

基于 Solidworks Motion 的番茄收获机测产装置的运动学仿真分析

Motion simulation analysis of yield monitor device on tomato harvester
based on solidworks motion

袁昌富 张宏文 马万里 王磊 陈明昌

YUAN Chang-fu ZHANG Hong-wen MA Wan-li WANG Lei CHEN Ming-chang

(石河子大学机械电气工程学院, 新疆 石河子 832000)

(Machinery and Electricity Engineering College, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

摘要:为了研究番茄初始速度对测产装置称量精度的影响,建立番茄收获机测产装置的运动仿真模型。以番茄收获机测产装置上的番茄为研究对象,采用运动学理论分析和运动仿真分析相结合的方法,分析番茄在测产装置上的运动过程,并考察初始速度对番茄称量精度的影响。结果表明:为避免番茄运动对称量精度的影响,使番茄在进入称重皮带有效范围之前与称重皮带相对静止,要求从色选皮带传送的番茄的初始运动速度 v_0 在合理范围: $0 \text{ mm/s} \leq v_0 \leq 1350 \text{ mm/s}$ 。

关键词:番茄;收获机;测产装置;运动;理论分析;仿真分析

Abstract: In order to study the influence of the initial velocity of tomato on weighing accuracy of yield monitor, a motion simulation model of yield monitor on tomato harvester was established. The tomato on the harvester was chosen for the research object. The analysis of motion process was completed by applying a method combined the motion theoretical analysis and motion simulation analysis. The results showed that in order to avoid the accuracy of the motion symmetry of tomato, tomato in the range of the load belt before entering the weighing belt is relatively static, and the initial movement speed of tomato from the color selected belt conveyor v_0 has a reasonable range: $0 \text{ mm/s} \leq v_0 \leq 1350 \text{ mm/s}$.

Keywords: tomato; harvester; yield monitor device; motion; theoretical analysis; simulation analysis

番茄收获机测产装置,是和番茄收获机相配套,进行番茄产量实时监测并获取产量数据的装置,是实现番茄收获实时测产的自动化、智能化和信息化的保证,也是精准农业中

实时获取作物产量分布信息,并为处方农作和科学管理提供重要参考的保障^[1-4]。

称量精度是测产装置最重要的性能指标之一,在测产装置动态称重过程中,如果番茄在称重皮带有效称重段发生滚动或者碰撞,会产生不必要的惯性力、摩擦力、弹力等重力以外的力,影响测产装置的称量精度。为此,在进入称重皮带有效称重段前端设置缓冲区域,若番茄从色选皮带抛下后,在缓冲区域内与称重皮带不发生相对滚动,或者完成相对滚动后与称重皮带同速进入有效称重段,此时对称量精度影响较小;若番茄进入有效称重段后继续滚动,需及时调整色选皮带的运行速度以降低番茄落入称重皮带的初始速度。

目前,中国番茄收获的机械化程度虽然正在不断普及和提高,但番茄收获实时测产技术在中国的应用研究尚属空白。本试验利用 Solidworks Motion 工具对番茄在称重皮带的运动进行模拟研究,通过调整色选皮带运动速度以尽量减少番茄运动对称量精度的影响,对于提高番茄收获实时测产装置的称量精度意义重大。

1 运动学理论分析

如图 1 所示,假设番茄收获机测产装置称重皮带的运行速度为 $v(\text{m/s})$,称重皮带有效称重段的长度为 $L(\text{m})$,称重皮带缓冲区域的长度为 $L_0(\text{m})$,番茄的初始运行速度为 $v_0(\text{m/s})$,番茄抛送高度为 $H(\text{m})$,番茄在色选机皮带上抛送点与称重皮带表面左端点在同一垂直线上,番茄从色选机皮带上抛送到称重皮带上的时间为 $t(\text{s})$ (即 $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$),番茄抛送的水平距离为 $S(\text{m})$,番茄质量为 $m(\text{kg})$,称重皮带表面的摩擦系数为 $\mu(\text{N/kg})$,番茄在称重皮带表面上的摩擦力为 $f(\text{N})$ (即 $f = \mu mg$),番茄被抛送到称重皮带上时的惯性力为 $F_f(\text{N})$ 。其运动学理论分析^[5,6]:

(1) 当相对速度 $\Delta v = v_0 - v > 0$ 时,番茄在称重皮带上的受力分析如图 2 所示,则有以下几种情况:

基金项目:新疆兵团科技型中小企业技术创新资金专项(编号:2014BD005)

作者简介:袁昌富(1980—),男,石河子大学讲师,硕士。
E-mail: ycf2008@shzu.edu.cn

通讯作者:张宏文

收稿日期:2015-05-18

若 $f > F_f$, 番茄在称重皮带上不发生相对滚动, 即番茄被抛送到称重皮带上时就随称重皮带稳定前行, 速度为 v , 那么 v_0 应满足:

$$S = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}} \leq L_0 \quad (1)$$

$$\text{即: } v_0 \leq \frac{L_0 \sqrt{2gH}}{2H} \quad (2)$$

若 $f < F_f$, 番茄在称重皮带上相对称重皮带会向前滚动一段距离, 在摩擦力作用下直到番茄速度减小为 v 时, 番茄才随称重皮带稳定前行。在此过程中有:

$$a_1 = \frac{f}{m} = \frac{umg}{m} = ug \quad (3)$$

$$t_1 = \frac{v_0 - v}{a_1} = \frac{v_0 - v}{ug} \quad (4)$$

$$S_1 = \frac{v_0^2 - v^2}{2a_1} = \frac{v_0^2 - v^2}{2ug} \quad (5)$$

$$S_2 = vt_1 = \frac{v(v_0 - v)}{ug} \quad (6)$$

式中:

a_1 ——番茄在滚动过程中发生减速时的加速度, m/s^2 ;

t_1 ——番茄发生减速过程的时间, s ;

S_1 ——番茄在称重皮带上相对滚动的距离, m ;

S_2 ——番茄在发生减速过程中称重皮带前行的距离, m 。

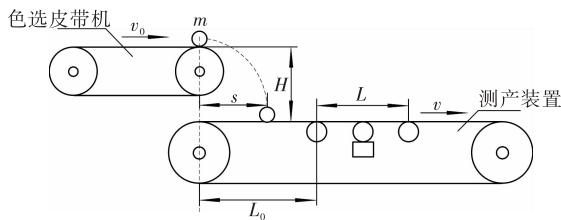


图1 番茄运动过程简图

Figure 1 The movement of the tomato

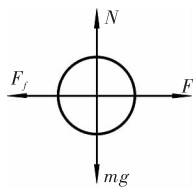


图2 番茄受力分析图

Figure 2 The force analysis of the tomato

综合分析, 色选皮带运行速度 v_0 必须满足:

$$\begin{cases} L_0 \geq S = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}} \\ L_0 \geq S + S_1 + S_2 = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}} + \frac{v_0^2 - v^2}{2ug} + \frac{v(v_0 - v)}{ug} \end{cases} \quad (7)$$

$$= \frac{2uv_0 \sqrt{2gH} + v_0^2 + 2v_0 v - 3v^2}{2ug}$$

即

$$2ugL_0 + 3v^2 \geq 2uv_0 \sqrt{2gH} + v_0^2 + 2v_0 v \quad (8)$$

解得

$$v_0 \leq \sqrt{4v^2 + 2vu \sqrt{2gH} + 2u^2 gH + 2ugL_0} - (v + u \sqrt{2gH}) \quad (9)$$

(2) 当相对速度 $\Delta v = v_0 - v < 0$ 时, 番茄在称重皮带上的受力分析如图3所示, 则有以下几种情况:

若 $f < F_f$, 番茄在称重皮带上相对称重皮带会向后滚动一段距离, 在摩擦力作用下直到番茄速度增大为 v 时, 番茄才随称重皮带稳定前行。在此过程中有:

$$a_2 = \frac{f}{m} = \frac{umg}{m} = ug \quad (10)$$

$$t_2 = \frac{v - v_0}{a_2} = \frac{v - v_0}{ug} \quad (11)$$

$$S_3 = \frac{v^2 - v_0^2}{2a_2} = \frac{v^2 - v_0^2}{2ug} \quad (12)$$

$$S_4 = vt_2 = \frac{v(v - v_0)}{ug} \quad (13)$$

式中:

a_2 ——番茄在滚动过程中发生加速时的加速度, m/s^2 ;

t_2 ——番茄发生加速过程的时间, s ;

S_3 ——番茄在称重皮带上相对滚动的距离, m ;

S_4 ——番茄在发生加速过程中称重皮带前行的距离, m 。

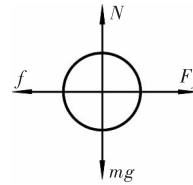


图3 番茄受力分析图

Figure 3 The force analysis of the tomato

综合分析, 色选皮带运行速度 v_0 必须满足:

$$\begin{cases} S = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}} \geq S_4 - S_3 \\ = \frac{v(v - v_0)}{ug} - \frac{v^2 - v_0^2}{2ug} = \frac{(v - v_0)^2}{2ug} \\ L_0 \geq S + S_4 - S_3 = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}} + \frac{v(v - v_0)}{ug} - \frac{v^2 - v_0^2}{2ug} \\ = \frac{2uv_0 \sqrt{2gH} + v^2 - 2v_0 v + v_0^2}{2ug} \end{cases} \quad (14)$$

即

$$v_0 \geq v - \sqrt{ugL_0} \quad (15)$$

若 $f > F_f$, 番茄在称重皮带上不发生相对滚动, 即番茄被抛送到称重皮带上时就随称重皮带稳定前行, 速度为 v , 那么 v_0 应满足:

$$S = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}} \leq L_0 \quad (16)$$

$$\text{即: } v_0 \leq \frac{L_0 \sqrt{2gH}}{2H} \quad (17)$$

(3) 当相对速度 $\Delta v = v_0 - v = 0$ 时, 番茄在称重皮带上的受力分析如图4所示, 此时 $f = F_f = 0$, 所以番茄在称重皮带上不发生相对滚动, 那么 v_0 应满足:

$$S = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}} \leq L_0 \quad (18)$$

即

$$v_0 \leq \frac{L_0 \sqrt{2gH}}{2H} \quad (19)$$

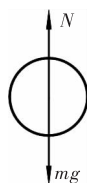


图 4 番茄受力分析图

Figure 4 The force analysis of the tomato

综上所述, v_0 的取值范围应该为:

$$v - \sqrt{ugL_0} \leq v_0 \leq \frac{L_0 \sqrt{2gH}}{2H} \quad (20)$$

2 运动仿真

2.1 仿真插件 Motion 介绍

Motion 是 Solidworks 中功能较为强大的运动仿真分析模块, Motion 插件无缝集成了装配运动仿真、干涉检查等实用功能, 通过 Motion 运动仿真分析, 可以有效降低产品的制造成本及缩短产品开发周期, 设计分析者可快速地了解产品的可行性^[7]。

在 Motion 的运动仿真界面中, 只需简单的操作, 便可完成对装配体的运动仿真与分析。在装配好的整机上, 利用 Motion 对装配体添加相应的驱动、约束、力、弹簧、阻尼、接触与碰撞等, 并设定好运动初始条件和具体参数, 即可实现对该装配体的运动仿真分析, 最后的仿真结果(如零部件运动轨迹、位移、速度、加速度、作用力、反作用力等)以动画、图形、数据等多种形式输出^[7-9]。

2.2 基于 Motion 的运动仿真

图 5 为番茄收获机测产装置番茄运动仿真所建立的仿真模型。

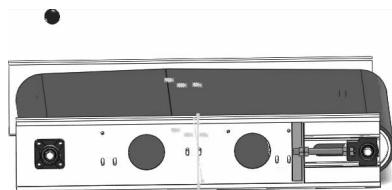


图 5 运动仿真模型

Figure 5 The simulation model of motion

(1) 在仿真模型中, 给番茄添加 Y 方向的引力, 让其离开色选皮带后能够做平抛运动掉落到测产装置的称重皮带上, 符合试验中的实际情况, 见图 6。

(2) 给测产装置称重皮带添加线性马达(图 7), 并设置好添加马达的位置、方向、相对此项而移动的零部件、运动函数和速度大小(经分析, 当测产装置称重皮带的速度越小时,



图 6 添加引力

Figure 6 The adjunction of gravity



图 7 添加马达

Figure 7 The adjunction of motor

其称量精度越高, 因此设置其运转速度为最小值 1 m/s), 点击计算运动算例后称重皮带能够顺利的运转起来。

当番茄从色选皮带上抛落到测产装置称重皮带上时, 为防止运动过程中零部件之间的彼此穿刺和彼此嵌入, 因此需在番茄与称重皮带之间添加实体接触(图 8), 并设置好接触参数(材料、动摩擦速度、动摩擦系数、静摩擦速度、静摩擦系数、弹性恢复系数等)。

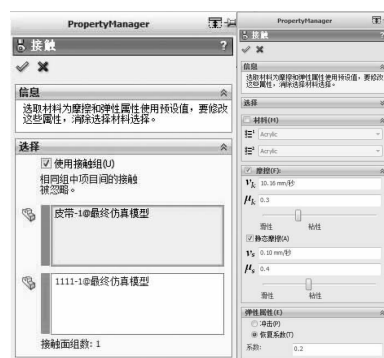


图 8 添加接触

Figure 8 The adjunction of touching

(3) 给番茄设置初始速度 $v_0 = 0, 1\ 000, 1\ 350$ m/s (图 9), 观察其掉落在称重皮带上以后的滚动运行情况, 并通过运动分析找出番茄未进入称重皮带有效称重段时, 向后发生相对滚动但不脱离称重皮带和番茄进入称重皮带有效称重段内不发生相对滚动的初始速度的临界条件。

图 9 初始速度的设定 ($v_0 = 0$ m/s)

Figure 9 The setting of initial speed

3 仿真结果分析

运动仿真分析完成后,在“图解和结果”中选取“线性速度”和“线性位移”,点击“生成新图解”,确认后可以计算仿真分析结果,并且可生成番茄整个运动过程线 X 方向上线性速度和线性位移相对于时间的数据图表,见图 10。



图 10 运动分析结果选取(线性速度 v 相对于时间 t)

Figure 10 The selection of motion analysis results ($v-t$)

当番茄的初始速度为 1 350 mm/s 时,其 X 方向上线性速度和线性位移相对于时间的数据图像见图 11。

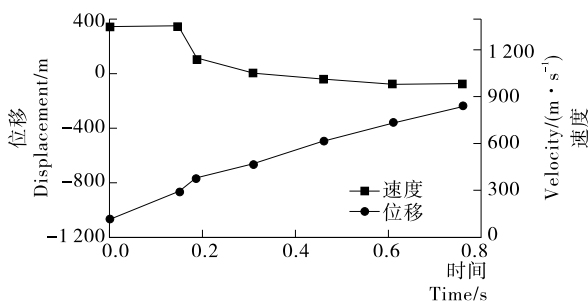


图 11 番茄初始速度为 1 350 mm/s 时的 X 方向上线性速度与位移

Figure 11 The linear velocity and displacement on direction X with tomato initial velocity of 1 350 mm/s

由图 11 可知,当运行时间 $t=0.19$ s 时,番茄的平抛运动恰好结束并掉落到称重皮带的缓冲区域内,同时匀减速运动开始,说明在此过程中番茄相对于称重皮带向前滚动;当 $t=0.42$ s 时,番茄的匀减速运动结束,匀速运动开始,此时对应的线性位移为 500 mm,与缓冲区域的长度恰好相等,说明番茄在进入称重皮带有效称重段的瞬间由匀减速运动转变为同称重皮带等速的匀速运动,此时的线性速度大小可作为番茄进入称重皮带有效称重段内不发生滚动的右端临界条件。

当番茄的初始速度为 1 000 mm/s 时,其 X 方向上线性速度和线性位移相对于时间的数据图像见图 12。

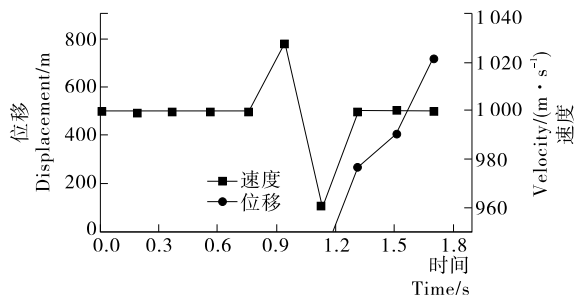


图 12 番茄初始速度为 1 000 mm/s 时的 X 方向上线性速度与位移

Figure 12 The linear velocity and displacement on direction X with tomato initial velocity of 1 000 mm/s

由图 12 可知,番茄平抛掉落到称重皮带上后做匀速运动,即在称重皮带上没有发生相对滚动就直接进入了称重皮带有效称重段。

当番茄的初始速度为 0 mm/s 时,其 X 方向上线性速度和线性位移相对于时间的数据图像见图 13。

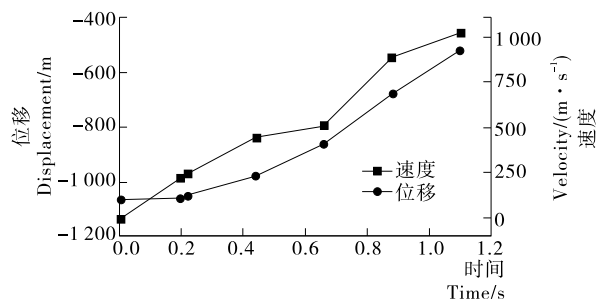


图 13 番茄初始速度为 0 mm/s 时的 X 方向上线性速度与位移

Figure 13 The linear velocity and displacement on direction X with tomato initial velocity of 0 mm/s

由图 13 可知,当运行时间 $t=0.19$ s 时,番茄的平抛运动恰好结束并掉落到称重皮带的缓冲区域内,同时匀加速运动开始,说明在此过程中番茄相对于称重皮带向后滚动;当 $t=1.00$ s 时,番茄的匀加速运动结束,匀速运动开始,此时对应的线性位移为 420 mm,小于缓冲区域的长度,说明番茄在进入称重皮带缓冲区域以前就由匀加速运动转变为同称重皮带的匀速运动,此时的线性速度大小可作为番茄未进入称重皮带有效称重段时向后发生相对滚动但不脱离称重皮带的左端临界条件。

综上所述,当番茄的初始速度范围在 $0 \text{ mm/s} \leq v_0 \leq 1350 \text{ mm/s}$ 时,番茄在称重皮带有效称重段不发生相对滚动,此时对测产装置的称量精度影响较小。

4 结论

(1) 通过运动学理论分析可得,番茄的初始速度范围为

$$v - \sqrt{ugL_0} \leq v_0 \leq \frac{L_0 \sqrt{2gH}}{2H}.$$

(2) 通过运动仿真分析,确定了番茄未进入称重皮带有效称重段时向后发生相对滚动,但不脱离称重皮带;番茄进入称重皮带有效称重段内不发生相对滚动,这两种情况下番茄的初始速度的临界条件 v_0 为 $0 \text{ mm/s} \leq v_0 \leq 1350 \text{ mm/s}$ 。

(下转第 180 页)

- tion after high-pressure processing at 600 MPa in commercial meat products over its shelf life[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2004,5(4):451~457.
- 12 段虎,潘润淑,王祎娟,等.超高压结合低温处理对牛肉组织结构及理化特性的影响[J].食品与机械,2012,28(4):57~61.
 - 13 Faustman C, Specht S M, Malkus L A, et al. Pigment oxidation in ground veal: influence of lipid oxidation, iron and zinc [J]. Meat Science,1992,31:351~352.
 - 14 Williams S K, Rodrick G E, West R L. Sodium lactate affects shelf life and consumer acceptance of fresh catfish under simulated retail conditions[J]. Journal of Food Science, 1995,60(3): 636~639.
 - 15 曾庆梅.降低超高压杀菌压力的协同措施研究进展[J].食品科学,2004,25(10):346~350.
 - 16 韩衍青,张秋勤,徐幸莲,等.超高压处理对烟熏切片火腿保质期的影响[J].农业工程学报,2009,25(8):305~311.
 - 17 Begoña Rubio, García Cachan, D Rovira, et al. The effects of high pressure treatment and of storage periods on the quality of vacuum-packed “salchichón” made of raw material enriched in monounsaturated and polyunsaturated fatty acids[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies,2007(8):180~187.
 - 18 Ananta E, Heinz V, Knorr D. Assessment of high pressure induced damage on *Lactobacillus rhamnosus* GC by flow cytometry [J]. Food Microbiology, 2004,21(5):567~577.
 - 19 Ritz M, Tholozan J L, Federighi M, et al. Physiological damages of *Listeria monocytogenes* treated by high hydrostatic pressure[J]. International Journal of Food Microbiology, 2002,79 (1/2):47~53.
 - 20 Jofre A, Champomier-Verges M, Anglade P, et al. Protein synthesis in lactic acid and pathogenic bacteria during recovery from a high pressure treatment[J]. Research in Microbiology, 2007, 158(6):512~520.
 - 21 Angsupanich K, Ledward D A. High pressure treatment effects on cod (*Gadus morhua*) muscle[J]. Food Chemistry,1998,63: 39~50.
 - 22 Angsupanich K, Edde M, Ledward D A. Effects of high pressure on the myofibrillar proteins of cod and turkey muscle[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999,47:92~99.
 - 23 Cheah P B, Ledward D A. Catalytic mechanism of lipid oxidation following high pressure treatment in pork fat and meat[J]. Journal of Food Science, 1997, 62(6):1 135~1 138.
 - 24 Orlén V, Hansen E, Skibsted L H. Lipid oxidation in high pressure processed chicken breast muscle during chill storage: critical working pressure in relation to oxidation mechanism [J]. European Food Research and Technology, 2000, 21(1):99~104.
 - 25 Cho C Y. Fish nutrition, feed, and feeding: with special emphasis on salmonid aquaculture [J]. Food Rev Int, 1990 (6): 333~357.
 - 26 王志江,郭善广,蒋爱民,等.超高压处理对熟制鸡肉品质的影响[J].食品科学,2008,29(9):78~82.
 - 27 段虎,王祎娟,马汉军.超高压处理对肉及肉制品食用品质的影响[J].食品与机械,2011,27(1):151~154.
 - 28 王志江,周文化,蒋爱民,等.响应曲面法优化超高压处理熟制鸡肉条件的研究[J].食品与机械,2009, 25(1):36~40.
 - 29 王志江,何瑞琪,蒋爱民,等.超高压处理白切鸡在冷藏过程中微生物和品质的变化[J].食品与机械,2010,26(2):43~46.

(上接第99页)

(3) 本研究并未考虑称重皮带表面形状对番茄称量精度的影响,测产装置可选用表面形状为大小均匀方格状的称重皮带,对掉落到称重皮带上的番茄可以起到固定和缓冲的作用,可保证番茄在称重皮带上不发生相对滚动或者撞击,从而进一步提高测产装置的称量精度。

参考文献

- 1 张宏文,陈明昌,王磊,等.番茄收获机测产装置:中国,CN103759795A [P]. 2014—04—30.
- 2 陈明昌,魏敏,刘巧,等.番茄收获机测产装置的设计[J].食品与机械,2014, 30(5): 151~153, 157.
- 3 李光乐. FFS 包装机伺服电子定量秤研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(4): 118~121.
- 4 林鑫洁,马蓉,安光辉,等.基于CAN总线的棉花在线测产系统设计[J].农机化研究,2013(4): 179~182.
- 5 董云峰,崔亚平.理论力学[M].第2版.北京:清华大学出版社,2010.
- 6 胡文绩.理论力学[M].武汉:华中科技大学出版社,2010.
- 7 韩锐.基于SolidWorks的机构运动仿真研究[D].西安:西安理工大学,2004.
- 8 谢昱北,许晔.SolidWorks2007中文版机械设计与典型范例[M].北京:电子工业出版社,2007.
- 9 蔡文书,程志红,沈春丰.基于SolidWorks的液压支架三维建模和运动仿真[J].煤矿机械,2008, 29(11): 165~167.

信息窗

墨西哥是世界第五大盐出口国

墨西哥《经济学家报》9月1日报道,目前墨是世界第五大盐出口国,2014年出口900万t。墨盐出口价格平均每吨18美元,远低于国际市场49美元的平均价格,据世界贸易组织(WTO)数据,2014年荷兰盐出口额2.86亿美元,加拿大2亿美元,德国1.97亿美元,智利1.74亿美元,墨西哥1.64亿美元。

墨西哥最大盐出口商是墨国家盐出口公司(ESSA),位于南下加利福尼亚州(Baja California Sur),其51%的股份为经济部下属的矿业发展局所持,另外49%的股份为日本三菱公司所有。

(来源:www.cifst.org.cn)