

紫苏种子适宜的液体分选全程技术研究

侯浩楠¹ 达卓娅¹ 吴伟锋¹ 许亚男¹ 程莹¹ 董学会¹
宁翠玲² 杨成民³ 曹海禄⁴ 孙群¹

(¹ 中国农业大学农学院 / 中国农业大学中药材研究中心 / 农业农村部农作物种子全程技术研究北京创新中心 / 北京市作物遗传改良重点实验室, 北京 100193; ² 承德恒德本草农业科技有限公司, 河北承德 067000; ³ 中国医学科学院药用植物研究所, 北京 100193; ⁴ 恒德本草(北京)农业科技有限公司, 北京 100070)

摘要:为进一步推进液体分选在提升种子质量方面的应用,选用紫苏种子(发芽率约55%)为材料,分别采用0.85g/cm³、0.90g/cm³、0.95g/cm³、1.00g/cm³的乙醇溶液作为分选液体,对紫苏种子进行分选。结果表明:紫苏种子的比重与种子活力显著相关,如采用0.90g/cm³、0.95g/cm³的乙醇溶液进行分选,获选紫苏种子占比分别为88.3%和67.7%,发芽率分别显著提升至78.9%和88.3%,均达到紫苏种子的相关质量标准要求,效果均显著优于传统的风选-圆孔筛筛选-比重选清选工艺(获选占比61.9%,发芽率68.0%)。综合确定紫苏种子液体分选全程工艺为:用0.90g/cm³的乙醇溶液分选紫苏种子,捞出下沉的种子,离心甩干3min,43℃旋转烘干35min。

关键词:紫苏种子;比重;液体分选

紫苏(*Perilla frutescens* L. Britt.)为唇形科紫苏属一年生草本植物,是我国传统中药材之一,以全草入药,具解表散寒、行气宽中的功效。为满足市场需求,我国已开始大规模规范化人工种植紫苏。但目前市场上销售的紫苏种子大多从大田或野生直接采收而来,种子净度、种子出苗率、出苗整齐度偏低。紫苏种子质量相关的两个标准,即中华人民共和国农业行业标准 NY/T 2494—2013^[1]和河北省地方标准 DB13/T 1320.1—2010^[2],其规定的净度标准(≥95%)和发芽率标准(≥75%)均远低于农作物种子的质量标准。种子质量已成为制约紫苏规范化生产和发展的“瓶颈”^[3-5]。

种子清选是提升种子质量的重要手段之一,主要按种子的物理特性(如宽度、厚度和长度、比重、临界悬浮速度、颜色等)除去种子中的夹杂物质,如

未成熟的、破碎的以及遭受病虫害的种子和杂草种子,提升种子的净度和发芽率,其中风筛清选和比重清选是种子加工流水线上的两道核心工序。紫苏种子的清选一般参考农作物种子的加工工艺,比重清选机的分选依据就是种子比重与种子质量密切相关,但比重清选机的分选效果严重依赖于操作者的参数调整经验,且不同物料出口不可避免存在一定的带出率。液体分选可有效避免上述两个问题,欧洲选用一种特殊的可挥发液体作为分选介质,应用于蔬菜种子的精选,获得了优异的提升效果。传统的液体分选主要以水为介质,分离后的种子需要及时回干,适用于小批量种子。液体分选在区分乌拉尔甘草、黄芪、苦豆子的硬实和非硬实种子方面获得了较为理想的效果^[6-7];潘威等^[8]通过混合石油醚和氯仿,得到不同比重的分选液体,通过试验认为处于1.0~1.2g/mL之间的烟草种子为萌发整齐、发芽势、发芽率高的良种。田叶飞^[9]通过对番茄、辣椒比重进行分级,发现种子比重与3个发芽指标均

基金项目:国家中医药管理局“科技助力经济2020”重点专项(202004610111024)
通信作者:孙群,曹海禄

响. 中国瓜菜, 2019, 32(9): 50-53
[8] 杜松, 徐刚. 榆林市北部风沙草滩区农业发展状况研究. 太原师范学院学报(自然科学版), 2011, 10(1): 149-153
[9] 梁瑞萍, 张仙保, 李秀华, 王亮明, 徐海波, 乌兰. 包头市固阳县马铃

薯新品种引进及适宜性评价. 安徽农业科学, 2021, 49(10): 59-61
[10] 吕生全, 唐宗云, 曹有珍. 马铃薯新品种希森6号在武威市的表现及丰产技术研究. 农业科技通讯, 2019(10): 55-57

(收稿日期: 2022-04-08)

有正相关性。刘敏洁^[10]的研究认为 1.10~1.25g/mL 之间的甜玉米种子活力较高。朝兆明等^[11]、李彦利等^[12]用盐水对水稻种子进行分选,比重大于 1.17g/mL 的水稻种子出苗率较高。康淑琴等^[13]用 100g/L 蔗糖溶液对浸种 3d 的福建柏种子进行分选研究,下沉福建柏种子发芽率达到 97%。

与农作物种子相比,紫苏等中药材种子每批次数量较少,在中药材种子上使用液体比重法进行分选具有一定的优势。鉴于此,本研究拟以传统的种子机械加工清选方法为对照,筛选确定适宜的分选液体比重,并验证液体分选后种子的快速回干方法,确定液体分选的全程工艺,以期为生产上紫苏种子的清选精选提供参考和指导,促进紫苏的规范化生产。

1 材料与方法

1.1 试验材料 紫苏种子,收集于河北省安国市中药材批发市场,生产年份为 2021 年。

1.2 紫苏种子液体分选 通过调整蒸馏水和无水乙醇的比例,配制得到 0.85g/cm³、0.90g/cm³、0.95g/cm³、1.00g/cm³ (即蒸馏水)的分选溶液。选取紫苏种子 30g,倒入比重为 1.00g/cm³ 的溶液中,搅拌并静置 30s,将上层种子捞出沥水,倒入比重为 0.95g/cm³ 的分选溶液中,依次将上层种子通过 0.90g/cm³、0.85g/cm³ 溶液进行分选。各组溶液中下沉的种子随时捞出,即得到比重 >1.00g/cm³、0.95~1.00g/cm³、0.90~0.95g/cm³、0.85~0.90g/cm³、≤0.85g/cm³ 的 5 组不同比重区间的紫苏种子。种子捞出后迅速脱水晾干,称重,计算不同比重组种子所占的比例,保存备用。

1.3 传统加工清选(风选+筛选+比重选) 根据实验室前期预试验确定的参数及操作经验,首先通过风选对种子进行除杂,将虫蛀种子、轻杂、尘土及更细小的其他植物种子与紫苏种子进行分离,再进行圆孔筛筛选,将小土块、碎叶片、叶梗等杂质除去,然后进行比重选使不同比重物料从不同落料口排出,将比重较小的种子除去,以达到净种精选的目的。获选种子称重,保存备用。每个工序均反复进行多次,以保证每个工序都发挥出最佳清选效果。

1.4 紫苏种子指标测定 紫苏种子原始比重的测定采用比重瓶法进行测定^[14]。按 GB/T 2930.2—2017《草种子检验规程》^[15],对原始紫苏种子、液体选不同比重区间种子、机械加工获选种子进行净度

分析。

净度(%) = 净种子质量 / (净种子质量 + 其他植物种子质量 + 杂质质量) × 100

按 GB/T 2930.4—2017《草种子检验规程》^[16],取原始紫苏种子、液体选不同比重区间种子、机械加工获选种子进行标准发芽试验,25℃光照培养,第 3 天测发芽势,第 8 天测发芽率。

发芽势(%) = 第 3 天发芽种子数量 / 发芽试验总种子数 × 100

发芽率(%) = 第 8 天发芽种子数量 / 发芽试验总种子数 × 100

每个比重区间种子称取约 1g 种子,使用 FluoMini Pro 光学叶绿素荧光检测仪检测种皮叶绿素含量,重复 10 次。根据 GB/T 14488.1—2008《植物油料含油量测定标准》^[17],采用乙醚法测定不同比重区间紫苏种子的含油量。每个处理称取种子约 30g,参考刘敏洁^[10]的方法,对液体分选后的紫苏种子进行离心甩干(LG-30 型种子离心甩干机)和旋转烘干(HG-10 型种子旋转烘干机)。离心甩干至种子表面无浮水即可,烘干温度为 43℃,设 0r/min、5r/min、15r/min 3 个转速,烘干过程中,每隔 10min 测定种子重量,记录烘干至原始重量所需的时间。

1.5 统计分析 采用 Microsoft Excel 2016 进行数据整理,使用 IBM SPSS Statistics 21.0 软件进行相关性分析和方差分析。

2 结果与分析

2.1 传统加工清选紫苏种子质量分析 试验所用紫苏种子净度为 98.2%,显著高于现行的紫苏种子质量标准中对净度的要求,但发芽率只有 56%,未达到 75% 的要求。采用传统的清选方法:风选—圆孔筛筛选—比重选对紫苏种子进行处理^[18-19]。由表 1 可看出,紫苏种子经风选后净度从 98.2% 提升至 99.2%,发芽率提升到 64.7%,但提升不显著;再根据前期预试验确定的筛片及筛孔尺寸,即采用 1.5mm 和 2.3mm 孔径的圆孔筛对风选后的种子进行筛分,除去小土粒、极小粒和极大粒种子,1.5~2.3mm 的种子占比为 89.4%,净度进一步提升至 99.7%,但发芽率无显著变化;通过比重清选机处理后,最终获选种子占比 61.9%,发芽率达到 68.0%,与处理前相比,虽获得了显著提升,但仍未达到 75% 的标准。因此进一步尝试液体分选的效果。

表1 不同传统清选方法对紫苏种子质量的提升效果

类别	占比(%)	净度(%)	发芽势(%)	发芽率(%)	霉变率(%)
处理前种子	100.0	98.2 ± 0.1c	45.3 ± 6.8b	56.0 ± 3.3b	0.3 ± 0.5
风选	93.3	99.2 ± 0.2b	52.7 ± 7.7ab	64.7 ± 7.7ab	0.7 ± 0.9
圆孔筛(1.5~2.3mm)	89.4	99.7 ± 0.0a	50.7 ± 4.1ab	61.3 ± 9.0ab	0 ± 0
比重选	61.9	99.8 ± 0.0a	58.0 ± 5.9a	68.0 ± 4.9a	0.7 ± 0.9

风选、圆孔筛筛选、比重选依次在上一加工环节的基础上进行。同列不同小写字母表示 0.05 水平差异显著,下同

2.2 紫苏种子液体分选效果比较 经比重瓶法检测,该批紫苏种子的比重为 $0.94\text{g}/\text{cm}^3$,因此分选液体比重初步确定为 $0.90\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.95\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.00\text{g}/\text{cm}^3$,考虑到种子批中有较多的轻杂和破碎的种皮,多增加了 $0.85\text{g}/\text{cm}^3$ 比重的液体。无水乙醇的比重为 $0.79\text{g}/\text{cm}^3$,无毒易挥发,适宜用于分选液体的配制。经 4 种不同比重的乙醇溶液分选后,紫苏种子被分为 5 组。由表 2 可知,液体分选后得到 5 个比重区间的紫苏种子占比分别为 6.8%、4.9%、20.6%、57.3% 和 10.4%,经正态性检验符合正态分布规律 ($P<0.05$),大部分种子的比重在 $0.90\sim 1.00\text{g}/\text{cm}^3$ 之间,占比 77.9%。紫苏种子的发芽势、发芽率均随种子比重的增加而增加,与比重呈正相关关系。比重低于 $0.85\text{g}/\text{cm}^3$ 的分选物中含有大量轻杂,紫苏种子多为空粒或破碎粒,发芽率仅为 27.3%,发芽势仅为 5.3%;比重低于 $0.90\text{g}/\text{cm}^3$ 的 2 组种子占比 11.7%,发芽率仅为 33.5%。 $0.90\sim 0.95\text{g}/\text{cm}^3$ 比重组的紫苏种子,与处理前种子相比,发芽势、发芽率均有一定的提升,分别达到 52% 和 66%,但提升不显著。 $0.95\sim 1.00\text{g}/\text{cm}^3$ 比重组的种子,发芽势、发芽率均获得显著提升,其中发芽率达到 82.7%;比重 $>1.00\text{g}/\text{cm}^3$ 的紫苏种子,发芽率达到 83.3%,显著高于处理前的种子。在实际生产中如果更关注种子发芽率指标,可采用 $0.95\text{g}/\text{cm}^3$ 的乙醇溶液对种子进行分选,获选种子占比 67.7%,发芽率可达 82.8%,净度达到 99.3%。

如果希望能保留更多的种子,则采用 $0.90\text{g}/\text{cm}^3$ 的乙醇溶液对种子进行分选,获选种子占比 88.3%,发芽率可达 78.9%,净度达到 99.4%。采用比重为 $0.90\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.95\text{g}/\text{cm}^3$ 的乙醇液体分选,均能够达到现行的紫苏种子质量标准要求(发芽率 $\geq 75\%$)。本研究中液体比重分选法效果明显优于传统的机械清选法(图 1)。

在欧洲,种子叶绿素含量广泛应用于种子成熟度以及种子质量的表征^[20]。种子叶绿素含量高,则成熟度低;反之,叶绿素含量低则成熟度相对高。刘丽英等^[21]通过测定不同收获期紫花苜蓿干燥种子中的各项指标发现,苜蓿总叶绿素含量与粗蛋白、相对饲用价值呈极显著正相关,与中性、酸性洗涤纤维呈极显著负相关。本研究发现随着比重的增加,叶绿素含量有所下降,含油量有所上升(表 2)。比重 $>0.90\text{g}/\text{cm}^3$ 的种子平均叶绿素含量为 $0.068 \pm 0.002\text{mg}/\text{g}$,而 $\leq 0.90\text{g}/\text{cm}^3$ 的种子平均叶绿素含量为 $0.075 \pm 0.003\text{mg}/\text{g}$,说明比重大的种子,活力较高,其最根本原因是种子成熟度较高。紫苏种子榨出的油,其中亚油酸含量高,是一种天然的珍贵植物油。比重 $>0.90\text{g}/\text{cm}^3$ 的种子含油量为 34.5%,高于低比重的种子 25.2%,这也为生产紫苏油提供了参考,即紫苏种子可以先采用液体分选法筛选出比重较大的种子,再进行榨油处理。

表2 紫苏种子液体分选不同比重区间种子质量比较

比重(g/cm^3)	占比(%)	净度(%)	发芽势(%)	发芽率(%)	霉变率(%)	叶绿素含量(mg/g)	含油量(%)
处理前种子	100.0	98.1	44.0 ± 4.3b	56.0 ± 3.3bc	0.7 ± 0.9	0.070 ± 0.002b	33.5
≤ 0.85	6.8	95.9	5.3 ± 0.9c	27.3 ± 7.7d	1.0 ± 1.4	0.075 ± 0.003a	25.2
0.85~0.90	4.9	98.6	14.0 ± 1.6c	42.0 ± 4.3c	0.3 ± 0.5		
0.90~0.95	20.6	99.7	52.0 ± 8.2b	66.0 ± 9.1b	0.7 ± 0.9	0.068 ± 0.002c	34.5
0.95~1.00	57.3	99.7	74.7 ± 3.4a	82.7 ± 5.0a	0.7 ± 0.9		
>1.00	10.4	97.2	80.0 ± 2.8a	83.3 ± 2.5a	0.3 ± 0.5		

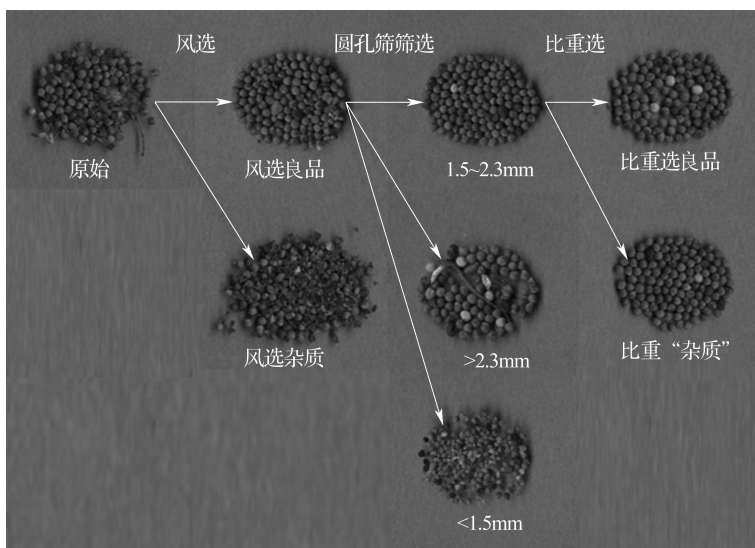


图1 风选、圆孔筛筛选及比重选后的紫苏种子样品

2.3 紫苏种子快速回干技术研究 液体分选结束后,种子表面沾附较多的水分,分选后的种子如不马上播种,必须立即干燥以保证种子具有适宜贮藏或加工的含水量^[22-23]。通过离心甩干机处理种子至种子表面无浮水,然后将种子放入旋转烘干机(HG-10蔬菜种子烘干机)中进行干燥处理,结果表明种子烘干机在同一温度、不同转速下干燥所需时长不同,紫苏种子在43℃下干燥,5r/min和15r/min干燥时间明显短于对照,43℃+5r/min干燥35min,种子回到原始重量(表3)。在转速15r/min时,种子的发芽势与发芽率较其余两处理有所降低,但不同转速处理间发芽势与发芽率均无显著差异。

3 讨论与结论

3.1 紫苏种子传统加工方法效果分析 目前市场上的紫苏种子质量差别较大,除了提升紫苏的种子生产技术,还需要筛选更合适的种子清选方法,以提升紫苏种子的质量。研究紫苏种子加工流程,实现紫苏大规模规范生产,对于紫苏可持续开发利用具有重要意义。本文按照传统机械加工流程,以风选—圆孔筛筛选—比重选的步骤进行筛选。最终获选的种子发芽势、发芽率均有显著提升,说明紫苏种子

借鉴现行的农作物种子加工流程是有效果的,体现出机械加工的效能,但与现行的紫苏种子质量标准中75%发芽率标准相比,仍需提高,获选种子占比61.9%,也需要进一步提升。

3.2 紫苏种子液体分选方法效果分析 本研究首次将液体比重选技术应用到紫苏种子上,为紫苏种子的加工工艺提供了更多的选择,为生产中大批量筛选高活力紫苏种子提供一种更为便捷高效的方法。使用液体分选方法能够有效减少操作者对机械参数调整的主观问题,且避免机械处理的带出率。使用液体分选紫苏种子方法操作简单,仅使用无水乙醇与蒸馏水进行配比,对种子无毒害作用^[8]。将种子分为5个不同的比重区间,分别为 $\leq 0.85\text{g/cm}^3$ 、 $0.85\sim 0.90\text{g/cm}^3$ 、 $0.90\sim 0.95\text{g/cm}^3$ 、 $0.95\sim 1.00\text{g/cm}^3$ 、 $>1.00\text{g/cm}^3$ 。通过方差分析,发现液体比重区间与多指标呈现线性相关,种子的发芽势、发芽率与含油量均随种子比重增加而增加。含油量是判断紫苏种子优劣的一项重要指标,筛选高油紫苏品种是现阶段非常重要的任务,郭梦桥等^[24]对10个不同品种的紫苏种子进行研究,发现粗脂肪含量与种子千粒重呈显著正相关。本研究发现,种子的含油量与比重

表3 液体分选紫苏种子烘干所需时间及烘干对发芽率的影响

温度(℃)	转速(r/min)	液体分选后增重(%)	回干时间(min)	发芽势(%)	发芽率(%)	霉变率(%)
43℃	0	9.8±1.4	50	66.0±6.0a	79.3±1.2a	0.7±0.6a
	5	10.7±0.9	35	62.0±5.3a	80.0±3.5a	0.3±0.6a
	15	10.4±1.5	40	59.3±5.0a	75.3±2.3a	0.3±0.6a

呈显著性相关,同样可以作为筛选高油紫苏品种的重要指标。

通过液体分选,发现随着比重的增加,其叶绿素含量也会发生相应的变化。 $\leq 0.85\text{g/cm}^3$ 种子的叶绿素含量显著高于其他比重区间的种子。通过 0.95g/cm^3 的乙醇溶液对种子进行分选,发芽率可达 82.8%;通过采用 0.90g/cm^3 的乙醇溶液对种子进行分选,发芽率可达 78.9%。采用比重为 0.90g/cm^3 、 0.95g/cm^3 的乙醇液体分选,均能够达到现行的紫苏种子质量标准要求,效果明显优于传统的机械清选方法处理紫苏种子。

3.3 紫苏种子快速回干技术效果分析 研究紫苏种子回干技术可以为紫苏后续加工和贮藏提供安全含水量参考,许多研究发现种子回干与温度和机器转速均有密切联系^[25],不适宜的温度则加重回干对种子后续萌发的危害作用,甚至可能导致种子失去活力。农作物种子进行烘干时,一般要求种温不能超过 43°C ,因此本研究将烘干温度确定为 43°C 。

本研究发现,使用 HG-10 蔬菜种子烘干机,在 43°C 、 5r/min 转速条件下,烘干 35min 即可达到原始含水量,不同转速处理对烘干后紫苏种子发芽势与发芽率均无显著影响,但相对于 5r/min , 15r/min 在发芽势与发芽率上略微有所降低。推断 5r/min 转速为回干液体分选后紫苏种子的适宜转速。实验室所用的种子量较少,大批量种子烘干时,可根据种子量对转速进行调整。

通过对紫苏种子进行传统机械加工清选、液体分选以及快速回干技术的研究发现,比重 $> 0.90\text{g/cm}^3$ 的紫苏种子含油量高于低比重的种子,为生产紫苏油提供了参考;且发芽率与净度均达到了现行的紫苏种子质量标准,可以作为生产分选的指标。 43°C , 转速 5r/min , 烘干 35min, 即可将种子烘干至原始含水量,可以作为烘干液体分选后种子的参考指标。

参考文献

- [1] 中华人民共和国农业部. NY/T 2494—2013 植物新品种特异性,一致性和稳定性测试指南 紫苏. 北京:全国植物新品种测试标准化技术委员会,2013
- [2] 河北省农林科学院经济作物研究所,河北省种子管理总站. DB13/T 1320. 1—2010 中药材种子质量标准 第1部分:紫苏. 石家庄:河北

- 省质量技术监督局,2010
- [3] 邓明瑞. 中药材种生产经营管理探讨——种子管理机构在贯彻实施新《种子法》中遇到的困难与挑战. 中国种业,2019(5): 34-37
- [4] 李新一,周晓丽,尹晓飞,李平. 我国草牧业发展的成效经验与问题对策. 中国草地学报,2019,41(6): 1-6
- [5] 林立. 白及种质资源评价及种子种苗质量标准研究. 贵阳:贵州大学,2019
- [6] 孙群,王建华,丁自勉,孙宝启. 乌拉尔甘草硬实和非硬实种子无损分离的液体比重法. 植物生理学通讯,2009,45(1): 60-62
- [7] 朱丽伟,黄艳艳,代小伟,王建华,孙宝启,孙群. 液体比重法无损分选多种植物种子硬实与非硬实的研究. 中国种业,2010(8): 52-55
- [8] 潘威,马文广,郑昀晔. 梯度密度有机介质分选烟草种子的质量比较. 江苏农业科学,2017,45(8): 71-74
- [9] 田叶飞. 主要蔬菜作物种子大小、比重对种子萌发及幼苗质量的影响. 泰安:山东农业大学,2012
- [10] 刘敏洁. 不同甜玉米种子活力比较及液体分选技术研究. 天津:天津农学院,2018
- [11] 韩兆明,陈秋雪. 不同密度盐水选种对寒地水稻秧苗素质的影响. 北方水稻,2010,40(4): 33-34
- [12] 李彦利,贾玉敏,孟令君,时羽,严光彬,范志刚. 不同盐水比重选种对水稻产量及品质的影响. 吉林农业科学,2011,36(1): 8-10
- [13] 康淑琴,姬莉,褚宣佑,吴小建,马祥庆. 利用比重分选技术的福建柏种子分选. 三明学院学报,2021,38(26): 1-5
- [14] 孙群,胡晋,孙清泉. 种子与贮藏. 北京:高等教育出版社,2008
- [15] 中华人民共和国农业部. GB/T 2930. 2—2017 草种子检验规程净度分析. 北京:中国国家标准化管理委员会,2017
- [16] 中华人民共和国农业部. GB/T 2930. 4—2017 草种子检验规程发芽实验. 北京:中国国家标准化管理委员会,2017
- [17] 国家粮食局. GB/T 14488. 1—2008 植物油料含油量测定. 北京:国家质量监督检验检疫总局,2008
- [18] 王木君,王登齐,王祎刚. 种子清选加工的必要性及机械的使用. 中国种业,2012(7): 31-33
- [19] 刘敏基,王妮,谢焕雄,王建楠,高学梅,彭宝良. 种子清选机现状浅析与发展思考. 中国农机化学报,2020,41(8): 101-107
- [20] 郑昀晔,禹晓梅,索文龙. 烟草种子成熟变化及判定方法研究. 植物分类与资源学报,2015,37(4): 472-478
- [21] 刘丽英,贾玉山,王志军,范文强,刘红梅,任倩楠,常春,尹强. 苜蓿干燥过程中叶绿素与营养物质含量的变化及相关性. 中国草地学报,2021,43(11): 60-68
- [22] 李先恩,陈震,赵杨景. 吸湿回干处理对甘草种子萌发的作用. 中国中药杂志,1995(1): 13-15,61
- [23] 朱旭海,尹冬梅,王仕玉,郭凤根,张文平. 5个紫苏变种的老化种子的活力研究. 种子,2016,35(4): 97-100
- [24] 郭梦桥,王晓飞,刘淑霞,魏国江,程薪宇. 紫苏种子表观性状与含油率的相关性分析. 种子,2019,38(11): 101-105
- [25] 马金星,屠德鹏,寇建村,冯葆昌,杜建材. 干燥温度对禾本科牧草种子脱水速率和发芽率的影响. 中国草地学报,2016,38(5): 53-58

(收稿日期: 2022-03-31)