

玉米籽粒质构穿刺与原位压缩力学特性研究

王昕, 闫红玲, 侯聚敏 (吉林大学食品科学与工程学院食品科学与工程专业, 吉林长春 130000)

摘要 [目的]探索一种测试玉米籽粒力学性质的新方法,建立一种物料力学研究新方法。[方法]对玉米籽粒分别进行传统穿刺试验和原位压缩试验,在不同加载速率(0.02、0.06、0.10 mm/s)及不同含水率(11.37%、13.86%、14.78%、16.13%、18.48%)下对各部位穿刺力学参数进行显著性和变异系数分析。[结果]加载速率0.02 mm/s、含水率14.78%的穿刺组试验结果最稳定;稳定组的原位压缩试验的最大破裂力、弹性模量和总功在某些部位与传统穿刺力学参数有较好的相关性,原位压缩破裂力和总功与传统穿刺的部分力学参数间存在极强的相关性。在验证了原位压缩试验可行的基础上,对原位裂纹图像分析可以更清晰地观察裂纹的形貌及扩展。[结论]原位压缩测试结果与传统穿刺力学参数间具有较好的相关性,原位压缩测试可代替传统穿刺测试。

关键词 玉米籽粒;力学特性;穿刺测试;原位压缩;图像处理

中图分类号 TS210.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)11-0210-04

Study on Mechanical Properties of In-situ Compression and Texture Compaction of Maize

WANG Xin, YAN Hong-ling, HOU Ju-min (College of Food and Engineering, Jilin University, Changchun, Jilin 130000)

Abstract [Objective] To explore a new method for testing the mechanical properties of maize kernels and to establish a new method of material mechanics. [Method] Different loading rates (0.02, 0.06, 0.10 mm/s) and different water content (11.37%, 13.86%, 14.78%, 16.13%, 18.48%) were studied, the significance and coefficient of variation of the puncture mechanical parameters were analyzed. [Result] The results of the puncture test group with the loading rate of 0.02 mm/s and the water content of 14.78% were the most stable. The maximum bursting force, elastic modulus and total work force of the stability test in the stable group were in some parts with the traditional puncture mechanics parameters. There is a strong correlation between the in situ compression rupture force and the total work force and the partial mechanical parameters of the traditional puncture. On the basis of validating the in-situ compression test, the in-situ crack image analysis can more clearly observe the morphology and expansion of the crack. [Conclusion] The in situ compression test results have a good correlation with the traditional puncture mechanics parameters, the in situ compression test can replace the traditional puncture test.

Key words Maize grain; Mechanical properties; Puncture test; In-situ compression; Image processing

玉米在加工和储运等过程中存在着许多生物、化学问题,其中玉米籽粒的力学特性是决定其加工品质的一个重要因素^[1-2]。多年来,国内外学者对玉米、稻谷、小麦等粮食籽粒进行了力学特性研究,通过分析粮食籽粒的水分、组分与力学参数的规律,建立与力学参数的联系^[3-4]。试验的设备多选用万能试验机和质构仪。质构仪是通过探头切割、挤压和拉伸测试,得到质构性以及相关关系曲线的设备^[5]。质构仪广泛应用于食品物料的力学研究中,玉米籽粒的力学研究也主要运用质构仪来进行,但是现有的研究只能得出力学特性参数及曲线,无法观察到加载过程中的裂纹产生,对储运过程中的裂纹产生无法明确解释。因此,笔者借助原位测试仪器进行测试及裂纹的观察^[6],分别进行质构仪穿刺和原位测试仪压缩试验,将质构仪的传统测试方式与原位测试仪的新式测试方式进行对比,探讨原位测试仪测量玉米籽粒力学特性的可行性,并进行原位测试图像分析。

1 材料与方 法

1.1 材料 供试原材料选自吉林农业大学玉米试验田收获的马齿形黄玉米柳单301,选取粒形均匀,无病虫害、畸形、损伤、霉变的籽粒样品^[7],采摘后置于低温避光环境下保存。

主要仪器设备:CT3质构仪购自美国Brookfield Engineering Labs,试验过程中可实时动态显示加载过程中的位移、挤压力、加载速率及试验曲线,最大负载为500 N,负载分辨率为0.001 N,位移分辨率为0.01 mm。

原位测试仪是机械实验室自行设计开发的跨尺寸微纳

米级原位三点弯曲试验装置,最大加载力为500 N,载荷分辨率为0.01 N,位移分辨率为1 μm。

1.2 方法 由于粮食物料在贮运、加工过程中一般是以整体状态承受外力作用,因此以籽粒状态进行整体力学研究是有意义的^[8]。将5种含水率(11.37%、13.86%、14.78%、16.13%、18.48%)的玉米籽粒随机分组,每组20个进行3组不同加载速率(0.02、0.06、0.10 mm/s)的试验,多次测试结果取平均值。

2 结果与分析

2.1 玉米籽粒的穿刺试验

2.1.1 玉米籽粒负载压力-位移曲线分析。由图1可知,玉米籽粒各个部位的最大负载力存在较大差异,其中,角质胚乳的最大负载力最大,粉质胚乳居中,胚部最小。负载压力的最高点即为最大破裂力,籽粒开始产生裂纹,由于玉米籽粒组织的不均匀性,裂纹扩展呈现不均匀性,从而曲线出现波动起伏。

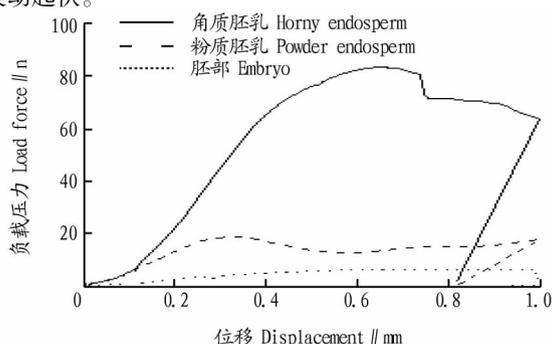


图1 玉米籽粒穿刺负载压力-位移曲线

Fig.1 Force-displacement curve of corn kernel puncturing load

作者简介 王昕(1970—),女,吉林长春人,教授,博士,从事食品保藏与加工理论新技术研究。

收稿日期 2017-02-22

2.1.2 不同加载速率下玉米籽粒穿刺试验参数分析。不同加载速率下对玉米试样进行 5 次重复取平均值,并用 SPSS 对结果进行显著性分析,结果如表 1 所示。根据以下公式分别计算各加载速率下玉米籽粒各部位数据的变异系数,结果如表 2 所示。

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}}{\bar{x}} = \frac{SD}{MN} \times 100\%$$

式中,SD 为测试样本的标准差,MN 为测试样本的平均数。

表 1 不同加载速率下玉米籽粒各部位穿刺力学参数差异性分析

Table 1 Variance analysis of mechanical parameters of various parts of corn kernel under different loading rates

部位 Parts	加载速率 Loading rate//mm/s	破裂负载 Breaking load//N	形变量 Shape variable//mm	总功 Total work//mJ	弹性模量 Elastic modulus//MPa
角质 Horny	0.02	114.34 ± 6.37 a	0.84 ± 0.15 a	70.77 ± 13.23 a	300.00 ± 3.54 a
	0.06	115.42 ± 2.27 a	0.90 ± 0.06 a	76.78 ± 3.01 a	298.75 ± 5.30 a
	0.10	111.60 ± 10.01 a	0.84 ± 0.12 a	68.52 ± 14.26 a	302.50 ± 16.43 a
粉质 Powder	0.02	15.37 ± 1.79 a	0.97 ± 0.04 a	8.26 ± 0.50 a	74.90 ± 0.14 a
	0.06	15.76 ± 2.54 a	0.95 ± 0.05 a	8.44 ± 1.44 a	73.74 ± 1.44 a
	0.10	14.61 ± 1.15 a	0.99 ± 0.01 a	7.26 ± 0.81 a	73.65 ± 1.33 a
胚 Embryo	0.02	12.01 ± 1.49 a	0.93 ± 0.09 a	7.20 ± 0.82 a	14.55 ± 0.64 a
	0.06	11.78 ± 2.31 a	0.70 ± 0.21 a	7.80 ± 1.35 a	16.25 ± 1.77 a
	0.10	12.93 ± 2.73 a	0.92 ± 0.14 a	7.98 ± 1.53 a	14.40 ± 0.85 a

注:同列不同小写字母分别表示各部位的不同加载速率下各参数在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column stand for significant difference of parameters under different loading rate at 0.05 level

表 2 不同加载速率下玉米籽粒各部位穿刺力学参数变异系数

Table 2 Variation coefficients of mechanical parameters of various parts of corn kernel under different loading rates

部位 Parts	加载速率 Loading rate//mm/s	破裂负载 Breaking load	形变量 Shape variable	总功 Total work	弹性模量 Elastic modulus
角质 Horny	0.02	5.626 1	18.047 3	19.977 2	1.178 5
	0.06	1.963 1	6.614 7	3.915 3	1.775 2
	0.10	8.969 5	14.448 7	20.813 8	5.432 0
粉质 Powder	0.02	11.646 1	4.123 7	6.053 3	0.188 8
	0.06	16.147 4	9.060 4	17.708 3	1.957 1
	0.10	7.850 4	0	11.193 9	1.803 0
胚 Embryo	0.02	11.164 0	8.514 0	10.100 0	4.373 9
	0.06	19.567 2	29.200 1	17.309 4	10.878 8
	0.10	21.125 4	15.555 8	19.201 7	5.862 6

由表 1 可以得出,不同速率下玉米籽粒各部位参数均没有显著性差异,加载速率对于各部位穿刺结果没有差异性影响。由表 2 可知,各部位在加载速率为 0.02 mm/s 时,其力学参数变异系数总体最小,结果更稳定。综合考虑穿刺结果稳定性和加载效果,以加载速率 0.02 mm/s 为最适加载速率。

2.1.3 不同含水率的玉米籽粒穿刺试验参数分析。从表 3

可知,各部位在含水率为 13.86%、14.78% 的试样中无显著性差异。从表 4 可知,在含水率为 14.78% 时,玉米籽粒粉质胚乳和胚部的各变异系数较小,结果较稳定;角质胚乳在含水率为 11.37% 时各变异系数较小。综合考虑玉米籽粒的平衡水分及储运的安全水分,选择含水率为 14.78% 试验结果更稳定,也更具有代表性。

表 3 不同含水率的玉米籽粒各部位穿刺力学参数显著性分析

Table 3 Variable analysis of mechanical parameters of various parts of maize kernel with different water content

部位 Parts	含水率 Water content//%	破裂负载 Breaking load//N	形变量 Shape variable//mm	总功 Total work//mJ	弹性模量 Elastic modulus//MPa
角质 Horny	11.37	115.17 ± 1.80 a	0.78 ± 0.05 ab	73.83 ± 0.59 b	308.51 ± 9.31 a
	13.86	122.35 ± 1.17 a	0.99 ± 0.03 a	84.24 ± 3.62 a	312.08 ± 17.67 a
	14.78	113.70 ± 6.40 a	0.80 ± 0.15 ab	68.84 ± 13.75 bc	300.00 ± 3.54 a
	16.13	101.69 ± 8.30 b	0.84 ± 0.15 ab	67.72 ± 7.62 bc	296.75 ± 18.37 b
	18.48	96.24 ± 5.67 b	0.72 ± 0.13 b	51.74 ± 7.82 c	285.61 ± 5.91 b
粉质 Powder	11.37	25.10 ± 6.42 a	0.99 ± 0.01 a	13.08 ± 4.25 a	82.35 ± 6.82 a
	13.86	14.48 ± 1.40 b	0.81 ± 0.16 a	9.58 ± 1.25 b	73.23 ± 0.53 b
	14.78	15.37 ± 1.79 b	0.97 ± 0.04 a	8.26 ± 0.50 b	74.90 ± 0.14 b
	16.13	13.64 ± 4.94 b	0.75 ± 0.17 a	7.80 ± 2.73 b	73.92 ± 3.77 a
	18.48	11.99 ± 1.85 b	0.89 ± 0.19 a	7.48 ± 1.73 b	72.61 ± 1.43 b
胚 Em bryo	11.37	16.31 ± 5.55 a	0.71 ± 0.27 a	11.30 ± 3.81 a	17.29 ± 0.94 a
	13.86	13.14 ± 4.15 a	0.95 ± 0.11 b	8.08 ± 2.53 b	15.33 ± 1.21 a
	14.78	12.01 ± 1.34 a	0.93 ± 0.08 b	7.20 ± 0.73 bc	14.55 ± 0.64 a
	16.13	5.68 ± 1.31 b	0.97 ± 0.04 b	3.24 ± 1.00 cd	14.67 ± 1.87 b
	18.48	7.14 ± 0.20 b	0.99 ± 0.01 b	4.66 ± 0.18 cd	11.39 ± 1.25 a

注:同列不同小写字母分别表示各部位的不同含水率下各参数在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column stand for significant difference of parameters under different water content at 0.05 level

表4 不同含水率的玉米籽粒各部位穿刺力学参数变异系数

Table 4 Variable coefficients of mechanical parameters of various parts of maize kernel with different water content

部位 Parts	含水率 Water content//%	破裂负载 Breaking load	形变量 Shape variable	总功 Total work	弹性模量 Elastic modulus
角质 Horny	11.37	1.560 0	0.006 0	0.794 3	3.017 7
	13.86	0.956 3	3.030 3	4.297 2	5.662 0
	14.78	5.626 1	18.047 3	19.977 2	1.178 5
	16.13	8.166 4	17.428 9	11.246 6	6.190 4
	18.48	5.891 5	18.055 6	15.114 0	2.069 3
粉质 Powder	11.37	25.581 8	1.348 1	32.492 4	8.281 7
	13.86	9.634 7	19.777 8	13.066 8	0.723 7
	14.78	11.646 1	4.123 7	6.053 3	0.188 8
	16.13	36.217 0	22.666 7	35.000 0	5.100 1
	18.48	15.429 5	21.348 3	23.128 3	1.969 4
胚 Embryo	11.37	34.028 2	38.028 2	33.716 8	5.436 7
	13.86	31.583 0	11.578 9	31.311 9	7.893 0
	14.78	11.164 0	8.514 0	10.100 0	4.373 9
	16.13	23.063 4	4.123 7	0.308 6	12.747 1
	18.48	2.801 1	1.010 1	3.862 7	10.974 5

2.2 玉米籽粒原位测试 综合以上分析,加载速率为0.02 mm/s、含水率14.78%时,玉米籽粒各部位穿刺结果最稳定。原位测试仪进行压缩试验时,选取最稳定的试验组进行试验,其结果与穿刺试验组进行比较分析。

2.2.1 玉米籽粒原位压缩负载压力-位移曲线分析。由图2可知,不同放置方式下玉米籽粒的最大负荷力存在差异。玉米籽粒平放时的最大负荷力最大,立放时次之,侧面放置时最小。由于保持匀速缓慢加载,因此测量结果较稳定。

2.2.2 玉米籽粒原位压缩力学参数分析。从表5可知,平放与立放的总功、形变量无显著性差异,侧放与立放时的弹性模量无显著性差异,总体的差异性在可接受范围内。从表6可知,最大破裂力、弹性模量、总功的变异系数在平放时均最小,形变量的变异系数在立放时最小。总体的变异系数在

较小范围内波动,结果可接受。

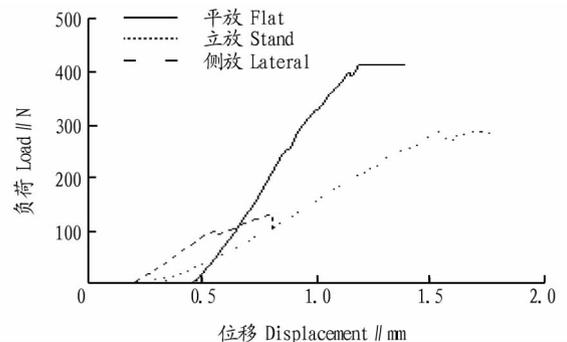


图2 玉米籽粒原位压缩负荷-位移曲线

Fig.2 In-situ compression for load-displacement curve of maize grain

表5 玉米不同放置方式下原位压缩力学参数显著性分析

Table 5 Significance analysis of in-situ compressive mechanical parameters of corn under different placement methods

放置方式 Placement method	破裂负载 Breaking load//N	弹性模量 Elastic modulus//MPa	形变量 Shape variable//mm	总功 Total work//mJ
平放 Flat	414.61 ± 0.11 a	482.61 ± 8.44 a	1.39 ± 0.15 a	253.49 ± 12.93 a
侧放 Lateral	168.73 ± 14.68 b	273.97 ± 18.96 b	0.91 ± 0.12 b	88.35 ± 6.21 b
立放 Stand	299.07 ± 9.90 c	276.00 ± 30.74 b	1.64 ± 0.09 a	238.21 ± 28.52 a

注:同列不同小写字母分别表示玉米不同放置方式下各参数在0.05水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column stand for significant difference of parameters under different loading rate at 0.05 level

表6 玉米不同放置方式下原位压缩力学参数变异系数

Table 6 Variation coefficients of in-situ compression mechanical parameters of corn under different placement methods

放置方式 Placement method	破裂负载 Breaking load	弹性模量 Elastic modulus	形变量 Shape variable	总功 Total work
平放 Flat	0.026 0	1.749 6	10.633 0	5.099 2
侧放 Lateral	8.702 7	6.921 8	13.384 6	7.023 2
立放 Stand	3.311 6	11.136 7	5.463 4	11.972 6

2.3 玉米籽粒穿刺-原位压缩相关分析

2.3.1 Pearson相关性分析。表7~9为玉米不同放置方式下穿刺-原位压缩力学参数相关分析结果。由表7可知,平

放时的最大破裂力与压缩破裂力在0.05水平上显著相关,相关系数为0.923。由表9可知,立放时的弹性模量与压缩破裂力在0.05水平上显著相关,相关系数为0.668;压缩总

功与立放时最大破裂力、立放的总功在 0.05 水平上显著相关,相关系数分别为 -0.939 、 -0.879 。

表 7 玉米籽粒平放穿刺-原位压缩力学参数相关性分析

Table 7 Correlations of mechanical parameters of maize seed with flat puncture and in-situ compression

项目 Item	F_p	E_p	D_p	W_t
F	0.923*	-0.135	-0.404	-0.427
D	-0.291	0.560	-0.220	-0.304
W	0.845	0.253	-0.416	-0.504
E	0.865	0.151	-0.587	-0.643

注: F_p 、 E_p 、 D_p 、 W_t 分别表示原位压缩的破裂负载、弹性模量、形变量、总功; F 、 D 、 W 、 E 分别表示穿刺测试的破裂负载、形变量、总功、弹性模量;*表示在 0.05 水平上显著相关

Note: F_p 、 E_p 、 D_p 、 W_t stand for breaking load, elastic modulus, shape variable, total work of in-situ compression; F 、 D 、 W 、 E stand for breaking load, elastic modulus, shape variable, total work of puncture test; * stands for significant correlation at 0.05 level

表 8 玉米籽粒侧放穿刺-原位压缩力学参数相关性分析

Table 8 Correlative analysis of mechanical parameters of maize seedling with lateral puncture and in-situ compression

项目 Item	F_p	E_p	D_p	W_t
F	0.819	0.787	0.107	-0.007
D	0.513	0.819	0.264	-0.296
W	0.652	0.618	0.217	-0.208
E	0.849	0.811	0.109	0.082

注: F_p 、 E_p 、 D_p 、 W_t 分别表示原位压缩的破裂负载、弹性模量、形变量、总功; F 、 D 、 W 、 E 分别表示穿刺测试的破裂负载、形变量、总功、弹性模量

Note: F_p 、 E_p 、 D_p 、 W_t stand for breaking load, elastic modulus, shape variable, total work of in-situ compression; F 、 D 、 W 、 E stand for breaking load, elastic modulus, shape variable, total work of puncture test

表 9 玉米籽粒立放穿刺-原位压缩力学参数相关性分析

Table 9 Correlative analysis of mechanic parameters of maize seeding with stand puncture and in-situ compression

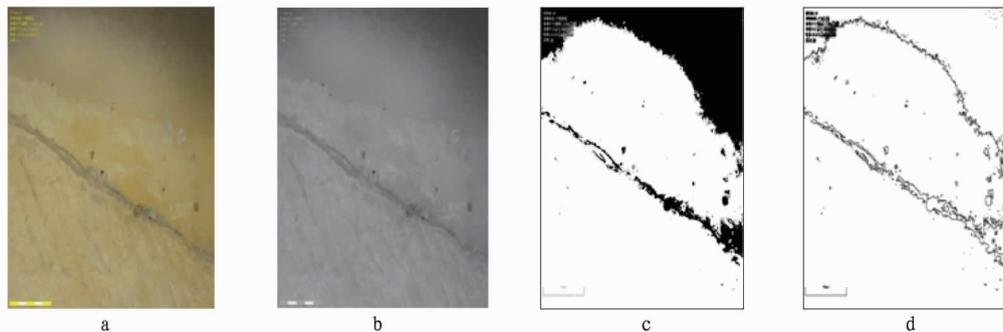
项目 Item	F_p	E_p	D_p	W_t
F	0.460	0.642	-0.513	-0.939*
D	-0.501	-0.219	0.476	0.586
W	0.411	0.531	-0.447	-0.879*
E	0.668*	0.454	-0.864	-0.748

注: F_p 、 E_p 、 D_p 、 W_t 分别表示原位压缩的破裂负载、弹性模量、形变量、总功; F 、 D 、 W 、 E 分别表示穿刺测试的破裂负载、形变量、总功、弹性模量;*表示在 0.05 水平上显著相关

Note: F_p 、 E_p 、 D_p 、 W_t stand for breaking load, elastic modulus, shape variable, total work of in-situ compression; F 、 D 、 W 、 E stand for breaking load, elastic modulus, shape variable, total work of puncture test; * stands for significant correlation at 0.05 level

2.3.2 差异性分析。由试验结果可知,穿刺平放破裂力与原位压缩最大破裂力的相关性较好,在 0.05 水平上显著相关,相关系数为 0.802, F 值为 17.226, P 值为 0.025, 且线性方程显著。穿刺平放破裂力和总功与原位压缩总功在 0.05 水平上显著相关,相关系数分别为 0.844 和 0.697, F 值分别为 22.566 和 10.203, P 值分别为 0.018 和 0.050, 且线性方程均为显著。综上结果,原位压缩力学参数的压缩破裂力和总功与传统穿刺的部分力学参数间存在极强的相关性,原位测试方式可以代替传统的质构仪测试。

2.4 原位测试图像分析 在进行原位试验过程中,可实时观察并记录图像信息,供后续的分析,避免错过关键信息^[9]。使用 ImageJ 软件^[10-12]将原始 RGB 图像(图 3a)转换为 8 位灰度图像(图 3b),通过阈值设置以使图像边缘便于区分,并去掉灰度图像中的斑点。将没有明显噪声的图像转换为二



注:a. 原始 RGB 图;b. 8 位灰度图;c. 二进制定图;d. 骨架图

Note: a. Original RGB graph; b. 8 bit grey-scale map; c. Binary graph; d. Skeleton graph

图 3 原位测试裂纹形态数值提取图像

Fig. 3 In-situ test of crack morphology by numerical image extraction

进制(图 3c), 并进行提取骨架(图 3d), 使用软件的测量功能提取图像轮廓的面积、周长等参数, 具体如下: 裂纹总面积($1\ 412\ 308.00 \pm 11\ 716.81$) μm^2 、裂纹面积($440\ 338.40 \pm 59\ 253.91$) μm^2 、裂纹周长($3\ 096.53 \pm 162.75$) μm 、裂纹宽度(479.20 ± 46.25) μm 。

3 结论

该研究对玉米单个籽粒进行传统质构穿刺试验, 并对角质胚乳、粉质胚乳、胚部分别进行单独试验。通过方差分析

和变异系数分析, 可以确定结果稳定组的参数为加载速率 0.02 mm/s、籽粒含水率 14.78%。在结果稳定组试验参数下, 进行原位压缩试验。对玉米籽粒穿刺力学参数与原位压缩力学参数进行 Pearson 相关性分析和回归差异性分析, 发现原位压缩力学参数的压缩破裂力和总功与传统穿刺的部分力学参数间存在极强的相关性。可以确定, 原位测试方式可以代替传统的质构仪测试, 为物料力学特性的研究开辟了

(下转第 249 页)

教学改革的实行首先应以专业教师的教学思路为起点。一方面,教师自身认知食品添加剂领域的基本概念、理论等基础知识;另一方面,应用型高校提倡“双师结构”型教师队伍,专业教师开展基础研究和应用研究同步进行,在科研活动和企业合作中跟踪、发现新的知识点,将抽象理论具体实例化^[4]。

2.3 丰富教学内容 在现有教学内容的基础上,根据食品产业发展趋势,综合基本原理与新技术、新工艺、新产品、新趋势、新现象、新事件等,并有机融入教师的研究成果,有利于学生借助实例理解而后运用基础理论。比如,2016年“3·15”重磅发布食品添加剂最多的食品排行榜,涉及方便面、火腿肠、蜜饯、果冻、冰淇淋、饼干、奶茶、口香糖、薯片等学生接触频率非常高的食品,则可在课前布置任务要求学生详细查阅各类食品中的食品添加剂成分。又如,在2016年3月15日关于食品安全“知假买假”的新闻中,在新修订的《中华人民共和国食品安全法》出台的背景下,涉及食品添加剂的使用规范,也可以作为素材加入到教学中。

2.4 完善教学手段 食品添加剂是社会热点话题,教学内容对日常生活具有很强的指导意义。应充分利用线上资源,鼓励学生掌控部分学习进度,实现线上线下同步推进的混合教学模式。建立“课前知识传递、课上知识内化、课后效果反馈”的翻转课堂^[5-6],在课前先让学生通过一些案例对要学习的内容进行预习,预先对重点、要点进行评价、分析、讨论;然后在课堂上由教师引导对知识进行认知、识记;最后在课后以发散性问题巩固知识。

2.5 具体方案与方法

2.5.1 课前线上预习。教师预先准备课程视频材料或相关链接内容,先于学生观看,并针对其中的知识点提出问题;布置学生在课前自主观看学习视频材料,学生根据自身兴趣选择更多材料进行学习,并结合自身理解提出问题;学生自主

学习之后,将问题集中反馈给教师。

2.5.2 课堂学习。根据课前预习结果,了解学生学习过程中的盲区,抓住学生难以理解的难点问题,选择课堂上予以重点讲解的内容;在讲解之后,组织学生进行小组讨论,主要围绕课程的重点、难点展开,包括与课程主题相关的热点话题。

2.5.3 课后效果反馈。课后组织学生独立完成相关学习内容的测试,检验学习效果,帮助学生巩固、总结所学知识,收集学生对课程编排的建议,根据学生学习效果及时对课程设计进行调整;临近课程结束时,可根据实际情况组织学生在校园、社区等公共区域进行食品添加剂的科普宣传,让学生体验课程知识的社会意义。

3 结语

在食品产业非常发达的地区开展应用型高校食品添加剂课程改革,对于拓宽专业知识面,强化应用能力是十分必要的。在教学过程中强化基础内容的前提下,融入学习内容的先进性、时效性,实现学生熟练运用乃至可以指导自身科学辨别以及传播正确科学常识的学习目的,这是食品添加剂课程新常态下的教学目标,也是教学改革所要探索的重要方向。

参考文献

- [1] 张来明. 重视食品安全 保障人民健康[N]. 中国经济时报, 2014-09-24(006).
- [2] 段艳红, 董斌. 高校食品添加剂课程改革研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(27): 345-346.
- [3] 黄升谋, 余海忠, 汤尚文, 等. 食品安全学互动教学方法研究[J]. 绿色科技, 2016(23): 151-152.
- [4] 楼军江. 反思自觉: 应用型高校教师教学立场的探索与建立[J]. 中国高等教育, 2014(2): 42-45.
- [5] 吴秉健. 基于布鲁姆教学目标分类的翻转学习模式研究[J]. 中小学信息技术教育, 2013(3): 62-66.
- [6] 陈明选, 杨娟. 着重理解的翻转课堂学习活动设计[J]. 开放教育研究, 2015, 21(6): 95-103.
- [7] 农业机械学报, 2011, 42(8): 94-98.
- [8] 胡晓利. 原位三点弯曲测试装置的开发与试验研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [9] 周文秀. 玉米籽粒的物理力学特性研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015.
- [10] FIGUEROA J D C, HERNÁNDEZ Z J E, VÉLES M J J, et al. Evaluation of degree of elasticity and other mechanical properties of wheat kernels[J]. Cereal chemistry, 2011, 88(1): 12-18.
- [11] HOU J, SUN Y, CHEN F, et al. Analysis of microstructures and macrotextures for different apple cultivars based on parenchyma morphology[J]. Microscopy research and technique, 2016, 79(4): 304-312.
- [12] 张新伟, 高连兴. 玉米种子内部机械裂纹扩展过程研究[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(2): 123-127.
- [13] 王广万. 玉米籽粒压缩力学特性有限元分析[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(1): 117-120.
- [14] 吴杰, 任奕林, 王恒志. 稻谷加工断面裂纹显微图像识别研究[J]. 广东农业科学, 2014, 41(5): 213-216.

(上接第 213 页)

新思路。在确定了原位力学试验可行性基础上,对原位试验的裂纹形貌图像进行分析,为后续进行粮食物料的力学研究打下基础。

参考文献

- [1] 张维东, 韩喜国, 任英, 等. 吉林省玉米生产现状及建议[J]. 现代农业科技, 2012(19): 50-51.
- [2] 牛海华, 赵武云, 史增录. 玉米籽粒力学特性的研究进展及应用[J]. 中国农机化, 2011(2): 101-104.
- [3] 程绪铎, 高梦瑶, 杜小翠, 等. 稻谷籽粒的压缩特性与含水率关系的实验研究[J]. 粮食储藏, 2015, 44(1): 6-10.
- [4] SHARMA R, SOGI D S, SAXENA D C. Dehulling performance and textural characteristics of unshelled and shelled sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds[J]. Journal of food engineering, 2009, 92(1): 1-7.
- [5] 李心平, 李玉柱, 马福丽, 等. 玉米种子抗压特性及裂纹生成规律[J].