

File No. 34

养分归还的法则和收获量渐减的法则

养分归还的法则 (theory of nutrients returns) 是指在农业生产上, 必须将农作物从土壤中吸收利用构成作物体, 在收获时带走的养分元素用施肥的形式重新归还给土壤, 使耕地土壤的养分保持在一定的水准上的原则。若是没能将收获物带走的养分归还给土壤, 或者归还量远远低于带走量的话, 土壤就会逐渐贫瘠下去, 农作物生长不良, 减产减收, 最终成为不毛之地。

农作物的生长和收获要从土壤中带走多少养分元素呢? 表 1 是日本主要农作物每栽培 1 茬 (1 作) 的收获物从耕地土壤中所吸收带走的养分元素量的数据。

表 1. 日本主要农作物从耕地土壤中带走的养分元素量

农作物种类	1 茬的收获量 (kg /1000m ²)	1 吨收获物所含的养分元素重量 (kg)			1000m ² 耕地每种植 1 茬所失去的养分量 (kg)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
水稻	596	18.70	9.25	26.36	11.14	5.51	15.70
小麦	477	25.18	9.50	31.08	12.02	4.54	14.84
大豆	296	69.17	16.32	32.10	20.49	4.83	9.51
红豆	279	40.68	15.31	35.44	11.36	4.27	9.90
花生	200	63.00	7.40	26.80	12.60	1.48	5.36
红薯	2,664	4.21	1.27	5.93	11.21	3.40	15.81
马铃薯	3,550	2.65	1.08	7.15	9.41	3.83	25.39
甜玉米	1,360	10.72	4.43	17.30	14.57	6.02	23.52
黄瓜	11,811	1.78	1.11	3.99	21.17	13.19	47.41
西红柿	15,468	1.52	0.64	3.57	23.58	9.95	55.26
包心菜	5,645	4.83	1.25	5.16	27.24	7.03	29.11
白菜	11,244	2.07	0.82	4.43	23.26	9.17	49.84
莴苣菜	1,543	3.62	1.24	4.28	5.58	1.91	6.60
菠菜	1,604	4.63	1.29	8.51	7.43	2.07	13.65
萝卜	5,527	2.15	0.93	4.28	11.90	5.16	23.64
胡萝卜	6,281	2.03	0.63	4.99	12.73	3.98	31.37
大葱	3,869	4.47	1.15	4.37	17.31	4.45	16.90
茶	398	131.66	26.23	67.29	52.40	10.44	26.78
柑桔	5,180	5.62	0.69	3.64	29.10	3.58	18.83
苹果	2,810	3.10	0.82	3.20	8.70	2.30	9.00
葡萄	1,500	5.87	2.80	6.80	8.80	4.20	10.20

数据来源: 引用自日本农业环境技术研究所发表的「わが国の農作物の養分収支」。

如表 1 所示，1000m² 耕地每茬因收获物而被带走的氮磷钾三大养分的重量都以公斤计算，高的甚至达到数 10 公斤。若不能及时向耕地土壤补充养分的话，少则数年，多则 10 数年后土壤中的养分将会被消耗一空，连农作物生长的最基本的需求都不能够满足，更不可能获得所预想的收获量。为了维持土壤肥力，就必须将收获物所带走的养分重新归还给土壤，这就是养分归还的法则。

养分归还的法则是 19 世纪的德国有机化学家李比希（Justus Freiherr von Liebig）提出的概念。他在 1840 年出版的著作中写道，「植物为了生长需要从土壤中吸收养分。每次收获都会从土壤中剥夺带走一些养分，使得土壤贫瘠下去。为了维持收获量，必须将植物从土壤中带走的养分归还给土壤。」

农业生产的目的是收获农作物的有用部分供人类食用或使用。构成农作物组织器官的除了碳水化合物之外，还含有多量从土壤中吸收同化了的各元素，所以每次的收获都会带走收获物中所含有的从土壤中吸收的养分元素。虽然土壤是一个巨大的养分储藏装置，但其中含有的养分元素并不是无穷无尽的。若不将收获物带走的养分元素重新返回给土壤，长期下去会使土壤养分消耗殆尽，无法维持农业生产。

养分元素的归还大体上可分为以下 3 类方式。

1. 将收获后的农作物茎叶残渣等非可利用部分和人类及家畜的排泄物等投放回土壤。具体方法是将农作物的茎秆还田或将茎叶残渣等与家畜粪尿等制作堆肥，将人类尿和家禽家畜粪尿腐熟后作为有机肥施用等。
2. 进行休耕和轮作，利用自然界的再生机能来恢复土壤中的养分。主要是利用土壤微生物的固氮和大气放电（闪电）来合成氮养分，通过岩石和粘土矿物的风化放出磷钾等养分，促进微生物和植物的活动来使得土壤养分的活性化 and 再分配等来补充因农作物收获而带走的养分。还可以利用河流泛滥带来的富含有机物的淤泥等来恢复土壤肥力。
3. 施用化肥来补充土壤养分。化肥是人工合成制造的肥料，含有高浓度的养分元素。可以简单地补充土壤所不足的养分。

在化肥发明之前的 19 世纪，处于温带地区的欧洲基本上是采用轮作和休耕交替的三圃式农耕方式来维持土壤肥力。即将耕地分成东谷（秋天播种，初夏收获的小麦和黑麦等），夏谷（春天播种，秋天收获的大麦，燕麦，豆类等）和休耕地三部分进行轮作，轮到的休耕地用来放牧家畜，将作物茎叶作为饲料喂养家畜，将家畜的排泄物作为肥料来恢复土壤肥力。该耕作方式仍持续到现在，发展成了混合农业方式。

在埃及，尼罗河每年 7 月的雨季发生的洪水将上游肥沃的表土冲刷到下游，作为泛滥淤泥沉积在下游的耕地上。洪水带来的养分防止了土壤肥力的下降，创造和维持了古代埃及文明。

另一方面，在东南亚和非洲热带地区，采用的是刀耕火种方式来应付土壤的贫瘠化。在这些地区，将热带雨林分成数个到 10 数个区域，在某个区域内将植被砍伐后放火焚烧，将草木灰作为肥料进行栽培。栽培 1~数年后，土壤养分被吸收耗尽大半后放弃该区域，转移到其他区域继续进行砍伐焚烧植被后进行耕种。因栽培农作物而贫瘠了的土壤通过自然生长的杂草和小灌木等重新慢慢地积储起养分，等待下次的砍伐焚烧。通常，经过 10 年以上的休耕，基

本上可以恢复土壤肥力。

在日本，到了镰仓幕府时代（12 世纪）以后，为了抚养日益增多的人口，当时执政的幕府鼓励农民实行一年两熟的栽培方式。为了维持土壤肥力，开始大量施用人粪尿和杂草落叶作为肥料。进入到江户时代（17 世纪）以后，人粪尿基本上都是作为肥料施用到耕地里。在江户（现在的东京），居民排泄出来的粪尿有专人进行收集处理，收集后的粪尿作为商品流通，可以用于交换蔬菜或粮食。当时的江户城人口超过 100 万，是世界上最大的城市之一，仍能够保持极为清洁的环境是归功于将人粪尿全部收集作为肥料使用，确立了生态农业的循环方式。当时，提倡养分归还法则的李比希曾特意提到「不用进口肥料仍能够保持持续生产的日本农业，是将收获物从土壤中带走的养分完全又归还给了土壤的最好事例。他们将收获物作为地力的利息，绝不动用土壤这个资本」，赞扬了日本江户时代的城市 and 农村之间通过农产品和人粪尿，柴灶灰等的交换来进行养分循环的方式。

进入到 20 世纪之后，开发出了合成氨的技术和其他肥料的制造技术，化肥工业得到快速发展，能够廉价大量地生产出尿素，硫酸铵，磷铵和钾肥等多种化肥。现在，养分归还的法则基本上都是依靠施用化肥来实行的。现代农业能够在世界人口急速增加的局面下保证了粮食供应，化肥起着非常重要的作用。

众所周知，施用肥料可以促进农作物的生长，增加收获量，但肥料的增产效果强烈地受到收获量渐减的法则（law of diminishing returns）的支配。收获量渐减的法则是指随着施入耕地土壤里的肥料数量的增加，肥料所带来的增产效果会逐渐减弱，到达某一节点后，施入再多的肥料也不会使得收获量增加的现象。换句话说就是在一定的条件下，增加施肥量会得到更多的收获量，但是施肥量的增加曲线与收获物的增加曲线并不平行，随着施肥量的增加，收获量的增加幅度会逐渐减少，当收获量达到顶点后，再增加施肥量反而会使得收获量下降。收获量并不是随着施肥量的增加而增加的现象就是收获量渐减的法则，又称为收获递减法则。

收获量渐减的法则是德国的化学家 E. A. Mitscherlich 根据使用磷肥对燕麦的栽培试验所得到的数据加以整理归纳后，在 1909 年提出的理论。其目的是为了补完李比希的最小因子定律。Mitscherlich 指出，在某一养分不足但其他养分充分存在的环境下，随着不足养分的增加，收获量也随之增加，但相对于养分的增加量，收获量的增加幅度逐渐减少，当养分达到充分时，收获量也达到最高点，随后养分再增加也不会带动收获量的增加。收获量渐减的法则可用下面的公式来表示。

$$\frac{dy}{dx} = \alpha (A - y) \quad y = A\{1 - \exp(-\alpha x)\}$$

y : 收获量, x : 养分量, A : 最高收获量, α : 效果系数

后来，在追加的栽培试验中发现养分含量超过了最适量之后，收获量反而会降低，就将上式修改成：

$$\frac{1}{y} \frac{dy}{dx} = \alpha \frac{A-y}{y} - 2kx$$

y : 收获量, x : 养分量, A : 最高收获量, α : 效果系数 k : 被害率

收获量渐减的法则亦可用图 1 的曲线来表示。

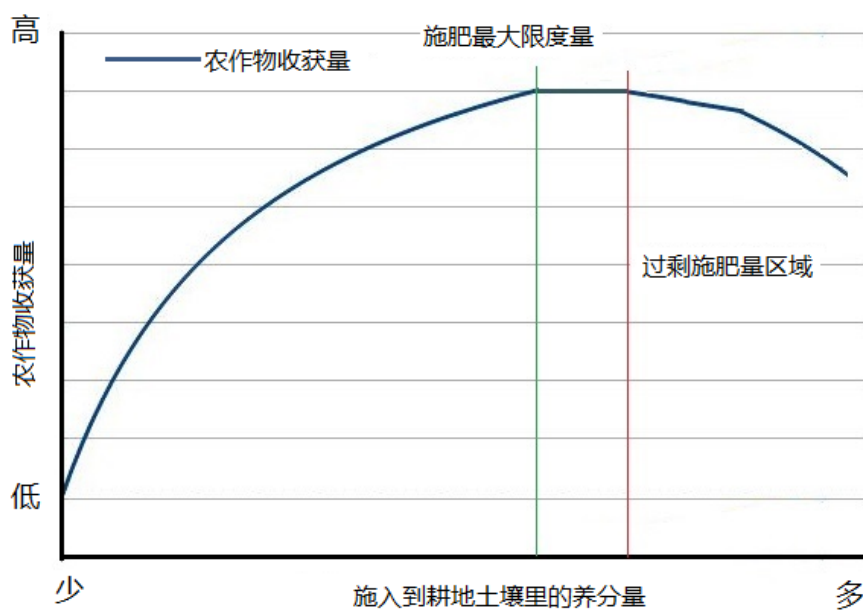


图 1. 肥料养分施用量与收获量的关系

养分归还的法则和收获量渐减的法则是合理施肥的理论根据。若不能及时施肥，补充因收获物带走的养分，耕地土壤就会逐渐贫瘠，农作物不能维持正常的生长，得不到预想的收获量。但是，若施肥过多，过剩的养分会引起作物的生理障碍，不仅不能增加收获量，反而会导致减产。农作物没能够吸收的养分不但会滞留在表土层引起盐分积累障碍，还会因降雨或灌溉造成养分流失，污染环境。因此，在农业生产上必须注意养分投入量（施肥量）和所得报酬（收获量）之间的关系，通过土壤诊断和栽培方式等来决定合理的施肥数量和施肥方式，才能得到最大的农业生产效果。