

农产品

物理特性及测量

孙 骊 仇农学 编



陕西科学技术出版社

农产品物理特性及测量

孙 骊 仇农学 编

陕西科学技术出版社

(陕)新登字第 002 号

农产品物理特性及测量

孙 骊 仇农学 编

陕西科学技术出版社出版发行

(西安北大街 131 号)

西北农业大学印刷厂印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 7.25 印张 17.5 万字

1998 年 3 月第 1 版 1998 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—1 000

ISBN7—5369—2826—2/S·305

定 价: 12.00 元

前 言

在从事农业机械设计、农副产品加工、冷却、贮藏、干燥等工作中,必须明确有关农产品的物理特性和确定它们的基本参数,只有这样才能使设计、计算具有理论性、准确性、实用性和逐步达到数量化的描述。做为农业机械设计使用人员、工程师、食品加工工作者、动物饲养者,以及其它新学科的探索者,了解农产品物理特性的基本知识是很有价值的。

农产品是指农业生产和加工的对象,包括动物和植物,以及以它们为原料加工的半成品和成品。如植物体,包括其根、茎、叶、花、果、种子等;动物体,包括其肌肉、骨骼、血液及动物产品,奶、蛋等。农产品物理特性是在近几十年形成的一门新学科。它运用近代物理学理论、技术和方法,研究农产品物理性质以及各个物理量因子和生物物料的相互作用,它属于多种学科间的一门边缘学科,是物理学、工程学和生物学各学科间的桥梁,也是农业工程学科的基础。它的主要内容有农产品的基本物理参数、流变特性、流体动力学特性、散粒体力学特性、热特性、光特性、电特性和其它特性。由于农产品种类繁多,形态差异很大,环境因素多变,以往的研究资料给出的多数是特定物料在特定条件下的数据和规律,这样对于设计、使用带来困难。因此本书主要介绍农产品带有共性的物理特性的理论和试验方法。对于使用中有价值的数,力求客观地给予介绍。

农产品的基本物理参数包括物料的形状、尺寸、粒径等几何参数和密度、体积、表面积、空隙度、含水量等。这些数据是机械设计和品质分析中必不可少的。例如果实和谷粒的分级、种子清选、排种器设计、水果去核削皮都需要知道它们的几何参数。在

贮存、干燥、农机具设计、果蔬新鲜度评价时体积和密度的数据和变化规律也很重要。干燥过程中风量、热量的计算,蔬菜保鲜时呼吸作用的强弱与空隙度有关;光合作用、喷洒农药、蔬菜产量的估计与表面积有关;农产品的含水量测量和数据也是在农机设计和产品检测中常用的数据。

农产品的流变特性是表示物料在外力作用下变形和流动随时间变化的特征。农业机械设计,加工工艺方案的确定,农产品品质鉴定中存在着大量的流变现象。例如,脱粒能力、磨粉和粉碎的速度、果汁压榨的参数等都与物料的流变特性关系非常密切。鲜果的贮存、损伤的评价和防止、食品嫩度脆度的测定等都与物料的力学特性相关。研究物料的流变特性用于生产和开发新思维的例子是很多的。

农产品的流体动力学特性表示了物料在流体中的运动和受力特点。如气力输送和清选、液力选果、选种都是运用这种特性来达到目的的经济有效的方法。

散粒体力学特性反映了大量尺寸相近的颗粒群体的力学性质。如休止角、内摩擦角、滚动稳定角、滑动摩擦系数以及粘聚性、粘附性、流动性等。在农业机械工作部件的设计计算、工艺结构参数的确定和品质检测中被广泛应用着,例如犁、中耕铲、平面筛的设计中滑动摩擦系数;料斗设计中排料流畅需考虑物料的休止角和流动规律;料仓设计中底板和侧壁的强度计算;土壤工作部件的脱土脱草问题需考虑土壤的粘附性等。

农产品的热特性、光特性和电特性的测量在现代科技中迅速发展着。干燥、贮藏、加工中的常规热计算要求知道物料的热特性参数。对农产品的热处理和低温处理可改变或控制它们的生理特性,如小麦等谷类作物进行热处理可促进发芽;对大蒜低温处理可抑制变软;果蔬的低温保鲜大大延长了货架期等。利用农产品的光透过性、反射性、延迟发光性来分级、清选、鉴定品质

的例子也很多。利用农产品的电阻、电导、电容、介电常数、电泳等的特性不同来测量含水量、分析成分、分选、鉴定品质的仪器也是生产中应用的实例。另外利用声特性、磁特性来鉴定农产品粘度、含水率、成熟度等的资料也有许多。

可见,农产品的各种特性是正确选择和研究其加工工艺的基础,也是优化设计、参数选择的基础。它使方案确定、总体设计、零部件设计、运动结构参数选择等传统设计建立在数量化、科学化的基础之上,在农业工程和相邻的学科领域中有着广阔的应用前景。

本书以 Mohsenin N. N. 所著《植物和动物的物理特性》为主要依据,参考其它教材和资料编写而成,供农业工程、农产品贮藏加工专业使用,亦可供农产品、食品工作者和技术人员参考。其主要内容是从生产实践的需要出发,讨论农产品各种物理特性的基本理论、测定和表示方法、变化规律及应用实例。书中的数据、表格、曲线、测定方法、测试装置和数据处理方法可供读者参考。

由于水平所限,书中不妥和错误之处,望读者批评指正。

编者

1997 年 12 月

目 录

第1章 基本物理参数	(1)
第1节 几何参数及测量	(1)
第2节 密度和体积	(14)
第3节 孔隙和充填	(22)
第4节 表面积	(24)
第5节 水分和湿特性	(28)
第2章 流变特性	(30)
第1节 理想物体的流变特性	(30)
第2节 流变模型	(34)
第3节 流变方程	(43)
第4节 固体农产品的流变特性	(49)
第5节 液体农产品的流动特性	(66)
第3章 流体动力学特性	(75)
第1节 颗粒的临界速度	(75)
第2节 输运和精选	(79)
第4章 散粒体力学特性	(86)
第1节 摩擦特性	(86)
第2节 粘附性和粘聚性	(94)
第3节 流动特性	(96)
第4节 农产品对容器的压力	(102)
第5章 农产品的热特性	(106)
第1节 基本热特性的测定	(106)
第2节 农产品的热学特性	(109)

第3节 热特性应用	(117)
第6章 农产品的光特性	(123)
第1节 农产品的光透过特性	(123)
第2节 农产品的光反射特性	(132)
第3节 农产品的延迟发光(DLE)特性	(140)
第4节 光特性应用例	(146)
第7章 农产品的电特性	(156)
第1节 生物电现象	(156)
第2节 介电特性	(159)
第3节 其它电学特性	(161)
第4节 电特性应用	(167)
附录 农产品物理特性数据表	(173)
表1-1 单一粒径表示方法	(173)
表1-2 平均粒径计算公式	(173)
表1-3 不同的物理化学现象所采用的平均粒径	(174)
表1-4 固体农产品组成物的密度	(174)
表1-5 冰冻和新鲜农产品的密度变化	(175)
表1-6 一些农产品的密度	(175)
表1-7 食品相对密度一览表	(175)
表1-8 各种粮粒的粒度	(178)
表1-9 标准筛数据	(178)
表1-10 各种食物的含水量	(179)
表2-1 固体到类液体的泊松比和弹性常数	(183)
表2-2 一些物料的泊松比	(183)
表2-3 cP 与 ssu 间的换算关系	(184)
表2-4 一些物料的弹性模量值	(184)
表2-5 一些物料体积模量值	(184)
表2-6 用共振法所得的农产品动态特性	(185)

表 2-7	小麦谷粒在轴向压缩时的表观弹性模量	··· (186)
表 2-8	一些牛顿流体(20℃时)的粘度	····· (186)
表 2-9	一些物料的 K 和 n 值	····· (186)
表 2-10	蛋白质含量与米粒硬度的关系	····· (186)
表 2-11	不同品种米粒的硬度(公斤/粒)	····· (187)
表 2-12	整粒小麦在不同水分时的最大承受力	····· (187)
表 2-13	人造奶油、猪油的物理感官评价和 屈服值	····· (187)
表 2-14	各种制品可能使用范围的屈服值	····· (187)
表 2-15	油脂的粘度	····· (188)
表 2-16	食品工业用液体的粘度	····· (188)
表 2-17	食品流变学数据	····· (192)
表 3-1	农产品的临界速度	····· (194)
表 3-2	小麦脱出物的阻力系数 C, 阻滞系数 k 和 飘浮系数 k_0	····· (195)
表 3-3	不同种类物料的输送浓度	····· (195)
表 3-4	输送风速 V_s 和物料临界速度 V_c 的关系	··· (195)
表 3-5	各种物料的常用气流输送速度	····· (196)
表 4-1	农产品滑动摩擦角	····· (196)
表 4-2	水果和蔬菜的滑动摩擦角和滚动稳定角	··· (197)
表 4-3	主要作物种子和谷粒的休止角	····· (197)
表 4-4	谷粒休止角与含水率关系	····· (197)
表 4-5	沙子的休止角随振动频率的变化	····· (198)
表 4-6	农产品的内摩擦角	····· (198)
表 5-1	农产品比热和含水量关系	····· (198)
表 5-2	食品的比热	····· (199)
表 5-3	一些食品的导热率	····· (199)
表 5-4	谷物和种子导热率和含水量关系	····· (200)

表 5-5	水果和蔬菜的导热率	(200)
表 5-6	一些农产品的导温系数	(201)
表 5-7	高粱粒的呼吸热	(201)
表 5-8	固体食品的传热系数	(202)
表 5-9	液体食品的传热系数	(206)
表 5-10	食品热性质表	(207)
表 6-1	高强度延迟发光的各项测定参数组合	(216)
表 6-2	和农产品质量因素有关的光学测定	(216)
表 7-1	谷物和种子的介电特性(24.4℃)	(218)
表 7-2	一些食品和果蔬的介电特性	(219)
表 7-3	马铃薯和苹果的电阻率	(219)
表 7-4	紫花苜蓿种子的电处理结果	(219)

第1章 基本物理参数

当我们研究谷粒、种子、水果、蔬菜、饲料、鸡蛋、奶酪、纤维等农产品时,无论它们是以个体或群体出现,如何测定它们的形状、尺寸、体积、密度、表面积、空隙度和含水率等工程参数和物理特性,都是十分重要的。这些物料种类繁多,环境变化时其参数值也随着变化。如何按研究目标,有效地确定测量方法和精度,进行数据处理和寻找变化规律都是需要解决的问题。

第1节 几何参数及测量

1. 形状和尺寸

大多数农产品的形状都不是规则的几何体,而且相互差异较大。按形态区分有块体、粒体、粉体、茎叶体和纤维体等。同一物体的形状和尺寸是相互影响和不可分割的两个参量。

1.1 形状判别

1.1.1 图形比较法

将物料的纵截面和横截面的形状与标准图表进行比较来确定物料的形状。下表是用来判别的标准图表。

形状	定义
圆	类似球体
扁圆	柄端和顶端是扁平的
长椭圆	垂直直径大于水平直径

圆锥形	朝顶端方向尺寸变小
卵形	鸡蛋形并且在柄端处宽
歪形	柄和顶端连接轴线是倾斜的
倒卵形	倒转的卵形
椭圆形	类似于椭球体
平头的	二端方形或平的
不对称	一半大于另一半
肋状	在横截面内其边是角形的
规则的	横截面类似于一个圆
不规则的	横截面形状与圆相比差别很大

1.1.2 规则几何体比较法

农产品的形状可以直接用球体、椭球体、圆柱体、立方体等规则图形来表示。也可以与这些规则图形相比较,用量化指标表示其相似程度,从而进行其它几何参数的计算。例如视杏、豌豆为球体,哈密瓜、柠檬为椭球体,胡萝卜、甜菜为截头正圆锥体等。它们的体积、表面积、截面面积都可用相应的几何公式计算。

实用中还可以把物体的实际形状与选定的规则图形相比较,用它们的比值表示其与规则图形的相似程度。例如当基准形状为球体或圆时可以用圆度、球度这些无量纲参数表示。下面的公式可以用来计算其大小。

$$R_d = A_p / A_0 \quad (1-1)$$

式中 R_d — 圆度(%);

A_p — 物体在自然静止位置时的最大投影面积;

A_0 — A_p 的最小外接圆面积。

$$R_d = \frac{\sum r}{NR} = \frac{r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n}{NR} \quad (1-2)$$

式中 r — 物体各棱角处的曲率半径;

R — 最大内切圆半径;

N — 相加的棱角总数。

有时,圆度也可用圆度比(Roundness ratio)表示,圆度比定义为

$$R_r = r/R \quad (1-3)$$

式中 R_r — 圆度比;

R — 与物体投影面积相等的圆的半径;

r — 物体投影面中最小锐角处的曲率半径。

$$S_p = d_e/d_c \quad (1-4)$$

式中 S_p — 球度(%);

d_e — 与实际物体体积相等的球体的直径;

d_c — 实际物体最小外接球直径或物体的最大直径。

$$S_p = d_i/d_s \quad (1-5)$$

式中 S_p — 球度(%);

d_i — 一类球体的最大投影面积图形的最大内接圆直径;

d_s — 一类球体的最大投影面积图形的最小外接圆直径。

假定物体的形状是三维椭球,它们和三个坐标轴的截距分别为 a 、 b 和 c ,外接球的直径为 a ,则根据式(1-4)求得球度为:

$$S_p = \frac{(abc)^{1/3}}{a}$$

式中 a 为最大截距, b 为垂直于 a 的最大截距, c 为垂直于 a 和 b 的最大截距,这些截距不一定相交于一点。经测定,苹果、桃

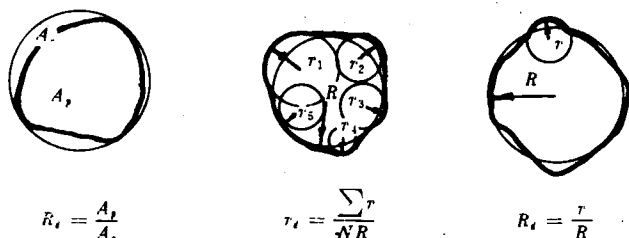


图 1-1 各种圆度定义方法

子和梨等水果的球度为 89% ~ 97%。球度数值愈大,说明物体形状愈接近球体。

1.1.3 形状系数

形状系数是与物料形状有关的参数,它虽然不能直观地描述物料和形状,但却常用来表示物料个体或群体的物理现象。常用的有体积形状系数,表面积形状系数和比表面积形状系数等。

$$\varphi_v = V/D_p^3 \quad (1-6)$$

式中 φ_v 为物料的体积形状系数, V 物料体积, D_p 直径。对于球 $\varphi_v = \pi/6$, 对于立方体 $\varphi_v = 1$ 。

$$\varphi_s = S/D_p^2 \quad (1-7)$$

式中 φ_s 为物料的表面积形状系数, S 物料的表面积, D_p 直径。对于球 $\varphi_s = \pi$, 对于立方体 $\varphi_s = 6$ 。

$$\varphi = \varphi_s / \varphi_v \quad (1-8)$$

式中 φ 为物料的比表面积形状系数。对于球和立方体都是 $\varphi = 6$ 。

1.1.4 形状指数

形状指数是将物料的形状用数值表示的一种方法, 可做为不同形状物料间相互比较的依据。与形状系数相比, 它的量化性更为随意。一般先认定理想形状, 然后再将实际形状与理想形状进行比较, 称为形状指数。常用的有长短度、扁平度、Zingg 指数 F 和体积充足度 f_v 等。

若三轴径尺寸为 $L > b > t$ 则

$$\left. \begin{aligned} \text{长短度} &= L/b = \text{长} / \text{宽} \\ \text{扁平度} &= b/t = \text{宽} / \text{厚} \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

$$\text{Zingg 指数 } F = \text{长短度} / \text{扁平度} = Lt/b^2 \quad (1-10)$$

用这些指数考察植物种子的形状时, 可根据不同形状区域, 选用相应的播种机排种器的结构形式。

体积充足度定义为物料的外接长方形的体积和实际体积之比。

$$f_v = Lbt/V \quad (1-11)$$

式中 f_v 体积充足度, L, b, t 物料的长宽厚三轴尺寸、 V 物料的实际体积。 f_v 的倒数表示物料接近长方体的程度。

类似的还有面积充足度。若物料投影面积的最小外接矩形的长宽为 L, b , 物料的实际投影面积为 A , 则面积充足度 f_b 为

$$f_b = \frac{A}{L \cdot b} \quad (1-12)$$

形状指数是由使用指数的目的决定的, 而农产品本身差异颇大, 所以形状指数的种类是相当多的。

1.1.5 规律方程表示形状

农产品的形状特征可用规律方程表示。如视红枣的形状为变轴椭圆体时, 其形状可表示为

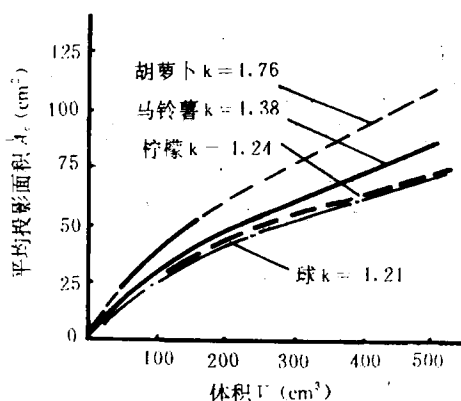


图 1-2 物料的平均投影面积和体积之间关系

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{(b+kx)^2} = 1 \quad (1-13)$$

式中 a 、 b 为椭圆的长短轴， $k = \tan \theta$ 为 ab 处切线的斜率。当红枣的品种不同时 k 值为特定值。

1.1.6 用平均投影面积和体积之间的关系表示物料的形状

根据凸状物体的理论有如下关系式

$$\frac{V^2}{S^3} \leq \frac{1}{36\pi} \quad (1-14)$$

$$S = 4A_c \quad (1-15)$$

式中 V 和 S 分别为凸形物体的体积和表面积， A_c 为平均投影面积，表示物体在三个相互垂直平面内的投影面积的平均值。将式(1-15)代入(1-14)中得

$$A_c \geq \left(\frac{9\pi}{16}\right)^{1/3} V^{2/3} \quad (1-16)$$

若凸形物料为球体，由 A_c 、 V 的计算公式得

$$A_c = \left(\frac{9\pi}{16}\right)^{1/3} V^{2/3} = KV^{2/3}$$

可见球体的 $K = 1.21$ 。一般凸形物体的平均投影面积 A_c 与体积 V 的 $2/3$ 次方之比要比球体的 K 值大, 这样可以用 K 值表示凸形物体与球的近似程度。从图 1-3 中可见胡萝卜 $K = 1.76$, 马铃薯 $K = 1.38$, 柠檬 $K = 1.24$ 。若定义形状系数 $\varphi = 1.21/K$, 则可更清楚判别物料的形状和球体之间的差异程度。如柠檬 $\varphi = 0.975$, 接近于球体, 胡萝卜 $\varphi = 0.687$ 是细长形等。平均投影面积和体积的测量是比较方便的。用它们之间的关系来量化形状特征参数对于形状较相似的块状物料是适用的。

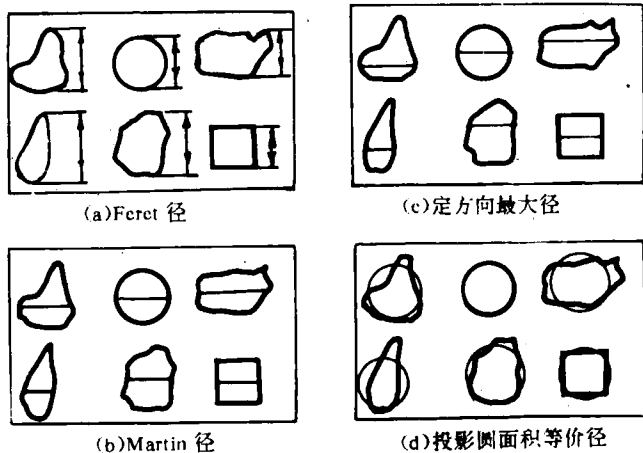


图 1-3 投影径

1.2 尺寸计量

1.2.1 轴向尺寸

测量三轴尺寸可在投影仪或幻灯机上进行。分别用 a 、 b 、 c