

从肥料的增产效应探讨化肥的经济合理施用

李仁岗

(河北农业大学)

农业生产必须讲究经济效益,以最小的投资获得最大的经济收益。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意义。

肥料的增产效应反映在施肥量与产量的数量关系上,是研究肥料经济效益的理论基础,是确定经济最佳施肥点,制定最佳施肥方案的根据。本文主要从施肥量与产量之间的数量关系探讨肥料的经济效应,提出合理施肥的经济界限及其确定方法,为经济合理施肥提供科学依据。

一、肥料增产效应的阶段性

为了探讨施肥量与产量之间的数量关系,许多科学家进行了大量的工作。李比希(1840)认为施肥量与产量之间的数量关系呈线性关系,米采利希(1909)、包尔(1918)、斯皮尔曼(1923)等则认为施肥量与产量之间呈指数函数曲线形式,以后尼克来和米勒(1927)等又提出了二次抛物线形式。

综合大量的科学研究,理论上的肥料效应曲线具有以下几个特点。

1、在土壤供肥水平很低的情况下,增施单位量肥料的增产量(即边际产量)常常随施肥量的增加而增加,直至转向点(图1中C点)为止。

2、超过转向点后,增施单位量肥料的增产量随施肥量的增加而递减,因而总产量按渐减率增加,直到最高产量时为止。

3、在一定的生产条件下,作物有一最高产量。超过最高产量后,增施肥料将导致减产,出现负效应。

4、过量的肥料会使产量下降到零。

根据上述肥料效应曲线的特点,一般可将肥料增产效应的变化划分为三个阶段(图1)。

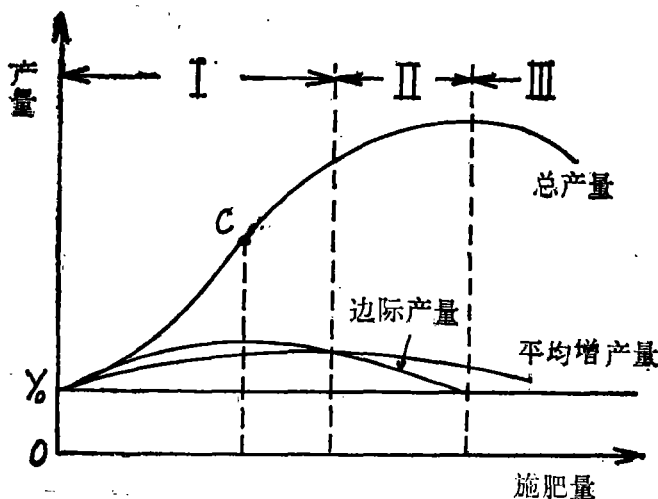


图1 肥料增产效应的三个阶段

第一阶段 (I) : 自起始点 (Y.) 至平均增产量 ($\frac{\text{总增产量}}{\text{施肥量}}$) 的最高点。在此阶

段内, 边际产量随施肥量的增加而递增, 至转向点时为止。超过转向点则开始递减, 但仍然大于平均增产量, 因而平均增产量随施肥量的增加而递增, 至最高点时为止。此时边际产量与平均产量相等。

第二阶段 (II) : 自平均产量的最高点至产量最高点。在此阶段内, 平均增产量与边际产量均随施肥量的增加而递减, 但边际产量的递减率较大。总产量按渐减率增加, 直至边际产量等于零, 即到达最高产量时为止。

第三阶段 (III) : 超过最高产量点即进入第三阶段。此阶段的边际产量为负值, 因而总产量随施肥量的增加而减少, 出现负效应。

综上所述, 在第一阶段内, 肥料的增产效应不断提高, 如果将施肥点停留在此阶段的任何点, 都未充分发挥肥料的增产潜力。因此, 施肥量至少应达到第二阶段的起点, 即平均增产量的最高点。到达第三阶段后, 增施肥料反而导致减产。因此, 任何时候的施肥量都不应超过第二阶段的终点, 即最高产量点。由此可见, 第一阶段和第三阶段均属不合理施肥阶段。在第二阶段内, 虽然边际产量随施肥量的增加而递减, 但仍为大于零的正值。增施肥料仍可增产。故此阶段通常称为技术合理施肥阶段。在肥料供应不足, 不能保证全部田块的施肥量均达到平均增产量的最高点时, 应首先保证部分田块的施肥量

达到平均增产量的最高点, 其余田块可不施肥。低于或高于这一用量均会降低有限肥料的增产效果。以冬小麦碳铵用量试验为例 (表 1), 最高平均增产量的施肥量为每亩 50 斤。如果现有肥料 1 万斤, 采用三种分配方案 (表 2), 第一方案为最高平均增产量的施肥量。第二、三方案分别低于和高于最高平均增产量的施肥量, 其总增产量均低于第一方案。

在农业生产中, 由于土壤具有一定的肥力, 不施肥的产量水平往往超过转向点, 甚至超过平均增产量的最高点, 肥料的增产效应一开始即呈现边际产量和平均增产量递减的效应, 即处于肥料增产效应的第二阶段。

从单位面积的施肥利润 (总增产值—施肥总成本) 来看, 在第二阶段内,

随施肥量的增加, 总产量按渐减率增加, 而肥料成本按固定量增加。因此, 单位面积的施肥利润起始时增加, 到达最高点后即开始下降。由此看来, 在第二阶段内尚有一个经济最佳施肥点的确定问题。

表 1 定县吴村冬小麦碳铵用量试验

施肥量 (斤/亩)	产 量 (斤/亩)	增产量 (亩/斤)	每斤碳铵 增 产 (斤)
对照	605	—	—
30	635	30	1.00
50	693	88	1.76
70	722	117	1.67
90	670	65	0.72

表 2 有限肥料的分配方式对总增产量的影响

分配方案	施肥量 (斤/亩)	施肥面积 (亩)	增产量 (斤/亩)	总增产量 (斤)
1	50	200.0	88	17600.0
2	30	333.3	30	9999.9
3	70	142.9	117	16719.3

二、合理施肥的经济界限

在肥料增产效应的第二阶段内,连续增施肥料 ΔX 时,增产量 ΔY 不断下降。如果以 P_x 代表肥料价格, P_y 代表产品价格,则肥料经济效应的变化将依次出现下列三种情况:

$$\Delta Y \cdot P_y > \Delta X \cdot P_x \quad (\text{I}_a)$$

$$\Delta Y \cdot P_y = \Delta X \cdot P_x \quad (\text{I}_b)$$

$$\Delta Y \cdot P_y < \Delta X \cdot P_x \quad (\text{I}_c)$$

在 I_a 阶段,边际产值大于边际成本。因边际产量递减,因而单位面积的施肥利润随施肥量的增加而依渐减率增加。到达 I_b 阶段时,边际产值等于边际成本,此时单位面积的施肥利润达到最大值。而在 I_c 阶段时,边际产值小于边际成本,此时单位面积的施肥利润开始下降,因此, I_b 阶段是经济最佳施肥点。低于此点,单位面积的施肥利润相对较低。超过此限,增施肥料反而减少利润。在 I_b 阶段时 $\Delta Y \cdot P_y = \Delta X \cdot P_x$,

即 $\frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{P_x}{P_y}$,微分之 $\frac{d_y}{d_x} = \frac{P_x}{P_y}$ 。式中 $\frac{d_y}{d_x}$ 即为边际产量。由此可以看

出,当边际产量等于肥料与产品的价格比时,单位面积的施肥利润最大,此时的施肥量即为经济最佳施肥量。现以我省冬小麦氮肥试验*为例讨论其计算方法。根据田间试验结果选择适宜的肥料效应函数模式,计算出肥料效应函数为:

$$Y = 537.94 + 5.95X - 0.033X^2$$

该函数回归检验极显著。求

上式 Y 对 X 的一阶导数,并令其等于肥料与产品的价格比。

$$\frac{d_y}{d_x} = 5.95 - 0.066X$$

$$= \frac{0.155}{0.150}$$

式中 $P_x = 0.155$ 元/斤,
 $P_y = 0.150$ 元/斤。解上式得:

经济最佳施肥量 $X = 74.49$ 斤/亩。由图2可以看出,边际产值与边际成本的交点,单位面积施肥利润最高,此时的施肥量即经济最佳施肥量。

从单位面积的施肥利润

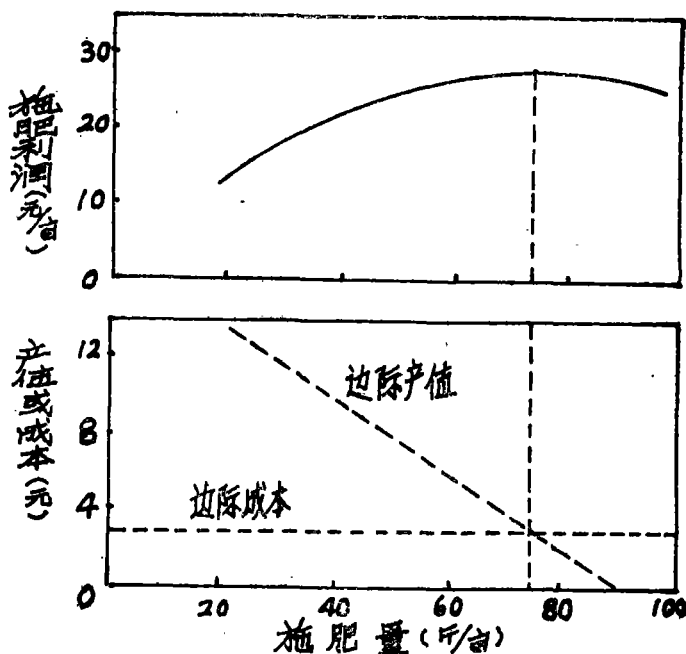


图2 冬小麦氮肥的成本、产值和利润

* 贾如江: 高产麦田土壤氮素及其调节 《河北农学报》, 1981年 第3期

来看,经济最佳施肥量是经济合理施肥的上限。超过此限,单位面积的施肥利润开始下降。但是,在资金缺乏、肥料供应不足、不能保证全部土地的施肥量达到经济最佳施肥量时,为了获得肥料投资的最大利润,尚须确定经济合理施肥的下限,即最大利润率施肥量。

在考虑施肥的耗费时,则单位面积的施肥利润 (π):

$$\pi = \Delta Y P_y - I \quad I = M + X P_x$$

式中 ΔY 为单位面积的增产量(总产量—不施肥产量), I 为单位面积的施肥总成本, M 为施肥时的固定耗费,即固定成本。

$$\text{肥料投资的利润率} = \frac{\pi}{I} = \frac{\Delta Y P_y - (M + X P_x)}{(M + X P_x)}$$

以上述冬小麦氮肥试验为例:

$$Y = 537.94 + 5.95X - 0.033X^2$$

$$\text{肥料投资的利润率} = \frac{X}{I} = \frac{0.15(5.95X - 0.033X^2) - (0.1 + 0.155X)}{(0.1 + 0.155X)}$$

式中按 $P_y = 0.15$ 元/斤, $P_x = 0.155$ 元/斤, $M = 0.1$ 元/亩计算。

求上式利润率对 X 的一阶导数,并令之等于零,得:

$$\text{最大利润率施肥量 } X = 10.16 \text{ 斤/亩}$$

当施肥量低于这一用量时,肥料投资利润减少。如表3所示,现有肥料投资1,670元,土地1,300亩,按第一方案使1,000亩地的施肥量达到最大利润率施肥量,其余300亩地不施肥,投资利润最大。按第二方案施肥量低于最大利润率施肥量,按第三方案将肥料均匀分配在1,300亩土地上,其投资利润均低于第一方案。由此可见,最大利润率施肥量是经济合理施肥的下限。

表3 有限肥料的分配方式对投资利润的影响

分配方案	施肥面积 (亩)	施肥量 (斤/亩)	施肥成本 (元/亩)	单位面积施肥 利润 (元/亩)	肥料投资利润 (元)
1	1000.00	10.16	1.67	6.89	6890.00
2	1113.33	9.00	1.50	6.13	6824.71
3	1300.00	7.64	1.28	5.25	6821.01
4	735.68	14.00	2.27	9.25	6808.57
5	143.35	74.49	11.65	27.38	3924.15
6	119.54	90.11	13.97	26.22	3134.33

三、肥料投资的经济最佳分配

经济最佳分配是以获得最大利润为原则。目前,我省各地由于生产水平不同,化肥平均用量差异很大。因此,肥料投资的分配应从实际经济条件出发。如我省石家庄、唐

山、廊坊地区的部分高产县,化肥用量在140斤/亩以上(见本刊6卷4期30页),在这种情况下,为了发挥土地的增产潜力,提高单位面积的施肥利润,增加总收益,施肥量应达到经济最佳施肥量,此时单位面积的施肥利润最大。超过此限则开始下降,但此时产量仍可增加。从产量要求出发,施肥量尚可增加,但任何时候也不能超过最高产量施肥量。在资金不足、肥料缺乏的情况下,如我省坝上、滨海及黑龙港低洼盐碱地区部分低产县,化肥平均用量小于30斤/亩(见本刊6卷4期30页)。对这样有限的肥料,应以获得肥料投资的最大利润为原则,而不能追求少数田块的单位面积施肥利润的提高。施肥量应以最大利润率施肥量为限,此时投资利润最大。如将肥料均匀分配而使施肥量低于此限,则肥料投资利润减少。反之,将少数有限肥料集中施用,使施肥量超过此限,虽然该田块的单位面积施肥利润增加,但肥料投资总利润减少。如表3所示,按第四方案将肥料集中施在少数田块,使施肥量超过最大利润率施肥量,肥料投资利润减少。按第五、六方案使少数田块的施肥量达到经济最佳施肥量和最高产量施肥量,肥料投资的利润均明显减少。因此,在分配肥料时,只有当全部土地的施肥量均达到最大利润率施肥量以后,才能根据肥料投资的增加,提高施肥水平。在最大利润率施肥量至经济最佳施肥量之间,肥料投资的分配应以不同田块的肥料增产效应为依据。当肥料增产效应相同时,应采取均匀分配的方式,使全部土地的施肥量均匀增加,其投资利润最大。但在多数情况下,由于土壤肥力、作物类型和栽培管理水平等条件的差异,肥料增产效应往往不同,肥料效应函数也不相同。因此不能采用均匀分配的方式,在这种情况下,当不同田块的边际产值相等时,肥料投资利润最大,即:

$$\frac{dy_1}{dx_1}(Py_1) = \frac{dy_2}{dx_2}(Py_2) = \dots = \frac{dy_n}{dx_n}(py_n)$$

式中 X_1 、 X_2 、 X_n 代表不同田块的施肥量, Y_1 、 Y_2 、 Y_n 和 Py_1 、 Py_2 、 Py_n 代表其产量和产品价格。按上式原则即可计算出获得最大投资利润的施肥量。现以夏玉米肥效应函数(据河北农大夏玉米磷肥试验资料)讨论其计算过程。

$$Y_1 = 485.30 + 17.35X - 0.62X^2 \quad (1)$$

$$Y_2 = 470.59 + 19.71X - 0.74X^2 \quad (2)$$

$$Y_3 = 473.53 + 13.24X - 0.38X^2 \quad (3)$$

式中 X 代表磷肥(P_2O_5)用量,现有磷肥(P_2O_5)1,000斤,上述效应函数田块各50亩,应如何分配现有肥才能获得肥料投资的最大利润?

当肥料投资利润最大时,不同田块的边际产值相等。(按玉米每斤0.12元计)

$$(17.35 - 1.24X_1) 0.12 = M$$

$$(19.71 - 1.48X_2) 0.12 = M$$

$$(13.24 - 0.76X_3) 0.12 = M$$

$$X_1 + X_2 + X_3 = 20$$

解上述线性方程组得:

$$X_1 = 6.86 \text{ 斤/亩} \quad X_2 = 7.35 \text{ 斤/亩} \quad X_3 = 5.79 \text{ 斤/亩} \quad \text{此时肥料投资的利润最大。}$$