33000	0	0	0
合 计	100	136000	102000	100	95000	12600
总 计		238000			107600	

* kcal bu⁻¹即千卡蒲式耳⁻¹。1bu 大豆为 27.2kg, 1bu 玉米为 25.4kg (含水量为 15.5%)。1cal=4.1868J。

表 1—3 大豆和玉米籽粒的化学成分及燃烧热量

(引自苗以农, 1994)

作 物	粗蛋白质 (%)	粗 脂 肪 (%)	碳水化合物 (%)	灰 分 (%)	燃烧热量 (cal g ⁻¹)
大 豆	36.3	19.6	38.7	5.4	5520
玉 米	10.4	5.0	83.0	1.6	4500

单位。根据作物收获器官的成分及其转化效率, 可以计算出生产 1 单位收获器官所需的初级光合产物 (葡萄糖) 数量, 即计算出等价产量 (表 1—4)。

由表 1—4 不难看出, 若以初级光合产物葡萄糖的数量衡量的话, 大豆与玉米产量的差距就不那么悬殊了。据 Penning de Vries 等 (1983) 的资料, 每形成 1g 大豆豆荚和种子需要 2.161g 葡萄糖, 而形成 1g 玉米果穗只需要葡萄糖 1.491g。de Wit (1978) 指出, 由葡萄糖转化为植物体内各种物质的同时还伴随着 O₂ 的消耗和 CO₂ 的释放。他所提供的物质转化效率与上述数值略有不同 (表 1—5)。表中“生产值”表示由 1g 葡萄糖所生成的物质的重量。由 NO₃ 和 SO₄ 形式的 N 和 S 所生成的有机氮化合物比由 NH₃ 和 H₂S 形式的 N 和 S 所生成的有机氮化合物少些, 这是因为氧化态物质还原是需要消耗能量的。

(三) 营养生长和生殖生长的竞争 苗以农 (1994) 指出, 营养生长和生殖生长交错的时间长是大豆生长发育的特点。如以花芽分化作为生殖生长的开始, 以终花期或结荚初期前后作为营养生长结束的话, 大豆营养生长和生殖生长平行推进的时间约占总生育期的 2/5 或更长些。在此期间, 逐渐生长着的营养器官 (茎、叶、根、根瘤) 和生殖器官 (花、荚) 之间在光合产物的需求上存在着剧烈的竞争。特别是无限结荚习性的豆, 开花期至结荚初期正是营养生长占优势也是光合活动旺盛的时期。这一阶段所积蓄的干物质约占地上部的 40%, 即使光合产物的供应相当丰富, 也往往不能向花荚分配, 致使花荚大量脱落。一般大豆的花荚脱落率都在 40%—70% 上下, 严重地影响着籽粒的产量。

表 1—4 几种作物收获器官的化学成分和等价产量*

作物	蛋白质 ^a (%)	脂肪 ^a (%)	碳水化合物 ^a (%)	等价产量 ^b
水稻	8.8	2.7	87.0	1.35
小麦	12.1	2.3	83.7	1.39
玉米	9.5	5.3	83.7	1.42
高粱	8.3	3.1	86.7	1.35
马铃薯	9.3	0.5	86.3	1.29
甘薯	4.2	0.7	92.3	1.24
大豆	39.0	19.9	35.4	2.09
蚕豆	24.1	2.6	69.0	1.54
花生	27.7	50.4	19.6	2.59

* 本表转引自《国外农业科技》，1985.7.16—19。

a—除粗蛋白质、粗脂肪和碳水化合物之外尚有灰分。

b—例如，水稻的等价产量为 $0.088/0.38 + 0.027/0.31 + 0.87/0.84 = 1.35$ 。

表 1—5 植物中由葡萄糖合成的 5 种物质的转化特性

(de Wit, 1978)

物质	生产值 (gg^{-1})	CO ₂ 释放 (gg^{-1})	O ₂ 需要量 (gg^{-1})
碳水化合物	0.86	0.07	0.051
脂 质	0.36	0.47	0.035
木质素	0.46	0.27	0.090
有机酸	1.43	-0.25	0.130
从硝态氮合成的有机氮化合物	0.47	0.58	0.030
从铵态氮合成的有机氮化合物	0.70	0.15	0.740

大豆结荚鼓粒期，叶片的光合生产率开始陡然下降，荚粒所需的氮、磷只有 40%—50% 左右是由茎叶供给的，其余部分不得不由根供给。这样一来，根系势必过早衰老，根瘤势必解体。当根供氮不能满足籽粒需求时，又不得不动用叶部储存的氮，这样又必然降低叶片的光合功能。这便是所谓“自毁现象”。

(四) 固氮的能量消耗 一个容易被忽略的大豆产量不高的原因是根瘤固氮的能量消耗。共生固氮所不可缺少的成分是 N₂ (电子受体)、ATP (能源)、还原剂 (电子来源) 和固氮酶。能源是从宿主—大豆的光合产物得到的。从表 1—2 (Howell, 1961) 中可以看到，形成 1bu 大豆所积蓄和消耗的能量之和为 238000kcal，而消耗在固氮上的能量为 33000kcal，即占总能量的 13.9%。在 G. Bond (1936) 的一些大豆试验中，植株所合成的碳水化合物总量的 16% 被根瘤的呼吸作用所消耗。据 P. Wilson (1940) 的计算，根瘤每固定 1g 氮，需要氧化 15—20g 碳水化合物。据 Ching 等 (1975) 计算，根瘤中每固定 1 克分子

N_2 需要 12 克分子 ATP。Gutschick (1987) 的资料表明, 豆科植物固定 1g 氮需消耗 54—58g 葡萄糖。这些能量消耗在以下 5 个方面: ①离子吸收消耗 ($0.5g$ 葡萄糖 $g^{-1}N$); ②离子吸收的基本消耗 (用于根系的额外生长和根瘤生长), 在强烈的 N 胁迫下, 消耗达 $42.5g$ 葡萄糖 $g^{-1}N$; ③ NO_3^- 或 N_2 还原的消耗 ($4—8g$ 葡萄糖 $g^{-1}N$); ④离子转运消耗 ($4g$ 葡萄糖 $g^{-1}N$); ⑤额外根、专门吸收系统和其他 N 生产系统的维持消耗 ($3g$ 葡萄糖 $g^{-1}N$)。

(五) 源-库关系复杂 大豆是“全身结荚”的作物。各个节位的叶片和豆荚都构成一个“源-库”系统。每个节位叶片的光合产物主要是供给本节位的豆荚, 较少相互“对流”。当大豆植株长成之后, 即在开花结荚期, 叶片层层遮荫, 群体中部特别是下部的叶片受光不足, 结果不是叶片光合效率下降, 便是叶片变黄脱落, 最后导致本节位花荚脱落。苗以农 (1994) 指出, 大豆叶片光合产物运输的时间与粮食作物有所不同。小麦、水稻植株光合碳同化初级产物代谢的主要趋向是合成蔗糖, 一边合成, 一边有相当数量的蔗糖从叶片中输出; 玉米光合速率高, 白天既积累蔗糖, 也积累淀粉, 同时也有相当数量的蔗糖从叶片中输出。大豆叶片在光合作用的同时, 光合产物不大输出, 它的光合碳同化初级产物代谢的主要趋向是合成淀粉, 并以淀粉的形式暂时贮存在叶片中, 夜间降解后输出。在结荚期特别是鼓粒期, 一旦遇到干旱或低温冷害, 光合产物运输受阻, 淀粉就将滞留在叶片细胞之中, 荚果得不到充足的养分, 籽粒达不到应有的成熟度, 百粒重便降低。

(六) 光能的利用效率 大豆叶片属于平展型。虽然叶片的调位运动十分明显, 但是叶层遮蔽严密, 植株的受光态势不佳。除冠层顶部叶片受光较好外, 冠层内部光照削弱剧烈。由于叶片受光普遍不足, 光合能力不能充分发挥。大豆对空间和光照的反应极为敏感。生长在边行地头的植株, 其长势和产量远远超过群体内部的植株, 显示出极大的“边际优势”。

大豆除一般作物都具有的暗呼吸外, 还有明显的在光下吸收 O_2 放出 CO_2 的光呼吸作用。光呼吸可消耗已固定的碳的 $1/4$ 左右。

日本在实施国际生物学事业计划的过程中对各种作物的干物质总产量、净同化率、经济产量和光能利用率进行了计算和统计, 结果如表 1—6 所示。

从表 1—6 的资料可以看出, 水稻、玉米、甜菜的光能利用率均在 1% 以上, 高者可达 1.52%; 但是, 大豆产量在 $2.76—2.87t\ ha^{-1}$ (相当于 $184.0—191.3kg$ 亩 $^{-1}$) 水平下, 其光能利用率仅为 0.76%—0.81%。董钻等 (1982) 对大豆开育 8 号亩产籽粒 $221.2kg$ (生物产量 $697.7kg$ 亩 $^{-1}$) 的一项试验结果进行了计算, 光能利用率为 0.8%。

表 1—6 不同作物的干物质产量与光能利用率

(JIBP/PP, 1970)

作物	干物质总产量 (tha^{-1})		净同化率 * ($gm^{-2}日^{-1}$)		经济产量 ($t\ ha^{-1}$)		光能利用率 ** (%)	
	1967	1968	1967	1968	1967	1968	1967	1968
水稻	15.05	14.64	11.54	15.86	6.08	6.33	1.17	1.26
大豆	7.28	7.99	7.60	8.05	2.87	2.76	0.76	0.81
玉米	18.36	16.68	16.66	13.35	9.07	7.56	1.52	1.36
甜菜	16.37	20.01	9.67	10.28	10.17	12.27	1.46	1.18

* 最大值; ** 整个生长期数值。

第二节 大豆的品质

一、大豆的蛋白质及其组成

(一) 大豆籽粒蛋白质的含量 大豆是高品质蛋白质作物，其籽粒一般含蛋白质 40% 左右。据徐豹等 (1984) 对我国 1635 份栽培大豆籽粒的分析结果，蛋白质的平均含量为 $42.15 \pm 3.19\%$ ，低者为 34.7%，高者达 50.75%。丁振麟 (1965) 指出，低纬度地区的高温、多雨和日照时数较短等条件有利于蛋白质的合成，而高纬度地区的温度较低，雨量较少和日照时数较长则有利于脂肪的合成。因此，高蛋白品种多出自南方，高脂肪品种多出自北方。

海拔高度不同，气候条件也不同，因而也影响大豆籽粒的品质。Gupth 等 (1980) 的研究表明，海拔低处的大豆蛋白质含量高，海拔高处的大豆蛋白质含量低。胡明祥等 (1985) 对 33°N 以北地区各点的研究结果与上述结论相同。可是低纬度地区 (如福建省沙县和贵州省安顺县) 的情况则恰恰相反，即海拔低处蛋白质含量低，海拔高处蛋白质含量高。

胡明祥等 (1985) 对熟期不同的大豆品种化学成分所进行的分析表明，熟期越晚，蛋白质含量越高，脂肪含量与之相反 (表 1—7)。

表 1—7 大豆品种生育期与籽粒化学成分的关系
(胡明祥等, 1985)

熟期类型	生育期 (天)	品种数	蛋白质 (%)	脂 肪 (%)
北京, 1982 年 4 月 27 日春播				
极早熟	90—110	8	44.02	19.17
早 熟	111—130	8	41.95	20.02
中 熟	131—140	8	42.89	19.83
晚 熟	141—150	12	43.17	17.35
极晚熟	≥151	7	43.94	17.29
北京, 1982 年 6 月 24 日夏播				
极早熟	78— 90	11	43.48	18.91
早 熟	91—100	12	44.14	17.79
中 熟	101—110	16	45.68	16.24
晚 熟	111—129	3	45.79	15.98
山西太谷, 1982 年 5 月 1 日春播				
极早熟	81—117	17	38.64	21.81
早 熟	121—137	7	40.70	20.66
中 熟	140—150	10	39.80	20.16
晚 熟	151—157	15	40.56	18.84
极晚熟	≥157	17	42.74	16.26

同一大豆品种,因播种期不同,其籽粒的蛋白质、脂肪含量也是不同的。蛋白质含量以春播较高,夏播较低,秋播又低些。譬如,16个大豆品种平均,春播的蛋白质含量为44.0%,夏播的则为41.2%。

我国大豆品种资源丰富,各地均有蛋白质含量高的品种。据东北三省10个大豆科研单位协作组(1987)对当地2341份大豆品种的测定结果,籽粒蛋白质含量超过48%的品种共8个,其中包括“柳河黑秣食豆”(48.3%)、“岫岩天鹅蛋”(48.2%)。

(二) 大豆蛋白的组分 大豆蛋白质,按其溶解度可分为球蛋白(63%)、白蛋白(12%)、醇溶蛋白(3%)、谷蛋白(7%)。大豆蛋白质经超速离心机分离后,按其沉降速度,可分为2S、7S、11S和15S^①四种组成。

2S组分,约占总蛋白量的20%。它含有胰蛋白酶抑制剂、细胞色素C。胰蛋白酶抑制剂能引起胰腺机能亢进,造成必需氨基酸的内源性损失,从而引起动物生长停滞(Lyman等,1957;Booth等,1960)。热处理可使胰蛋白酶抑制剂钝化,改善大豆蛋白的营养价值。

7S组分,约占总蛋白量的35%。它含有血球凝集素、脂氧化酶、 β -淀粉酶以及糖蛋白-7S球蛋白。脂氧化酶能氧化多种不饱和脂肪酸,产生令人厌恶的气味。

11S蛋白组分占大豆蛋白量的33%左右。它由11S球蛋白组成。

15S蛋白的含量占总蛋白量的10%。这种组分未被进一步离析,可以说是15S组分的聚集体。

我国大豆的主要用途之一是加工豆腐制品。豆腐蛋白的主要成分是球蛋白。由11S蛋白组分凝结制得的豆腐比7S蛋白组分凝结制得的豆腐结构坚实些。

(三) 大豆蛋白的氨基酸组成 大豆蛋白在各种粮食蛋白中最接近“全价蛋白”。以人类必需的8种氨基酸来看,大豆蛋白中赖氨酸、苏氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸含量较高,而蛋氨酸含量不足。表1—8列举的是我国不同地区若干个大豆品种蛋白质的氨基酸组成平均值。

从表1—8可以看出,不同地区间,除了西南地区大豆的赖氨酸和色氨酸含量稍低,黄河流域大豆的蛋氨酸含量稍低之外,其他各种氨基酸的含量很是接近。从表中还可看出,国外大豆蛋白质中胱氨酸的含量较高(1.65g/16gN),我国大豆蛋白质的胱氨酸含量较低。不过,在东北3省的大豆品种资源中已发现了11份材料的胱氨酸含量在1.75—1.79之间,其中包括丰收11号、敦化豆等。

研究业已证明,各种氨基酸含量与蛋白质含量之间有一定的相关关系。李福生(1986)的测定分析表明,苏氨酸、胱氨酸、蛋氨酸、缬氨酸与蛋白质含量呈极显著的负相关,而亮氨酸、苯丙氨酸与蛋白质含量呈正相关。孟祥勋(1987)发现,与蛋白质含量呈负相关的只有胱氨酸。而徐豹等(1988)的分析结果则表明,8种人体必需的氨基酸中,异亮氨酸与蛋白质含量呈正相关,苏氨酸、赖氨酸、亮氨酸、缬氨酸、蛋氨酸与蛋白质含量呈极显著的负相关,苯丙氨酸与蛋白质含量之间相关不显著。

谈到大豆蛋白质的氨基酸组成,有两点值得特别注意。一是大豆蛋白质中赖氨酸这一被称为“第一限制氨基酸”的含量较高,它不亚于干酵母,比奶粉的赖氨酸含量还高。二

^① 1S=1Svedberg 单位。