

巫纾予,朱成立,仲轩野,等.灰枣果实体积与单果质量的估算方法[J].江苏农业科学,2019,47(14):236-238.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.14.055

灰枣果实体积与单果质量的估算方法

巫纾予¹,朱成立²,仲轩野²,柳智鹏¹,徐文强³,依提卡尔·阿不都沙拉木⁴

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏南京 210098; 2. 河海大学南方灌区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室,江苏南京 210098; 3. 河海大学水利水电学院,江苏南京 210098; 4. 新疆农业大学水利与土木工程学院,新疆乌鲁木齐 830052)

摘要:以新疆若羌县 7 年生灰枣树自然风干果实为对象,测定枣果横径、纵径、体积、单果质量及硬度,通过相关性分析筛选不同果实等级下有效指标,拟合建立灰枣体积与单果质量估算模型。结果表明,枣果中部横径 R_2 与纵径 H 、体积 V 呈极显著相关($P < 0.05$),可仅以中部横径 R_2 为自变量建立灰枣体积估算的幂函数模型 $V_g = 0.313R_2^3 + 1.241R_2^2$ ($r^2 = 0.8178$);自然风干灰枣单果质量 M 与估算体积 V_g 呈极显著相关,二者满足线性关系 $M = 0.5233V_g + 0.6741$ ($r^2 = 0.8739$)。经检验,所构建估算模型可靠,测量方便,精度较高,可快速完成灰枣体积、单果质量估算。

关键词:灰枣;横径;体积;单果质量;估算模型

中图分类号: S665.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)14-0236-03

枣为鼠李科枣属植物,发源于中国,距今已有 4 000 多年的历史,现有 700 多个品种。红枣的维生素 C、维生素 P 含量丰富,营养价值高,具有较好的经济、药用和食用价值。新疆维吾尔自治区是我国主要的枣树产区之一,2015 年枣树种植面积为 495 548 hm^2 ,产量达 3 054 270 $\text{t}^{[1]}$,红枣产业已成为新疆林果业的支柱产业,种植规模逐年递增;但受品质和产量影响,红枣统购价格不高,对农业产值的贡献程度逐年下降,而提高红枣品质有利于促进农业发展、农民增收及提升市场竞争力^[2-3]。

对西北干旱地区以枣树为试验对象研究发现,果实品质是评判灌溉制度、水盐调控优劣的重要指标^[4-6],而果实体积与单果质量是果实品质研究中最常用的指标,是果品分级销售的重要依据。果实体积测定的常规方法为排水法,测量精度虽然较高,但操作比较繁琐,须耗费大量时间、精力,效率较低。采用横、纵径法对果实体积进行估算是一种相对简单易行,且较为精确的方法^[7],而选择合理适宜的公式是体积估算的关键,有众多学者对此开展了深入研究。丁志祥等研究发现,理想数学模型(圆球体积)难以精确反映果实真实体积,在圆球体积公式基础上结合果形指数变化形成的经验公式 $V = K(x^a y^b)^c$ 可测定柑橘果实体积^[8]。陈年来等以排水法测定的体积为依据,对椭球体积计算公式进行修正,建立了甜瓜果实体积估算方法,显著提高了估算准确性^[9]。目前,对红枣体积的估算以椭球体、圆柱体积公式为主,未考虑实际果形与数学模型的差异,估算误差较大。果实质量的测定通常采用称质量法,即用天平称取 800 ~ 1 000 g 枣果,统计枣果的个数,再计算单果质量;而在研究分析单果质量分布时,只能

逐一进行称量,操作繁琐、工作量较大。游磊等采用统计回归方法建立了单果体积与单果质量之间的一元线性函数方程,可快速估算单果质量^[10]。但是,灰枣果实风干过程中含水率等指标的变化对单果质量影响较大,而对已风干灰枣硬度等对单果质量的影响鲜有报道。

本试验以新疆灰枣为研究对象,通过测定枣果横径、纵径、体积、单果质量及硬度,分析不同果实等级下各指标间的相关性,选择有效指标建立枣果体积、单果质量估算模型,以探索一种能够快速准确估算灰枣果实体积和单果质量的方法,为果品分级销售奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以 2017 年 4—10 月在新疆巴音郭楞蒙古自治州且末县农二师 38 团进行调亏灌溉试验的 7 年生灰枣树果实为试验材料,根据当地实际情况对自然成熟且风干的灰枣进行果实分级,分级标准干灰枣收购等级标准为:一级果,果实纵径 ≥ 3.3 cm;二级果,果实纵径为 3.0 ~ 3.2 cm;三级果,果实纵径为 2.7 ~ 2.9 cm;随机选取 150 粒健康、无病虫害的果实,其中 120 粒用以构建灰枣果实体积、单果质量的估算公式,另外 30 粒用以验证分析估算公式的可靠性。

1.2 测量内容与方法

使用精度为 0.01 mm 的电子数显游标卡尺测量灰枣前部横径 R_1 、中部横径 R_2 、后部横径 R_3 、纵径 H ;采用排水法测量果实体积 V ;采用精度为 0.01 g 的电子天平称量果实质量 M ;采用 GY-3 型果实硬度计测量果实硬度。

1.3 估算模型的建立与验证

采用 SPSS 软件对试验数据进行统计分析,选择与单果体积、单果质量具有较高关联程度的指标作为自变量,利用 MATLAB 软件进行拟合,建立灰枣果实体积、单果质量估算模型。将 30 粒样果相应指标代入已建立的 2 个模型,获得相应估算的体积和单果质量,与实测结果进行对比,以检验已建立

收稿日期:2018-03-08

基金项目:国家重点研发计划(编号:2016YFC0400208)。

作者简介:巫纾予(1993—),女,硕士研究生,从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail:wushuyu@hhu.edu.cn。

通信作者:朱成立,博士,副教授,硕士生导师,从事农业水土资源规划、节水灌溉理论与技术研究。E-mail:clz@hhu.edu.cn。

模型的适用性与可靠性。

2 结果与分析

2.1 果实体积估算公式的建立与验证

2.1.1 果实体积估算横径的确定 在枣果体积估算中,通常选择圆柱体积公式 $V = \pi(H/2)(R/2)^2$ 或椭球体积公式 $V_1 = 4/3\pi(H/2)(R/2)^2$ 进行计算,参数中均包括横径指标 R 与纵径指标 H 。将灰枣前部横径 R_1 、中部横径 R_2 、后部横径 R_3 及平均横径 $R = (R_1 + R_2 + R_3)/3$ 分别与体积 V 、纵径 H 进行相关性分析,结果(表 2)表明,对 3 类等级灰枣果实而言,仅二级果前部横径 R_1 与体积 V 呈显著相关($P < 0.05$)外,果实其他指标均与体积 V 呈极显著相关($P < 0.01$);不同果实等级下,各指标与体积 V 相关系数平均值由高到低为中部横径 $R_2 >$ 平均横径 $R >$ 纵径 $H >$ 后部横径 $R_3 >$ 前部横径 R_1 。由表 3 可见,果实各横径指标与纵径 H 相关性由高到低分别为中部横径 $R_2 >$ 平均横径 $R >$ 后部横径 $R_3 >$ 前部横径 R_1 。因此,中部横径 R_2 与体积 V 的相关度最高,同时,中部横径 R_2 与纵径 H 的相关度也较高,中部横径 R_2 为最佳横径指标。

表 1 果实横、纵径指标与体积的相关性

指标	皮尔逊(Pearson)相关系数			
	一级果	二级果	三级果	平均值
前部横径 R_1	0.440 **	0.369 *	0.476 **	0.428
中部横径 R_2	0.879 **	0.748 **	0.712 **	0.780
后部横径 R_3	0.653 **	0.533 **	0.678 **	0.621
平均横径 R	0.812 **	0.757 **	0.743 **	0.771
纵径 H	0.496 **	0.661 **	0.713 **	0.623

注:数据后标注 **、* 分别表示两者之间极显著($P < 0.01$)、显著相关($P < 0.05$)。下同。

表 2 果实横径指标与纵径的相关性

指标	皮尔逊(Pearson)相关系数		
	一级果	二级果	三级果
前部横径 R_1	0.028	0.093	0.254
中部横径 R_2	0.389 *	0.498 **	0.508 **
后部横径 R_3	0.133	0.343 *	0.430 **
平均横径 R	0.236	0.433 **	0.476 **

2.1.2 果实体积估算公式(模型)的建立 将中部横径 R_2 与纵径 H 进行拟合发现,其线性关系较好,可拟合成线性方程为 $H = 0.972R_2 + 12.19$ ($r^2 = 0.7346$) (图 1)。故在体积估算模型建立中,可选用 R_2 作为自变量进行体积估算模型拟合,以减少估算参数的测量工作。结合椭球体积公式与横、纵径模型,选择幂函数模型 $V = aR_2^3 + bR_2^2$ 来描述枣实际测量体积 V 与中部横径 R_2 之间的相关关系,其中 a 、 b 为系数。采用 MATLAB 软件进行拟合(图 2),构建果实体积估算公式为:

$$V_g = 0.313R_2^3 + 1.241R_2^2 (r^2 = 0.8178)。$$

2.1.3 体积估算模型验证 由表 3 可见,以 R_2 为自变量拟合建立的体积估算模型得到的灰枣体积与实测值平均相对误差为 1.72%,而用椭球体积公式计算的灰枣体积与实测值平均相对误差为 10.49%;对三级灰枣果而言,椭球体积公式计算的体积相对误差为 13.72%~26.50%,远高于体积估算模型的相对误差最大值(4.85%)。可见,构建的果实体积估算

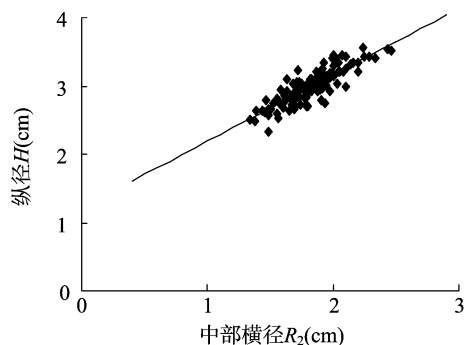


图 1 中部横径 R_2 与纵径 H 的拟合关系

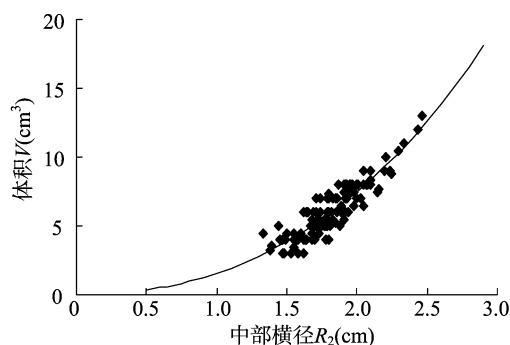


图 2 中部横径 R_2 与果实体积 V 的拟合关系

表 3 2 种体积估算方式与实测值误差分析

编号	实测体积 $V(\text{cm}^3)$	模型估算体积 $V_g(\text{cm}^3)$	相对误差 $S_g(\%)$	椭球体积 $V_1(\text{cm}^3)$	相对误差 $S_1(\%)$
一级 1	8.0	8.07	0.83	7.60	5.01
一级 2	10.0	9.95	0.48	9.64	3.61
一级 3	8.0	7.70	3.79	7.95	0.62
一级 4	7.5	7.42	1.12	7.74	3.17
一级 5	8.5	8.69	2.27	8.11	4.61
一级 6	6.0	6.21	3.56	5.94	1.08
一级 7	7.5	7.68	2.39	6.64	11.44
一级 8	7.5	7.76	3.46	7.25	3.27
一级 9	7.5	7.17	4.45	6.95	7.40
一级 10	6.0	6.24	3.95	5.50	8.38
二级 1	6.5	6.80	4.59	5.73	11.91
二级 2	6.5	6.44	0.89	6.50	0.05
二级 3	7.5	7.57	0.97	7.14	4.78
二级 4	5.0	5.13	2.62	4.37	12.51
二级 5	6.0	5.98	0.29	5.84	2.68
二级 6	4.5	4.33	3.72	3.99	11.34
二级 7	4.5	4.69	4.12	4.36	3.03
二级 8	5.0	5.15	2.90	4.53	9.36
二级 9	6.5	6.77	4.21	5.75	11.47
二级 10	7.0	7.22	3.11	6.47	7.61
三级 1	5.0	4.96	0.81	4.21	15.80
三级 2	4.5	4.72	4.85	3.71	17.55
三级 3	4.5	4.45	1.19	3.50	22.31
三级 4	4.0	4.06	1.40	3.21	19.76
三级 5	5.5	5.67	3.05	4.45	19.12
三级 6	5.0	5.22	4.44	4.31	13.72
三级 7	4.5	4.69	4.27	3.84	14.62
三级 8	4.0	3.86	3.49	3.27	18.33
三级 9	3.5	3.50	0.07	2.57	26.50
三级 10	4.0	4.17	4.14	3.05	23.80

公式可靠性高,较椭球体积公式误差更小,适用范围更广。

2.2 单果质量估算公式的建立与验证

2.2.1 单果质量的估算 由表 4 可见,已风干灰枣果实硬度与单果质量 M 相关性较低,而估算体积 V_g 与单果质量 M 呈极显著相关($P<0.01$)。因此,以估算体积 V_g 为自变量,建立其与单果质量 M 的关系模型可用来估算灰枣单果质量。采用

表 4 果品硬度、估算体积与与单果质量的相关性

指标	与单果质量的皮尔逊(Pearson)相关系数		
	一级果	二级果	三级果
果实硬度	0.246	-0.078	-0.19
估算体积 V_g	0.873 **	0.876 **	0.912 **

MATLAB 软件拟合的估算体积 V_g 与单果质量 M 模型见表 5。

表 5 估算体积与单果质量拟合模型

序号	模型	拟合模型	相关系数
1	一元线性方程	$M = 0.523\ 3V_g + 0.674\ 1$	0.873 9
2	指数方程	$M = 1.861e^{0.116\ 6V_g}$	0.849 1
3	乘幂方程	$M = 0.860\ 1V_g^{0.843}$	0.873 7
4	线性方程	$M = 0.145\ 3\sin(V_g - \pi) - 0.076\ 63(V_g - 10)^2 + 5.241$	0.743 4
5	对数方程	$M = 7.423\ 3\ln(V_g) - 1.836$	0.845 7

2.2.2 单果质量估算模型精度的评价 将 120 粒样果估算体积 V_g 分别代入 5 个拟合模型进行单果质量估算,并与实测值进行对比,选择残差平方和、总相对误差和平均百分标准误差^[11]作为估算评价指标,残差平方和可用以反映模型的拟合优度,总相对误差可反映模型拟合的效果,平均百分标准误差可表明模型估算单果质量误差的平均水平。由表 6 可见,一元线性方程拟合优度相对最好;拟合的 5 个方程总相对误差均在 5% 内,说明模型均拟合良好,其中,乘幂方程拟合效果相对最佳;仅线性方程的平均百分标准误差高达 11.58%,其他模型均低于 10%,尤以一元线性方程平均百分标准误差相对最低,为 8.53%。因此,在实际应用中,建议选择一元线性方程 $M = 0.523\ 3V_g + 0.674\ 1$ 作为估算模型,这个模型估算灰枣单果质量最为便捷,且准确性较高。

表 6 枣果体积估算模型评价结果

序号	模型	残差平方和	总相对误差 (%)	平均百分标准误差 (%)
1	一元线性方程	13.75	-1.18	8.53
2	指数方程	14.09	-1.54	8.78
3	乘幂方程	14.09	-0.83	8.64
4	线性方程	23.15	-1.30	11.58
5	对数方程	17.54	-1.32	8.71

3 结论与讨论

在对枣果体积估算相关研究中,Cui 等提出选用圆柱体积公式对梨枣进行体积估算,并选择果实横径均值 R 、纵径 H 作为计算参数^[12]。游磊等研究发现,中部横径 R_2 与横径均值 R 相关性较高,与采用 R_2 和 H 为参数、圆柱体积计算公式相比,采用椭球体积计算公式更适用于新疆灰枣的体积估算^[10]。但是,这些研究均选用理想数学模型对果实体积进行估算,未考虑不同果实等级下果形的偏差,且未对纵径 H 进行研究分析。本研究在明确灰枣中部横径 R_2 与体积 V 、中部横径 R_2 与纵径 H 相关度最高的基础上,仅选用 R_2 作为自变量进行体积估算模型拟合,并建立灰枣果实体积估算模型为 $V_g = 0.313R_2^3 + 1.241R_2^2$ ($r^2 = 0.817\ 8$)。经验证,构建的果实体积估算公式可靠性高,估算值与实测值间吻合度更高,较椭球体积公式误差更小,同时,其适用性更广,对体积较小、果

形不够饱满的三级果仍能满足估算要求,且误差远低于椭球体积公式,这有效减少了估算参数的测量工作。

单果质量通常受果实体积的影响较大,而风干灰枣果实硬度对单果质量的影响鲜有研究。本试验选择估算体积 V_g 和果品硬度进行分析,判断其与单果质量 M 的相关性,结果表明,已风干灰枣果实硬度与单果质量 M 相关性较低,而估算体积 V_g 与单果质量 M 呈极显著相关($P<0.01$)。在此基础上,利用体积估算值 V_g 可很好地拟合单果质量 M ,最优方程为一元线性模型: $M = 0.523\ 3V_g + 0.674\ 1$ ($r^2 = 0.873\ 9$),其准确性较高,计算便捷。

参考文献:

[1]新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴 2016[M]. 北京:中国统计出版社,2016.

[2]周禹含,毕金峰,陈芹芹,等. 中国红枣加工及产业发展现状[J]. 食品与机械,2013,29(4):214-217.

[3]刘运超,余国新,闫艳燕. 新疆红枣产业发展现状与对策研究[J]. 北方园艺,2013,37(18):165-169.

[4]Rao X,Wang Z,Zhou B,et al. Influence of different irrigation models and amounts on jujube under jujube - cotton intercropping [J]. Agricultural Science&Technology,2013(9):1328-1331.

[5]刘国宏,谢香文,王则玉. 不同施肥水平对成龄红枣生长及产量的影响[J]. 新疆农业科学,2012,49(11):2081-2087.

[6]王 娟,马英杰,洪 明,等. 调亏灌溉对滴灌红枣生长与品质的影响[J]. 灌溉排水学报,2014,33(3):126-129.

[7]张朝长,马湘涛. 测量果实体积几种常用方法的比较[J]. 中国果树,1995(2):44-45.

[8]丁志祥,周光洁. 一种新的柑橘果实体积测定方法[J]. 果树科学,1994,11(4):264-266.

[9]陈年来,张玉鑫,王霞霞,等. 甜瓜果实体积与表面积的估算方法[J]. 甘肃农业大学学报,2002,37(4):503-508.

[10]游 磊,马英杰,洪 明,等. 基于枣果体积的南疆灰枣单果重简易估算方法研究[J]. 水利与建筑工程学报,2014,12(5):119-122.

[11]樊仲谋,冯仲科,郑 君,等. 基于立方体格网法的树冠体积计算与预估模型建立[J]. 农业机械学报,2015,46(3):320-327.

[12]Cui N B,Du T S,Kang S Z,et al. Regulated deficit irrigation improved fruit quality and water use efficiency of pear - jujube trees [J]. Agricultural Water Management,2008,95(4):489-497.