

马铃薯茎芽力学性能与化学组分及 相关性实验研究

巩自卫¹,郭维俊^{2,*},孙伟^{1,*},王芬娥¹,吴建民¹

(1.甘肃农业大学工学院,甘肃兰州 730070;

2.陇东学院机械工程学院,甘肃庆阳 745000)

摘要:为研究马铃薯茎芽的理化特性,实验测定了25 d芽龄期的马铃薯茎芽的压缩特性参数以及不同芽龄期茎芽的纤维素、半纤维素和木质素的含量,并分析了其力学性能与化学组分之间的相关性。结果表明,马铃薯茎芽的压缩强度与最大压缩应变由顶部至基部增大;茎芽的纤维素、半纤维素和木质素含量由顶部至基部增加,且茎芽顶部与基部的压缩强度和最大压缩应变差异显著($p < 0.05$);顶部与基部的半纤维素和木质素含量差异显著($p < 0.05$)。茎芽的压缩强度与纤维素和半纤维素含量显著正相关,与木质素含量极显著正相关;茎芽的最大压缩应变与纤维素含量显著正相关,与半纤维素和木质素含量极显著正相关。该研究为进一步分析马铃薯茎芽理化特性提供了实验数据。

关键词:马铃薯茎芽,力学性能,化学组分,相关性

Study on the correlated experiment of mechanical properties and chemical compositions of potato buds

GONG Zi-wei¹, GUO Wei-jun^{2,*}, SUN Wei^{1,*}, WANG Fen-e¹, WU Jian-min¹

(1.Engineering College, Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070, China;

2.School of Mechanical Engineering, Longdong University, Qingyang 745000, China)

Abstract: In order to study the physical and chemical properties of potato stalk buds, the compression characteristic parameters on 25 d bud age and the content of cellulose, hemicelluloses and lignin during different bud age period of potato bud were measured by the test, and the interaction correlations between mechanical properties and chemical component of potato buds were analyzed. The results showed that the compression strength and the maximum compressive strain increased from the top to the base of potato stalk buds, the content of cellulose, hemicelluloses and lignin of potato buds increased from the top to the base, and the compression strength and the maximum compressive strain between the top and the base of the bud difference was significant ($p < 0.05$). The content of hemicelluloses and lignin between the top and the base of the bud difference was significant ($p < 0.05$). But the compression strength and the content of cellulose, hemicelluloses had a significantly positive correlation of potato bud, and the content of lignin extremely significant positive correlation, the maximum compressive strain and the content of cellulose had a significantly positive correlation of potato bud, and the content of hemicelluloses and lignin extremely significant positive correlation. The study provided experimental data for the further analysis the physical and chemical properties of potato stalk buds.

Key words: potato stalk buds; mechanical properties; chemical compositions; correlations

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)19-0120-04

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2015.19.016

地膜覆盖技术,能改善农作物的生长环境,显著提高马铃薯的产量^[1-2],是目前干旱半干旱地区广泛推广的高产、稳产的一项重要技术。但覆膜使得幼苗易被灼烧而死亡,出苗率低,需要人工放苗,不但

费时费工,而且工作效率低。为了解决这一问题,在种行正上方覆盖一层薄土,依靠膜上的土壤重力和薯芽自然向上的作用力使茎芽自己破膜破土出苗^[3-4]。目前,该技术的研究主要集中在马铃薯生长

收稿日期:2014-12-11

作者简介:巩自卫(1979-),男,硕士研究生,主要从事农业工程技术及装备研究,E-mail:gzw_2008@163.com。

*通讯作者:郭维俊(1957-),男,博士,教授,主要从事植物力学和农业机械装备研究,E-mail:guowj@lzptc.edu.cn。

孙伟(1980-),男,博士,副教授,主要从事农机具研发,E-mail:sunw@gsau.edu.cn。

基金项目:甘肃省农业科技创新项目(GNCX-2012-48);甘肃省高校基本科研业务费-马铃薯膜上种植技术及配套机具研究。

与土壤生态效应方面,而对茎芽的破膜机理研究鲜有报道。因此,研究茎芽出苗过程中的机械特性对揭示破膜机理和选择适宜膜上覆土种植的品种有重要意义。

近年来,国内外学者主要针对小麦、水稻、玉米等主要粮食作物的茎秆力学特性进行了大量的研究。梁莉等^[5]研究了不同生长期小麦茎秆力学性质与形态特性的相关性,发现小麦茎秆含水率随生长期在不断变化,含水率与各生物力学性能指标相关度呈逐渐减小趋势,段传人等^[6]研究了水稻茎秆的结构及其相关性,发现中秆类型水稻茎秆的结构更为合理,抗拉强度极限和弹性模量最大;抗倒伏能力最强,陈争光等^[7]对玉米秸秆皮的拉伸和剪切特性进行了二次回归正交旋转实验研究,发现取样高度对玉米秸秆皮的拉伸强度影响较显著,对玉米秸秆皮的剪切强度影响不显著,但对马铃薯茎芽的力学特性和破膜机理的研究并不多见。为此,本文通过对马铃薯茎芽力学性能实验、主要化学成分测定及其相互关系的研究,为进一步培育优良品种、提高马铃薯茎芽的承载能力提供一定的参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

马铃薯茎芽 如图1所示,采自甘肃省农业科学院实验田,取样时挑选开始顶膜长度在130~150 mm的茎芽。3个品种,分别为大西洋、新大坪和陇薯3号。试样按节间截取,由上至下截取3段,分别为顶部、中部和基部,用保鲜膜将其茎芽包装之后储藏在4℃冰箱中,用于指标的测定;醋酸、硝酸、重铬酸钾、硫代硫酸钠、碘化钾、硫酸、盐酸、3,5-二硝基水杨酸、乙醇、乙醚、硝酸钙、氯化钡、氢氧化钠均为分析纯。

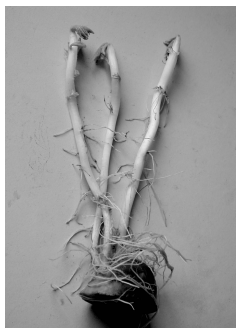


图1 马铃薯茎芽

Fig.1 The potato shoot

电子万能实验机 深圳 SANS 公司生产的 CMT2502 型微机控制电子万能实验机,该机在实验过程中可实时动态显示力、位移、变形、加载速度和实验曲线。实验结束后,即可输出完整的实验报告和实验曲线。本机最大实验力 100 N,力示值误差 $\pm 1.0\%$,位移示值误差 $\pm 0.5\%$;GT10-1 型高速台式离心机 北京时代北利离心机有限公司;Thermo Fisher 牌 G10S-UV-Vis 型紫外分光光度计 驭铭实业(上海)有限公司;科伟牌 101-0 型电热鼓风干燥箱 北京科伟永兴仪器有限公司;JA3102 型电子精密天平

上海海康电子仪器厂;HH-S1 型数显恒温水浴锅 金坛市华特实验仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 马铃薯茎芽压缩特性实验测定 测定之前,将马铃薯茎芽从 4℃ 冰箱中取出,放置到室温之后进行压缩特性实验的测定。测定方法:用内壁为 $\phi 10$ mm 的精拔无缝钢管制成深度 5 mm 的模具,试样两端置入模具。为研究茎芽破膜前后压缩特性的变化,且试样具有可比性,将试样进行分类。实验开始前,用游标卡尺量取直径。将试样置于实验机的工作台上,以 2 mm/min 的实验速度对试样施加压力。

1.2.2 马铃薯茎芽化学组分实验测定 实验开始前一周取出样品,将试样自然风干,茎芽材料与力学性能实验相同按顶部、中部和基部 3 个部分截取,每部分称取质量为 0.1 g。纤维素测定方法:取试样加入醋酸和硝酸混合液,加热离心烘干,然后加入质量分数为 10% 硫酸溶液和重铬酸钾溶液进行测定;半纤维素测定方法:取试样加入质量分数为 80% 硝酸钙溶液 10 mL,加热烘干洗涤液体,然后取 2 mL 滤液加 3,5-二硝基水杨酸溶液 1.5 mL,水浴冷却后于 540 nm 波长下测定吸光度;木质素测定方法:取试样加入体积分数为 1% 醋酸溶液 10 mL 浸泡过滤,再用体积分数为 1% 醋酸溶液洗涤烘干后加质量分数为 72% 硫酸溶液 3 mL,然后加蒸馏水和质量分数为 10% 氯化钡溶液,最后加入质量分数为 10% 硫酸溶液和重铬酸钾溶液进行测定^[8-10]。

1.3 数据处理

每个实验处理重复 3 次,采用 SPSS16.0 对实验数据进行差异显著性和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 马铃薯茎芽的力学性能

图2是马铃薯(新大坪)茎芽由顶部至基部的压缩力-位移曲线。由图2可知,茎芽整个压缩失效过程大致经历了3个阶段(以茎芽顶部为例):近似线弹性阶段,应力与应变近似呈线性关系,即 σ 与 ε 成正比,材料服从胡克定律,其弹性模量 $E = 3.04$ MPa。屈服阶段,当应力超过 0.693 MPa,继续加载使压力达到 24.1 N 时,应力达到最大, $\sigma_{\max}$ 为 0.730 MPa,应力与应变不再是线性关系,但仍是弹性变形,曲线最高点为强度极限。变形失效阶段,当应力达到 $\sigma_{\max}$ 时,茎芽开始破裂。

马铃薯茎芽具有较高的强度和良好的弹性,失效断裂处发生在茎芽的横截面内^[11]。以下就 25 d 芽龄的不同品种的马铃薯茎芽,对其压缩强度与最大压缩应变进行单因素方差分析,其结果如表1所示。

由表1可知,三个品种的马铃薯茎芽的压缩强度和最大压缩应变从顶部到基部呈现增加趋势,且茎芽相同节间大西洋的压缩强度最大、新大坪次之、陇薯3号最小。方差分析显示:三个品种压缩强度顶部、中部和基部差异均显著($p < 0.05$),大西洋最大压缩应变中部与顶部和基部差异不显著($p \geq 0.05$);新大坪最大压缩应变基部与中部和顶部差异显著

表1 不同品种马铃薯茎芽的压缩强度与最大压缩应变分析

Table 1 Analysis compression strength and the maximum compressive strain of different varieties potato stalk buds

节间部位	大西洋		新大坪		陇薯3号	
	压缩强度(MPa)	最大压缩应变	压缩强度(MPa)	最大压缩应变	压缩强度(MPa)	最大压缩应变
顶部	0.7770 ± 0.1510 ^c	0.2040 ± 0.0450 ^b	0.6857 ± 0.0750 ^c	0.1720 ± 0.0473 ^b	0.5500 ± 0.0613 ^c	0.1600 ± 0.0428 ^b
中部	1.0880 ± 0.2526 ^b	0.2520 ± 0.0686 ^{ab}	0.9771 ± 0.1321 ^b	0.2070 ± 0.0514 ^b	0.9160 ± 0.1137 ^b	0.2586 ± 0.0596 ^a
基部	1.4480 ± 0.2100 ^a	0.2920 ± 0.0426 ^a	1.3385 ± 0.2096 ^a	0.2690 ± 0.0722 ^a	1.3700 ± 0.1429 ^a	0.3043 ± 0.0264 ^a

注:同一列中平均值上标 a-c,相同字母表示差异不显著($p \geq 0.05$),不同字母表示差异显著($p < 0.05$),表2同。

表2 不同芽龄期马铃薯茎芽化学组分含量分析

Table 2 Analysis chemical component content of different potato buds age period

节间部位	25 d 芽龄茎芽			15 d 芽龄茎芽		
	纤维素(%)	半纤维素(%)	木质素(%)	纤维素(%)	半纤维素(%)	木质素(%)
顶部	20.13 ± 0.83 ^a	39.05 ± 0.84 ^b	10.75 ± 0.41 ^c	19.31 ± 0.60 ^b	35.53 ± 1.02 ^c	8.79 ± 0.72 ^c
中部	20.49 ± 0.43 ^a	41.66 ± 2.39 ^b	11.91 ± 0.54 ^b	20.30 ± 0.26 ^a	42.43 ± 2.33 ^b	10.33 ± 0.70 ^b
基部	22.18 ± 1.58 ^a	54.82 ± 0.40 ^a	13.34 ± 0.48 ^a	21.12 ± 0.30 ^a	54.62 ± 3.24 ^a	12.23 ± 0.25 ^a

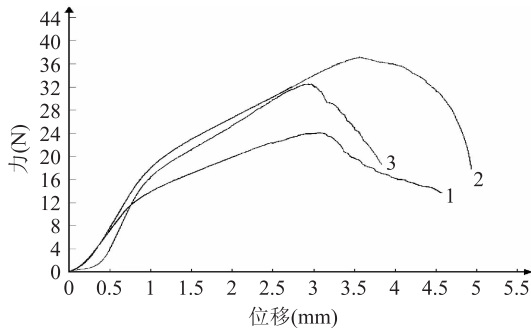


图2 马铃薯茎芽压缩力-位移曲线

Fig.2 Curve of compression force-displacement of potato shoot

注:压缩材料为新大坪;1~3 分别代表茎芽顶部、中部、基部,其中顶部至基部的茎芽直径分别为 6.5、6.0、5.0 mm,压缩试样长度为直径的 2 倍,加载速度为 2 mm/min。

($p < 0.05$);陇薯3号最大压缩应变顶部与基部和中部差异显著($p < 0.05$)。

由此可以得出,马铃薯茎芽的压缩强度和最大压缩应变随生长状态和品种的不同而不同,这就说明生长状态和品种不同会对茎芽的力学特性产生影响,因为生长状态和品种不同,茎芽的硬度不同,因而力学性能也会有所差异,马铃薯茎芽由顶部到基部硬度增强,因而压缩强度和最大压缩应变就增大。张忠旭等^[12]研究了水稻抗倒伏能力与茎秆物理性状之间的关系,得出基部茎秆是影响抗倒伏能力的主要因素,因为基部茎秆的强度最大,表明茎秆由顶部到基部水稻抗倒伏能力增强。郭维俊等^[11]研究了小麦茎秆力学性能与化学组分之间的关系,得出小麦成熟期抗拉强度最大,抵抗外御干扰最强,本结论与其文献中报道一致。

2.2 马铃薯茎芽的化学组分

马铃薯茎芽是天然生长的有机高分子材料,主要由纤维素、半纤维素和木质素组成^[13]。以下就 25 d 芽龄期和 15 d 芽龄期的马铃薯(新大坪)茎芽的

纤维素、半纤维素和木质素含量进行单因素方差分析,其结果如表 2 所示。

由表 2 可知,马铃薯茎芽不同节间,其纤维素、半纤维素和木质素的含量有所差异。整体表现为 25 d 芽龄期茎芽的纤维素、半纤维素和木质素的含量均高于 15 d 芽龄期茎芽的含量,不同芽龄期纤维素、半纤维素和木质素含量从顶部到基部呈现增加趋势,且同一芽龄期茎芽相同节间的半纤维素含量最高、纤维素次之、木质素最少。方差分析显示:25 d 芽龄期纤维素含量顶部、中部和基部差异均不显著($p \geq 0.05$);15 d 芽龄期纤维素含量顶部与中部和基部差异显著($p < 0.05$),不同芽龄期半纤维素和木质素含量基部与中部和顶部差异显著($p < 0.05$)。

以上结果表明,马铃薯茎芽的化学组分随着生长状态的变化而变化,即随着马铃薯茎芽芽龄期的增长,其纤维素、半纤维素和木质素的含量也随之增高。其中,半纤维素是构成茎芽的主要化学成分^[14]。

2.3 马铃薯茎芽力学性能与化学组分关系

对马铃薯(新大坪)茎芽 25 d 芽龄期的压缩强度与最大压缩应变和化学组分之间进行相关性分析,其结果如表 3 所示。

表3 25 d 芽龄期的压缩强度与最大压缩应变和化学组分的相关关系

Table 3 Correlation relation between compression strength and maximum compressive strain and chemical component of 25 d bud age

变量	纤维素含量	半纤维素含量	木质素含量
压缩强度	0.687 *	0.751 *	0.901 **
最大压缩应变	0.707 *	0.895 **	0.926 **

注:“*”表示($p < 0.05$),差异显著,“**”表示($p < 0.01$),差异极显著。

由表 3 可知,马铃薯茎芽的压缩强度与纤维素和半纤维素含量呈显著正相关,与木质素含量呈极显著正相关;茎芽的最大压缩应变与纤维素含量呈显著正相关,与半纤维素和木质素含量呈极显著正相关。

由此可见,马铃薯茎芽的力学特性与纤维素、半

纤维素和木质素含量之间存在一定的关系,即力学特性随着纤维素、半纤维素和木质素含量的变化而不同。纤维素是由葡萄糖组成的大分子多糖,不溶于水及一般的有机溶剂。它是构成植物细胞壁的主要成分,相当于茎芽的骨架物质。由于纤维素分子有极性,分子链之间相互作用力很强,所以纤维素柔顺性很差,是刚性的。这样的结构特性可以提供茎芽一定的机械强度和形变的柔韧度。半纤维素是构成植物细胞初生壁的主要成分之一,它与伸展蛋白、结构蛋白、纤维素和果胶等一起构成具有一定硬度和弹性的细胞壁^[15-16]。半纤维素结合在纤维素微纤维的表面,起着基体粘结作用,以增强众多纤维整体的强度。半纤维素具有亲水性能,这将润胀细胞壁,可赋予纤维弹性。所以相同成分组成的试样在含水率不同的情况下,力学特性也有很大的区别。木质素是一种复杂的酚类聚合物,是由高度取代的苯基丙烷单元随机聚合而成的高分子^[17],具有使细胞相连的作用。木质素填充于纤维素构架中可以增强植物体的机械强度,尽管它的强度比纤维素弱,但能提供刚度并改善耐久性。因此,随着生长状态的变化,马铃薯茎芽的化学成分含量和力学性能也随之改变,即随着芽龄期的增长,其力学性能和化学成分含量也就越高。

3 结论

在芽龄期相同的情况下,不同品种茎芽的相同部位和同一品种茎芽的不同部位压缩强度与最大压缩应变存在差异,整体表现出茎芽压缩强度与最大压缩应变由顶部至基部增大,且茎芽顶部与基部的压缩强度和最大压缩应变差异均显著($p < 0.05$),中部与顶部和基部的压缩强度差异显著($p < 0.05$)。马铃薯茎芽主要由纤维素、半纤维素和木质素组成,茎芽的纤维素、半纤维素和木质素含量由顶部到基部增加,整体表现出 25 d 芽龄期茎芽的纤维素、半纤维素和木质素的含量均高于 15 d 芽龄期茎芽的含量,且茎芽顶部与基部的半纤维素和木质素含量差异均显著($p < 0.05$)。马铃薯茎芽的压缩强度与纤维素和半纤维素含量呈显著正相关,与木质素含量呈极显著正相关;最大压缩应变与纤维素含量呈显著正相关,与半纤维素和木质素含量呈极显著正相关。

(上接第 119 页)

Fucus vesiculosus [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(4): 840-845.

[18] Ma L, Chen H, Zhu W, et al. Effect of different drying methods on physicochemical properties and antioxidant activities of polysaccharides extracted from mushroom *Inonotus obliquus* [J]. Food Research International, 2013, 50(2): 633-640.

[19] Wang Y, Liu Y, Huo J, et al. Effect of different drying methods on chemical composition and bioactivity of tea polysaccharides [J]. International journal of biological macromolecules, 2013, 62: 714-719.

[20] Wu Z. Effect of different drying methods on chemical composition and bioactivity of finger citron polysaccharides [J].

International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 76(1): 218-223

[21] Vendruscolo C, Ferrero C, Pineda E, et al. Physicochemical and mechanical characterization of galactomannan from *Mimosa scabrella*: Effect of drying method [J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 76(1): 86-93.

[22] 李路宁, 陈威, 赵立仪, 等. 蓝莓花青素的酰化及其抗氧化性评价 [J]. 食品工业科技, 2014, 35(6): 102-106.

[23] 程浩然, 付亮, 冯士令, 等. 淫羊藿药渣多糖体外抗氧化活性研究 [J]. 食品工业科技, 2014, 35(2): 143-145.

[24] Wickens A. Ageing and the free radical theory [J]. Respiration physiology, 2001, 128(3): 379-391.

参考文献

[1] 马尚明, 李生宝. 马铃薯地膜覆盖栽培的效果与技术 [J]. 作物杂志, 1997(4): 29-30.

[2] 郑有才, 杨祁峰. 不同覆盖模式对旱作马铃薯生育期及土壤含水量的影响 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(20): 8462-8464.

[3] 杨有. 自出苗地膜覆盖种植技术: 中国, CN1341346 [P]. 2002-03-27.

[4] 杨来胜, 席正英, 李玲, 等. 马铃薯高垄膜上覆土自然破膜出苗栽培技术 [J]. 中国蔬菜, 2010(11): 47-48.

[5] 梁莉, 郭玉明. 不同生长期小麦茎秆力学性质与形态特性的相关性 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 131-134.

[6] 段传人, 王伯初, 王凭青. 水稻茎秆的结构及其性能的相关性 [J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2003, 26(11): 38-40.

[7] 陈争光, 王德福, 李利桥, 等. 玉米秸秆皮拉伸和剪切特性实验 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(21): 59-65.

[8] 王金主, 王元秀, 李峰, 高艳华, 徐军庆, 袁建国. 玉米秸秆中纤维素、半纤维素和木质素的测定 [J]. 山东食品发酵. 2010(3): 44-47.

[9] 熊素敏, 左秀凤, 朱永义. 稻壳中纤维素、半纤维素和木质素的测定 [J]. 粮食与饲料工业, 2005(8): 40-41.

[10] 范鹏程, 田静, 黄静美, 等. 花生壳中纤维素和木质素含量的测定方法 [J]. 重庆科技学院学报: 自然科学版, 2008, 10(5): 64-65, 67.

[11] 郭维俊, 王芬娥, 黄高宝, 等. 小麦茎秆力学性能与化学组分实验 [J]. 农业机械学报, 2009, 40(2): 123-127.

[12] 张忠旭, 陈温福, 杨振玉, 等. 水稻抗倒伏能力与茎秆物理性状的关系及其对产量的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 1999, 30(2): 81-85.

[13] 洗杏娟. 竹纤维增强树脂复合材料及其微观形貌 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995.

[14] 王芬娥, 黄高宝, 郭维俊, 等. 小麦茎秆力学性能与微观结构研究 [J]. 农业机械学报, 2009, 40(5): 92-95.

[15] 郭玉华, 朱四光, 张龙步. 不同栽培条件对水稻茎秆生化成分的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2003, 34(2): 89-91.

[16] 山东农学院. 作物栽培学: 上册 [M]. 北京: 农业出版社, 1995.

[17] 尹思慈. 木材学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.