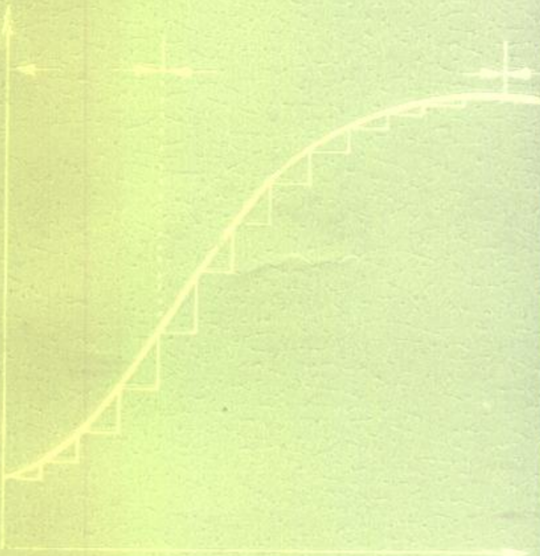
肥料效应函数



李仁岗编著

农 业 出 版 社

肥料效应函数

李仁岗 编著

农业出版社

内 容 提 要

本书共分五章。第一章肥料的增产效应，重点阐述肥料增产效应的形式和基本特点。第二章肥料效应函数模式，比较系统地介绍了肥料效应函数模式的类型和特征，为正确选择效应函数模式奠定基础。第三章肥料效应函数的配置，重点介绍常用肥料效应函数的配置方法，以及常用试验方案效应函数的简捷配置。第四章肥料增产效应的经济分析，主要阐述施肥成本和施肥利润之间的关系及其变化，找出获得最大经济效益的肥料养分经济最佳施肥点和经济最佳配比点，以及有限量肥料的经济最佳分配方案。第五章经济合理施肥量的确定，主要阐明根据肥料效应函数确定经济合理施肥量的方法。

本书可供土壤农化方面的科技工作者阅读，可作为大、专院校有关专业师生的参考书。

肥 料 效 应 函 数

李仁岗 编著

* * *

责任编辑 徐蒲生

农业出版社出版（北京朝内大街130号）

新华书店北京发行所发行　　农业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本　7.25印张　147千字

1987年4月第1版　1987年4月北京第1次印刷

印数 1—2,000册

统一书号 13144·313　定价 1.30 元

前 言

肥料是提高农业生产的物质基础之一。经济合理施肥对提高作物产量和品质增加经济收益具有十分重要的作用。据估计，世界农作物增产的30—60%是来自化肥。我国解放以来的农业生产实践也充分证明，农作物产量与施肥量之间具有明显的正相关。近年来，随着我国化肥工业的发展，化肥施用量不断增加，农作物产量也相应地提高。但是，与此同时，由于不少地区对肥料增产效应的基本规律缺乏认识，盲目增施化肥，因而出现一些增肥不增产或增产不增收，甚至增肥减产的事例。这不仅造成化肥的浪费，而且带来经济上的损失。因此，研究肥料的增产效应，探讨施肥成本与施肥利润之间的关系及其变化，实行经济合理施肥，提高肥料的经济效益，达到增产增收的目的，已成为目前我国农业生产中迫切需要解决的问题。

肥料的增产效应反映施肥量与产量间的关系。这种数量关系可以用数学函数来表示，此函数即肥料效应函数，它是研究肥料经济效益的基础。根据肥料效应函数可以运用边际效应理论分析增产值、施肥成本和施肥利润之间的关系及其变化，从而确定经济最佳施肥量与肥料养分的经济最佳配比，以及肥料的最优投资方案等。这就使施肥量问题由长期

以来的定性阶段进一步发展到定量阶段。1909年，米采利希（E. A. Mitscherlich）首次用严格的数学式来反映施肥量与产量间的关系。此后，包尔（B. Baule）、斯皮尔曼（W. J. Spilliman）、尼克来（H. Niklas）、米勒（M. Miller）、费佛尔（Pfeiffer）、考维尔（J. D. Cowell）、包伊德（D. A. Boyd）、斯帕若（P. E. Sparrow）等曾先后采用不同形式的肥料效应函数来反映施肥量与产量间的关系，并根据肥料效应函数确定经济合理施肥量，对指导合理施肥起到了重要的作用。

由于作物产量受土壤、气候条件和栽培管理水平等综合因素的影响，在不同地区和不同年份，肥料的增产效应往往表现不同，因而反映施肥量与产量间关系的肥料效应函数也不可能相同。因此，为了准确地模拟施肥量与产量间的关系，应当选择不同的肥料效应函数模式，以期能确切的反映该条件下施肥量与产量间的关系，并依此函数计算经济合理施肥量与肥料养分的经济最佳配比。任何一种数学模式都不可能适用于所有条件。肥料效应函数模式应当根据田间试验结果所反映的施肥量与产量间的实际关系来选择。

近年来，由于回归分析、试验设计和测土施肥等工作的发展，以及电子计算机在农业上的广泛应用，肥料效应函数以及产量与影响产量的诸综合因素（如土壤、肥料、气候等）间的数学函数的建立和运用，无疑将得到进一步的发展。

本书比较系统地讨论了肥料的增产效应，施肥成本与施肥利润间的关系及其变化，阐述了肥料效应函数模式的类

型、特征和配置方法，以及根据肥料效应函数确定经济合理施肥量的方法。希望能在理论与实践上对提高肥料的经济效益，实行经济合理施肥起到一定的推动和促进作用。

在本书编著过程中，受到北京农业大学彭克明教授和浙江农业大学孙羲教授的热情鼓励与支持，在此表示衷心的感谢，书中采用的实例选自有关论文和试验总结，在此向作者表示深切的谢意。

由于学识水平所限，难免有许多缺点和错误，诚恳的期待读者批评指正。

李仁岗

于河北农业大学　1985年2月

目　录

第一章　肥料的增产效应

随着化肥用量的日益增加，经济合理施肥提高肥料的经济效益，已成为目前农业生产中迫切需要解决的问题。不少地区在化肥施用上存在着很大的盲目性，化肥用量过多，化肥肥效下降，造成严重的浪费。因此，研究肥料的增产效应，提高化肥的经济效益，对于促进农业生产的发展，增加经济收益具有重大的现实意义。

肥料的增产效应反映施肥量与产量间的关系，是研究肥料经济效益的基础。只有正确掌握肥料增产效应的变化规律及其影响因素，才能探求经济合理施肥量和养分经济最佳配比，以最小的施肥量获得最大的经济效益。

本章主要从施肥量与产量之间的关系探讨单元肥料效应和多元肥料效应的形式和特点，以及肥料增产效应的变化，为正确确定经济合理施肥量奠定基础。

第一节　单元肥料效应

单元肥料效应施肥量与产量之间的关系，可用肥料效应曲线反映。由于作物类型、土壤条件和栽培技术以及不同年份生产条件的差异，肥料效应曲线的形式也表现不同。为了

探讨施肥量与产量之间的关系，许多科学家进行了大量的研究工作。

一、施肥量与产量之间的曲线相关

十九世纪八十年代，赫尔里格尔（H. Hellriegel）作了第一个完善的试验研究——大麦的氮素砂培试验[1]。试验结果表明（表1），随着氮素用量的增加，递增等量氮素的增产量，起始时表现为递增，但超过一定限度后则开始递减，总产量曲线呈S型（图1）。这种曲线形式，在田间条件下，当土壤供肥水平很低时也可以看到，如英国洛桑试验站小麦长期试验地硫铵用量对小麦产量的效应[1]，即表现为S型（表2），递增等量氮素（48kg/ha）的增产量起始时递增，而后递减。又如我国陕西省武功瘠薄土壤上玉米氮肥效应[5]（表3）也表现为S型曲线（图2）。

表1　氮素对砂培中大麦生长的效应（以硝酸钙为氮源）

氮素供应量 (mg)	干物重 (g)	递增56毫克氮素的增产量 (g，干物重)
0	0.74	
		4.12
56	4.86	
		5.94
112	10.80	
		6.73
168	17.53	
		1.88
280	21.29	
		2.97
420	28.73	

米采利希（E. A. Mitscherlich, 1909）曾深入探讨了作物产量与养分供应量之间的关系，并且最早用严格的数学

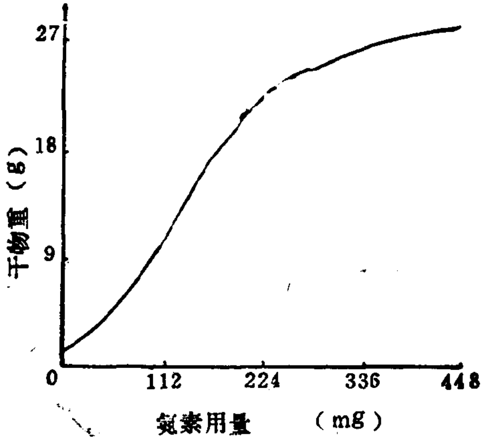


图 1　氮素对大麦生长的效应

表 2　硫铵对小麦产量的效应（1902—1921）

氮(kg/ha)	产量（t/ha）	递增48公斤氮素的增产量 (t/ha)
0	0.88	
		0.51
48	1.39	
		0.64
96	2.03	
		0.37
144	2.40	

表 3　氮肥对玉米产量的效应（1965）

氮素用量（斤/亩）	产量（斤/亩）	递增 5 斤氮素的增产量 (斤/亩)
0	216	
		135
5	351	
		266
10	617	
		143
15	760	
		74
20	834	

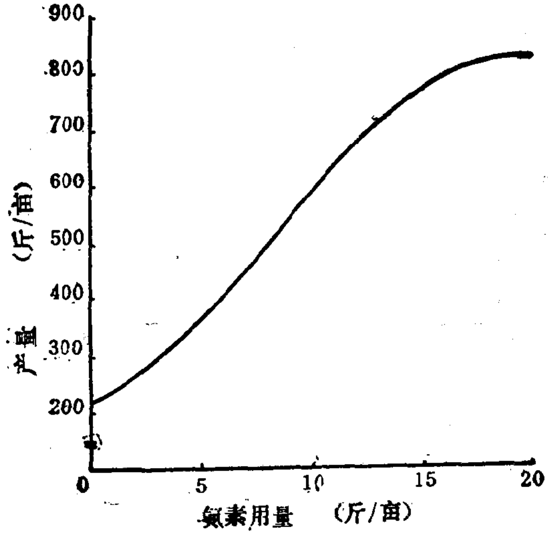


图 2 氮肥对玉米产量的效应

方程式表示其间的数量关系。他假定，如果一切条件都符合理想的话，作物都有一最高产量，但是，只要缺乏任何主要因素，产量便会相应地减少，增施单位量缺乏的因素所得到的增产量和该因素最高产量与其现有产量之差成比例。其数学式为：

$$\frac{dy}{dx} = c_1(A - y)$$

上式积分并假定 $x = 0$时，$y = 0$。则得：

$$y = A(1 - e^{-c_1 x})$$

或 $$y = A(1 - 10^{-cx})$$

式中 y 为现有因素数量 x 所得到的产量，$\frac{dy}{dx}$ 为增施单位量因素 x 的增产量，A 为因素 x 可能达到的最高产量，c_1、c 为效应系数，此处，$c = 0.4343c_1$。此式表明，施肥量与产量之间的关系是一指数函数曲线形式，如米采利希进行的燕麦砂培试验，磷酸盐对燕麦生长的效应[1]（表 4）即呈此种曲线形式（图 3）。它说明作物的产量随施肥量的增加按一定的渐减率增加，而趋向于最高产量为其极限。显然，此式只能反映到达最高产量以前的肥料效应。

表 4　磷酸盐对燕麦产量的效应（以磷酸一钙为磷源）

P_2O_5(g)	干物重(g)	递增0.05克P_2O_5的增产量(g)
0.00	9.8±0.50	9.50
0.05	19.3±0.52	7.90
0.10	27.2±2.00	6.90
0.20	41.0±0.85	1.45
0.30	43.9±1.12	2.75
0.50	54.9±3.66	0.20
2.00	61.0±2.24	

米采利希认为，效应系数对每一种肥料都是一个常数，与作物、土壤或其他条件无关。根据米氏的测定，N、P_2O_5、K_2O 的效应系数分别为 0.20、0.60、0.40 公担/公顷。然而大量的科学试验证明，效应系数并不是一个常数，而是随作物种类及其生长的环境条件而发生变化。

由于过量施肥，特别是氮肥，对产量常引起负作用，米氏曾提出一个修正式：

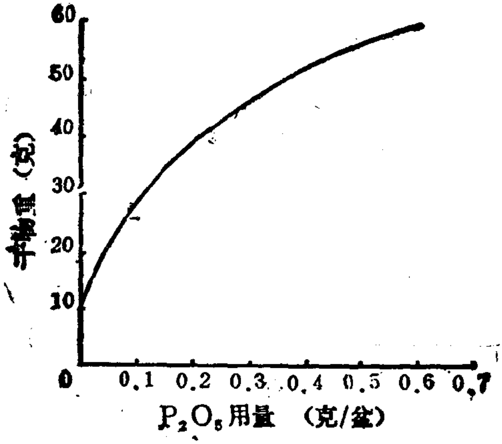


图 3　磷酸盐对燕麦生长的效应

$$y = A(1 - 10^{-cx})10^{-kx^2}$$

式中 k 为负效应系数。

此后，包尔（B. Baule，1918）曾提出了米氏方程的修正式。他不用增产的绝对值，而以最高产量的百分率来表示肥料效应。他认为这样可以不受土壤养分变化的影响。此后，把获得最高产量的 50 %所需要的养分数量定为一个“养料单位”（Food unit），也称为一个“包尔单位”（Baule unit）。增加一个“包尔单位”，增产量为最高产量的 50%，2 个“包尔单位”的增产量为最高产量的 75 %，以此类推。按照包尔的观点，米氏方程修改为：

$$y = A(1 - 10^{-0.301x})$$

式中 A 与 y 均以相对产量表示，A = 100，y 为最高产量的百分率，x 为“包尔单位”，c = 0.301。

当　　$x=1$ 时，

$$y\%=100[1-10^{-0.301(1)}]$$
$$=50$$

当　$x=2$，　$y\%=100[1-10^{-0.301(2)}]=75$

$x=3$，　$y\%=100[1-10^{-0.301(3)}]=87.5$

包尔认为应当将植物生长所需要的一切养分都包括在肥料效应方程式中，因而提出以下方程式：

$$y=A(1-10^{-c_1x_1})(1-10^{-c_2x_2})\cdots\cdots(1-10^{-c_nx_n})$$

式中 c_1、c_2、……c_n 为养分 x_1、x_2、……x_n 的效应系数。

斯皮尔曼（W. J. Spillman, 1923）进一步提出了如下肥料效应方程式：

$$y=M-AR^x$$

式中 y 为养分 x 的产量，M 为理论最高产量，A 为理论最高增产量，R 为连续两个增产量之比：

$$R=\frac{\Delta y_2}{\Delta y_1}=\frac{\Delta y_3}{\Delta y_2}=\cdots\cdots\frac{\Delta y_n}{\Delta y_{n-1}}$$

斯皮尔曼认为，常数 R 依生态环境的变化而不同，实践证实了斯皮尔曼的观点。斯皮尔曼方程式表明，作物产量随施肥量的增加按一定的渐减率增加，而趋向于最高产量为其极限，显然，此式也只能表示到达最高产量以前的肥料效应。

大量的科学试验表明，当施肥量超过最高产量施肥量时，作物产量便随施肥量的增加而减少。为了反映超过最高产量后而减产的效应，许多科学家用二次抛物线函数来反映施肥量与产量之间的关系。但是尼克来（H. Niklas）和米

勒（M. Miller，1927）首次确定了导出二次抛物线函数的必要条件，他们假定，增施单位量肥料的增产量和该养分最高产量施肥量与现有施肥量之差成比例，其数学式为：

$$\frac{dy}{dx}=c(h-x)$$

式中 y 为现有施肥量 x 所得到的产量，h 为最高产量施肥量，c 为效应系数。将此式积分简化得：

$$y=b_0+b_1x+b_2x^2$$

式中 b_0 为不施肥的产量水平，即地力产量，b_1、b_2 为效应系数。此式表明，当 $b_1>0$，$b_2<0$ 时，施肥量与产量之间的关系呈二次抛物线形式。作物产量随施肥量的增加而按渐减率增加，超过最高产量点后，作物产量随施肥量的增加而减少。因而二次抛物线函数可以反映超过最高产量后总产量递减的效应。国内外大量的肥料试验，特别是氮肥试验表明，肥料的增产效应往往符合二次抛物线形式，如冬小麦的氮肥试验[6]，冬小麦的氮肥增产效应（表 5）即呈此曲线形式（图 4）。

表 5　氮肥对冬小麦产量的效应（1982）

氮素用量（斤/亩）	产量（斤/亩）	递增 6 斤氮素的增产量（斤/亩）
0	551	
6	759	208
12	861	102
18	980	11[illegible]
24	957	-23
30	864	-93