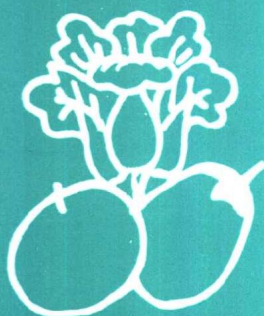


蔬菜施肥原理与技术

张振贤 于贤昌 主编



中国农业出版社

蔬菜施肥原理与技术

张振贤 于贤昌 主编

中国农业出版社

蔬菜施肥原理与技术

张振贤 于贤昌 主编

* * *

责任编辑 刘 存

中国农业出版社出版 (北京市朝阳区农展馆北路2号)
新华书店北京发行所发行 北京市密云县印刷厂印刷

850×1168mm32开本 9.375印张 240千字

1996年11月第1版 1996年11月北京第1次印刷

印数 1—5,000册 定价 17.00元

ISBN 7-109-04490-4/S·2787

主 编：张振贤 于贤昌

(以下按姓氏笔画为序)

副主编：王培伦 岳夫翔 崔应有 程智慧

编 者：艾希珍 朱宗贵 陈贵林 邹志荣

杨建平 单福成 高志奎 徐 坤

目 录

第一章 施肥的基本原理	1
第一节 养分归还学说	2
一、随着作物的每次收获，必然要从土壤中取走大量养分	2
二、如果不正确地归还土壤养分，地力必然会逐年下降	2
三、要恢复地力，就必须归还从土壤中取走的全部养分	3
第二节 最小养分律	3
一、最小养分律的含义	3
二、最小养分律的要点	4
第三节 报酬递减律与米采列希学说	7
第四节 同等重要律和不可替代律	9
第五节 因子综合作用律	10
一、水分与施肥效果	10
二、温度与施肥效果	12
三、光照及气体条件与施肥效果	13
四、土壤肥力及土壤 pH 与施肥效果	14
五、蔬菜作物种类和品种与施肥效果	18
六、栽培技术与施肥效果	23
七、养分间的互作效应	23
第二章 肥料的增产效应	26
第一节 肥料效应的一般概念	26
一、生产函数的一般概念	26
二、一般生产函数的模式	29
三、肥料效应曲线的类型	30
第二节 一元肥料效应函数	31
一、直线方程式	32
二、指数（或对数）方程式	33
三、多项式	34

第三节 多元肥料效应函数	37
一、米采列希多元方程式	37
二、二次多项式	37
三、等产线	39
四、脊线	41
五、边际产量	42
六、养分间的交互作用	43
第四节 肥料增产效应的变化	44
一、品种与肥料效应	44
二、种植密度与肥料效应	44
三、轮作与肥料效应	45
四、水分与肥料效应	45
五、施肥技术与肥料效应	46
六、栽培方式与肥料的增产效应	46
第五节 效应函数的选择与配置	47
一、效应函数的选择	47
二、效应函数的配置	48
第三章 蔬菜优化施肥	64
第一节 优化施肥的标准	64
第二节 优化施肥的基本技术	66
一、养分平衡法	66
二、肥料效应函数法	70
三、优化施肥的田间试验设计	73
第四章 蔬菜的营养诊断	79
第一节 营养诊断的基础	79
一、养分供应及其含量与蔬菜产量的关系	79
二、土壤营养失调的原因	81
第二节 营养诊断方法	83
一、形态诊断	83
二、化学诊断	85
三、其他诊断方法	97
第三节 营养诊断的指标	100
一、诊断指标的表示方法	100

二、诊断指标的确定方法	106
第五章 肥料及其施用技术	108
第一节 科学施肥的依据	108
一、土壤中矿质元素的来源	108
二、确定适宜的施肥种类和数量	109
第二节 施肥时期及方法	110
一、施用时期	110
二、施肥方法	112
第三节 大量元素肥料的特点及施用技术	113
一、氮素	113
二、磷素	116
三、钾素	119
四、钙素	122
五、镁元素	124
六、硫元素	127
第四节 微量元素肥料的特点及其施用技术	129
一、硼素	130
二、铜元素	133
三、铁元素	135
四、钼元素	138
五、锰元素	140
六、锌元素的特点及施用	142
第六章 白菜类施肥技术	146
第一节 大白菜	146
一、需肥特性	146
二、施肥技术	149
第二节 甘蓝	153
一、需肥特性	153
二、施肥技术	155
第三节 花椰菜	157
一、需肥特性	157
二、施肥技术	157
第七章 根菜类施肥技术	160

第一节 萝卜	160
一、需肥特性	160
二、施肥技术	164
第二节 胡萝卜	166
一、营养特性	166
二、施肥技术	170
第八章 葱蒜类施肥技术	173
第一节 洋葱	173
一、需肥特性	173
二、施肥技术	177
第二节 大葱	183
一、需肥特性	183
二、施肥技术	184
第三节 大蒜	187
一、需肥特性	187
二、施肥技术	192
三、蒜苗施肥技术	201
第四节 韭菜	202
一、需肥特性	202
二、施肥技术	204
第九章 瓜类施肥技术	207
第一节 黄瓜	207
一、需肥特性	207
二、施肥技术	212
第二节 南瓜	214
一、需肥特性	214
二、施肥技术	215
第三节 冬瓜	216
一、需肥特性	216
二、施肥技术	217
第四节 西瓜	218
一、需肥特性	218
二、施肥技术	224

第十章 豆类蔬菜施肥技术	227
第一节 菜豆	227
一、需肥特点	227
二、施肥技术	230
第二节 豇豆	231
一、需肥特点	231
二、施肥技术	232
第三节 豌豆	233
一、需肥特点	233
二、施肥技术	234
第十一章 茄果类蔬菜施肥技术	236
第一节 番茄	236
一、需肥特点	236
二、施肥原理	237
三、施肥技术	239
第二节 茄子	242
一、需肥特性	242
二、施肥技术	246
第十二章 薯芋类蔬菜施肥技术	250
第一节 马铃薯	250
一、需肥特性	250
二、施肥技术	256
第二节 生姜	263
一、需肥特性	263
二、施肥技术	267
第十三章 绿叶菜类施肥技术	271
第一节 芹菜	271
一、需肥特性	271
二、施肥技术	272
第二节 小白菜	273
一、需肥特性	273
二、施肥技术	274
第三节 茼蒿	276

一、需肥特性	276
二、施肥技术	280
主要参考文献	281
后记	289

第一章 施肥的基本原理

肥料是蔬菜增产的物质基础。合理、科学施肥是提高蔬菜产量的重要技术措施。实践证明,肥料效益的50%在于合理施用。为了最大限度地发挥施肥效果,除必须考虑栽培作物的营养特性、土壤的肥力、理化性质、肥料的种类和施用方法以及气象条件等因素外,还要懂得施肥的基本原理。

我国人民在很早以前就发现,连年种植作物后土壤肥力消耗,产量降低,因而实行撂荒。商朝开始抛荒轮休,西周时懂得了以青草肥田,战国时已知道以粪肥田。以后在施肥技术上也积累了不少经验。19世纪初法国索秀尔(Saussure)首先从灰分分析证明了灰分元素是植物从土壤中吸取的,而不是偶然进入植物体内的。19世纪30年代,法国布森高(Boussingault)通过田间和盆栽试验研究了5年轮作周期中土壤各种营养元素的变化,发现从土壤中吸取氮素最多的作物最易使土壤贫瘠。因而提出了土壤衰竭主要是指土壤溶液中氮素的衰竭。为了使土壤肥力保持或恢复到播种以前的水平,就必须施入含有等量氮素的厩肥。同时,德国施普林盖尔(Sprengel)也认为盐分是植物生长所必需的物质。土壤盐分损失是植物连作产量下降的原因,并指出了归还土壤矿物质的必要性。随着自然科学的日益发展,植物营养和土壤营养领域的研究也逐步深入。许多学者提出了有关植物营养和合理施肥的学说和理论,并不断应用于实践。

第一节 养分归还学说

养分归还学说是 19 世纪德国杰出的化学家李比希 (J. V. Liebig) 提出来的, 其要点可归纳如下:

一、随着作物的每次收获, 必然要从土壤中取走大量养分

蔬菜生产上无论是收获经济产量还是生物学产量, 都要从土壤中带走作物新吸收的大量养分。不同作物从土壤中带走的养分种类和数量不同 (表 1.1)。在不归还秸秆于土壤的栽培制度下, 产品器官以外的生物学器官也会从土壤中带走大量营养。

表 1.1 几种蔬菜作物的营养摄取量 (kg/100kg 产量)

作物		氮	磷	钾	钙	镁
果菜类	黄瓜	0.19~0.27	0.08~0.09	0.35~0.40	0.31~0.33	0.07~0.08
	番茄	0.27~0.32	0.06~0.10	0.49~0.51	0.22~0.42	0.05~0.09
	茄子	0.30~0.43	0.07~0.10	0.49~0.66	0.12~0.24	0.03~0.05
	辣椒	0.58	0.11	0.74	0.25	0.09
叶菜类	白菜	0.3~0.4	0.10~0.15	0.37~0.42	0.25	0.05
	甘蓝	0.42~0.50	0.12~0.16	0.51~0.65	0.33~0.45	0.07~0.08
	菠菜	0.56	0.13	0.75	0.13	0.16
	葱	0.23	0.05	0.26	0.16	0.02
根菜类	萝卜	0.23	0.09	0.31	0.10	0.02
	胡萝卜	0.75	0.38	0.70	0.38	0.05
	芜菁	0.43	0.20	1.00	0.25	0.03

二、如果不正确地归还土壤养分, 地力必然会逐年下降

李比希指出, “土壤中贮存的植物养分到底有多少, 谁也不能确切地说出来, 但是只有愚人才相信它是取之不尽、用之不竭

的”。因此，他认为：“如果不补充有效养分，总有一天地力会枯竭。”产量就会逐年降低。土中的营养有的可被作物直接吸收利用，有的要经过分解转化才能被利用（称做潜在营养）。潜在营养也是有限的，而且其分解转化速度也远不能满足作物的需要。所以，连年在一块土地上种植作物而又不向土壤补充矿质营养，就会使土壤逐渐贫瘠。

三、要恢复地力，就必须归还从土壤中取走的全部养分

李比希归还学说的中心思想就是归还植物从土壤中带走的东西。他主张应该施用化肥以补偿土壤养分。这一学说是建立在生物循环基础之上的，对恢复地力和保证作物增产有积极的意义。也突破了过去仅仅局限于依靠生物循环的范畴，从而为作物稳产高产和持续增产开辟了广阔前景。

李比希的养分归还说也有其偏见和片面性。如他当时认为大气中的碳酸铵是作物氮素营养的唯一来源，因而对土壤养分消耗的估计只着眼于磷钾等矿质元素，而忽视了有机营养，反对布高森的厩肥是氮素的主要来源和豆科植物能丰富土壤氮素的说法。另外，归还土壤养分也应根据栽培作物的特性，重点归还对作物生长和产量形成关系密切的土壤养分，而不应片面强调归还土壤中带走的全部东西，这样难以做到，也没有必要。

第二节 最小养分律

一、最小养分律的含义

最小养分律是李比希在试验的基础上提出来的，可表述为：“植物为了生长发育需要从土壤中吸收各种养分，但是决定植物产量的，则是土壤中相对含量最少的那种有效生长元素，如果无视对这一元素的施用，即使继续增加其他营养成分，也难以提高植物产量”。最小养分从量上来说是的，并不是指土壤中绝对含

量最少的养分，而是相对于作物需要量而言的。这一理论可用图 1.1 的木桶原理来说明。图中长短不同的木板代表土壤中不同养分的状况。水桶贮水量的多少(即水位的高低)代表作物产量水平的高低，可以看出，木桶水位的高低受最短木板的限制。同理，作物产量的高低受最小养分律的限制。

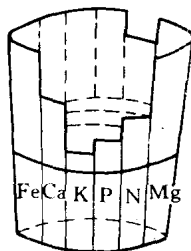


图 1.1 最小养分律
木桶图解

与最小养分律对应的是最大养分律。所谓最大养分律即某种养分过多也限制作物产量。这一方面可能由于这种营养元素过多而直接产生毒害，如氨中毒；另一方面，养分之间，如钾与镁、氮与钾，常会因一种元素过多而造成另一种元素吸收困难而出现亏缺。

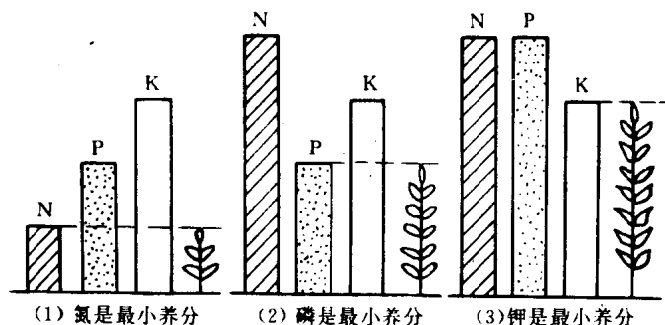
二、最小养分律的要点

(一) 决定作物产量的并不是土壤中绝对含量最少的养分 作物对每种营养元素的需要无论其绝对量多少，都有一个适宜的界限。相对于适宜量而言，含量最低的元素就是最小养分。所以，最小养分并不一定是微量元素，而往往是大量元素。如我国的农田一般氮肥消耗最多，成为最小养分。微量元素有时也会成为最小养分。如在十字花科蔬菜采种时出现的花而不实症，就是由于微量元素硼成为最小养分，若及时叶面喷硼则可提高座荚率。

(二) 最小养分是随条件变化而变化的 最小养分因施肥活动而常常处于动态变化中。当土壤中最小养分得到补充，满足了作物需要之后，作物产量就会迅速提高，不再是最小养分了，而其他养分可能成为新的最小养分(图 1.2)。

在图 1.2 (1) 中，氮是限制作物产量的最小养分，而磷钾肥水平较高。图 1.2 (2) 是在增施氮素后，氮不再是最小养分，作物产量显著提高，但磷素却成了最小养分。图 1.2 (3) 是增加磷

素后磷不再是最小养分，作物产量又进一步提高，但钾却成为新的最小养分。如果再补施钾肥，产量就可达到理想指标。这时，限制产量进一步提高的最小养分可能成为三要素以外的其他元素了。



、 图 1.2 最小养分随条件而变化的示意图

由于最小养分是相对于各种元素的供应比例而言的，在不同施肥水平下都会有其相应的最小养分，所以在制定蔬菜丰产田施肥措施时，不但要注意施入最小养分，还要同时考虑配合施入适量的将要成为新施肥水平下最小养分的肥料元素。

(三) 增施非最小养分不但难以增产，还会降低施肥效益 最小养分是限制作物产量的关键，如果无视最小养分的客观存在，继续增加其他养分，结果是影响产量的限制因子依然存在，不仅产量难以提高，而且还降低肥料的利用率和经济效益。正确地运用最小养分律，就可以因地制宜地选择肥料种类，较好地满足作物对养分的需求，收到增产、节肥和提高肥料经济效益的实效。

沃尔尼 (Wolny) 认为，影响作物产量的不仅是养分，还有其他因素。在必需因素中，如果只有一种未得到满足，其他因素无论如何充足，作物的产量仍受该因素的支配。此时供给比例最小的该因素被称为“限制因素”。所以，在作物施肥中，当所有养分都充分满足而作物生育仍不良时，就应考虑养分以外的因素，如

温度、光照、水分等都可能成为限制因素。沃尔尼还认为，每种生长因素，从最低限度每增加一份，生长就增长一份，直到某一最适量，如再增加这一因素，产量慢慢减少，最后植物死亡。表明了养分等生长因素与作物产量呈非直线关系。在此基础上，德国李勃夏（Lieberchen, 1895）提出了最适因子律，即：“植物生长受许多条件的影响，生活条件变化的范围很广，植物适应的能力有限，只有影响产量的因子处于中间地位时最适于植物生长，产量才能达到最高。因子处于最高或最低时均不适于植物生长，产量可能等于零”（图 1.3）。这个定律是最小养分律的补充和发展，它明确地表示，养分不是越多越好。超过一定数量会使土壤溶液浓度过高，产生盐害而降低产量。

作物的最适养分量和比例与下列条件有关：

1. 作物种类或品种

不同蔬菜对肥料种类的要求及适应能力的差异甚大。一般来说，叶菜类喜氮肥，根、茎菜类喜钾肥，果菜类则要求完全营养。对于同一作物的不同品种而言，早熟品种适应的施肥水平较低，中晚熟品种则耐肥，适宜的养分水平较高。

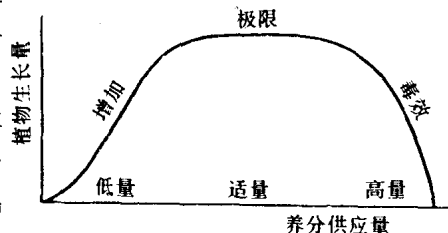


图 1.3 养分供应量与植物生长量间的一般关系

2. 植物的生长时期 同一作物不同生育阶段对养分的要求有差异，所以最适养分是随作物的生育阶段而改变的，施肥时应该注意不同肥料的最佳效应期。

3. 最适养分量不是固定不变的 在一定范围内，最小养分量因其他因素（如作物生理状况、生态条件及栽培技术水平等）而变化。因此，最适养分量也应随生产水平及条件的改变而改变。

英国布赖克曼 (Blackman, 1905) 也提出了与沃尔尼最小养分律相似的限制因子律。限制因子可能是土壤物理因素 (如质地粗细、结构松紧、水分及通气状况, 有害物质的有无等)、气候因素 (光照、温度、降雨等) 或栽培技术等。

第三节 报酬递减律与米采列希学说

报酬递减律和米采列希 (E. A. Mitscherlich) 学说并不是一回事, 但却共同反映了投入产出过程中客观存在的报酬递减问题。

报酬递减律是 18 世纪后期欧洲经济学家杜尔哥 (A. R. J. Turgot) 和安德森 (J. Anderson) 同时提出来的一条经济定律。其含义是: “从一定的土地所得到的报酬随着向该土地投入的劳动和资本量的增加而有所增加。但达到一定限度后, 随着投入的单位劳动和资本的再增加而报酬的增加速度却在逐渐减少”。它反映了在技术条件不变的情况下投入与产出的关系, 这一条基本经济法则被广泛应用于工业、农业及畜牧业生产等各个领域。后来, 海罗芮格尔将此定律应用于农业施肥, 他研究了大麦产量与施氮肥量的关系。结果表明, 随着氮肥施用量的增加, 产量逐渐增加, 而追施氮肥所增加的产量, 开始是递增, 后来是递减, 形成 “S” 形曲线。

本世纪初米采列希等人在前人工作的基础上, 深入探讨了施肥量与产量间的关系。通过著名的燕麦磷肥试验 (表 1.2) 发现: 在其他技术条件相对稳定的前提下, 随着施肥量的渐次增加, 作物产量也随之增加, 但增产量却随施肥量的增加呈递减趋势, 这一点与前人提出的报酬递减律相吻合。如果一切条件都理想的话, 作物产量将最高, 但只要有任何一种主要因素缺乏时, 产量便会相应地减少。

米采列希把自己的实验结果加以公式化, 提出了施肥量与产