

第三章 作物产量和产品品质的形成

第一节 作物产量及其构成因素

第二节 作物的“源、流、库”理论及其应用

第三节 作物品质及其形成

第一节 作物产量及其构成因素



一、作物产量

1. **生物产量**：是指作物全生育期内通过光合作用和吸收作用，所生产和累积的各种有机物的总量。

2. **经济产量**：是指栽培目的所需要的产品的收获量。

(1) 不同作物其经济产品器官不同

(2) 同一作物，因栽培目的不同，其经济产量的概念也不同。

3. **经济系数（收获指数）**：经济产量占生物产量的比例，即生物产量转化为经济产量的效率。

(1) 不同作物的经济系数有所不同，其变化与遗传基础、收获器官及其化学成分以及栽培技术和环境对作物生长发育的影响等有关。

(2) 通常，薯类作物的经济系数为0.70~0.85，甜菜、烟草为0.60~0.70，水稻、小麦为0.35~0.50，玉米0.30~0.50，大豆0.25~0.40，油菜0.28左右。

$$\text{经济产量} = \text{生物产量} \times \text{经济系数}$$

二、产量构成因素

- ❖ 作物产量是指单位土地面积上的作物群体的产量，即由个体产量或产品器官数量所构成。
- ❖ 作物产量可以分解为几个构成因素 (Engledow, 1923; 松岛, 1957)，并依作物种类而异：

表3~1 各类作物的产量构成因素

作物名称	产量构成因素
禾谷类	穗数、每穗实粒数、粒重
豆类	株数、每株有效分枝数、每分枝荚数、每荚实粒数、粒重
薯类	株数、每株薯块数、单薯重
油菜	株数、每株有效分枝数、每分枝角果数、每角果粒数、粒重
烟草	株数、每株叶数、单叶重
绿肥作物	株数、单株重

三、作物产量形成特点

(一) 产量因素的形成

1. 产量因素的形成是在作物整个生育期内不同时期依次而重叠进行的。
2. 产量因素在其形成过程中具有自动调节现象，这种调节主要反映在对群体产量的补偿效应上。

实践证明：禾谷类作物产量因素的补偿作用，主要表现为生长后期形成的产量因素可以补偿生长前期损失的产量因素。

(二) 干物质的积累与分配

作物产量形成的全过程包括光合器官、吸收器官及产品器官的建成及产量内容物的形成、运输和积累。

- ❖ 作物光合生产的能力与光合面积、光合时间及光合效率密切相关。
- ❖ 作物的干物质积累动态遵循Logistic曲线(S形曲线)模式。

(三) 生长分析

1. 相对增长率 (RGR): 单位时间单位重量植株的重量增加, 通常用 g/g·d 或 g/g·周表示。

$$W_2 = W_1 e^{R(t_2 - t_1)} \quad R_{2-1} = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}$$

❖ 相对增长率主要由遗传特性控制, 但环境条件对其影响也较大。

2. 净同化率 (NAR): 单位叶面积在单位时间内的干物质增长量。

$$NAR = \frac{1}{L} \cdot \frac{dW}{dt} = \frac{\ln L_2 - \ln L_1}{L_2 - L_1} \cdot \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}$$

3. 叶面积比率 (LAR): 叶面积与植株干重之比 (L/W) 称叶面积比率,

$$LAR = \frac{L}{W} = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{W_2 - W_1} \cdot \frac{L_2 - L_1}{\ln L_2 - \ln L_1}$$

$$RGR = \frac{1}{W} \cdot \frac{dW}{dt} = \frac{L}{W} \left(\frac{1}{L} \cdot \frac{dW}{dt} \right) = LAR \times NAR$$

(三) 生长分析

4. 比叶面积 (SLA): 也称叶面积干重比, 为叶面积与叶干重之比, 在某种意义上是叶子相对厚度的一种度量。

$$SLA = \frac{L}{L_w}$$

5. 叶干重比 (LWR): 是叶的干重与植株干重之比。

$$LWR = \frac{L_w}{W} \quad RGR = \frac{L}{W} \left(\frac{1}{L} \cdot \frac{dW}{dt} \right) = \frac{L}{L_w} \cdot \frac{L_w}{W} \left(\frac{1}{L} \cdot \frac{dW}{dt} \right) = SLA \times LWR \times NAR$$

6. 作物生长率 (CGR): 又叫做群体生长率, 它表示在单位时间、单位土地面积上所增加的干物重。

$$CGR = \frac{dy}{dt} = \left(\frac{1}{L} \cdot \frac{dW}{dt} \right) \cdot F = NAR \times LAI$$

第二节 作物的“源、流、库”理论及其应用

一、源

定义：源是指生产和输出光合同化物的叶片。就作物群体而言，则是指群体的叶面积及其光合能力。

1. 颖壳、叶鞘和茎的绿色部分也能进行光合作用，虽然干物质生产量很小，但在逆境条件下，对稳定产量具有重要作用。
2. 在籽粒产量形成期，产量内容物除直接来源于光合器官的光合作用外，部分来源于茎鞘贮藏物质的再调运(殷宏章等，1956；彭永欣等，1992；吉田昌一，1984)；
3. 根系除吸收水分和矿质元素外，还能合成氨基酸、苹果酸等，也参与产量内容物的合成。

因此，严格意义上来说，源应包括叶源、鞘源和根源三个部分。

一、源

- ✓ 禾谷类作物开花前光合作用生产的营养物质主要供给穗、小穗和小花等产品器官形成的需要，并在茎、叶、叶鞘中有一定量的贮备。开花后的光合产物直接供给产品器官，作为产量内容物而积累。
- ✓ 不同作物开花前的贮备物质的再调运对籽粒产量的贡献率不同。
- ✓ 环境条件及栽培管理水平对开花前和开花后源的供给能力影响较大，在氮肥供应较少的低产栽培条件下，开花后光合作用逐渐降低，光合产物少，产量内容物主要依赖于花前贮备物。在高产栽培条件下，产量的大部分来自花后的光合产物。
- ✓ 源的同化产物有就近输送的特性。
- ✓ 除了叶面积大小和光合速率以外，颖花叶比、粒叶比等也用来表示源的供给能力或强度，其比值越高，说明单位叶面积供给物质量越多。

二、库

- ✓ **定义**：库主要是指产品器官的容积和接纳营养物质的能力。
广义的既包括最终贮存同化物的器官，如种子、果实、块根、块茎等，也包括还在生长中的幼嫩器官，如根、茎、叶、花、果实等；狭义的则专指收获对象。
- ✓ 产品器官的容积随作物种类而异。
- ✓ 库的潜力存在于库的构建中。
- ✓ 生态条件对库的建成也有明显影响（光照、水分等）
- ✓ 禾谷类作物籽粒的贮积能力取决于灌浆持续期和灌浆速度。



三、流

- ✓ **定义：**流是指作物植株体内输导系统的发育状况及其运转速率。
- ✓ 流的主要器官是叶、鞘、茎中的维管系统，其中穗颈维管束可看作源通向库的总通道，同化物质运输的途径是韧皮部，韧皮部薄壁细胞是运输同化物的主要组织。在韧皮部运输的同化物质中，大部分是碳水化合物，少部分是有机氮化合物。
- ✓ 同化物的运输受多种因素的制约。韧皮部输导组织的发达程度，是影响同化物运输的重要因素。

四、源、流、库的协调及其应用

源、流、库是决定作物产量的3个不可分割的重要因素，只有当作物群体和个体的发展达到源足、库大、流畅的要求时，才可能获得高产。

- ✓ 源是产量库形成和充实的物质基础；库对源的大小和活性有明显的反馈作用。
- ✓ 源、库器官的功能是相对的，有时同一器官兼有两个因素的双重作用。
- ✓ 一般来说，流不会成为限制产量的主导因素。
- ✓ 源、库的发展及其平衡状况往往是支配产量的关键因素。源、库在产量形成中相对作用的大小随品种、生态及栽培条件而异。

第三节 作物品质及其形成

一、作物品质的概念

定义：作物产品的品质是指产品的质量，直接关系到产品的经济价值。品质评价一般采用两种指标，一是化学成分，二是物理指标。

(一) 粮食作物的品质

禾谷类作物：蛋白质含量及其氨基酸组分是评价营养品质的重要指标。

食用豆类作物：蛋白质的氨基酸组成比较合理，因此营养价值高，

薯芋类作物：块根或块茎中含有大量的淀粉

- ❖ 作为食物，不仅要求营养丰富、生物价值高，而且要食用品质好。
- ❖ 加工品质和商品品质的评价指标随作物产品不同而不同。

一、作物品质的概念

(二) 经济作物的品质

1. **纤维作物**: 除棉花外, 主要是麻类作物, 其品质决定于纤维长度、宽度和纤维束拉力。
2. **油料作物**: 种子的脂肪含量及组分(油酸、亚油酸、亚麻酸、芥子酸等) 决定其营养品质、贮藏品质和加工品质。一般说来, 种子中油酸和亚油酸含量较高, 且两者比值(O/L) 适宜, 亚麻酸或芥酸(油菜油) 含量低, 是提高出油率、延长贮存期、食用品质好的重要指标。
3. **糖料作物**: 甜菜和甘蔗块根和茎秆是提取蔗糖的主要原料。出糖率是糖料作物的加工品质评价指标。
4. **嗜好作物**: 烟叶品质由外观品质、化学成分、香味和实用性决定。

(三) 饲料作物的品质

饲用品质主要决定于茎叶中蛋白质含量、氨基酸组分、粗纤维含量等。

二、作物品质形成的决定因素

作物品质的形成是由**遗传因素**和**非遗传因素**两个方面决定的。

(一) 优质品种的选用

禾谷类作物品质改良的重点，长期以来是围绕着提高蛋白质及其必需氨基酸组分含量进行的。

1. 小麦蛋白质含量，种间差异较大。

野生一粒小麦（18%~30%）和栽培一粒小麦（16%~27%）大于圆锥小麦（9%~16%）和硬粒小麦（12%~16%）。

我国栽培品种蛋白质含量在8.07%~20.42%，赖氨酸含量变化在0.28%~0.55%之间，春小麦高于冬小麦，地方品种高于育成品种；

2. 大豆蛋白质和油分含量，种间和品种间变化较大。

我国栽培品种的蛋白质含量变化在34.70%~50.75%之间（徐豹等，1984）；

籽粒含油量随种皮颜色不同变化在17.83%~19.58%之间，种皮黄色>种皮黑色和绿色>褐色（吉林市农业科学研究所，1982）。

二、作物品质形成的决定因素

(二) 环境条件对品质的影响

1. 环境条件对蛋白质含量的影响

(1) 禾谷类作物籽粒蛋白质含量有明显的地区差异性。

小麦籽粒中蛋白质含量由北向南和由西向东逐渐提高，在同一经度上由北向南每推进 10° ，籽粒中蛋白质平均提高4.5%，而在同一纬度上由西向东推进 40° ，蛋白质含量提高了5.47%。

(2) 温度对禾谷类作物籽粒蛋白质含量的影响

(3) 水分对作物籽粒中蛋白质含量的影响不尽相同。

(4) 施肥可以改善作物的营养条件，也影响其产品的化学成分和品质。

施肥可以提高籽粒中蛋白质含量，但蛋白质的生物价值却有所降低。

(二) 环境条件对品质的影响

2. 环境条件对油分含量的影响

❖ 高纬度和高海拔地区气温较低，日照较长，昼夜温差大，有利于油分的合成(丁振麟，1965；祖世亨，1983)。

(1) 油料作物种子中脂肪含量随地区、水分、温度条件的不同而有很大变化。

一般说来，油料作物在低温和水分充足条件下，种子中积累脂肪多，碘价(不饱和脂肪酸)也高。

(2) 肥料对油料作物种子中脂肪含量和质量有明显影响。

在氮素营养适中时，施用磷肥和钾肥可提高种子的脂肪含量，降低饱和脂肪酸的含量；氮肥用量高时，油分中饱和脂肪酸增加，不饱和脂肪酸减少，游离脂肪酸含量增加，使油脂的质量变劣。

(二) 环境条件对品质的影响

3. 环境条件对碳水化合物形成的影响

淀粉是种子、块根或块茎的主要贮藏物质。淀粉含量、组成成分（直链/支链）及品质均受环境因素的影响。

- ❖ 研究表明，马铃薯种植在较南地区，块茎中淀粉含量明显增加，由中纬度（ $50^{\circ}\text{N} \sim 57^{\circ}\text{N}$ ）向高纬度（ $57^{\circ}\text{N} \sim 67^{\circ}\text{N}$ ）每北移1度，淀粉含量平均降低0.5%。
- ❖ 在块茎形成期，降雨少或土壤水分降低至30%~40%时，块茎中淀粉含量有所增长，但产量却大大减少了。
- ❖ 施用钾肥和磷肥有利于块茎淀粉含量的提高，氮肥能引起淀粉含量的下降。

糖用甜菜块根含糖量随土壤含水量的降低而增加，但是，土壤水分低时，植株生长不良，产量降低。水分过多，块根品质变坏。磷肥可提高块根含糖量。

(二) 环境条件对品质的影响

4. 环境条件对纤维品质的影响

- 麻类作物，如亚麻和大麻等的纤维是韧皮纤维或结构纤维，要求湿润而温暖的气候条件，或在人工灌溉条件下栽培。
- 麻类作物生长期间水分供应充足，可促进形成品质优良的韧皮纤维，防止木质化。

5. 环境条件对特殊物质含量及品质的影响

- 烟草烟叶成熟时要求较高温度，温度低于20℃，叶薄，烟碱含量低，味淡不成熟，不宜作卷烟原料；
- 烟草生长季内，土壤水分含量高使烟叶烟碱含量降低，反之，则有利于烟碱的积累；
- 烟叶中蛋白质、烟碱、钾含量随施氮量增加而提高，而总糖和还原糖含量降低。磷能加速烟碱合成之前的硝酸还原过程。施用钾肥使烟碱、总糖、还原糖含量升高(曹文藻，1992)。

三、作物产量与品质的关系

- 作物栽培的目的是要获得高额的有经济价值的产品，同时，对产品质量也有较高的要求。
- 在大多数作物上观察到，一般高成分，特别是高蛋白质、脂肪、赖氨酸等含量很难与丰产性相结合。
- 禾谷类作物，如小麦、水稻、玉米，其籽粒蛋白质含量与产量呈负相关，高赖氨酸玉米比普通同型种产量低。
- 一般认为，不利的环境条件往往会增加蛋白质含量，提高蛋白质含量的多数农艺措施往往导致产量降低(Ahmadi, 1993)。
- 国际水稻研究所(1973)提出了“蛋白质阈值”的概念，即蛋白质含量超过该界限值时，稻谷产量会随蛋白质含量的提高而下降。

三、作物产量与品质的关系

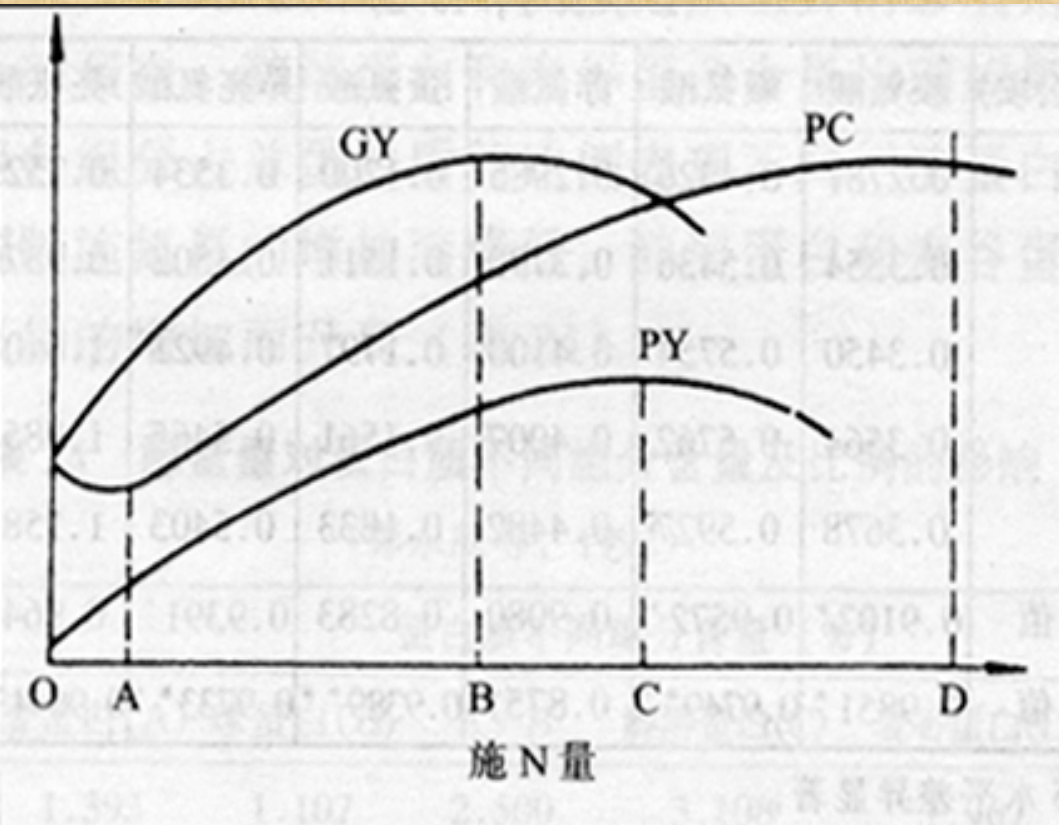


图5 施氮量与籽粒产量 (GY)、蛋白质含量 (PC) 和蛋白质产量 (PY) 的关系

0~A: “氮素低含量区”。

A~B: “氮素调节区”，B点是农民乐意接受的施肥量点。

B~C: “产量品质平衡区”。在优质优价条件下才为农民接受。

C点以后: “过量供氮区”。继续施肥，籽粒产量、蛋白质产量明显下降，但籽粒蛋白质含量仍在增加。从经济效益看施肥是不可取的。

从经济观点看，选定的施氮量应在“产量品质平衡区”，即最高籽粒产量至最高蛋白质产量(B至C)之间。