

马铃薯机械化收获损伤机理研究现状及进展

李辉¹,吴建民^{2*},孙伟²,刘鹏霞³

(1. 兰州城市学院,甘肃兰州 730070;2. 甘肃农业大学工学院,甘肃兰州 730070;3. 甘肃省农业机械化技术推广总站,甘肃兰州 730046)

摘要 从收获、贮运和加工方面对马铃薯损伤机理的研究现状及进展进行阐述,为马铃薯收获机械与技术的研究提供参考。
关键词 农业机械;马铃薯;机械收获;损伤机理
中图分类号 S225.7⁺1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)25-227-03

Current Status and Progress of Damage Mechanism in Potato Mechanization Harvesting
LI Hui¹, WU Jian-min^{2*}, SUN Wei² et al (1. Lanzhou City University, Lanzhou, Gansu 730070; 2. College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070)
Abstract The research status and progress of damage mechanism were elaborated from aspects of potato harvesting, storage, transportation and processing, which will provide reference for research on harvesting mechanization and technology of potato.
Key words Agricultural machine; Potato; Mechanization harvesting; Damage mechanism

我国马铃薯产业的不断发展对缓解食物安全压力有着重要作用^[1],但随着马铃薯种植与产业规模的不断扩大、产业层次的逐步升级及收获机械化程度的不断提高,马铃薯块茎损伤问题变得日益严重^[2]。在挖掘、土薯分离和装运过程中,块茎受到摩擦、挤压、碰撞或跌落冲击后易形成损伤,研究表明,70%的块茎损伤源于收获,占总产量的30%之多^[3]。机械损伤对马铃薯产量和品质影响的直接体现就是经济效益的降低。据英国马铃薯市场协会估计,马铃薯损伤造成的损失每年高达3 000万英镑,约200英镑/hm²。在美国,估计约有26%的毛收入因为块茎损伤而损失掉,仅是1%的表皮擦伤就会带给马铃薯产业造成750万美元的损失^[4]。国际马铃薯中心的调查指出,未来马铃薯发展的首要问题是加工薯的质量要求^[5],机械损伤是制约马铃薯产业发展的主要因素之一^[6]。外部损伤和内部损伤会影响薯块外观和内在品质,进而影响马铃薯初级加工产品的质量和马铃薯方便食品产业^[7]。此外,机械损伤还会降低马铃薯耐贮性,细菌通过机械损伤伤口感染块茎,受感染部分会软化腐烂,进一步造成损失。我国是世界上马铃薯种植面积最大的国家,2010年,马铃薯种植面积与产量分别达到520.53万hm²和8 154万t。目前,国内尚无相关的产量损失统计,但在相对更加粗放的收获及采后处理条件下,马铃薯块茎机械损伤对我国马铃薯产量和产值损失造成的影响可能更大。研究并减轻块茎在机械化收获中损伤问题成为马铃薯产业健康发展亟需解决的课题。基于此,笔者对国内外马铃薯机械化收获损伤机理的研究现状及进展进行阐述,以期为我国马铃薯收获机械与技术的研究提供理论依据。

1 国外研究现状

为了减少收获损伤、节约人工挑选的成本并保持马铃薯在国际市场上的竞争优势,欧美发达国家从20世纪初就已

经开始研究马铃薯收获机收获损伤的问题,最终取得了较好的成果并得以应用。

1.1 自身特征与损伤 Blahovec^[8]研究认为马铃薯块茎的部位和生理状态也会影响块茎损伤,有块茎基部的硬度比顶部更强,马铃薯块茎表面曲度大的部位更容易发生内部损伤。Baritelle等^[9]认为块茎损伤的程度还取决于组织膨压和温度,在块茎损伤研究中,必须考虑相关因素,确保试验块茎以一致、可控、可重复的方式进行损伤研究。

1.2 表皮擦伤 有学者在圆桶中放置薯块大小的石块和2 kg的马铃薯块茎,人工匀速摇动2 min造成损伤,对处理后的薯块进行2个月后的马铃薯分别进行损伤检测。Alexander^[10]利用扭力矩仪研究剪切力与表皮脱落间的关系,结果显示扭矩抗性低的块茎表皮脱落比较严重,这表明扭矩抗性可以准确判断表皮脱落抗性。

1.3 内部损伤 在生物材料的动力学和损伤性状方面,国外已经开展了很多的相关研究。Baritelle等^[11]研究认为,冲击速率对损伤压力、张力和弹性系数的影响很大。Mitchell等^[12]研究苹果损伤时发现,在吸收能量一定的情况下,产生的损伤类型取决于碰撞的时间和荷载的速率,低荷载速率主要产生黑斑和内部变形;高荷载速率主要产生内部破碎,而且碰撞损伤的类型是连续变化的,损伤与能量吸收呈线性关系。Zdunek等^[13]证明生物屈服点并不是细胞破裂的起始点,增大应变速度可使马铃薯的破坏应力、破坏应变减小^[13]。为提高试验的准确性,已经有大量研究着手进行电子测试^[14]。Van Zeebroeck等^[15]发明了用于研究果实等生物材料撞击后动力学表现的钟摆装置,设备通过集成的光学编码器来测定撞击力、位移和速率。Hyde等^[16]用仪器球获得和记录农产品在运输和加工过程中受到的冲击参数;Bentini等^[17]用仪器球记录了马铃薯收获机部件与块茎间的冲击。

2 国内研究现状

建国初期,我国马铃薯收获仍采用人工刨挖或旧犁挖掘的落后方式,直到20世纪60年代中期我国马铃薯收获机具

基金项目 甘肃省教育厅项目(2014A-096);甘肃省农业科技成果转化资金计划项目(144NCNF177)。
作者简介 李辉(1982-),男,甘肃武山人,工程师,从事农业机械化工程研究。*通讯作者,教授,博士生导师,从事保护性耕作机具研究与设计工作。
收稿日期 2016-07-15

的研制工作才逐步开展起来,现还处于中小型悬挂式集条收获机的研制推广阶段,所研制机具的技术水平与国外相差甚远。2011 年,全国马铃薯种植面积由 2010 年的 550 万 hm^2 上升至约 600 万 hm^2 ,已跃居世界第 1 位,但马铃薯机械化收获程度不足 20%^[18],已严重制约马铃薯种植面积的扩大。因而国内迫切需求价格合理、可靠性高的马铃薯收获机,以满足日益发展的马铃薯产业需求。

马铃薯在机械化收获、运输和装卸过程中不可避免地受到不同形式的碰撞、挤压和冲击载荷的作用,造成马铃薯块茎的机械损伤,给人们带来巨大的经济损失^[19]。为了降低马铃薯收获过程中的损伤、提出更好的挖掘和土薯分离方法及完善相关机具的设计,必须对马铃薯的物理机械特性进行透彻、系统地分析^[20]。我国对农业物料物理机械特性的研究始于 20 世纪 50 年代,到 20 世纪 80 年代才引起学术界的重视。郎悦^[21]通过准静态和动态的压缩试验对马铃薯的材料特性进行了研究,但未得出与损伤相关的模型和规律。臧楠^[22]对马铃薯进行了蠕变试验研究,获得了在不同压力下马铃薯不同部位试样的蠕变曲线。张建华等^[23]研究块茎性状对块茎损伤的影响指出,合理的钾、钙施肥措施可以提高块茎的表皮性状和薯肉组织性状,从而减轻块茎的损伤性状。桑永英等^[24]对新鲜马铃薯进行不同高度下落的碰撞试验研究,得出当马铃薯下落高度为 20~30 cm 时马铃薯损伤率 <4% 的结论。郭文斌^[25]对马铃薯压缩和应力松弛特性参数进行了分析,建立了马铃薯压缩和应力松弛过程的虚拟样机模型。吴亚丽等^[26]运用 INSTRON 万能电子材料试验机和 CMT6104 微机控制电子万能材料试验机对马铃薯进行力学性能试验。贾晶霞等^[27]采用 ADMAS 仿真软件对振动筛和块茎进行运动仿真,获得了振动筛运动的速度、加速度、位移和动能曲线,同时针对圆形和椭圆形 2 种块茎分析了振动频率和振幅对块茎损伤率的影响。洪翔等^[28]通过不同高度下的跌落试验,得到马铃薯的临界损伤跌落高度。刘海超等^[29]设计了马铃薯在摆动筛上的动力学测试试验台,测试了 2 种典型薯形在不同筛分速度下的三维加速度信号,获得了马铃薯在筛面上的碰撞加速度。

近年来,我国非常重视马铃薯收获机的研制,出台了许多农机扶持政策。在政策导向和市场需求双重作用下,许多农机企业、科研院所进行了马铃薯收获机的研制,出现了多种型号的马铃薯收获机,如中机美诺科技股份有限公司 2005 年研制开发的 1520 型双行马铃薯挖掘机、山东富邦农业机械装备有限公司生产的 4UG-1 型马铃薯收获机(配套功率 17.7 kW 以上)、甘肃农业大学工学院魏宏安等人研制的一种半悬挂式中型马铃薯联合收获机(配套功率 44.0~58.8 kW)、河南豪丰机械制造有限公司生产的 4JW 系列悬挂式马铃薯收获机(配套动力 36.8~58.8 kW)等中型马铃薯收获机、内蒙古呼和浩特市得力新技术设备厂生产的 4ULDX-1500 型马铃薯收获机、甘肃省临洮县中兴轻工机械有限责任公司生产的 4UM-550 型马铃薯挖掘机、定西市安定区岷口镇农机制造厂生产的 4U-1 型马铃薯挖掘机、甘肃

省榆中县荣盛农机制造厂生产的荣盛 4U-400 型马铃薯挖掘机等小型马铃薯挖掘机。

虽然目前国内马铃薯收获机种类较多,但能够有效解决马铃薯损伤的机型较少,同时也缺乏相应的理论研究。刘宝等^[30]对挖掘部件和抖动输运部件的伤薯机理进行了分析,分别研究了中型马铃薯收获机和小型马铃薯收获机的伤薯机理。2011 年,中机美诺公司对马铃薯收获过程中碰伤问题进行了研究,设计开发了马铃薯降落高度自动控制系统,力图降低马铃薯装运损伤^[18]。石林榕等^[31]近年来对马铃薯收获过程中土薯运动规律进行了分析,研究了马铃薯收获过程中伤薯机理,设计了相应的机具。

3 结论

国内外学者在块茎破损力、破损应力、应变、弹性模量等机械物理特性上对马铃薯块茎损伤机理已经进行了不少卓有成效的研究,且得到了一些有益的结论,为继续深入研究其机械收获过程中块茎损伤机理提供了可资借鉴的理论基础。然而也可以清楚地看到,有关机械化收获各工序、不同载荷形式对块茎损伤的试验研究与理论分析相对较少。现有研究采用仿真技术参照马铃薯生物力学特性进行机械收获损伤分析的较多,而针对实际作业中有土壤保护的情况下,块茎之间、块茎与挖掘铲之间、块茎与分离装置之间、块茎与不同材料之间的碰撞损伤机理研究相对较少。针对马铃薯收获机械结构参数和运动参数进行减损设计较多,而在减损材料方面的研究较少。为此,对马铃薯收获过程各工序和各部件对块茎损伤机理和减损技术进行系统地理论研究将是学者们在前人研究基础上努力的方向。

参考文献

- [1] 屈冬玉,谢开云,金黎平,等. 中国马铃薯产业发展与食物安全[J]. 中国农业科学,2005,38(2):358-362.
- [2] 张建华,金黎平,谢开云,等. 不同基因型马铃薯块茎损伤性状的综合评价[J]. 中国农业科学,2009,42(1):198-203.
- [3] 陈伊里,屈冬玉. 中国马铃薯研究与产业开发[C]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2003.
- [4] 张建华,金黎平,谢开云,等. 马铃薯块茎损伤及损伤评价的研究进展[C]//陈伊里,屈冬至. 2005 年全国马铃薯产业学术年会论文集. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2005.
- [5] BIELZA C, BARREIROB P, RODRÍGUEZ-GALIANO M I, et al. Logistic regression for simulating damage occurrence on a fruit grading line[J]. Computers and electronics in agriculture, 2003, 39(1):95-113.
- [6] PETERS R. Damage of potato tubers: a review[J]. Potato research, 1996, 39(3):479-484.
- [7] AHVENAINEN R T. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables[J]. Trends in food science & technology, 1996, 7(2):179-187.
- [8] BLAHOVEC J. Impact induced mechanical damage of Agria potato tubers[J]. Research in agricultural engineering, 2005, 51(2):39-43.
- [9] BARITELLE A L, GARY M H, ROBERT E T. Rapid assessment of potato tuber bruise discoloration potential[C]//ASAE/CSAE annual international meeting. Toronto, Ontario Canada, 1999:19-21.
- [10] ALEXANDER D P. Skin set evaluation by skin shear measurements[J]. American journal of potato research, 2002, 79(3):301-307.
- [11] BARITELLE A L, HYDE G M. Commodity conditioning to reduce impact bruising[J]. Postharvest biology and technology, 2001, 21(3):331-339.
- [12] MITCHELL M R, LINK R E, JARIMOPAS B, et al. Test method to evaluate bruising during impacts to apples and compare cushioning materials[J]. Journal of testing and evaluation, 2007, 35(3):321-328.
- [13] ZDUNEK A, KONSTANKIEWICZ K. Acoustic emission in investigation of plant tissue micro-cracking[J]. Transactions of the ASAE, 2004, 47

- (4):1171-1177.
- [14] BIELZAA C, BARREIRO P, RODRIGUEZ-GALIANO M L, et al. Logistic regression for simulating damage occurrence on a fruit grading line[J]. Computers and electronics in agriculture, 2003, 39(1): 95-113.
- [15] VAN ZEEBROECK M, TIJSKENS E, VAN LIEDEKERKE P, et al. Determination of the dynamical behaviour of biological materials during impact using a pendulum device[J]. Journal of sound and vibration, 2003, 266(3): 465-480.
- [16] HYDE G M, BROWN G K, TIMM R J, et al. Instrumented sphere evaluations of potato packing line impacts: a progress report[J]. Transactions of ASAE, 1992, 35(1): 65-69.
- [17] BENTINI M, CAPRARA C, RONDELLI V, et al. The use of an electronic beet to evaluate sugar beet damage at various forward speeds of a mechanical harvester[J]. Transactions of ASAE, 2002, 45(3): 547-552.
- [18] 贾晶霞, 杨德秋, 李建东, 等. 马铃薯收获机市场研究与预测[J]. 农业工程, 2012, 2(2): 24-30.
- [19] 阳小成, 王伯初, 叶志义. 试论农业工程中的力学问题及主要研究方向[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2003(3): 145-149.
- [20] 牛海华, 赵武云, 史增录. 马铃薯生物力学特性的研究进展及应用[J]. 中国农机化, 2011(3): 77-80.
- [21] 郎悦. 几种水果粘弹性材料动态特性理论分析与实验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.
- [22] 臧楠. 马铃薯蠕变特性的研究与仿真[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006.
- [23] 张建华, 金黎平, 谢开云, 等. 马铃薯块茎性状对块茎损伤的影响[J]. 园艺学报, 2008, 35(10): 1454-1462.
- [24] 桑永英, 张东兴, 张梅梅. 马铃薯碰撞损伤试验研究及有限元分析[J]. 中国农业大学学报, 2008, 13(1): 81-84.
- [25] 郭文斌. 马铃薯压缩、应力松弛特性与淀粉含量相关性的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009.
- [26] 吴亚丽, 郭玉明. 马铃薯常规力学性能试验研究[C]//中国农业工程学会 2011 年学术年会论文集. 重庆: 中国农业工程学会, 2011.
- [27] 贾晶霞, 杨德秋, 张东兴. 马铃薯收获过程中块茎运动仿真分析[J]. 农机化研究, 2011(8): 38-42.
- [28] 洪翔, 万陈, 王军. 一种马铃薯临界损伤跌落高度的测定方法[J]. 包装学报, 2011, 4(3): 30-33.
- [29] 刘海超, 王春光, 顾丽霞. 马铃薯在摆动分离筛上的动力学试验研究[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(1): 70-72.
- [30] 刘宝, 张东兴, 李晶. 马铃薯收获机主要问题机理分析及对策[J]. 农机化研究, 2009(1): 14-16.
- [31] 石林榕, 吴建民, 赵武云, 等. 圆盘栅式马铃薯挖掘机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24): 15-21.

(上接第 180 页)

基干林平均宽度仅 82.8 m, 宽度不足, 防风效果有限。现有沙岸基干林主要类型为林分(占 77.9%), 但仍有 388.5 hm² 的宜林荒山荒地、宜林沙荒地和暂未利用荒山荒地, 在以后工作中, 这些区域的造林是实现基干林加长和加宽的重点。

基干林带树种单一, 老化严重, 木麻黄类、相思树和松类占有林地面积的 93.4%, 其中 80% 以上为纯林, 阔叶林分布极少; 成过熟林面积高达 1 351.0 hm², 占有林地面积的 50%, 生态系统稳定性较差, 易受病虫害威胁, 应积极采取补植套种阔叶树种、森林抚育等方式提高林分质量, 优化林分组成结构。对于现有沙岸基干林, 无论从山权还是林权看, 集体比重明显较高, 国有化率较低, 按山权分, 有 87.2% 的面积为集体所有; 按林权分, 有 76.9% 的面积为集体所有。基干林中仍有 859.1 hm² 的商品林, 不利于基干林的管理与保护, 应加快开展公益林布局优化调整工作, 将区内商品林尽快划入公益林管护范围。

区内非林业部门管理的土地, 主要为建筑、水田和养殖场(占 77.4%), 现阶段适宜造林的土地十分有限(沙荒地和旱地仅占 8.5%), 应积极采取赎买、租用的方式将区内的森林纳入基干林带管理, 充分挖掘现有沙荒地、旱地等的造林潜力, 鼓励有条件的地区通过吹沙造地和养殖场回填等措施扩大造林地范围。

沙质海岸基干林带作为沿海防护林的重要组成部分, 是沿海地区防风固沙, 抵御台风、海潮和风暴潮等自然灾害的第一道防线, 在福建省经济与社会安全中有举足轻重的地位。当前, 福建省特别是沿海地区经济正处于快速发展时期, 经济发展与生态保护的矛盾十分突出, 基干林带被破坏的情况仍时有发生, 林分质量和结构亟待提升和优化, 沙质海岸基干林的保护与建设需进一步的加强。

参考文献

- [1] 胡海波, 张金池, 鲁小珍. 我国沿海防护林体系环境效应的研究[J]. 世界林业研究, 2001(5): 37-43.
- [2] THUY N B, TANIMOTO K, TANAKA N, et al. Effect of open gap in coastal forest on tsunami run-up investigations by experiment and numerical simulation[J]. Ocean engineering, 2009, 36(15/16): 1258-1269.
- [3] COCHARD R, RAMANUKHAARACHCHI S L, SHIVAKOTI G P, et al. The 2004 tsunami in Aceh and Southern Thailand: A review on coastal ecosystems, wave hazards and vulnerability[J]. Perspectives in plant ecology evolution & systematics, 2008, 10(1): 3-40.
- [4] ZOYSA M D. Casuarina coastal forest shelterbelts in Hambantota City, Sri Lanka: Assessment of impacts[J]. Small-scale forestry, 2008, 7(1): 17-27.
- [5] MASCARENHAS A, JAYAKUMAR S. An environmental perspective of the post-tsunami scenario along the coast of Tamil Nadu, India: role of sand dunes and forests[J]. Journal of environmental management, 2008, 89(1): 24-34.
- [6] 吴志华, 李天会, 张华林, 等. 沿海防护林树种木麻黄和相思生长和抗风性状比较研究[J]. 草业学报, 2010(4): 166-175.
- [7] 郑锟. 沙质海岸木麻黄防护林的结构配置与防护效能研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2008.
- [8] 林武星, 叶功富, 聂森, 等. 福建沙质海岸引种台湾防护林树种探讨[J]. 防护林科技, 2009(1): 87-90.
- [9] 施成坤. 沿海前造林带更新树种选择研究[J]. 海峡科学, 2010(2): 46-47.
- [10] 梁屹. 基于 3S 技术的沿海防护林体系优化配置研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2011.
- [11] 陈端钦. 福建省沿海防护林体系建设现状与对策[J]. 防护林科技, 1998(3): 40-41, 56.
- [12] 黄双兴. 福建省沿海防护林体系工程建设的现状及对策[J]. 亚热带水土保持, 2008(4): 65-66.
- [13] 肖君. 福建沿海基干林带保护利用现状与对策[J]. 林业资源管理, 2011(4): 26-29.
- [14] 谭芳林, 朱伟, 林捷, 等. 沿海木麻黄防护林基干林带防风效能定量评价研究[J]. 林业科学, 2003(S1): 27-31.
- [15] HUANG Y X, ZHENG D X, FANG Z G, et al. Study on the ecological and economical benefits of *Casuarina equisetifolia* shelterbelt in the coast of Fujian[J]. Scientia silvae sine, 2003, 39(1): 31-35.
- [16] 余坤勇, 刘健, 施聪智, 等. 基于 RS 技术的沿海防护林防风固沙效益研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2010(1): 80-84.
- [17] 黄义雄. 福建滨海木麻黄防护林生态功能研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2013.
- [18] 李震, 雷怀彦. 中国砂质海岸分布特征与存在问题[J]. 海洋地质动态, 2006(6): 1-4, 39.
- [19] 赵育鹏, 鲁小珍, 艾鹏, 等. 江苏省沿海沙质海岸现状及防护林防蚀耐盐树种选择基本原则[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(10): 4433-4435.
- [20] 李怡. 广东省沿海防护林综合效益计量与实现研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [21] 苏上真. 福建省沿海防护林体系工程建设营造林技术措施研究[J]. 林业勘察, 2008(1): 126-130.
- [22] 王金华, 董玉祥. 1958-2013 年南海岸沙地利用变化及其驱动因素: 以福建海岸为例[J]. 中国沙漠, 2015(3): 582-591.
- [23] 宋希坤, 刘志勇, 蔡雷鸣, 等. 福建省海岸带海水入侵和土壤盐渍化监测初步研究[J]. 海洋环境科学, 2008(S1): 15-18.