

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2021.03.021

吴丽华, 赵胜娟, 赵晶晶. 小麦中呕吐毒素含量与质量的关系及其在加工过程中的变化研究[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(3): 157-162.

WU L H, ZHAO S J, ZHAO J J. Relationship between vomiting toxin and quality in wheat and its changes during processing[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(3): 157-162.

# 小麦中呕吐毒素含量与质量的关系 及其在加工过程中的变化研究

吴丽华<sup>1</sup>, 赵胜娟<sup>2</sup>, 赵晶晶<sup>1</sup>

(1. 西安市粮油质量检验中心, 陕西 西安 710003;

2. 河南科技大学 食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471000)

**摘要:** 研究检测小麦样品中容重、赤霉病粒、不完善粒、色泽以及呕吐毒素等指标, 通过数据分析, 得出小麦呕吐毒素含量与赤霉病粒存在一定的正相关, 并检测小麦籽粒不同部位呕吐毒素的含量。结果显示, 皮层、糊粉层高于胚乳; 对小麦进行筛理, 去除杂质和赤霉病粒, 发现经过筛理小麦中呕吐毒素含量会下降 4.6%~22%; 对比分析小麦粉和小麦粉馒头中呕吐毒素的含量, 发现小麦粉通过蒸煮等加工过程, 呕吐毒素含量并不会减少, 仍然有较高残留。

**关键词:** 呕吐毒素; 小麦; 赤霉病粒; 容重; 杂质; 不完善粒; 色泽

中图分类号: TS211.7; TS210.7 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2021)03-0157-06

## Relationship between Vomiting Toxin and Quality in Wheat and its Changes during Processing

WU Li-hua<sup>1</sup>, ZHAO Sheng-juan<sup>2</sup>, ZHAO Jing-jing<sup>1</sup>

(1. Xi'an Grain and Oil Quality Inspection Center, Xian, Shanxi 710003, China;

2. Henan University of Science and Technology, Food and Bioengineering, Luoyang, Henan 471000, China)

**Abstract:** In this study, unit weight, *Gibberella* damaged kernels, imperfect kernels, color, vomiting-toxin and other indexes in wheat samples were studied and tested. Through data analysis, it was concluded that there was a certain positive correlation between vomiting-toxin and scab grains in wheat. And the content of vomit toxin in different parts of wheat grain was detected. The results showed that the cortex and aleurone layer were higher than the endosperm. After screening wheat, impurities and scab grains were removed. And the vomiting-toxin content would decrease from 4.6% to 22%. Comparing the content of vomiting-toxin in wheat flour and wheat flour steamed buns, it was found that wheat flour was not decreased and still had high residue after cooking and other processing.

**Key words:** vomiting toxin; wheat grains; scab grain; unit weight; impurity; imperfect grains; color

收稿日期: 2020-08-03

基金项目: 国家粮食和物资储备局粮食质量安全监测项目专项经费 (SX2019)

Supported by: Food Quality and Safety Monitoring Project of National Food and Strategic Reserves Administration (No. SX2019)

作者简介: 吴丽华, 女, 1978 年出生, 硕士, 高级工程师, 研究方向为粮油食品检测技术研究开发、食品中污染物监测与风险评估。

E-mail: wulihua0820@126.com.

脱氧雪腐镰刀菌烯醇(Deoxynivalenol, DON), 是由小麦赤霉病菌禾谷镰刀菌复合群产生的单端孢霉烯族毒素, 普遍存在于粮食作物及其制品中<sup>[1-3]</sup>。由于能够引起动物呕吐等中毒症状, 故又称为呕吐毒素(Vomiting toxin)。近年来, 小麦赤霉病爆发频率增加, 呕吐毒素已经成为小麦增产与质量安全的主要威胁。目前, 国内部分粮库在收粮时应用胶体金快速检测方法对呕吐毒素进行监测, 但由于目前快速检测设备生产厂家很多、质量差异较大, 有些仪器检测结果稳定性差、存在假阳性, 进口的设备试纸条较贵、如果收粮时每车都进行检验成本太大, 根本无法实现, 因此有些学者研究了呕吐毒素含量与赤霉病粒含量的相关性, 引入赤霉病粒作为指导收购的参照指标<sup>[4]</sup>。现有的研究模拟呕吐毒素小麦样品过于理想化, 结论表明呕吐毒素含量和赤霉病粒含量相关性较为显著<sup>[5]</sup>, 在实际检测工作中发现小麦中呕吐毒素含量和赤霉病粒含量的相关性并不显著, 受其它因素影响, 因此, 本研究综合分析了呕吐毒素含量与小麦赤霉病粒、不完善粒、容重等质量指标的关系。

2019 年, 国家发布《食品安全国家标准 真菌毒素限量标准》(征求意见稿)<sup>[6]</sup>, 征求意见稿中将小麦呕吐毒素限量从原标准的 1 000  $\mu\text{g}/\text{kg}$  提高到 2 000  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 小麦粉及其制品中呕吐毒素限量依然保持在 1 000  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[7]</sup>。有研究显示小麦在加工成小麦粉和制品过程中呕吐毒素含量会减少<sup>[8-9]</sup>, 本研究在大量呕吐毒素阳性小麦样品检测数据的基础, 综合分析了呕吐毒素在小麦籽粒中分布及制粉过程中、馒头加工过程中含量的变化, 希望对于小麦及其制品中呕吐毒素最高限量值的设定、风险评估, 以及采用适当的加工措施减少呕吐毒素残留量给予数据支持<sup>[10-11]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

小麦(硬质小麦, 三等), 每份样品 2~4 kg: 西安市储备粮抽检样品; 呕吐毒素标准物质: 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 青岛普瑞邦公司生产; 呕吐毒素免疫亲和柱: 美国 ROMER 公司。

### 1.2 仪器设备

SERIES II MILL 二次取样研磨机: 美国 Romer 公司; LRMM8040-3-D 实验磨粉机: 中国无锡锡粮机械制造有限公司; HY-T 调速多用振荡器: 国华电器有限公司; Z32HK 高速冷冻离心机: 德国贺默公司; TurboVap LV Biotage 氮吹浓缩仪: 美国 ciliper 公司; 固相萃取装置: 博纳艾杰尔; 醒发箱: 北京东方孚德技术发展中心; Agilent1200 高效液相色谱仪配紫外检测器、C18 色谱柱(Agilent Eclipse XDB -C18 型, 250 mm $\times$ 4.6  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$ ): 美国安捷伦仪器公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 质量指标检测方法

小麦中不完善粒、赤霉病粒及病斑粒的检验参考 GB/T 5494—2019<sup>[12]</sup>; 小麦容重检验参考 GB/T 5494—2019《粮油检验 容重测定》; 小麦粉的制备参考 GB/T 20571—2006《小麦储存品质判定规则》附录 A<sup>[13]</sup>; 馒头的制作参考 GB/T 20571—2006《小麦储存品质判定规则》附录 A, 为防止小麦粉间交叉污染, 本试验采用手工方法和面、压片和成型; 全麦粉制备及样品中呕吐毒素含量的检测参考 GB 5009.111《食品安全国家标准食品中脱氧雪腐镰刀菌烯醇及其乙酰化衍生物的测定》第二法<sup>[14]</sup>。

#### 1.3.2 试验设计

采用 2.1 方法检测小麦样品中容重、色泽、不完善粒、赤霉病粒、呕吐毒素含量, 试验结果进行相关性分析; 去除小麦样品中的杂质、病斑粒, 比较净麦处理前后样品中呕吐毒素含量的变化; 分别检测整粒小麦、麸皮及小麦粉中呕吐毒素含量, 了解呕吐毒素在小麦籽粒不同部位的分布规律; 将小麦粉制成馒头, 比较小麦粉及馒头中呕吐毒素的含量, 比较不同蒸煮时间馒头中呕吐毒素的含量, 了解馒头加工过程对呕吐毒素含量的影响。

### 1.4 数据分析

采用 Excel 2003 进行呕吐毒素与容重、赤霉病粒、不完善粒的相关性、小麦籽粒不同部位呕吐毒素的分布、小麦赤霉病粒与净麦前后呕吐毒素降低率之间关系的分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦呕吐毒素含量与小麦赤霉病粒含量的关系

小麦中赤霉病粒、不完善粒、容重及呕吐毒素含量见表1,进行不完善粒和呕吐毒素含量相关性分析,得出小麦中不完善粒含量与呕吐毒素含量不具有相关性, $R^2=0.19$ ,因为大部分小麦的不完善粒以破损粒为主,破损粒是在小麦机械收割时产生的,与呕吐毒素没有直接关系;进行赤霉病粒和呕吐毒素含量相关性分析,发现小麦中赤霉病粒的含量与呕吐毒素含量具有一定的正相关, $R^2=0.6752$ ,这是因为赤霉病是产生呕吐毒素的原因;之所以不具有显著的相关性,这与赤

霉病产生的时期及赤霉病粒的形成有关,小麦的扬花期和灌浆期是赤霉病感染的重要节点,如果在扬花期感染,常常导致小麦难以发育成熟而导致呆白粒、病死粒等赤霉病粒,这样的小麦赤霉病粒越多,呕吐毒素含量越高;如果在灌浆期也常常因连续阴雨或高湿度导致赤霉病爆发,但籽粒发育较好,如没有赶上阴雨天气,病菌并不会产生色素,这样的小麦虽然小麦籽粒中呕吐毒素含量很高,但外观却不明显。另外如果是收获季节遇到阴雨天气导致小麦发生霉变产生赤霉病粒,这时赤霉病并不一定产生大量毒素,如果后期及时晾晒干燥,在合适条件下储存,并不会导致呕吐毒素含量增加<sup>[15-16]</sup>。

表1 小麦样品容重、色泽、赤霉病粒、不完善粒含量及呕吐毒素含量

Table 1 Unit weight, color, *Gibberella* damaged kernels, imperfect kernels, and vomiting-toxin content of wheat sample

样品序号	容重/(g/L)	不完善粒/%	赤霉病粒/%	呕吐毒素含量/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	样品序号	容重/(g/L)	不完善粒/%	赤霉病粒/%	呕吐毒素含量/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
1	783	4.0	未检出	小于200	16	765	4.0	1.1	1790
2	812	1.9	未检出	小于200	17	764	3.2	1.1	1821
3	785	4.0	未检出	小于200	18	761	1.9	1.0	1804
4	788	2.2	0.1	281	19	761	4.7	1.4	1436
5	803	2.4	0.1	299	20	758	5.4	1.4	1553
6	769	3.7	0.4	348	21	752	7.3	0.7	1612
7	798	3.4	0.1	388	22	759	4.0	1.8	1631
8	773	5.4	0.4	443	23	754	5.4	2.2	1618
9	767	5.4	0.3	631	24	756	5.2	4.0	1780
10	768	3.8	0.4	705	25	749	6.1	4.2	1826
11	761	3.9	0.3	789	26	753	7.4	4.3	1840
12	758	3.6	0.4	828	27	750	6.8	4.4	2018
13	759	2.4	0.3	866	28	748	7.6	3.2	1924
14	762	3.9	0.6	942	29	749	8.2	4.4	2320
15	765	4.4	1.0	1018	30	748	8.6	4.6	2535

由图1可以看出:小麦容重与呕吐毒素含量呈一定负相关,这是因为小麦感染赤霉病后,外观形态发生变化,如籽粒皱缩等,导致容重下降。在实际工作中发现少量小麦质量较好、容重较高,但是仍然有呕吐毒素检出,这是因为如果小麦在灌浆期或接近收获时期遇到阴雨天气,从而感染霉菌毒素,这时小麦籽粒已经长成,所以赤霉病不会引起籽粒的皱缩,所以对于容重影响不大。图1可以看出容重差异较大的小麦之间,一般容重高的呕吐毒素含量低,而容重差异较小的小麦容重与呕吐毒素含量负相关性不明显,这是因为

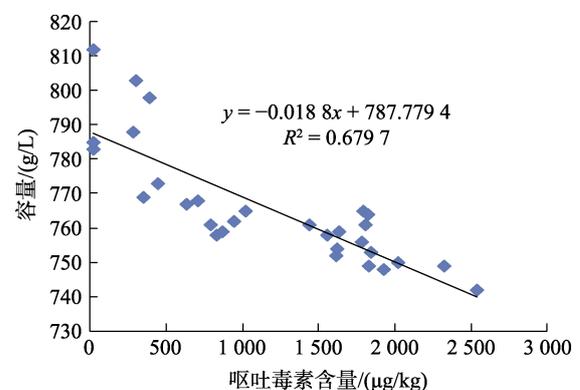


图1 容重与呕吐毒素含量的关系  
 Fig. 1 Relationship between unit weight and vomiting toxin content

小麦容重除了受籽粒饱满度、籽粒大小影响外，还受到水分、杂质等其他因素的影响<sup>[17-18]</sup>。

### 2.2 筛理净化对小麦呕吐毒素含量的影响

从表 2、图 2 可以看出，小麦在去除杂质、病斑粒后，呕吐毒素含量会降低 4.6%~22%，赤霉病粒含量越高的小麦在去除赤霉病粒后，呕吐毒素降低的程度越大。但经净化处理，小麦样品中呕吐毒素去除率有限，这是因为净化处理只是

去除了赤霉病粒，但实际上正常的小麦籽粒中也已经侵染了呕吐毒素<sup>[19]</sup>。

### 2.3 呕吐毒素在小麦籽粒中的分布

从图 3、表 3 可以看出，小麦皮层较胚和胚乳中呕吐毒素含量高 6.5%~29%，小麦制成小麦粉时，去除了大量皮层和杂质等，呕吐毒素含量会降低 5%~25%。

表 2 净麦前后呕吐毒素的含量变化

Table 2 Changes of vomiting toxin content of wheat before and after purifying and screening

样品序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
处理前呕吐毒素含量/(μg/kg)	1 804	1 618	1 436	1 270	1 170	942	866	705	388	348
处理后呕吐毒素含量/(μg/kg)	1 693	1 446	1 269	1 186	991	876	812	647	370	325
呕吐毒素减少率/%	6.2	11	12	6.6	22	7.0	6.2	8.2	4.6	6.6
病斑粒含量/%	1.0	1.3	3.7	3.0	2.3	1.6	1.2	1.6	0.6	1.2
赤霉病粒含量/%	0.8	1.1	1.3	0.7	2.2	0.6	0.3	0.4	0.1	0.4

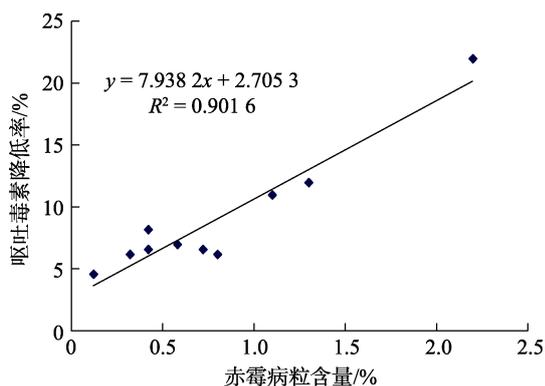


图 2 赤霉病粒含量与净麦后呕吐毒素降低率的关系

Fig. 2 Relationship between scab grain content and vomiting toxin reduction rate of purified and screened wheat

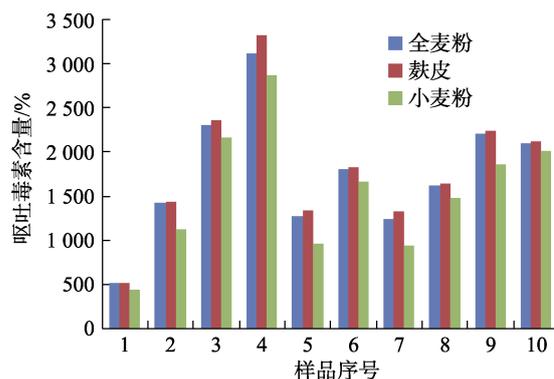


图 3 小麦籽粒不同部位呕吐毒素含量比较

Fig. 3 Comparison of vomiting toxin content in different parts of wheat grain

表 3 小麦粉加工过程呕吐毒素含量的变化

Table 3 Changes of vomiting toxin content in wheat flour during processing

样品序号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
呕吐毒素含量/(μg/kg)	全麦粉	514	1 422	2 300	3 106	1 270	1 804	1 240	1 621	2 200	2 100
	麸皮	520	1 435	2 356	3 317	1 334	1 824	1 324	1 642	2 232	2 113
	小麦粉	443	1 118	2 161	2 865	956	1 663	934	1 475	1 861	2 004
小麦粉较全麦中降低的比例/%		14	21	6.0	8.0	25	7.8	25	9.0	15	4.6
麸皮高出小麦粉的比例/%		15	21	6.5	14	28	8.8	29	10	12	5.2
麸皮高出全麦粉的比例/%		1.2	0.9	2.4	6.8	5.0	1.1	6.7	1.3	1.5	0.6

### 2.4 馒头加工过程对呕吐毒素含量的影响

把小麦粉制成馒头，分别测定小麦粉及馒头中的呕吐毒素含量，每个样品重复三次测定去平均值，结果见表 4、表 5。如表中所示，小麦粉制

成馒头的过程中，无论蒸煮时间长短，呕吐毒素含量都不会发生变化，说明呕吐毒素稳定性很好，在小麦粉发酵、醒发及蒸煮等加工过程中不会发生降解。

表 4 小麦粉及小麦粉馒头中呕吐毒素的含量比较

Table 4 Comparison of vomiting toxin content in wheat flour and wheat flour steamed buns

样品序号\项目		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
呕吐毒素	小麦粉	235	363	856	1 663	986	1 118	1 631	1 804	2 018	2 535
含量/(ug/kg)	馒头	279	267	738	1 664	1 030	1 121	1 628	1 768	2 020	2 538

表 5 不同蒸煮时间小麦粉馒头中呕吐毒素的含量

Table 5 Contents of vomiting toxin in wheat flour steamed buns with different cooking times

样品序号\项目		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
呕吐毒素	蒸煮 15 min	279	267	738	1 664	1 030	1 109	1 620	1 768	2 020	2 538
含量/(ug/kg)	蒸煮 20 min	269	272	735	1 654	1 035	1 126	1 631	1 752	2 018	2 541
	蒸煮 25 min	276	265	726	1 662	1 041	1 113	1 625	1 747	2 015	2 530

### 3 结论

小麦中呕吐毒素含量与赤霉病粒具有一定的正相关、与容重具有一定的负相关。通常,如果小麦样品中赤霉病粒为未检出,则此小麦中呕吐毒素含量小于 200  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ;一些感官检测色泽均匀、光泽度好、气味正常、颗粒饱满且容重大于 790  $\text{g}/\text{L}$ 、无霉变粒、赤霉病粒小于 0.5% 的小麦,呕吐毒素含量均会低于 200  $\mu\text{g}/\text{kg}$  或未检出;因此,在小麦收储现场,对于赤霉病粒未检出、不完善粒低于 3.0%、容重高于 780  $\text{g}/\text{L}$  的小麦可以不进行呕吐毒素检测,判其呕吐毒素为合格;对于赤霉病粒含量高于 3.0%、不完善粒高于 5.0%、容重低于 750  $\text{g}/\text{L}$ 、色泽灰暗的小麦应重点关注其呕吐毒素含量,其呕吐毒素含量一般会超标。在收粮现场采用胶体金法进行呕吐毒素快速筛查时,有时会因为环境温度、人员操作熟练度等原因等造成结果偏差,如果结合本试验总结的规律参考质量指标再进行判读可以提高结果的准确度。

由于筛理净化能去除小麦中大部分赤霉病粒,呕吐毒素在小麦籽粒中的含量皮层高于胚和胚乳层,因此目前先进的小麦制粉工艺,通过风选、次选、色选等过程可以大大降低呕吐毒素含量。但是由于小麦赤霉病已经侵染了正常小麦籽粒,所以降低程度是有限的。由于呕吐毒素性质稳定,在小麦粉加工成馒头等制品过程中呕吐毒素不会降解,“国家食品安全标准 真菌毒素限量标准”征求意见稿中将小麦中呕吐毒素限量值调整到 2 000  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,建议进一步增加生产过程中的研究数据,保障小麦加工制品中呕吐毒素质量安全。

### 参考文献:

- [1] ADRIANA S, MARIA N I, MARIA D. Papageorgiou. Optimized and validated high-performance liquid chromatography method for the determination of deoxynivalenol and aflatoxins in cereals [J]. *Liquid Chromatography*, 2016, 9(39): 1425-1432.
- [2] 小麦粉抽检报告:“呕吐毒素”超标居多,香满园、五得利、亲民食品上榜[R]. 消费者报道,2020,04.  
Wheat flour sampling inspection report: "vomiting toxin" exceeded the majority, Xiangmanyuan, Wudi, civilian food was listed[R]. *Consumer reports*, 2020, 04.
- [3] 宫春波,董峰光,刘国胜,等. 2016 年山东省居民馒头来源脱氧雪腐镰刀菌烯醇膳食暴露风险评估[J]. *卫生研究*, 2019, 2(48): 307-311.  
GONG C B, DONG F G, LIU G S, et al. Risk assessment of dietary exposure to deoxyrhychnus enol from steamed bread for residents of Shandong Province in 2016[J]. *Health research*, 2019, 2(48): 307-311
- [4] 何慧慧,李力,郑学玲,等. 赤霉病小麦分级后特性与真菌毒素含量的相关性研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2016, (2)37: 5-10.  
HE H H, LI L, ZHENG X L, et al. Studies on the correlation between the characteristics of scab wheat grading and mycotoxin content[J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science edition)*, 2016, (2)37: 5-10.
- [5] 苏宪庆,顾伟,濮祖跃,等. 小麦呕吐毒素含量与赤霉病粒含量相关性研究[J]. *食品与油脂*, 2015(12): 2822-24.  
SU X Q, GU W, PU Z Y, et al. Studies on the correlation between vomiting-toxin content and Scab grain content in wheat[J]. *Food and Oil*, 2015(12): 2822-24.
- [6] 《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》(征求意见稿)文本,20190422.  
national Food Safety Standard Limit of mycotoxin in Food (draft for comments) Text, 20190422.
- [7] 《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》: GB 2761—2017[S].  
《National Food Safety Standard Limit of mycotoxin in Food》: GB 2761—2017[S].
- [8] 武传欣,程小丽,孙伟. 粮食中呕吐毒素的研究进展[J]. *粮食*

- 加工, 2016, 4(41): 48-51.
- WU C X, CHENG X L, SUN W. Progress in research on vomiting toxin in grain[J]. Grain processing, 2016, 4(41): 48-51.
- [9] ELISABETTA DE A, LINDA M, MICHELANGELO P, et al. Fate of deoxynivalenol, T-2 and HT-2 toxins and their glucoside conjugates from flour to bread: an investigation by high-performance liquid chromatography high-resolution mass spectrometry[J]. Food Additives & Contaminants: Part A, 2013, 2(30): 345-355.
- [10] 杨雪丽. 2014 年新疆 5 地州地产小麦粉、玉米粉及 2016 年乌鲁木齐市面制品中呕吐毒素及其衍生物的污染水平调查[D]. 兰州大学硕博论文.
- YANG X L. Investigation on the pollution level of vomitoxin and its derivatives in wheat flour, corn flour and products on the market in Urumqi, Xinjiang in 2014 and 2016[D]. PhD thesis of Lanzhou University.
- [11] 殷芳媛, 田明胜, 王李伟, 等. 上海市居民小麦粉中脱氧雪腐镰刀菌烯醇及其乙酰衍生物的暴露评估[J]. 卫生研究, 2015, 4(44): 661-665.
- YIN F Y, TIAN M S, WANG L W, et al. Exposure assessment of deoxyrhyrachus enol and its acetylated derivatives in wheat flour of Shanghai residents[J]. Health research, 2015, 4(44): 661-665.
- [12] 《粮油检验 粮食、油料的杂质、不完善粒检验》: GB/T 5494—2019[S].
- 《Grain and Oil Inspection Impurities and Imperfect Grain of Grain and Oil》: GB/T 5494—2019[S].
- [13] 《小麦储存品质判定规则》: GB/T 20571—2006 附录 A[S].
- 《appendix A of the wheat storage quality decision rules》: GB/T 20571—2006[S].
- [14] 《食品安全国家标准 食品中脱氧雪腐镰刀菌烯醇及其乙酰化衍生物的测定》: GB 5009.111[S].
- 《National Food Standard for Food Safety Determination of Fusobacterium deoxyrhyrachus enol and its acetylated derivatives》: GB 5009.111[S].
- [15] 陈英侠, 赵颖丽, 金祥龙. 小麦赤霉病病害症状、发病因素及防病对策[J]. 乡村科技, 2020, 4: 80-81.
- CHEN Y X, ZHAO Y L, JIN X L. Symptoms, pathogenic factors and prevention measures of wheat Scab disease[J]. Rural Science and Technology, 2020, 4: 80-81.
- [16] 翟二华, 焦军伟. 小麦赤霉病的发生与防治[J]. 河南农业, 2020, 3: 40-41.
- ZHAI E H, JIAO J W. Occurrence and control of wheat scab[J]. Henan Agriculture, 2020, 3: 40-41. (in Chinese with English abstract)
- [17] 陈赛赛, 周显青, 胡育铭, 等. 不完善粒类型对小麦容重的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2013, 6(34): 51-55.
- CHEN S S, ZHOU X Q, HU Y M, et al. Effects of incomplete grain type on bulk density of wheat[J]. Journal of henan university of technology (natural science edition), 2013, 6(34): 51-55.
- [18] 郑立飞, 范展飞, 冯浩, 等. 小麦产量因素对籽粒容重影响的通径分析[J]. 生物数学学报, 2018, 30(4): 721-727.
- ZHENG L F, FAN Z F, FENG H, et al. Path analysis of the effect of wheat yield factors on grain bulk density[J]. Chinese Journal of Biological Mathematics, 2012, 30(4): 721-727.
- [19] 徐存宽, 黄伟, 孙宝胜. 呕吐毒素在小麦正常粒和赤霉病粒中的分布情况研究[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(1): 78-80.
- XU C K, HUANG W, SUN B S. Research on the distribution of deoxynivalenol in wheat[J]. Cereals & Oils, 2019, 32(1): 78-80. ㊞
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 ( <http://llyspkj.ijournal.cn/ch/index.aspx> ), 中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。