

苘麻不同种群的种子萌发特性

孟帅帅, 黄兆峰, 苏杰天, 陈召霞, 姜翠兰,
马子晴, 黄红娟*, 魏守辉*

(中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要 为揭示农田恶性杂草苘麻种子的休眠萌发机制, 探寻基于休眠调控的绿色防控途径, 采用 60℃ 温水浸种 30 min+30℃ 恒温培养的方法测定了不同种群苘麻 *Abutilon theophrasti* 种子的萌发率、萌发势与萌发指数。结果表明, 供试的 18 个种群中, 种群 XJ01、JL04 和 JL01 的萌发率分别为 89.95%、89.18% 和 87.77%, 显著高于其他种群; 而种群 HB01 的萌发率最低, 仅为 41.50%。测定了萌发差异较大的种群 JL01 和 HB01 种子的萌发关键期指标, 发现 JL01 种群在温水浸种后培养 2 h 的吸胀数量、10 h 破皮数量和 20 h 露白数量, 显著高于 HB01 种群, 其种子数量分别是 HB01 种群的 1.37、1.76 和 2.96 倍。通过进一步比较 8 个种群种子的萌发吸胀、破皮与露白数量指标, 证实苘麻不同种群种子存在显著休眠萌发差异, 其原因可能是由于母体生活环境不同所致。

关键词 苘麻; 种子; 萌发; 种群差异

中图分类号: S 451 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2020266

Seed germination of different populations of *Abutilon theophrasti*

MENG Shuaishuai, HUANG Zhaofeng, SU Jietian, CHEN Zhaoxia, JIANG Cuilan,
MA Ziqing, HUANG Hongjuan*, WEI Shouhui*

(Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract In order to reveal the mechanism of seed dormancy and germination of *Abutilon theophrasti*, a worst weed in farmland, and develop the green prevention and control strategy based on dormancy regulation, the germination rate, germination potential and germination index of different populations of *A. theophrasti* were determined by soaking seeds in 60℃ warm water for 30 min and incubating in growth chamber at a constant temperature of 30℃. The results showed that the germination rates of XJ01, JL04 and JL01 were 89.95%, 89.18% and 87.77%, respectively, which were significantly higher than those of other populations. The germination rate of HB01 was 41.50%, which was significantly lower than those of other populations. Furthermore, the key germination parameters of JL01 and HB01 were measured during seed imbibition. It was found that there were significant differences between them in the numbers of seed imbibition in 2 h, seed coat rupture in 10 h and radicle protrusion in 20 h. These three parameters of JL01 were 1.37, 1.76 and 2.96 times higher than those of HB01, respectively. By comparing the numbers of seed imbibition, seed coat rupture, and radicle protrusion of eight *A. theophrasti* populations, we concluded that the difference of seed dormancy level was possibly related to the different environmental conditions of their mother plants, which resulted in the differences of seed germination among different populations of *A. theophrasti*.

Key words *Abutilon theophrasti*; seed; germination; population difference

苘麻 *Abutilon theophrasti* Medikus 为锦葵科一年生难治恶性杂草, 英文名 velvetleaf。其生长速度快、竞争能力强, 危害玉米、大豆、棉花等多种作物, 显著降低农作物产量。研究表明, 玉米田一定密

度苘麻危害可使玉米减产 70%^[1]; 大豆田苘麻密度达到 4~25 株/m² 时, 可使大豆减产 40%~50%^[2]; 苘麻也是棉田中最具竞争力的杂草之一, 严重危害棉花生长, 导致籽棉产量下降 50%^[3]。种子是苘麻

收稿日期: 2020-05-26

修订日期: 2020-07-24

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0200602); 兵团科技发展专项资金(2018AA006); 科技基础性工作专项(2013FY113200)

* 通信作者 E-mail: 魏守辉 shwei@ippcaas.cn; 黄红娟 hjhuang@ippcaas.cn

在不同生境中传播扩散的根源,休眠与萌发是其生活史的重要阶段。国外对苘麻种子萌发的报道集中于温度、渗透势^[4]、光照^[3-5]、土壤 pH、埋藏深度^[6]等环境因子,认为其休眠主要源于种皮被膜不透水^[6-9]。国内学者对苘麻种子的萌发机理也进行了一定研究,王金淑^[10]发现,采用温水浸种可以提高苘麻种子的萌发率。邓天福等^[11]发现低温处理能够打破种子休眠,苘麻的萌发率显著提高。常青山等^[12]对苘麻种子吸水率和内源抑制物质活性进行了初步测定,发现苘麻种子存在物理休眠与生理休眠。苘麻种胚被覆种皮和胚乳,对种子的休眠与萌发起重要调控作用。种皮由成熟的组织构成,保护种胚抵抗外界不利的环境条件^[13]。常青山等^[12]研究表明种皮极大阻碍种子对水分的吸收。种子萌发

始于干种子吸胀,完成标志是包被胚的组织即胚乳被胚根突破。作为一种在我国广泛发生危害的农田杂草,针对苘麻不同种群种子萌发特性的研究尚未见报道。本研究通过对不同地区采集的苘麻种子进行萌发水平检测,从中筛选出差异显著的种群,并进行萌发进程中关键指标的比较,以期明确苘麻种子的休眠萌发特性,为进一步阐明其休眠和萌发的内在机理,进而为制定有针对性的萌发调控措施提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

18 个供试苘麻种群种子于 2018 年采自全国 7 个省区,保存于中国农业科学院植物保护研究所杂草组种子库。各苘麻种群的种子采集信息见表 1。

表 1 18 个苘麻种群的种子采集信息¹⁾

Table 1 Seed sampling information of 18 *Abutilon theophrasti* populations

种群编号 Population	采集时间/年-月-日 Sampling date	采集地点 Sampling site	经纬度 Longitude and latitude	海拔/m Altitude	生境 Habitat
HLJ01	2018-09-20	黑龙江七台河市新兴区红旗镇	45°46′06″N,130°59′43″E	195	大豆田
HLJ02	2018-09-18	黑龙江黑河市嫩江县白云乡	49°15′26″N,125°19′48″E	230	大豆田
NMG01	2018-09-29	内蒙古通辽市开鲁县建华镇	43°45′52″N,121°19′52″E	230	向日葵田
NMG02	2018-09-28	内蒙古通辽市开鲁县建华镇	43°45′52″N,121°19′52″E	230	向日葵田
NMG03	2018-09-28	内蒙古兴安盟科尔沁右翼中旗杜尔基镇	45°01′32″N,121°30′10″E	230	向日葵田
JL01	2018-09-27	吉林四平市双辽市双山镇	43°17′96″N,123°52′15″E	165	玉米田
JL02	2018-09-27	吉林松原市长岭县太平川镇	44°29′04″N,123°08′21″E	150	向日葵田
JL03	2018-09-26	吉林长春市绿园区合心镇	43°57′11″N,125°05′49″E	180	玉米田
JL04	2018-09-26	吉林松原市长岭县前七号乡	44°11′34″N,123°41′58″E	160	玉米田
LN01	2018-09-17	辽宁辽阳市太子湖区沙岭镇	41°32′64″N,123°11′01″E	18	玉米田
LN02	2018-09-17	辽宁辽阳市太子河区沙岭镇	41°32′64″N,123°11′01″E	18	玉米田
LN03	2018-09-17	辽宁铁岭市开原市金沟子镇	42°40′55″N,124°02′49″E	103	玉米田
LN04	2018-09-17	辽宁鞍山市海城市腾鳌镇	41°02′36″N,122°51′10″E	15	水稻田
HB01	2018-09-20	河北沧州市吴桥县铁城镇	37°37′36″N,116°23′08″E	21	玉米田
HB02	2018-09-20	河北廊坊市广阳区九州镇	39°30′27″N,116°35′25″E	22	玉米田
BJ01	2018-09-15	北京海淀区马连洼街道	40°01′55″N,116°16′24″E	50	行道旁
SX01	2018-09-13	陕西宝鸡市扶风县杏林镇	34°22′36″N,107°53′44″E	465	玉米田
XJ01	2018-09-23	新疆昌吉回族自治州呼图壁县农六师芳草湖农场	44°32′18″N,86°40′52″E	180	玉米田

1) 18 个苘麻种群的种子表面颜色均为暗褐色;种群之间种子的成熟度一致。
The seed surface color of 18 *Abutilon theophrasti* populations is dark brown. The maturity of seeds is consistent between populations.

1.2 方法

1.2.1 苘麻种子萌发差异种群的筛选

参照常青山等促进苘麻种子萌发的专利^[14]和研究方法^[12],选择均匀饱满的苘麻种子作为试验材料,每个种群设置 3 次重复,每个重复 30 粒种子。将各重复的苘麻种子用医用纱布包好,并使用吊牌做好标记,在电热恒温水浴锅(DK-S24,上海森信试验仪器有限公司)中用 60℃的温水浸种 30 min。取

出已处理的苘麻种子,整齐摆放于直径 9 cm 铺有两层滤纸的一次性塑料培养皿中,滤纸用 5 mL 无菌水浸湿,使用封口膜将培养皿密封防止水分散失。所有培养皿置于智能人工气候培养箱(RXZ-280C,宁波江南仪器厂)中培养,培养条件为恒温 30℃,相对湿度 60%,光周期 L//D=12 h//12 h,每天定时补充水分始终保持滤纸湿润。试验过程中每天记录种子萌发数量,以胚根伸出种皮 1 mm 视为萌发种

子,种子连续 3 d 不再萌发视为试验结束。萌发率、萌发势、萌发指数采用以下公式计算:

萌发率: $F = n/N \times 100\%$ 。

式中 n 为供试种子萌发数量, N 为供试种子总数量,下同。

萌发势: $Fs = n_1/N \times 100\%$ 。

式中 n_1 为规定时间内萌发的种子数量(苘麻以培养 3 d 内正常萌发的种子数量计算)。

萌发指数: $GI = \sum G_t / D_t$ 。

式中 G_t 为 t 日的萌发数量, D_t 为相应的萌发天数^[15]。

1.2.2 不同苘麻种群萌发关键期指标的比较

苘麻种子萌发进程中经历 3 个明显形态变化阶段: 1)吸胀:种子较干种子体积显著增大,且颜色由暗褐色转变为棕色;2)破皮:种子胚根尖端处种皮出现肉眼可见裂缝,白色胚乳清晰可见;3)露白:种子破皮处可见胚根顶破胚乳帽,显现出白色胚根尖端。针对 1.2.1 中筛选出的萌发水平较高和较低的 2 个苘麻种群,以萌发过程中的吸胀、破皮和露白种子数量为研究指标,进行不同种群萌发关键期特征的比较。试验设置 3 次重复,每次重复 30 粒种子,并进行 3 次相同的试验。分别记录各处理在温水浸种后于培养皿内 30℃ 恒温培养 2 h 种子吸胀数量、10 h 种子破皮数量,以及 20 h 种子露白数量,比较 2 个种群在各时间节点形态指标的数量差异,进而比较不同苘麻种群的萌发进程差异。

根据 1.2.1 的筛选结果,从 18 个苘麻种群中选择 8 个种群,每种群设置 5 次重复,每次重复 50 粒种子。采用 1.2.1 的方法对苘麻种子进行处理,分别记录各处理种群种子经 30℃ 恒温培养 2 h 的吸胀数量、10 h 的破皮数量与 20 h 的露白数量,比较不同种群种子萌发进程中的差异。

1.3 数据处理方法

试验数据采用 Excel 2013 进行处理和绘图,并采用 SPSS 24.0 软件进行统计分析,应用独立样本 t 测验方法在 0.05 水平对两组数据进行差异显著性分析,采用 Duncan 氏新复极差法在 0.05 水平对多组数据进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 苘麻种群的萌发差异

不同苘麻种群种子的萌发率呈现显著差异。种

群 XJ01、JL04、HLJ01、JL01 的萌发率较高,分别为 89.95%、89.18%、88.35%、87.77%,它们与除 SX01 外的其他种群的萌发率差异均达到显著水平。萌发率最低的种群为 HB01,其萌发率仅 41.50%,而其他种群的萌发率在 45.80%~67.20%之间。不同种群萌发势和萌发指数也表现出较大差异,其中种群 XJ01、JL04 萌发势较高,JL01 和 SX01 萌发势次之,BJ01 萌发势最低;种群 JL01 萌发指数最高,HB01 萌发指数最低。在供试种群中,BJ01 和 HB02 萌发势与萌发指数较其他种群存在较大差异。其原因是两种群单日萌发高峰期较大多数种群滞后 1~2 d。NMG01 种群萌发指数偏低,可能与种子萌发数量集中于第 3 天相关。结合不同种群的萌发率、萌发势以及萌发指数的统计分析结果,综合萌发能力较优种群有 XJ01、JL04、JL01,综合萌发能力较差种群有 HB01、BJ01(表 2)。

表 2 18 个苘麻种群的萌发率、萌发势和萌发指数¹⁾
Table 2 Germination rate, germination potential and germination index of 18 populations of *Abutilon theophrasti*

种群编号 Population	萌发率/% Germination rate	萌发势/% Germination potential	萌发指数 Germination index
XJ01	(89.95±0.05)a	(89.17±0.06)a	(18.44±0.87)b
JL04	(89.18±0.06)a	(89.17±0.11)a	(10.38±0.39)de
HLJ01	(88.35±0.02)a	(69.17±0.06)bc	(11.81±0.48)d
JL01	(87.77±0.03)a	(87.78±0.09)a	(26.33±0.67)a
SX01	(77.50±0.07)ab	(78.33±0.32)ab	(11.46±0.39)de
HLJ02	(67.20±0.09)bc	(52.50±0.08)def	(10.13±0.83)def
HB02	(66.68±0.10)bc	(12.50±0.11)g	(5.86±0.57)hi
LN01	(64.40±0.08)bc	(62.24±0.10)cde	(10.97±0.50)de
JL02	(64.17±0.03)bc	(62.50±0.06)cde	(9.50±0.27)efg
LN02	(63.33±0.06)bc	(63.33±0.08)cd	(8.30±0.38)fg
LN03	(63.30±0.05)bc	(63.37±0.05)cd	(15.75±0.92)c
NMG01	(58.30±0.08)cd	(50.00±0.06)ef	(5.88±0.53)hi
JL03	(57.73±0.08)cd	(57.78±0.08)cde	(15.33±0.58)c
BJ01	(57.50±0.07)cd	(8.33±0.22)g	(4.81±0.54)i
NMG03	(54.98±0.08)cd	(58.33±0.04)cde	(7.83±0.34)gh
LN04	(54.15±0.08)cd	(54.17±0.05)def	(8.13±0.59)g
NMG02	(45.80±0.06)d	(45.00±0.06)f	(11.87±0.63)d
HB01	(41.50±0.06)e	(20.00±0.18)g	(4.59±0.18)i

1) 表中数据为平均值±标准误。同列数据后含相同小写字母表示在 0.05 水平差异不显著。下同。
Data are mean±SE. The same lowercase letter in the same column indicates no significant difference at 0.05 level. The same applies below.

2.2 苘麻种群萌发关键期指标分析

2.2.1 苘麻种群的萌发进程比较

苘麻种子经 60℃ 温水处理 30 min 后,在 30℃

恒温培养条件下 0~2 h 为快速吸水期,种子基本达到萌发所需水分;2~10 h 为缓慢吸水期,种子吸水缓慢并逐渐趋于饱和状态。培养 10 h 左右出现种皮破裂现象,且随着培养时间延长,破皮的苘麻种子数量不断增加。在恒温培养的第 20 h 左右,出现胚根顶破并伸出胚乳帽,随着时间推移胚根不断伸长,直至种子完成萌发。

种群 JL01 吸胀数量是种群 HB01 的 1.37 倍,且 3 次平行试验中两种群均存在显著差异。10 h JL01 种群种子破皮数量是 HB01 种群 1.76 倍,两种群存在显著差异。20 h JL01 种群露白种子数量是 HB01 种群 2.96 倍,在此时间节点,两种群种子露白数量差异显著(表 3)。两种群萌发进程指标均表现出显著差异,说明其种子在休眠萌发特性上具有较大差别。

表 3 苘麻 JL01 种群与 HB01 种群萌发指标比较

试验 Experiment	种群 Population	种子数量/粒 Seed number		
		吸胀 (2 h) Seed imbibition (2 h)	破皮 (10 h) Seed coat rupture (10 h)	露白 (20 h) Radicle protrusion (20 h)
第一次试验 First experiment	HB01	(21.68±1.67)b	(11.81±2.28)a	(4.45±2.60)b
	JL01	(28.29±1.09)a	(16.45±4.44)a	(16.23±2.12)a
第二次试验 Second experiment	HB01	(21.61±2.50)b	(9.68±2.50)b	(6.00±1.41)b
	JL01	(29.25±0.84)a	(18.41±2.50)a	(17.02±2.44)a
第三次试验 Third experiment	HB01	(20.20±3.49)b	(13.25±4.54)b	(7.26±3.76)b
	JL01	(29.47±0.89)a	(26.47±1.67)a	(17.43±2.30)a

2.2.2 不同苘麻种群种子的吸胀

供试的 8 个苘麻种群 2 h 平均吸胀数量为 40.0 粒,平均吸胀率为 80%。种群 JL01 吸胀数量最多,达到 47.8 粒(吸胀率 95.6%),与种群 LN01、HB01 和 NMG01 差异均达到显著水平,而种群 LN01、HB01 和 NMG01 间不存在显著差异。种群 LN01 吸胀数最少,为 38.6 粒(图 1)。

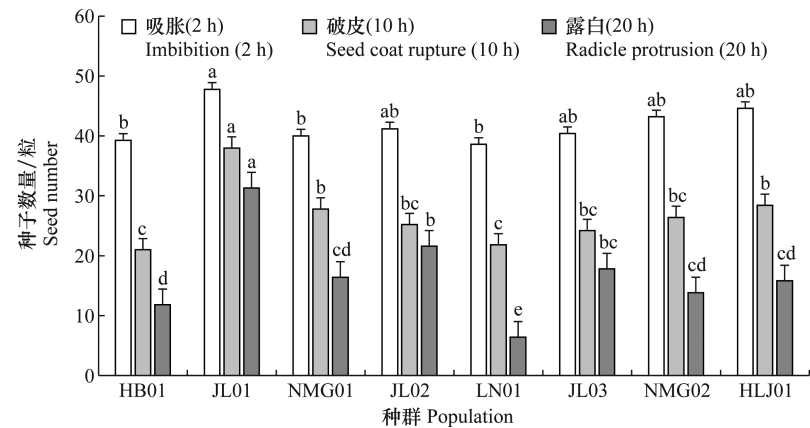
2.2.3 不同苘麻种群种子的破皮

供试的 8 个种群在 10 h 平均破皮种子数量为 26.5 粒,破皮率在 42%~76%之间,呈现较大波动(图 1)。其中种群 JL01 破皮数量最多,为 37.9 粒(破皮率 76%),与其他种群差异显著;种群 HB01 破

皮数量最少,为 21.0 粒(破皮率 42%),与 JL01 种群相差 16.9 粒,并与破皮率较高的种群 JL01、NMG01 以及 HLJ01 差异显著。

2.2.4 不同苘麻种群种子的露白

8 个供试苘麻种群在 20 h 露白数量呈现较大的差异(图 1),其中种群 JL01 露白数量为 31.2 粒,种群 LN01 最少,为 6.4 粒,种群露白率在 12.8%~62.4%之间。统计分析结果表明,种群 JL01 露白种子 31.2 粒(露白率 62.4%)与 LN01 种群 6.4 粒(露白率 12.8%)相差 24.8 粒,且种群 JL01 与其他种群种子露白率差异显著。除 JL01 和 LN01 外,其余种群种子露白率在 30%左右。



柱上相同小写字母表示同组数据在0.05水平差异不显著
The same lowercase letters indicate no significant difference in the same group of data at 0.05 level

图 1 8 个苘麻种群萌发进程指标差异分析

Fig. 1 Comparison of germination parameters of eight *Abutilon theophrasti* populations

3 讨论

种子萌发进程中,吸胀阶段是最初也是最重要的阶段^[16]。通过 60℃ 温水浸种 30 min 后恒温培养,不同苘麻种群表现出吸胀数量差异,未能完成吸胀的种子保持坚硬休眠状态。常青山等通过吸水率试验表明,苘麻种皮极大地阻碍了种子的萌发吸水,即苘麻存在较强的物理休眠^[12]。温水浸种能够软化种皮,增加厚实种皮的吸水吸胀能力,稀释萌发抑制物^[17]。常青山等研究发现苘麻种子在清水中的萌发率极低,只有 5.33%,经 60℃ 温水处理后种子萌发率达 56.00%,萌发率得到显著提高^[12]。生长环境能够影响苘麻种子的种皮厚度进而影响种子的休眠与萌发,可能是不同环境条件使苘麻植株生长的营养状况不同,导致种子形成过程中种皮发育所需的资源分配不均衡^[18]。因此,生产中要根据苘麻种子的休眠状况因地制宜地制定其防控措施,科学高效地将苘麻危害降低到经济阈值以下。

苘麻种子经 60℃ 温水浸种 30 min 后,于 30℃ 恒温培养 0~2 h 为快速吸水期,含水量基本满足萌发需求。在恒温培养 2~20 h 阶段,苘麻种子进入吸水缓慢期,此时段种子进行胚中细胞器活化、酶代谢增强、大分子物质水解等生命活动^[19]。同时,胚乳在各种细胞壁修饰基因及其表达产物调控作用下逐渐弱化,致使胚乳帽降解^[20]。吸胀、破皮是苘麻种子内部各种生化反应的外部宏观表现,苘麻种群 JL01 和 HB01 在 2 h 吸胀和 10 h 破皮种子数量存在显著差异,表明种子内部新陈代谢不同。两种种群在 20 h 露白种子数量的显著差异,表明胚乳帽弱化相关基因在两种群的露白之前可能出现差异化表达,进而产生不同的表型。吸胀、破皮与露白是种子萌发进程的重要标志,不同种群吸胀、破皮、露白率可以衡量种群的休眠与萌发状况。苘麻种群 JL01 和 HB01 在各时间节点的萌发指标显著性差异的原因,有待后续研究。基于 8 个供试苘麻种群的萌发指标,苘麻各种群吸胀与破皮种子数量变化趋势基本一致,说明吸胀较大程度影响种子破皮。温水浸种后,供试的 8 个苘麻种群破皮与露白数量表现出的显著差异,表明其种子并非只有物理休眠,该结果与常青山等的研究一致。常青山等^[12]认为苘麻种子种仁中存在内源抑制物质,但并未就内源抑制物质开展深入研究。不同苘麻种群的萌发进程差异,

有可能是种子萌发进程中某些基因在不同种群中差异化表达的结果。

综上所述,不同种群的苘麻种子存在较大的休眠萌发差异,其原因可能与种子成熟时受母体环境因子影响,调控休眠和萌发的相关基因出现差异化表达有关,后续将继续深入研究,以期进一步揭示苘麻种子休眠萌发的内在分子机理,为农田苘麻的区域化防控提供科学、精准的指导。

参考文献

- [1] CAMPBELL R T, HARTWIGN L. Competition between corn, velvetleaf and yellow nutsedge alone and in combination in the greenhouse [J]. *Weed Science*, 1982, 36(1):2-4.
- [2] DEKKER J, MEGGITT W F. Interference between velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medic.) and soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) II. population dynamics [J]. *Weed Research*, 1983, 23(2):103-107.
- [3] CHANDLER J M. Competition of spurred anoda, velvetleaf, prickly sida, and venice mallow in cotton [J]. *Weed Research*, 1977, 25(2):151-158.
- [4] SADEGHLOO A, ASGHARI J, GHADERI-FAR F. Seed germination and seedling emergence of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) and barnyardgrass (*Echinochloa crusgalli*) [J]. *Planta Daninha*, 2013, 31(2):259-266.
- [5] BENVENUTI S, MACCHIA M, MIELE S. Quantitative analysis of emergence of seedlings from buried weed seeds with increasing soil depth [J]. *Weed Science*, 2001, 49(4):528-535.
- [6] ESLAMI S V. Comparative germination and emergence ecology of two populations of common lambsquarters (*Chenopodium album*) from Iran and Denmark [J]. *Weed Science*, 2011, 59(1):90-97.
- [7] RAVLIC M, BALICEVIC R, LUCIC P, et al. Dormancy and germination of velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medik.) and redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) seeds [J]. *Herbologia*, 2015, 15(2):27-39.
- [8] DORADO J, FERNANDEZ-QUINTANILLA C, GRUNDY A C. Germination patterns in naturally chilled and nonchilled seeds of fierce thornapple (*Datura ferox*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) [J]. *Weed Science*, 2009, 57(2):155-162.
- [9] CARDINA J, SPARROW D H. Temporal changes in velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) seed dormancy [J]. *Weed Science*, 1997, 45(1):61-66.
- [10] 王金淑. 光照和温度等因素对苘麻种子萌发特性的影响[J]. *北方园艺*, 2012(1):50-51.
- [11] 邓天福,王霞. 不同植物生长调节剂和温度处理对苘麻种子萌发的影响[J]. *河南科技学院学报(自然科学版)*, 2015, 43(1):20-24.

中,戊唑醇最终残留量为 $6\sim 99\ \mu\text{g}/\text{kg}$, 肟菌酯最终残留量为 $<2\sim 103\ \mu\text{g}/\text{kg}$, 肟菌酯的代谢物肟菌酸残留量均小于定量限。样品前处理操作简单, 对目标化合物选择性强, 方法的线性范围、检测限、定量限、平均添加回收率及其相对标准偏差等性能指标均满足农药残留分析要求。

参考文献

- [1] 孙微, 张倩, 徐屯, 等. 赫章县野马川镇核桃产业发展现状及对策[J]. 乡村科技, 2019(31): 41-43.
- [2] LI Tianlin, WU Caiyun, LIAO Jianqiao, et al. Application of protein hydrolysates from defatted walnut meal in high-gravity brewing to improve fermentation performance of lager yeast [J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2020, 190(2): 360-372.
- [3] 种伟. 我国核桃主要产区优势良种分布及其生产利用[J]. 林业科技通讯, 2018(9): 60-63.
- [4] 郭安柱, 张力元, 李岩, 等. 防治核桃黑斑病药剂筛选及田间药效试验[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(1): 177-182.
- [5] 覃丽萍, 苏琴, 谢玲, 等. 芒果炭疽病菌 *Colletotrichum asianum* 和 *C. fructicola* 的危害特征及对杀菌剂的敏感性初探[J]. 植物保护, 2020, 46(1): 197-202.
- [6] 郭磊, 贾若, 董利利. 核桃干腐病和白粉病的发生与防治[J]. 现代农村科技, 2017(5): 29.
- [7] LI Shuying, JIANG Yao, SUN Qianqian, et al. Tebuconazole induced oxidative stress related hepatotoxicity in adult and larval zebrafish (*Danio rerio*) [J/OL]. Chemosphere, 2020, 241, 125129. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.125129.
- [8] YU Liang, CHEN Mengli, LIU Yihua, et al. Thyroid endocrine disruption in zebrafish larvae following exposure to hexaconazole and tebuconazole [J]. Aquatic Toxicology, 2013, 138/139:35-42.
- [9] 于春睿, 孙克, 张敏恒. 肟菌酯合成方法述评[J]. 农药, 2014, 53(10): 773-775.
- [10] QU Haibin, ZHAO Yanxiao, DU Shichao, et al. Role of solvent properties and composition on the solid-liquid equilibrium of trifloxystrobin and thermodynamic analysis [J/OL]. Journal of Molecular Liquids, 2019, 294, 111556. DOI: 10.1016/j.molliq.2019.111556.
- [11] 朱洁, 李仲煌, 潘育东. 异噁菌胺·肟菌酯、肟菌·戊唑醇组合用药对稻瘟病的防治效果[J]. 浙江农业科学, 2016, 57(8): 1258-1260.
- [12] 张学江, 向礼波, 杨立军. 75%戊唑醇·肟菌酯水分散粒剂对水稻纹枯病防治效果评价[J]. 湖北植保, 2016(6): 36-37.
- [13] 陈莉, 贾春虹, 朱晓丹, 等. 超高效液相色谱-电喷雾串联质谱法测定戊唑醇、肟菌酯及代谢物肟菌酸在西瓜和土壤中的残留[J]. 农药, 2013, 52(2): 119-121.
- [14] 赖添财, 陈宇. HPLC-MS/MS 法检测砀溪蜜柚中戊唑醇、烯肟菌胺残留量及套袋对残留的影响[J]. 农药, 2019, 58(12): 901-904.
- [15] 王素茹, 葛会林, 韩丙军, 等. 香蕉及土壤中吡唑醚菌酯和戊唑醇残留的高效液相色谱分析[J]. 吉林农业, 2017(18): 70-72.
- [16] 韩冲冲. 戊唑醇·肟菌酯在水稻群体内的沉积分布及其在水稻环境中的残留行为[D]. 南昌: 江西农业大学, 2019.
- [17] 段劲生, 朱玉杰, 孙海滨, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定稻田中肟菌酯及其代谢物的残留[J]. 中国农学通报, 2017, 33(35): 57-62.
- [18] 李桂红, 李二虎, 张武, 等. 气相色谱法测定黄瓜和土壤中肟菌酯残留量[J]. 农药科学与管理, 2015, 36(11): 40-42.
- [19] 张煜卓. QuEChERS 联合 GC-MS/MS 对坚果与水果中农药多残留检测方法的建立及应用研究[D]. 沈阳: 沈阳师范大学, 2019.
- [20] 张婷婷. 新疆干坚果品中农药多残留的前处理和 UPLC-MS/MS 分析方法的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2016.
- [21] 中华人民共和国农业农村部种植业管理司. 农作物中农药残留试验准则: NY/T 788-2018[S]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
- [22] 方力, 邱凤梅, 余新威, 等. 基质分散固相萃取-液相色谱-串联质谱法检测动物源性食品中硝基咪唑类药物及其代谢物[J]. 色谱, 2018, 36(5): 431-438.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 117 页)

- [12] 常青山, 张利霞, 刘晶, 等. 苘麻种子休眠机理及破眠方法[J]. 植物生理学报, 2016, 52(6): 967-974.
- [13] 郑庆钟, 李发明, 朱淑娟, 等. 不同处理对沙生针茅种子萌发的影响[J]. 生态学杂志, 2016, 35(1): 63-71.
- [14] 常青山. 一种苘麻种子促进萌发的方法: 201410467491.0[P]. 2015-01-07.
- [15] 周峰, 王海鸥, 华春, 等. 植物种子萌发的生物力学[J]. 种子, 2019, 38(3): 50-52.
- [16] 周健. 紫荆种子休眠特性及其吸水机制研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2016.
- [17] 陈翔, 彭飞, 尤金刚, 等. 高寒草甸植被特征对模拟增温的响应——以青藏高原多年冻土区为例[J]. 草业科学, 2016, 33(5): 825-834.
- [18] NURSE R E, DITOMMASO A. Corn competition alters the germinability of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) seeds [J]. Weed Science, 2005, 53(4): 479-488.
- [19] 张红生, 胡晋. 种子学[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [20] 程秋香. 黄精种子胚乳弱化机制的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.

(责任编辑: 杨明丽)