

# 生态修复中乡土植物种子的国际原则和标准

Simone Pedrini, Kingsley W. Dixon

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/rec.13155>

Translated by: Bingqin Shan, Yandong Chen

Reviewed by: Yuping Rong

## 摘要

矿山、森林及生态系统恢复等生态修复和栖息地重建对乡土植物种子的需求不断增长，使乡土植物种子的采购、供应和销售成为全球性的重要产业。农作物、园艺等行业有种子质量标准，而乡土植物种子质量仍没有国际标准。以《国际生态修复实践原则和标准》为基础，我们综合了乡土植物种子供应链中的普遍实践，首次形成了《生态修复中乡土植物种子的国际原则和标准》（以下简称“标准”）。这些实践和基础科学为制定适用于地方、生物群落或国家尺度的质量标准和指南说明提供了基础。本标准定义了何为“生态修复中的乡土植物种子”，并强调了乡土植物种子与遗传改良种子之间的差异。通过系统总结可能影响修复结果的乡土植物种子的多种休眠状态，提出了乡土植物种子的检验方法。生产标签上的“形式”模板作为实用工具，可以根据当地需求进行定制，并为终端用户形成该乡土植物种子批次中预期的种子质量和发芽水平的标准化报告。本标准并非强制执行，但其指导性说明为各级行政区与司法管辖区制定监管方法奠定了基础。

## 介绍

种子是全球生态恢复计划的有限基础性资源。《国际生态修复实践原则和标准（第二版）》（Gann et al. 2019）强调了种子是许多修复计划的基础。然而，全球范围内很少有国家为了保证最低质量标准对种子供应链进行质量控制（Vogel 2002; Mainz & Wieden 2019）。因此，制定一个种子质量保证的方法框架是进行有效的大尺度可预测生态修复的基本保障，类似于国际公认的保证商业作物种子质量的规则和检验方法（国际种子检验协会[ISTA] 2019）。“联合国生态系统恢复十年（2021-2030年）”倡议的目标是在全球范围内恢复 3.5 亿公顷土地，这使乡土植物种子的持续可靠供应变得尤为关键。因此，对于供应商、终端用户、从业者、修复资助者与监管机构而言，种子质量是实现地方到全球生态恢复成功的基础。

大多数拥有乡土植物种子企业或大规模生态恢复计划的国家，种子交易很少考虑种子的质量和活力（Ryan et al. 2008），导致种子供应贸易中存在质量低甚至死亡的种子。例如，当对来自欧洲不同供应商的 8 个乡土植物种的种子批次进行萌发检验时，发现不同供应商之间存在很大差异，其中一些批次甚至没有活种子（Marin et al. 2017）。因此，种子质量得不到保证，将削弱买家和生态修复从业者对乡土植物种子使用效果的信心，并严重损害乡土植物种子生产商和供应商的信誉，减少可用的乡土植物种子的数量和多样性。这也会阻碍生态修复计划的有效性以及《国际生态修复实践原则和标准》（Gann et al. 2019）中概述的完整生态系统恢复的理想目标的实现。

*“本标准旨在平衡并保证用户获得合理的种子质量与种子供应商在实践与经济上的可实施性。”*

《生态修复中乡土植物种子的原则和标准》(以下简称“标准”)的关键宗旨是为从源头到修复场地的种子供应(即种子供应链)提供基本规范(以及附带的指导说明)(图1)。本标准为种子供应链的关键环节提供了合理框架,并最大化了优质种子生产和供应的产出和成果(Cross et al. 2020)。然而,稳健的种子供应链取决于其最薄弱的环节。标准的关键是确保与种子质量相关的种子供应链中所有环节的管理,也关系到种子供应商获得优质高产种子的目标。种子质量包括确定种子批次内可以进行检验的所有内在属性,如净度、活力、萌发率以及休眠状态(Frischie et al. 2020)。

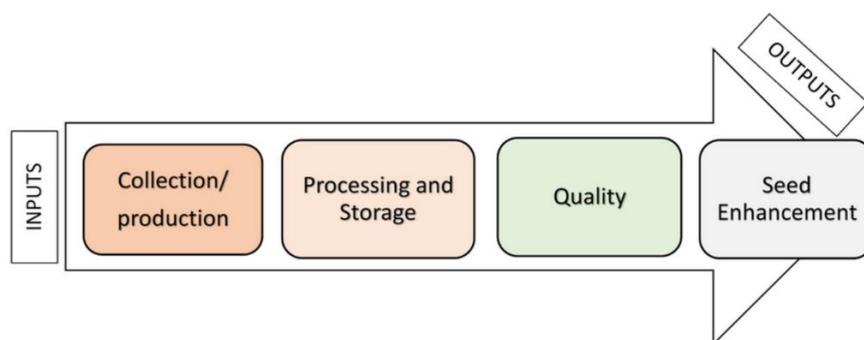


图1: 种子供应链的关键要素。每个步骤都在本标准随后的小节中进行了概述。**种子采集/生产:**指种子的野生和栽培来源。**加工和贮藏:**最佳处理和贮藏条件以达到并保持最佳状态的种子质量。**质量:**是一种衡量纯活、可萌发和休眠种子的方法。**种子增强:**所有用于解除休眠和增加萌发(后熟、层积、割痕、化学试剂和引发)并促进定植成功(包括种子包衣)的种子处理措施。

## 本标准适用于哪些群体?

本标准适用于供应商/生产商、商家、乡土植物种子库、政府及行业监管机构以及乡土植物种子的终端用户,为购买乡土植物种子提供了商业信心,同时为种子检验设定了适当的方法标准。这些标准将为形成乡土植物种子检验规程创建一个共同认可与共享的种子检验原理和方法平台,如商业作物和园艺种子行业中ISTA制定的“国际种子检验规程”及AOSA(美国官方种子分析师协会)制定的“种子检验规程”。消费者相信ISTA/AOSA规程的标准和法规提供的质量保障能为全球农作物和园艺种子贸易市场的发展奠定良好的商业基础。同样,我们设想在《国际生态修复原理和标准》(Gann et al. 2019)的指导下,本标准能够壮大乡土植物种子产业,使其可持续发展。这些种子标准专门针对野生的、没有经过选育的物种,这些物种是生态修复计划中参照样地或群落中的组分。本标准不包括野生物种的栽培种(遗传改良材料)(见下一节)。

*“本标准旨在让所有参与乡土植物种子采集、生产和使用的人都可以使用,适用于从本地社区到大型乡土植物种子企业等各个级别。”*

## 什么是用于生态修复的乡土植物种子?

适合于生态修复的种子批,其保存的遗传多样性能够代表原生种群,可以通过种子供应链在修复生境适宜的条件下得到最大程度的展示(Erickson & Halford 2020)。

一些乡土植物种子生产者已经开发了乡土物种育种项目,并积极选择提高种子生产效率的性状、降低种子成本、提高活力,并最终选择与原生野生种群的基因组成几乎没有相

似之处的品种。在某些情况下，一些品种是由单一母株形成的（Native Seed Quality Task Force 2011）。生产此类品种时，种子标准应遵循 ISTA/AOSA 规程和相关地方法规。尽管这类植物材料可以用于植被重建和生态改善计划，但不属于“生态修复”框架（Gann et al. 2019）。

尽管本标准同时适用于保护和修复计划，但由于保护性采集的种子样本量较小，保护物种的采样方案应遵循国家与国际指南中的合理建议，如欧洲乡土植物种子保护网络（ENSCONET 2009a, 2009b）、澳大利亚植物种指南（FloraBank 1999）及美国成功种子计划（Bureau of Land Management 2018）。

## 农作物与乡土植物的种子标准有何不同？

农作物与野生物种之间存在根本性的区别。例如，ISTA/AOSA 规程旨在为农业、林业、园艺和各种商业物种（花卉、香料、草药和药用植物）的栽培（非野生来源）种子提供检验程序。ISTA/AOSA 种子规程涵盖的大多数物种是长期植物育种和选择，种子特性（例如休眠和种子灌浆调控）因农艺可靠性和经济原因发生了实质性改变。例如，主要农作物的种子休眠性低甚至不休眠、遗传稳定性高，以消除或最小化季节间的遗传变异。农业种子供应链旨在通过避免与其他品种或野生型交叉授粉，并确保不同品系的种子不混合，来保持特定品种的基因纯度。此信息通过供应链跟踪种子批次，以确保遗传一致性和品种真实度（特别是对种子形态差异不明显的同一种的不同品种）。

另一方面，乡土植物种子具有广泛的遗传多样性，表明其野生种群的亲本多样性和生境适应性。这些特征在应对气候梯度和气候变化时非常重要。遗传异质性通常反映出高水平的表型变异，是能够适应当地生态恢复条件的基础。遗传上的单作在自然界中非常罕见，因此在生态修复计划中出现并不合理。因此，本标准解决了在种子批次中纳入野生种群固有变异性的需要，而现有标准（如 ISTA/AOSA 规程）不满足这种变异性。为保证代表特定生态型的遗传多样性得到正确表达，野外采集来的种子的信息（如地点、采集时间、采集者）应跟随种子批次通过供应链到达终端用户。栽培扩繁乡土植物种子时，应限制扩繁（代数通常少于五代），避免特定性状的选择与遗传变异性降低（Erickson et al. 2020；Pedrini et al. 2020b）。大多数情况下，农作物种子和乡土植物种子之间的这些差异会使传统农业法规和检验方法（ISTA/AOSA）无法适用于乡土植物种子（见“种子质量”节）。ISTA 规则旨在提供统一的种子质量评估来促进国际种子贸易，而本标准所反映的野生种子的地方性与细微差别，通常仅限于区域或国家种子供应网络，仅存在偶然的乡土植物种子跨国或跨境贸易。

最后，种子休眠是乡土植物种子的一个关键属性，但大多数农作物的种子都不存在休眠。休眠是指控制萌发的种子形态和生理状态。应鼓励乡土植物种子供应商确定该种子批次的休眠条件及休眠打破的方式。这种解除休眠的处理可以由供应商实施或推荐给终端用户，是确保实际使用中可萌发种子的必要步骤。

## 为什么乡土植物种子标签很重要？

标签是种子供应商和终端用户之间交流种子信息的重要方式。为种子品种或农作物设计的标签并不适用于本标准中定义的“乡土物种”，存在不相关的记录或缺少生态修复计划中所必需的确保乡土物种质量记录。本文所提供的报表综合反映了“理想化”乡土植物种子批次标签结构（图 2）。本节概述了报表的组成部分，说明了应如何报告物种、来源、采集

与生产，如何确定种子质量，以及明确种子休眠状态、种子增强和种子贮藏的信息。这一报表旨在涵盖乡土植物种子所有可能的信息。若乡土植物种子公司或地方种子协会采用这一模板，与产品或物种（如生产、休眠、增强）无关的部分可以留空、删除或根据场地、地区、特定物种进行自定义添加。

**Species:** \_\_\_\_\_

Seed lot#: \_\_\_\_\_  Wild-collected

Seed batch weight: \_\_\_\_\_  Cultivated



*Company logo name*

*address, contact*

<p><b>Seed Source</b></p> <p>Date of collection: <i>month/year</i> _____</p> <p>Location: <i>state/province, municipality, seed zone</i> _____</p> <p>Site: <i>gps coordinates (WGS 1984 datum)</i> _____</p> <p>Collector: <i>name of the person/company</i> _____</p> <p>Notes: _____</p>	<p><b>Managed seed production</b> (If cultivated)</p> <p>Date of harvest: <i>month/year</i> _____</p> <p>Location: <i>state/province, municipality, seed zone</i> _____</p> <p>Number of generations: <i>1-5</i> _____</p> <p>Producer: <i>name of the company</i> _____</p> <p>Notes: _____</p>
<p><b>Seed storage condition after collection/harvest</b>      RH% _____      T° _____</p>	

Date of treatment: *month/year* \_\_\_\_\_      **Seed quality test**      Performed by: *name of person/company* \_\_\_\_\_

<p><b>Purity</b></p> <p>Pure Seed Unit PSU: _____ %</p> <p>Other seeds<sup>2</sup>: _____ %</p> <p>Inert material<sup>3</sup>: _____ %</p> <p>Notes: _____</p> <p style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">1000 Pure Seed Units PSU weight: _____ (g).</p> <p style="border: 1px dashed black; padding: 2px;"><b>Pure Live Seeds PLS:</b> _____ %</p>	<p><b>Viability</b></p> <p>Viable Seed Unit VSU: _____ %</p> <p><input type="checkbox"/> Cut test <input type="checkbox"/> X-ray <input type="checkbox"/> TZ <input type="checkbox"/> Other</p> <p>Notes: _____</p> <p style="border: 1px dashed black; padding: 2px;"><b>Dormancy</b> (if required)</p> <p>Dormant Seed Unit DSU: _____ %</p> <p>Notes: _____</p> <p style="border: 1px dashed black; padding: 2px;"><b>Pure Germinable Seed PGS:</b> _____ %</p>	<p><b>Germinability</b></p> <p>Germinable Seed Unit GSU: _____ %</p> <p>Notes: _____</p> <p style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">Dormancy type (if known)</p> <p><input type="checkbox"/> Physical</p> <p><input type="checkbox"/> Physiological</p> <p><input type="checkbox"/> Morphological</p> <p><input type="checkbox"/> Morpho-physiological</p> <p><input type="checkbox"/> Combinational</p> <p style="border: 1px dashed black; padding: 2px;"><b>Pure Dormant Seeds PDS:</b> _____ %</p>
--	--	--

Date of treatment: *month/year* \_\_\_\_\_      **Seed enhancement**      Performed by: *name of person/company* \_\_\_\_\_

<p><input type="checkbox"/> <b>Dormancy release*</b></p> <p><input type="checkbox"/> After-ripening: _____</p> <p><input type="checkbox"/> Stratification: <i>warm, cold, dry...</i> _____</p> <p><input type="checkbox"/> Scarification: <i>abrasion, acid...</i> _____</p> <p>Notes: _____</p> <p style="border: 1px dashed black; padding: 2px;"><input type="checkbox"/> Chemical: <i>GA, KNO<sub>3</sub>, smoke...</i> _____</p>	<p><input type="checkbox"/> <b>Seed priming</b></p> <p><input type="checkbox"/> Hydro <input type="checkbox"/> Osmo <input type="checkbox"/> Solid-matrix</p> <p><input type="checkbox"/> Chemo <input type="checkbox"/> Other</p> <p>Notes: _____</p> <p style="border: 1px dashed black; padding: 2px;"><input type="checkbox"/> Promoters: <i>hormones, chemical...</i> _____</p>	<p><input type="checkbox"/> <b>Seed coating</b></p> <p><input type="checkbox"/> Film <input type="checkbox"/> Encrust <input type="checkbox"/> Pellet <input type="checkbox"/> Other</p> <p>Notes: _____</p> <p style="border: 1px dashed black; padding: 2px;"><input type="checkbox"/> Promoters: <i>hormones, chemicals...</i> _____</p> <p style="border: 1px dashed black; padding: 2px;"><input type="checkbox"/> Protectants: <i>fungicide, pesticide...</i> _____</p>
---	--	---

图 2：报表可按照指示或根据当地条件修改，然后用于销售前标记该乡土植物的种子批次。上述模板根据种子供应链的关键步骤分为三部分：种子产地/种源、种子质量检验、种子增强。

该报表是为单一物种的种子批次设计的。而混合物种的种子标签，则包含以下信息：种子为单独采集/栽培并于销售前混合、种子获取位置、批次质量、混合物中针对各物种的处理以及混合物中各物种的重量百分比。例如，在草原修复的场景下，种子批作为不同物种的混合物直接收获后，采用种子脱粒、真空清洁和青/干草制作等技术，标签应报告来源、内含物种清单（基于收获前的植被调查、种子目测评估或萌发）及估测的各物种重量百分比（若可行）。处理此类材料可参考《物种丰富的草原种子收获与生态恢复实用手册》（*Practical Handbook for Seed Harvest and Ecological Restoration of Species-Rich Grassland*）（Scotton et al. 2012）。

## 乡土植物种子是否需要认证？

为了满足生态修复的需求，全球乡土植物种子产业不断发展，可以考虑采用国家认可的合适标准对其进行认证。认证方案旨在确保流程和产品符合由生产者协会（行业）、监管机构（政府）或二者共同制定的标准和法规。例如，在德国，为了应对规范乡土草原种子商业化的欧洲指令（2010/60/UE），当地种子生产协会开发了 VWW-Regiosaate 和 RegioZert（Mainz & Wieden 2019）认证系统。然而，若所制定的法规无法解决乡土植物种子供应链的复杂性和细微差别，将阻碍有效的认证计划和结构合理的乡土植物种子市场的发展。例如，上述欧洲指令（2010/60/UE）废除了规范饲料品种市场的现存立法，将乡土植物种子看作栽培品种与基因改良品种，从而限制了其在乡土植物种子供应链中的有效适用性（Tischew et al. 2011）。这些认证方法可能会在未来的标准版本中得以考虑。

本文件中概述的原则和标准，为乡土植物种子供应商和乡土植物种子检验实验室的认证开发奠定了基础。本标准的未来版本可能增加此类认证方法。

## 种子来源、采集与培育

生态修复的指导原则之一即使用适宜的乡土参照生境或生态系统（有关选择“乡土参照生境”的详细指导请参阅 Gann et al. (2019)）。因此，参照点物种的遗传组成须再现于修复场地上，可能确保遗传资源的匹配。基于此，从野外或有管理的种子生产区（SPAs）采集的种子应详细注明来源及采集生境。野外采集种子时也应考虑其他因素，在不损害种子繁殖能力的情况下，能有效地代表被采集种群的遗传多样性（参见 Pedrini et al. 2020b）。在没有详细的遗传、表型、常规或园艺等专门研究来指导确定遗传上合适的种子采集点时，很难预先确定如本期特刊中的论文“种子采购与规划”（Erickson et al., 2020）和附录 1（Gann et al., 2019）中所详述的种源。

生态区方法定义了包含相似地质、气候、土壤、水文、植被或其他地理描述指标，可用于指导确定种子采集与转移区。当此类信息与物种特定的生态和遗传信息以及当地知识相结合时，就有可能像美国（Bower et al. 2014）与一些欧洲国家（De Vitis et al. 2017）那样确定出类似的种子区（图 3）。

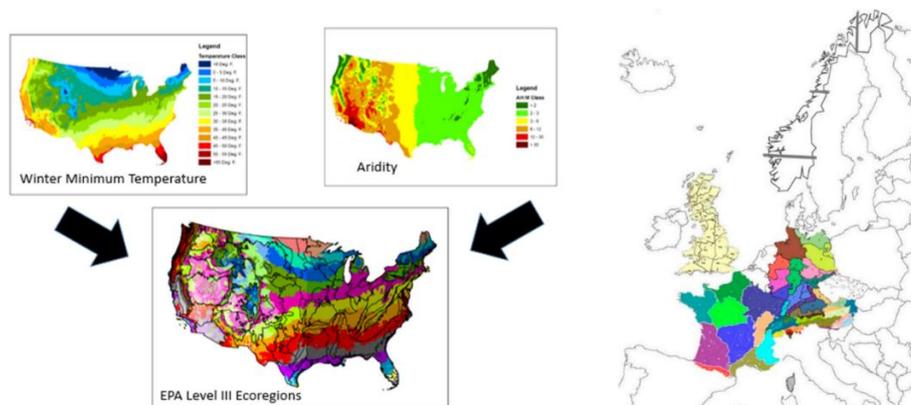


图 3：美国和欧洲的种子区：（左图）美国乡土植物临时种子区（彩色多边形）是嵌套在 EPA III 级生态区边界（黑线）内的独特的、以气候（温度-干旱指数）划定的区域。当缺乏特定物种的遗传信息时，这些临时区域可用于指导种子产地的决策（Bower et al. 2014）。（右图）欧洲国家开发的国家种子区（De Vitis et al. 2017）（已获授权）。

在进行种子采集计划之前，种子采集者应参考当地或国家指南，或征求专家意见确定种子区/种子转移区或者与修复地点相关的种源。

Gann et al. (2019) 规定了种子溯源类型的五个关键类别，终端用户应使用其指导各自的种植需求。该种源类别为：严格的乡土植物种源、宽松的乡土植物种源、复合种源、混合种源与可预测种源。

## 指导说明 1

1.1 根据国家认可的植物命名标准，种子需附分类学上有效的物种名称。

1.2 明确说明该种批是野生收获的还是通过栽培繁殖的。

1.3 提供有关野生种子溯源的信息，如地理参考坐标位置、采集日期与采集者；这些信息将在种子供应链中被保留与追踪，并与种批一起提供给终端用户。

1.4 对于采集到分类学状态不确定的新物种或材料，必须采集植物标本作为凭证，并标注与种子采集等同或匹配的编号。

## 从自然种群中采集种子

全球目前的修复需求表明大多数种子须来自野生群体。在某些情况下，特别是在全球生物多样性热点地区仅存不到 30% 的自然植被，对修复种子的需求更加强烈，这或许会对仅存的稀有自然生态系统造成巨大压力。符合生态伦理地获取野生种子 (Nevill et al. 2018)，以及注意种子收获后的处理与管理，对保留种子存活力并在修复计划中发挥作用至关重要。

## 指导说明 2

2.1 为保护被采集野生种群的活力，每季种子采集量不得超过产量的 20%。对于一年生物种，比例应低至 10%。

2.2 为了充分代表种群的遗传多样性，应从多个个体中随机采集种子。对于大型连续植被，沿样带定期系统采样方法更为合适。

2.3 为确保获得成熟的、能收获的优良种子，在开始采集种子之前，应采集少量样本并对种子成熟度/饱满度进行目测评估。

## 种子生产管理

种子生产区 (SPAs) 包括管理野生群丛和培育乡土物种种子田。从种子生产区生产的种子需要考虑的因素或许不同于野生来源的种子，如需保留遗传同一性且在种子生产过程中没有诱导杂交或基因漂变。

## 指导说明 3

3.1 来自种子生产区 (SPAs) 的种子批次应包括以下信息：

a. 原始的野生种子采集的世代数。重新贮藏原始的、野生来源的基因型，其世代数不应超过五代。

b. 注明种植地点、负责种植的公司/人员名称和收获日期。

3.2 确保野生物种在种子生产区授粉漂移范围之外，防止其与种子生产区内自然生长的野生类型杂交。

3.3 种植近缘物种时防止种间杂交，在没有杂交繁殖的情况下维持种源谱系。

注释：需要注意从种子生产区生产的种子的贮藏、休眠和萌发特性可能与野生来源的种子不同。

## 种子加工与贮藏

野生或田间收获后种子的正确管理对于高质量种子的保持至关重要。对采集的材料进行目测法评估，确保种子成熟、健康、未被蛀食、未被细菌或真菌感染。对于种子零星产生、成熟期不同步的物种（如热带森林物种），及早采集并保持在适当条件下，以便后期成熟。种子应在干燥通风状态下运输至加工/贮藏设施。

若采集/收获的种子批次含有杂质和惰性种子、非种子与其他物种的种子，建议进行种子加工。本期特刊中的“种子加工与质量”系列论文描述了多种种子调制方法与技术（Frischie et al. 2020）。有望改善种子调制、处理和萌发的新兴技术包括温烫处理和酸蚀处理（Stevens et al. 2015；Guzzomi et al. 2016；Pedrini et al. 2019）。调制应最大限度提高批次净度，而不降低种子的完整性与存活力。种子应贮藏在适当环境条件，最大限度的延长其寿命。相对湿度，通常记为“相对湿度百分比”（RH%），与种子水分含量相关。种子水分含量高会加速种子老化过程，易污染真菌而导致种子受损。一般认为种子安全贮藏的含水量是 15%RH，可用于正常型种子的贮藏。由于对贮藏条件了解有限，应在开始长期贮藏前对种子进行 15% RH 的耐受性实验检验。

保证种子中期贮藏活力的最佳温度为 15°C；长期贮藏应（适当干燥后）贮藏于-18°C。  
注释：不能被干燥的顽拗型种子，不能进行中长期贮藏，种子应在收获后很快使用（依物种，可能数周至数月）。

## 指导说明 4

4.1 采集或收获后的种子管理要求对种子批次进行干燥（由于易因干燥死亡，对干燥脱水敏感的种子只需适度干燥）。种子采集后尽快使其干燥、阴凉、通风（若必要）以防止在运送到种子调制与贮藏设施时发生冷凝、返潮和发霉。

4.2 种子处理：若种子批次包含非种子物质（叶、花、枝条、土壤、岩石、空的/不成熟的种子）或其他物种的种子，则需要对该批次进行最大程度的处理，以确保种子的高净度。种子调制方法和技术见 Frischie et al. (2020)。

4.3 种子必须在 15%RH 与 15°C 平衡，直至达到 5%至 10%的水分含量。可使用 De Vitis et al. (2020) 描述的方法测定种子水分含量。

4.4 一旦达到所需的水分含量，种子就可以在相同条件下贮藏，或在适当的温度下贮藏在密闭容器中。

4.5 应监测种子批次的贮藏设施的相对湿度 RH%和温度，并在种子供应的报表上报告（图 4）。

**Species:** \_\_\_\_\_

Seed lot#: \_\_\_\_\_  Wild-collected

Seed batch weight: \_\_\_\_\_  Cultivated

  
*Company logo, name*  
*address, contact*

Seed Source	Managed seed production (if cultivated)
Date of collection: <i>month/year</i> _____	Date of harvest: <i>month/year</i> _____
Location: <i>state/province, municipality, seed zone</i> _____	Location: <i>state/province, municipality, seed zone</i> _____
Site: <i>gps coordinates (WGS 1984 datum)</i> _____	Number of generations: <i>1-5</i> _____
Collector: <i>name of the person/company</i> _____	Producer: <i>name of the company</i> _____
Notes: _____	Notes: _____
_____	_____
<b>Seed storage condition after collection/harvest</b>	RH% _____ T° _____

图 4: 报告种子来源、种子培育与种子贮藏相关的报表。

## 种子质量

种子质量评估的目的是获取有关乡土植物种子批次的净度、生活力、萌发力和休眠（若存在）的信息。这些检验结果将被用于：

- 向种子供应商（采集者-生产者）提供有关采集与栽培方法及策略的重要反馈信息。
- 确定种子批次作为生态修复产品的价值。
- 通知种子用户预期的种子性能表现结果。
- 向种子用户保证所购买的可萌发/有活力的种子的数量。
- 缺乏此类信息可能会导致终端用户认为该批次中的所有种子都有活力且易于萌发，以至于夸大预期的修复结果。

农业品种质量评估的种子检验程序通常适用于乡土植物种子的检验。然而，由于种子批次内潜在的可变性强，以及天然种子在形态、生理、干燥耐受性和休眠类型方面的高度多样性，ISTA 国际种子检验规程（ISTA 2019）和 AOSA（AOSA 2019）中描述的方法需要基于物种进行调整和定制。这将需要为具有相似属性的一个物种或一组物种制定种子质量检验方案。然而，与农作物和园艺品种不同，野生物种在休眠状态、种子质量、净度和质量方面可能会随季节、地理、地形和土壤因子而变化。

农作物种子检验标准规定了特定物种/品种最低的种子质量与耐受水平阈值，种子批次需要达到这些阈值才能销售。然而，由于野生来源种子的遗传与环境变量不受种子供应商的控制，使乡土植物种子同一物种不同批次的质量可能会存在很大差异。因此，设定最低标准的质量要求不太合理；尽管如此，仍应进行质量检验并将结果告知种子用户。

为保证种子检验结果的公正性，种子质量应由独立认证的种子检验实验室进行检验。如果没有认证的种子检验室，则种子质量评估可以由种子供应商进行，并在所提供的种子标签上注明（图 6）。为了在自测乡土植物种子批次的过程中建立信任，可以实施种子供应商许可系统（若需要）。

以下部分概述了常见种子质量检验方法与乡土植物种子质量检验的框架。进行全面种子质量检验的关键程序与分析如图 5 所示，并将在下一节中进行描述。

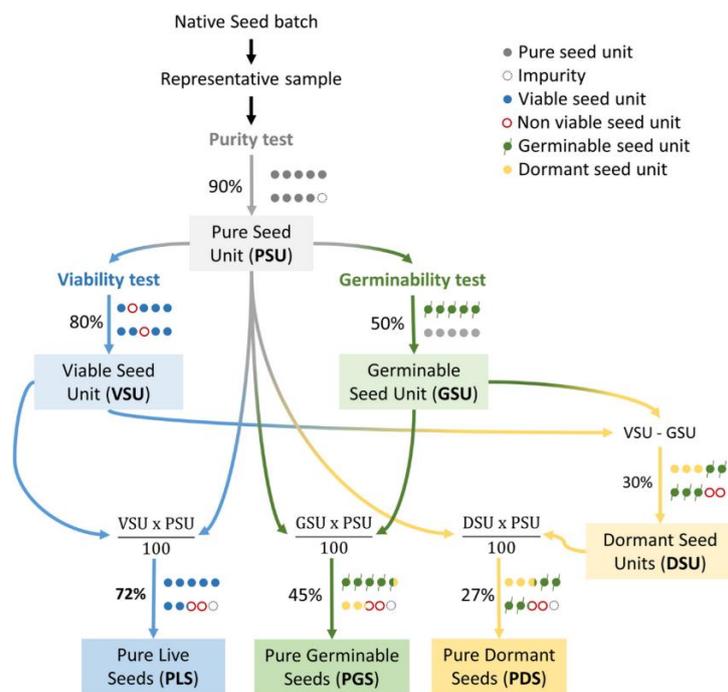


图 5：乡土植物种子质量检验与结果，用于推导种子质量关键指标（PSU、GSU、DSU、PLS、PGS、PDS）。每次检验之间，种子批次模型以图表方式表示重量百分比的值。这是用于确定纯活/可萌发/休眠种子的方法之一。“根据萌发力确定的生活力检验的替代方法”节说明了不同的方法。

## 指导说明 5\*

5.1 样品应当能够代表整个种子批次。

5.2 若种子批次接受了种子增强处理（如包衣、引发），应对处理过的种子进行种子质量检验。

5.3 应对种子批次进行净度检验，并以重量百分比表示批次中存在的净种子（PSU）、惰性种子、污染（非目标物种）种子。

5.4 如果可能，应对种子批次进行生活力检验，以确定有生活力 PSU 的百分比（VSU），并确定种子生活力的测定方法。

5.5（若可能）应对种子批次进行萌发力检验，提供易于萌发的净种子（可萌发种子单位[GSUs]）的平均百分比。

5.6 有活力种子单位（VSU）与可萌发种子单位（GSU）间的差异代表休眠种子单位（DSU）。DSU 是有生活力种子的百分比，但有些种子由于休眠不能萌发。如果检验休眠，应指出休眠类型（根据文献或专家意见），并提供经过验证的打破休眠的方法（如果可能）。

5.7 净活种子（PLS）、净可萌发种子（PGS）和净休眠种子（PDS）提供有关种批中有生活力、可萌发和休眠等种子的重量百分比信息。净 PLS、PGS 和 PDS 可以分别由有生活力种子单位（VSU）、可萌发种子单位（GSU）和休眠种子单位（DSU）乘以净种子单位（PSU）计算得出。

5.8 净休眠种子（PDS）是种子批次中有生活力但由于休眠而不易萌发的种子的百分比。  
\*可与图 5 中的种子质量流程图一起阅读。

注释：必须严格遵守当地的植物检疫指南，避免潜在病虫害的传播，避免供应的种子中混入杂草种子。

## 取样

净度、生活力和萌发力分析的种子检验需要从种子批次中抽取适当的子样品。若种子贮藏的时间较长，则质量检验取样与采集/收获后或田间使用前的种子批次相关。乡土物种通常需要重采样，可以反映许多野生物种贮藏条件的不确定性以及贮藏周期中丧失生活力的可能性。

## 指导说明 6

6.1 代表性样品必须取自种子批次经过均质处理的部分，注意在运输和调制过程中可能发生沉降。

6.2 对于没有混杂糠秕等物质的自由流动种子，应从贮藏容器的代表性部位取样。取样装置，如扦样器（有多种形式，包括单套管和双套管）可用于大批量（>5 千克），其中样品孔的直径是最大种子（包括非目标种子与非种子残留物）的 2-3 倍。*注释：*对于小种子，可能需要用刮刀对摊开的样品进行单独取样。

6.3 确保样品具有代表性，若发现不均匀，则需重新取样。

6.4 如果种子中有混杂附属物（含糠秕种子）或大种子，需要手动取样或使用取样杯。目测法评估子样品的一致性。

6.5 对于不超过 20 千克的样品容器，每个样品容器都应按照 AOSA 种子检验规程或 ISTA 取样强度指南进行取样。不超过 6 个容器时，应从每个容器中随机取样。当容器总数大于 6 时，如 7-14 个容器应采集 6 个样品；15 -24 个容器应采集 7 个样品；25-34 个容器应采集 8 个样品……95-104 个容器应采集 15 个样品。

6.6 每个样品应包含 400 个（最好是 800 个）净种子单位（PSU，见“净度”节）则被称为“初次样品”。提交初次样品送检，并对被称为“测定样品”的子集进行净度、生活力和萌发力检验。经包衣处理的种子应包含 1000–2000 个包衣单位用于萌发检验。

6.7 若样品被转送到种子检验机构，需密封防止水分进入，并防止在运输过程中被压碎。

## 种子检验中测定样品的制备

测定样品，即初次种子样品的子样品，是经过净度检验的种子（见“净度”节）。该子样品必须保证取样的代表性。当初次样品量较大时，可使用机械取样器或分样器（包括浅槽、圆锥形、伯尔纳取样器和离心装置）确保取得无偏、有代表性的样品（有关设备规格的详细信息，可参阅 AOSA 规则第 2 节）。若没有机械取样器，也可以采用手分，将样品均匀地平铺在平面上并分成两半。手工混合和点取法可用于小型种子或小批量种子批次。

## 建议检验净种子单位（PSU）的数量

选择足够的材料来确定起始材料的重量，以分出 100–500 个净种子单位（PSU）。每克种子单位的数量取决于物种并基于种子大小、分类的难易程度、净度。以上工作需在其他测定样本中重复至少三次。

## 活种子数

从净度检验中分出 100 个净种子单位（PSU）的子样本进行生活力检验。

萌发种子数

从净度检验中，对每份 25 颗种子在琼脂、湿沙或萌发纸上进行萌发试验，重复四次。种子很大时减少种子数量，例如许多种子脱水敏感物种。

## 千粒重

许多数据库中使用千粒重，由四个包含 50 个净种子单位（PSU）样品的重量来计算 1000 粒种子的重量。

注释：千年种子数据库（<https://data.kew.org/sid/>）拥有来自许多国家大量物种的“千粒种子重量”，有助于了解某些野生物种的种子大小。

## 净度

净度检验是在具有代表性的测定样品（见“取样”节）上进行的，用于估计净种子批次的重量百分比。认真细致的种子采集或种子种植管理，以及正确的应用种子调制与清选技术，可获得高种子净度。净度检验需将样品分成三部分：净种子单位（PSU）、其他物种种子、惰性物质。

## 净种子单位

净种子单位（PSU）的标准因物种而异。ISTA 规程为近 450 个属提供了 63 种不同种子单位类型的列表，例如描述了 9 种不同类型的瘦果、5 种不同类型的荚果、8 种不同类型的小穗。虽然没有列出一些乡土物种的属，但可以被归类为 ISTA 所描述的种子单位类型之一。若所提供的定义均不适用，则需要描述新的种子单位类型。

*“与 ISTA、AOSA 指南的净种子单位不同，我们在这里将无法正常萌发的发育不良、已萌发、被感染、异常、尺寸过小或损坏的种子归类为惰性材料。”*

## 指导说明 7

7.1 目标物种种子在分离过程中经目测法认为是健康且可能具有生活力的，应被视为净种子单位（PSU）。

7.2 需要说明与报告种子批次中其他物种（其他乡土植物、杂草）的种子。若可能，需要评估这些种子中是否存在潜在的入侵物种。应在报告单净度部分的注释字段中报告检验到的其他物种（图 6）。

7.3 指明惰性物质，并标明非种子或影响目标种子萌发的所有成分，如空种子单位，破碎、损坏、发育不全与异常的种子，叶与茎碎片、土壤、树枝及任何其他杂质。

Date of treatment: <u>month/year</u>		<b>Seed quality test</b>		Performed by: <u>name of person/company</u>
<b>Purity</b>		<b>Viability</b>		<b>Germinability</b>
Pure Seed Unit PSU: _____ %		Viable Seed Unit VSU: _____ %		Germinable Seed Unit GSU: _____ %
Other seeds <sup>2</sup> : _____ %		<input type="checkbox"/> Cut test <input type="checkbox"/> X-ray <input type="checkbox"/> TZ <input type="checkbox"/> Other		Notes: _____
Inert material <sup>3</sup> : _____ %		Notes: _____		_____
Notes: _____		<b>Dormancy (if required)</b>		Dormancy type (if known) <input type="checkbox"/> Physical <input type="checkbox"/> Physiological <input type="checkbox"/> Morphological <input type="checkbox"/> Morpho-physiological <input type="checkbox"/> Combinational
1000 Pure Seed Units PSU weight: _____ (g).				
Notes: _____		Notes: _____		
<b>Pure Live Seeds PLS:</b> _____ %		<b>Pure Germinable Seed PGS:</b> _____ %		<b>Pure Dormant Seeds PDS:</b> _____ %

图 6: 报表组成部分, 包含了种子质量检验信息。以上表格需根据当地情况和当地技术能力按要求完成。若一个物种没有休眠, 则休眠部分不需填写。

## 净度检验方法

净度检验结果对种子采集者/生产者很重要, 能反馈有关采集与种植方法, 指导改进种子调制和清选。

## 指导说明 8

8.1 通过手动分离、筛子(根据尺寸大小过筛)或使用空气喷射器(分离不同密度的部分), 将种子样品分成三等份。解剖显微镜可以帮助将样品分类为小型或灰尘状的种子。

8.2 用镊子挤压种子(对于较大的种子, 可用纸或用指甲挤压)评估种子单元是否饱满。透视镜提供了照明或 X 射线(见下文), 有助于确定种子单元是满或空的。

8.3 每个分离后的部分都必须称重并显示其占总数的百分比(三份的总和)。若在“其他种子部分”中检测到潜在外来入侵物种的种子, 则必须报告。

*“凭净度检验虽然有用, 但不能提供有关纯净种子单位的生活力/萌发率的信息, 不应用作种子萌发结果的预测指标。”*

## 种子重量测定

一旦从种子批次中获得净种子单位(PSU), 就可以确定固定种子数量(通常为 1000 粒, 称为“千粒种子重量”; TSW)的重量。在组成种子混合物和校准播种率时, 这一信息便与终端用户相关(Shaw et al. 2020)。

## 指导说明 9

9.1 许多乡土物种的千粒重(TSW)可在千年种子库(<https://ser-sid.org/>)开发的 SID 种

子数据库中找到。若某物种的信息不可用，则可以通过四次重复记录 50 个净种子单位（PSU）的重量（ $R_{1-4}$ ）用以下公式计算千粒重（TSW）：

$$\text{Thousand seeds weight (TSW)} = \left( \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}{4} \right) \times 20$$

## 生活力

生活力检验可以确定批次中存活并可能萌发的种子的百分比。已有估计种子生活力的标准方法；然而，由于乡土植物种子的复杂性和多样性，某些方法需要在使用前进行仔细评估和校验。

评估生活力最常用方法是切割试验、X 射线和四唑检测法。萌发力检验也可以用作活力的替代检验；然而，它应该与生存力检验相结合，确定未萌发的种子是否有活力，或处于休眠状态。

## 种子生活力单位（VSU）

生活力检验是针对从净度检验中获得的净种子（PSU）进行的，旨在估计纯净种子样本中存在的有生活力的种子（VSU）的百分比。有生活力的种子（VSU）的百分比与样本重量有关，假设一个有生活力和没有生活力的种子单位的重量是相等的。这个假设取决于什么是乡土植物种子的净种子单位（PSU）（见“种子净度”节）。

## 切割检验

这是一种简单有效的估计生活力的方法。用手术刀片、小刀或其他锋利的器械将种子单元一分为二，对种子的内容物进行视检查。有活力种子的胚乳膨大白色的，没有变色或收缩。如果种子内部结构缺失或出现枯萎、患病、感染、脱落或异常，则种子没有生活力。该检验需要非常了解种子形态和检验物种的经验。该技术可以通过与其他生存力检验或萌发力检验相结合进行校验。该检验的局限性是可能会高估看似健康但已失去萌发力的种子（即死种子）的生活力。

## 指导说明 10

10.1 应使用从净种子单位（PSU）中随机选择的至少 100 颗种子，通过切割检验来确定生活力。固定种子后，用锋利的刀片（如手术刀）将其纵向切开。检查切开后的种子（解剖显微镜特别有助于检查胚）发现胚乳或胚变色或收缩，表明种子没有生活力。报告有生活力的种子单位（VSU），即通过切割检验显示纯净种子单位（PSU）的百分比。

## X 射线

X 射线图像评估可以确定哪些种子看起来完整无损且最有可能有生活力。该非侵入性方法能在成像后保留有生活力的种子，可以将其与其他检验相结合，来确定生活力和萌发

率，提高并校正预测准确性。与切割试验一样，这种方法并不表明实际的种子生活力，因此可能会高估种子批次的生活力。

## 指导声明 11

11.1 随机抽样 25~100 个（取决于种子大小）的净种子单位（PSU）置于 X 射线机中，开机后 X 射线的持续时间和强度能够穿透种子外部结构（如种皮、果实、果皮或小花），使种子内部结构可视化。报告有活度的种子单位（VSU）——通过 X 射线显示净种子单位（PSU）的百分比。

## 四唑检测法

四唑检验是最完整的生活力检验，但非常耗时，并且需要熟练、有经验的操作员根据物种的已有的知识及经验进行操作与评估。该检验需要使用 2,3,5-氯化三苯基四氮唑，常称为四唑（TZ）。四唑与呼吸过程中活细胞释放的氢离子发生反应，形成一种不溶性红色化合物三苯基甲贖。在脱氢酶活跃的种子部分，可以看到甲贖呈红粉色的染色——推测这反映了细胞活力。许多种子有死组织不会被着色，这就形成了类似“地形图”种子染色模式。了解需检验乡土植物的种子形态非常重要，这样活组织的染色模式就能反映种子的生活力。

## 指导声明 12

四唑检测法按如下步骤进行：

12.1 **样本量：**应从纯净种子单位（PSU）中随机抽取的至少 50 颗种子进行检验。

12.2 **润湿：**种子应吸水润湿（放在湿纸间或 20°C 水中浸泡，12 至 24 小时）。种皮不透水的种子，必须刺穿/割破种皮使水进入种子。润湿可以软化种子单元，有利于组织露出及随后进行的四唑（TZ）化学反应。

12.3 **组织露出：**应在四唑（TZ）染色前露出种子组织。根据种子结构，可以使用锋利器械（横向或纵向）切割、胚切除或完全去除种皮来实现。更多相关信息，请参阅“四唑检测法”一节中的 ISTA 或 AOSA 规则。

12.4 根据物种的不同，种子需在 30°C、1% 的四唑水溶液中浸泡 2 至 24 小时（通常为 12 至 24 小时）。ISTA 指南提供了各种农作物、乔木、灌木等物种的四唑（TZ）检验规范；AOSA 在“属”水平上为地理上受限制的乡土物种组提供检验规范。

12.5 **四唑（TZ）染色模式的评估/解释：**通过是否存在红粉染色来评估某些物种的种子生活力。但是需要了解种子的哪些关键部位应该着色（例如胚根尖、芽尖），以及种子活力认定所需的着色（红色、粉红色、浅粉色）强度。因此需要进一步的检验和评估，首先描述不同物种特殊的染色模式，如果染色模式不能成为种子生活力的判定因素，则需要其他检验来证实（包括其与萌发检验的相关性）。

## 萌发力

萌发是衡量种子生活力的最终表现，包含从一个有活力的、休眠种子到发芽，并最终长成植株。萌发通过休眠过滤器将发芽限制在对幼苗建植最有利的时期。

因此，萌发是种子检验规程中的重要步骤，能确定播种或修复计划的结果以及预期植物数量。大多数乡土物种的萌发检验需要的工具简单——萌发基质，合适的温度和湿度，以及管理与解除休眠（若存在）。因此，当操作员或可无法进行其他生活力检验（四唑、X射线）的情况下，萌发检验是一种有效的替代措施，特别是对于不休眠或低休眠的种子（见“根据萌发力确定的生活力检验的替代方法”节）。然而，如果不完全了解打破休眠的处理措施，萌发检验可能会大大低估有活力种子的数量。

请参阅图 2，图中说明了下列每个关键步骤的逻辑框架。

## 可萌发种子单位

可萌发种子单位（GSU）是指最终能够萌发（产生胚根直至幼苗完全发育）的种子数量。可萌发种子单位（GSU）的确定需要了解萌发的环境条件（温度、光照要求）及预期萌发时间，再对净种子单位（PSU）部分的种子进行适当的萌发检验。检验产生的萌发种子数量构成了可萌发种子单位（GSU）的基础。

## 指导说明 13

13.1 确保用于萌发检验的种子来自净种子单位（PSU），干净、不含惰物质，可能萌发的完整无损、膨大的种子。

13.2 使用种子自动计数、称重或手动计数，将 25 粒种子（来自 PSU）的四份重复样品分别放置于四个装有水琼脂或润湿的滤纸、沙子、蛭石或其他支持性培养基的培养皿/容器中。萌发力检验期间保持萌发培养基湿润。为了防止萌发培养基脱水与污染真菌、细菌，应密封培养皿/容器。

13.3 在黑暗（或有光，如果萌发时需要光照）和最适合种子萌发的温度下培养。这些种子萌发的信息可从文献或在线数据库中获得。如果没有这些信息，则需要不同温度和光照条件下进行基础萌发实验，确定最佳萌发条件。

13.4 胚根长度达到 1-2 毫米（具体取决于种子大小）时，记录种子发芽。检测到种子长出胚根时，通常记录为萌发；然而，这并没有提供种苗健康/活力的信息。对于大多数物种不是问题，但是有些情况下异常种苗较常见，应继续检验直到区分出正常和异常种苗。这样的检验将更可靠的估计田间种子出苗与幼苗建植。

注释：若检验的种子单元包含多个种子或种子团聚体（见“种子包衣”），种子单元至少出现一个胚根时，认为能成功萌发，而不考虑单元中包含的实际种子数量。多个胚根出现仍被记录为单个萌发事件。

## 休眠种子单位

不同与农作物种子已破除或降低了休眠，野生物种的种子拥有从简单至复杂不等的休眠系统。种子是否具有休眠状态，可以通过净活种子（PLS）百分比（参见上一节）减去净可萌发种子（PGS）来计算。所有数值均为重量百分比。例如，休眠种子单位（DSU）是休眠种子占净种子单位（PSU）总重量的重量百分比。

$$\text{Dormant Seed Unit (DSU\%)} = \text{Viable Seed Units (VSU\%)} \\ - \text{Germinable Seed Units (GSU\%)}$$

发现休眠后，可以根据文献或经验分析确定休眠类型（以及适当的打破休眠措施）。有关如何识别种子休眠条件的详细信息，请参阅 Baskin & Baskin（2014）。框 1 描述了休眠的类别与降低休眠的方法。

## 框 1. 种子休眠

种子休眠是种子在时间和空间上持续存在的关键机制，种子仅在环境条件有利于萌发与幼苗建植时萌发。数千年的人类选择已经消除了农作物、林业和园艺物种的休眠，导致相关的种子检验标准很少涉及可能具有复杂休眠状态的乡土植物种子。相比之下，野生物种可大致分为非休眠物种或休眠物种。休眠状态根据 Baskin & Baskin（2014）的分类方法，划分为五种：（1）**物理休眠**：种子具有防止水分进入胚乳和胚的不透水种皮。（2）**生理休眠**：种子的激素平衡阻止萌发——有时指限制胚从种子中伸出的“力量”。（3）**形态休眠**：胚在种子传播时发育不全，需要时间在种子内生长，通常是对水分的响应。（4）**形态生理休眠**：胚发育不全，激素失衡会抑制进一步的发育和萌发。（5）**复合休眠**：种子具有不能吸水的物理屏障与生理休眠。

因此，休眠是修复计划中种子使用的关键限制因素（Merritt & Dixon 2011）。然而，在现场使用休眠种子时，了解种子丧失休眠与刺激萌发可能出现不同的成分至关重要，由于种子从静止状态转变为能够接受催芽剂（如光、烟、硝酸盐和温度的波动）的状态（Long et al. 2015）。例如，对于火激发的发芽，土壤种子库中的种子可能在休眠状态间循环往复，等待火通过时可能产生的烟雾提示。如果不处理好休眠和催芽这两个阶段，田间撒播或在苗圃育苗时，将导致施用催芽剂的种子与种子解除休眠的窗口不同步（图 7）。

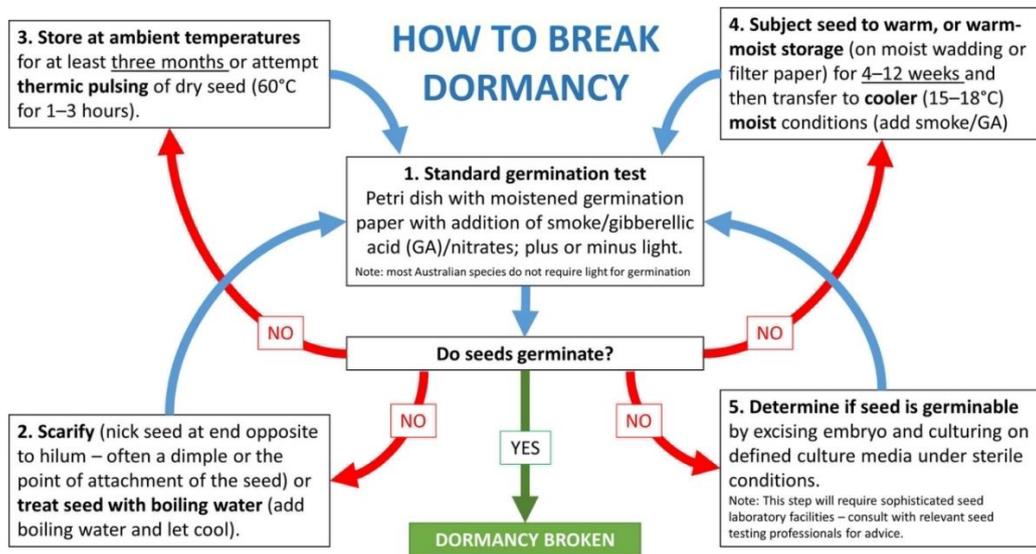


图 7：物种的萌发力未知且存在问题时，上图提供了解除休眠所需的种子处理措施和程序的逻辑框架。一些具有深度顽固休眠的物种可能没有已知的打破休眠程序。

注释：一些野生物种，如具核果的杜鹃花科和许多澳大利亚芸香科、帚灯草科和旱地上的莎草科，具有深度顽固休眠，在实验室条件下不易解决萌发问题。这些物种仅对特定萌发条件有反应，例如在土壤中老化 6 个月至 2 年后施加烟雾，或者对于某些物种可用干热脉冲处理。

## 根据萌发力确定的生活力检验的替代方法

前面的小节按顺序介绍了种子生活力与萌发力的质量检验，并提出了按该顺序进行检验的建议。然而，有两种通过使用发芽试验，无需进行完整的活力测试的替代方法可以确定种子活力。

### 萌发后的活力检验

若休眠或休眠打破机制不明确或不可用，可使用第一种方法（图 8）。

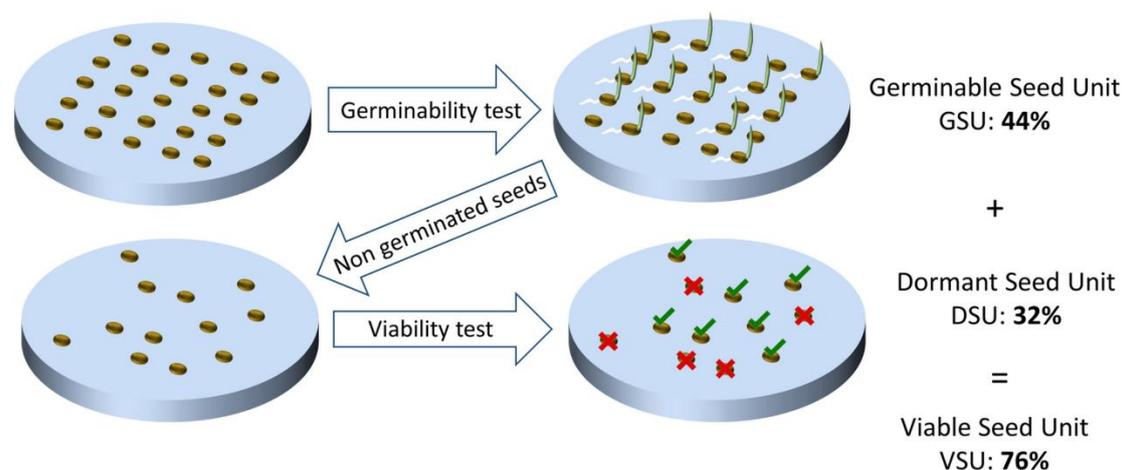


图 8：种子没有进行休眠缓解处理措施或情况未知时，通过萌发试验确定活力。种子萌发是胚根突出种皮 2 毫米和图像中发现子叶。在皮氏培养皿（右下角）中，带有绿色勾号的种子是有活力的，带有红色叉号的种子通过适当的活力检验是没有活力的。

## 指导说明 14

14.1 如“可萌发种子单位”节所述，对净种子单位（PSUs）执行萌发力检验。该检验将得出“可萌发种子单位”的百分比。

14.2 萌发实验结束后，应检查未萌发且没有污染细菌或真菌的饱满健康的种子，以确定这些种子是否处于休眠状态或没有活力；方法是使用“生活力”节中描述的方法之一（切割检验、X 射线或四唑检测法）。此测试将得出休眠种子单位（DSU）的百分比。

14.3 净种子单位（VSU）是可萌发种子单位（GSU）与休眠种子单位（DSU）之和。

### 打破休眠后的萌发

充分了解种子适宜的打破休眠方法和萌发的环境限制后时，可使用第二种方法（图 9）。

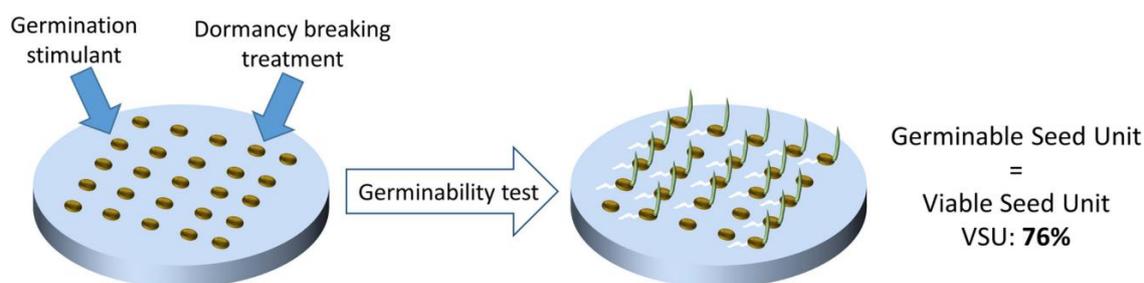


图 9: 应用催芽剂和休眠打破处理后通过萌发力检验确定活力。胚根突出 2 毫米的种子确定为萌发。若完全解除休眠, 萌发力检验的结果 (可萌发种子单位, GSU) 也将提供有生活力种子单位 (纯净种子单位, VSU) 的结果。

## 指导说明 15

15.1 将适合该物种浓度的催芽剂 (烟水)、打破休眠措施与化合物 (赤霉素、硝酸盐、丁烯酸内酯) 合并掺入琼脂或用于润湿发芽基质的水中。或者, 可以将种子浸润在适当稀释的催芽剂/休眠打破剂中, 然后在含有所选萌发基质的培养皿中培养。

15.2 如果允许, 确保种子经过适当处理 (后熟、层积处理), 和/或打破物理休眠 (即割痕处理、开水处理)。

15.3 萌发力检验提供“有活力的种子单位百分比”。

15.4 若需要, 休眠种子单位百分比 (DSP) 可以通过未打破休眠状态的萌发力检验结果中减去该检验结果来确定。

注释: 若实验室条件不允许, 可以对萌发力检验后剩余的未萌发种子进行简单的切割检验, 以估计种子休眠与活力。

## 净活种子

生活力检验的结果, 表示为有活力的种子单位 (纯净种子单位, VSU), 结合净度检验 (纯净种子单位, PSU) 的结果, 可以使用以下公式计算净活种子 (PLS) 的重量百分比。

$$\begin{aligned} \text{Pure Live Seed (PLS\%)} \\ &= \frac{\text{Viable Seed Unit (VSU\%)} \times \text{Pure Seed Unit (PSU\%)}}{100} \end{aligned}$$

## 指导说明 16

16.1 净活种子 (PLS) 百分比是最低质量检验要求, 应在种子批次的标签上报告。

净活种子 (PLSs) 值是活种子在整个种子批次重量中所占百分比的估计值。例如, 20 公斤种子有 72% 净活种子 (PLS) 表明 14.4 公斤种子是有活力的。表示净活种子 (PLS) 的另一种方法, 是显示每单位重量的净活种子 (PLS) 的估计数值。这两个值对于种子用户在计划播种作业时特别有用 (Shaw et al. 2020)。

## 净可萌发种子和净休眠种子

完成了萌发力检验，萌发结果（可萌发种子单位，GSU）和休眠（休眠种子单位，DSU）就会与净种子单位（PSU）相关，可得出净可萌发种子（PGS）和净休眠种子（PDS）占种子批次总重量的重量百分比：

$$\text{Pure germinable seeds (PGS)} = \frac{\text{Germinable seed unit (GSU)} \times \text{Pure seed unit (PSU)}}{100}$$

$$\text{Pure dormant seeds (PDS)} = \frac{\text{Dormant seed unit (DSU)} \times \text{Pure seed unit (PSU)}}{100}$$

应在报表中报告净活种子（PLS）、净可萌发种子（PGS）和净休眠种子（PDS）的值（图 6）。

## 种子增强：打破休眠、引发和种子包衣

Pedriani et al. (2020a) 概述了种子增强技术开发和应用的关键过程和方法。增强措施包括简单的程序化打破休眠（割痕、赤霉酸等）到种子引发和种子包衣等。农业/园艺部门应用的此类方法和技术最近也用于乡土植物种子产业。其他新兴技术涉及带有种子嵌入体或种子团聚体的新型挤压复合材料，正在开发用于特定的修复应用（图 10）。

Date of treatment: *month/year*

### Seed enhancement

Performed by: *name of person/company*

<input type="checkbox"/> <b>Dormancy release*</b> <input type="checkbox"/> After-ripening: _____ <input type="checkbox"/> Stratification: <i>warm, cold, dry...</i> <input type="checkbox"/> Scarification: <i>abrasion, acid...</i> Notes: _____ <div style="border: 1px dashed black; padding: 2px;"> <input type="checkbox"/> Chemical: <i>GA, KNO<sub>3</sub>, smoke...</i> </div>	<input type="checkbox"/> <b>Seed priming</b> <input type="checkbox"/> Hydro <input type="checkbox"/> Osmo <input type="checkbox"/> Solid-matrix <input type="checkbox"/> Chemo <input type="checkbox"/> Other Notes: _____ <div style="border: 1px dashed black; padding: 2px;"> <input type="checkbox"/> Promoters: <i>hormones, chemical...</i> </div>	<input type="checkbox"/> <b>Seed coating</b> <input type="checkbox"/> Film <input type="checkbox"/> Encrust <input type="checkbox"/> Pellet <input type="checkbox"/> Other Notes: _____ <div style="border: 1px dashed black; padding: 2px;"> <input type="checkbox"/> Promoters: <i>hormones, chemicals...</i> </div> <div style="border: 1px dashed black; padding: 2px;"> <input type="checkbox"/> Protectants: <i>fungicide, pesticide...</i> </div>
---	--	---

图 10：用于报告种子增强处理措施的报表组成部分。方框按要求填满。若使用化学促进剂/保护剂（杀虫剂）或激素等化合物，则在每个相关部分的虚线框中报告。当对种子批次进行多种处理措施时，应报告这些处理措施。

尽管种子增强在乡土植物种子行业处于起步阶段，但全球生态修复对乡土植物种子的需求正迅速增长，增强了人们对修复计划中种子配置效率的兴趣。种子增强可实现这些效率目标。以下指导说明部分来自农作物/园艺种子强化行业的经验，使种子购买方相信“增强”后的种子能改善修复行为。

## 指导说明 17

17.1 若种子供应商进行种子增强处理，应说明处理措施（休眠释放、萌发刺激、引发、包衣）。使用的处理措施类型应适合相应的物种与生境。

17.2 若对整个种子批次进行处理，应进行报告。若仅对样品进行增强以评估活力，则不应在本部分指出，在活度/萌发力部分的注释中报告。

17.3 应报告种子处理的日期；若已知，则应具体说明增强后种子的保质期。

17.4 若采用一整套组合处理措施，则应报告所有处理措施。

17.5 应具体说明包含在种子或种皮中的萌发/生长增强剂、抗捕食剂、杀虫剂和抗微生物剂、生物制品（有益细菌和真菌），并报告这些化合物的浓度。

17.6 当杀虫剂类化学品进入增强后的种子，种子供应商必须在使用时遵守国家杀虫剂标准，并提供所需的法律标签和处理说明。

## 休眠释放

若已知种子休眠，则可对种子批次进行处理以消除或减轻休眠，确保种子易于萌发。根据休眠类型，有许多不同的处理方法（Kildisheva et al. 2020）。若种子批次已进行过释放休眠和刺激萌发的处理，则应在报告单中报告。

## 指导说明 18

18.1 对于后熟和层积处理，请注明处理的持续时间和应用条件（温度、湿度）。

18.2 对于割痕处理，应报告所使用的方法（如酸法、干热法、开水法、磨损法、敲击法、风钻法）。

18.3 若在过程中使用了化学品改良剂，则还应具体说明化合物的名称、使用的浓度以及使用的使用方法（如吸胀作用）。

## 种子引发

种子引发包括控制种子的水合反应，即在不可逆的萌发开始之前停止水合作用，并在干燥后种子能保持活力。也就是将萌发变成了一个可逆阶段。众所周知，种子引发可以提高萌发的速度与同步性，以及幼苗活力。该过程还可用于施加有益化合物的处理，例如催芽剂（如烟雾、烟雾化合物）与激素（赤霉素、水杨酸）。与未处理的种子相比，种子引发的潜在缺点是处理后的种子保质期缩短。

## 指导说明 19

19.1 具体说明所使用的种子引发类型。

19.2 报告处理的持续时间、条件（温度、水势）与使用的设备。

19.3 若促进剂通过引发措施传递给种子，则需报告所使用的促进剂类型（化学或激素）及其浓度。

## 种子包衣

种子包衣是将外部材料涂抹在种子上，以提供有益的活性成分（保护剂或催芽剂）并调整种子形状与大小，改善种子可用性和流动性的做法。通常对单个种子进行种子包衣（单一化）；然而，在某些情况下，可以进行多个种子的丸粒（团聚体）。在这种情况下，在种子质量评估期间应将丸粒化单位视为单个种子单位；不过，应报告每个团聚体的平均种子数量。

## 指导说明 20

- 20.1 说明所用种子包衣的类型。
- 20.2 注释中注明包衣材料（粘合剂和填料）和包衣设备。
- 20.3 若使用促进剂和保护剂（杀真菌剂、杀虫剂），则报告并显示浓度。
- 20.4 一个单元（团聚体）内有许多种子的包衣种子，显示每个单元中的平均种子数量。

## 如何使用乡土植物种子标准

该标准提供了实用的分步指南，确保乡土植物种子供应链中的每一步都有据可依。报表（图 2）若被采纳，可开发成一个强大的种子供应管理系统，并与在线数据库相结合。能够通过供应链追踪种子批次，提供必要/相关的信息并准确地报告给终端用户。

在大多数情况下，期望每袋种子批次都提供报表是不可行的，尤其是种子以混合形式出售时（这种情况比较常见）。

以下提供了单一物种的种子袋（图 11）与混合物种的种子袋（图 12）可供选择的简洁标签。

The image shows two examples of seed labels. The top label is for 'Wild-collected' seeds. It includes fields for Species, Seed lot#, Seed batch weight, Date of collection, Location, Seed Source, Seed enhancement (Date of treatment, Treatment, Chemicals), and two boxes for 'Pure Live Seeds PLS' and 'Pure Germinable Seed PGS'. The bottom label is for 'Cultivated' seeds. It includes fields for Species, Seed lot#, Seed batch weight, Location, Date of collection, Date of harvest, Gen #, Seed Source, Seed enhancement (Date of treatment, Treatment, Chemicals), and two boxes for 'Pure Live Seeds PLS' and 'Pure Germinable Seed PGS'. Both labels feature the SER logo and company information.

图 11：适用于乡土植物种子销售点发布的标签示例。顶部标签适用于直接在野外收获的种子，底部标签适用于来自有管理的种子生产区的种子。

Mix name: reference ecosystem/community



Total Seed mix weight: 5 kg

Date of preparation: month/year

Company logo, name  
address, contact

Species name	Batch #	Cultivated	Seed source	Collection/ Harvest date	Enhancement*	PLS%	% on total weigh	Weight (g)
Species 1	#	Y	<u>state/province, municipality, seed zone</u>	<u>month/year</u>	Y	80	40	2,000
Species 2	#	Y	<u>state/province, municipality, seed zone</u>	<u>month/year</u>	N	60	30	1,500
Species 3	#	N	<u>state/province, municipality, seed zone</u>	<u>month/year</u>	N	75	15	750
Species 4	#	Y	<u>state/province, municipality, seed zone</u>	<u>month/year</u>	N	90	10	500
Species 5	#	N	<u>state/province, municipality, seed zone</u>	<u>month/year</u>	Y	45	5	250

\*enhancement: If yes specify kind of enhancement and if potentially harmful chemicals are present

Species 1: Seed coating- encrusting with natural predator deterrent (Chili powder)

Species 5: Hot water treatment to release dormancy

图 12: 供应种子混合物的标签示例。

## 结论

上述标准是提高乡土植物种子供应链可靠性的实用工具。目标是向种子终端用户做出合理的质量期望与保证，使种子供应商在实践操作上可行与经济上可行之间取得平衡。构成本标准基础的上述 20 条指导说明将被修改完善，并在未来版本的标准中提供额外的说明。我们欢迎对这些指导说明的改进、修正与补充意见。

本文件及其中的标签规范、说明不具约束力，但提供了适用于全球生物群落和不同社会经济情景的明确指导。它旨在让所有参与乡土植物种子采集、生产与使用的群体都可以访问和实践。该标准的一个实际好处是提供了一套“行业已就绪”的标签（“报表”），该标签可使种子用户/购买者对同一个乡土植物种子批次的期望维持在一水平。

重要的是，这些标准指导用户了解乡土植物种子的质量和特征，这些质量和特征通常与为农作物、林业、园艺和牧草物种所制定的标准不同。

在许多情况下，需要对标准进行适应区域与地方性的调整，从而反映物种质量和特征、地方性的乡土植物种子需求、乡土植物种子市场的结构及监管环境。若没有关于乡土植物种子的法规或指南，则该标准是制定监管框架的理想模板。上述标准可用于告知监管机构乡土植物种子的独特性，并鼓励监管上的更新，以确保乡土植物种子健康、可持续的发展与未来有效的生态修复产业相协调。

# 致谢

本出版物由澳大利亚政府通过澳大利亚研究委员会矿区恢复工业转型培训中心（项目编号 ICI150100041）提供支持。本文表达的观点是本文作者的观点，不一定代表澳大利亚政府或澳大利亚研究委员会的观点。我们还要感谢 INSR（国际基于种子的修复网络，**International Network for Seed Based Restoration**）董事会成员在手稿的规划和准备过程中提供的支持和帮助，以及众多非正式审稿人和匿名审稿人的作用，他们的意见和反馈极大地提高了手稿的质量。

## 参考文献:

- Association of Official Seed Analysts (2019) AOSA Rules for seed testing—principles and procedures. <https://www.analyzeseeds.com/product/aosa-rules-volume-1-principles-procedures-2019/>
- Baskin CC, Baskin JM (2014) Seeds. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Second ed. Elsevier, Inc.
- Bower AD, Clair JBS, Erickson V (2014) Generalized provisional seed zones for native plants. *Ecological Applications* 24: 913– 919
- Bureau of Land Management (2018) Seeds of success. Technical protocol for the collection, study, and conservation of seeds from native plant species, <https://www.blm.gov/sites/blm.gov/files/uploads/SOS%20Protocol%206.20.18.pdf>
- Cross AT, Pedrini S, Dixon KW (2020) Foreword: International Standards for Native Seeds in Ecological Restoration. *Restoration Ecology* 28: S216– S218
- ENSCONET (2009a) Curation protocols & recommendations, [https://www.luomus.fi/sites/default/files/files/curation\\_protocol\\_english.pdf](https://www.luomus.fi/sites/default/files/files/curation_protocol_english.pdf)
- ENSCONET (2009b) Seed collecting manual, [https://www.luomus.fi/sites/default/files/files/collecting\\_protocol\\_english.pdf](https://www.luomus.fi/sites/default/files/files/collecting_protocol_english.pdf)
- Erickson VJ, Halford A (2020) Seed planning, sourcing, and procurement. *Restoration Ecology* 28: S219– S227
- FloraBank (1999) Native seed collection methods, [https://www.greeningaustralia.org.au/wp-content/uploads/2017/11/FLORABANK-GUIDELINES\\_collection-methods.pdf](https://www.greeningaustralia.org.au/wp-content/uploads/2017/11/FLORABANK-GUIDELINES_collection-methods.pdf) (accessed 12 Mar 2020)
- Frischie S, Miller A, Kildisheva OA, Pedrini S (2020) Native seed processing and quality testing. *Restoration Ecology* 28: S255– S264
- Frischie S, Miller A, Pedrini S, Kildisheva O (2020) Ensuring seed quality in ecological restoration: Native seed cleaning and testing. *Restoration Ecology* 28: S239– S248
- Gann GD, McDonald T, Walder B, Aronson J, Nelson CR, Jonson J, et al. (2019) International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology*, Washington D.C.
- Guzzomi AL, Erickson TE, Ling KY, Dixon KW, Merritt DJ (2016) Flash flaming effectively removes appendages and improves the seed coating potential of grass florets. *Restoration Ecology* 24: S98– S105
- International Seed Testing Association (2019) International rule for seed testing.
- Kildisheva OA, Dixon KW, Silveira FAO, Chapman T, Di Sacco A, Mondoni A, Turner SR, Cross AT (2020) Dormancy and germination: making every seed count in restoration. *Restoration Ecology* 28: S255– S264
- Long RL, Gorecki MJ, Renton M, Scott JK, Colville L, Goggin DE, Commander LE, Westcott DA, Cherry H, Finch-Savage WE (2015) The ecophysiology of seed persistence: a mechanistic view of the journey to germination or demise. *Biological Reviews* 90: 31– 59.
- Mainz AK, Wieden M (2019) Ten years of native seed certification in Germany—a summary. *Plant Biology* 21:383–388.
- Marin M, Toorop P, Powell AA, Laverack G (2017) Tetrazolium staining predicts

germination of commercial seed lots of European native species differing in seed quality. *Seed Science and Technology* 45: 1– 16.

- Merritt DJ, Dixon KW (2011) Restoration seed banks—a matter of scale. *Science* 332: 424–425.
- Native Seed Quality Task Force (2011) Native seed quality bulletin.
- Nevill PG, Cross AT, Dixon KW (2018) Ethical seed sourcing is a key issue in meeting global restoration targets. *Current Biology* 28: R1378– R1379.
- Pedrini S, Balestrazzi A, Madsen M, Bhalsing K, Hardegree S, Dixon KW, Kildisheva OA (2020a) Seed enhancement: getting seeds restoration-ready. *Restoration Ecology* 28: S265–S274
- Pedrini S, Gibson-Roy P, Trivedi C, Gálvez-Ramírez C, Hardwick K, Shaw N, Frischie S, Dixon K (2020b) Seed collection and seed production areas. *Restoration Ecology* 28: S227–S237
- Pedrini S, Lewandrowski W, Stevens JC, Dixon KW (2019) Optimising seed processing techniques to improve germination and sowability of native grasses for ecological restoration. *Plant Biology* 21:415–424.
- Ryan N, Laverack G, Powell A (2008) Establishing quality control in UK wildflower seed production. *Seed Testing International* 135:49–53.
- Scotton M, Kirmer A, Krautzer B (2012) Pages 1– 116. Practical handbook for seed harvest and ecological restoration of species-rich grasslands. Cleup, Padova, Italy.
- Shaw N, Barak RS, Campbell RE, Kirmer A, Pedrini S, Dixon K, Frischie S (2020) Seed use in the field: Delivering seeds for restoration success. *Restoration Ecology* 28: S276– S285
- Stevens J, Chivers I, Symons D, Dixon K (2015) Acid-digestion improves native grass seed handling and germination. *Seed Science and Technology* 43: 313– 317
- Tischew S, Youtie B, Kirmer A, Shaw N (2011) Farming for restoration: building bridges for native seeds. *Ecological Restoration* 29: 219– 222
- De Vitis M, Abbandonato H, Dixon K, Laverack G, Bonomi C, Pedrini S (2017) The European native seed industry: characterization and perspectives in grassland restoration. *Sustainability* 9: 1682
- De Vitis M, Fiegenger R, Dickie J, Trivedi C, Choi J, Hay F (2020) Seed storage: maintaining seed viability and vigor. *Restoration Ecology* 28: S248– S254
- Vogel KP (2002) The challenge: high quality seed of native plants to ensure successful establishment. *Seed Technology* 24: 9– 15

# Translation Memo:

after-ripening 后熟  
acid digestion 酸蚀处理  
agronomic reliability 农艺可靠性  
AOSA 美国官方种子分析师协会  
boiling treatment 开水处理  
coated unit 包衣单位  
chaffy materials 糠秕材料  
chemical agents 化学试剂  
chemical promoters/protectants 化学促进剂/保护剂  
collection 采集  
deployment 调度, 布设  
deep intractable dormancy 深度顽固休眠  
donor population 被采集种群  
dormancy 休眠  
dormancy breaking 打破休眠  
dormant seed unit, DSU 休眠种子单位  
ecological restoration 生态修复  
eco-regional approaches 生态区方法  
embryo 胚  
endosperm 胚乳  
enhanced genetic materials 增强型遗传材料  
flash flaming 火焰处理  
genetic fidelity 遗传同一性  
germinability 萌发力  
germinable seed unit, GSU 可萌发种子单位  
green/dry-hay 青/干草  
hand-halving 手分  
herbarium voucher 植物标本凭证  
International Seed Testing Association, ISTA 国际种子检验协会  
imbibition 吸胀作用  
karrikinolide 丁烯酸内酯  
multiplication 扩繁  
orthodox seed 正常型种子  
pelleted unit 丸粒化单位  
postmaturation 后熟  
priming 引发  
processing 调制  
provenance 溯源  
pro-forma 报表  
purity 净度  
pure live seed, PLS 净活种子, 种子用价

pure germinable seed, PGS 净可萌发种子  
pure dormant seed, PDS 净休眠种子  
pure seed units, PSU 净种子单位  
rehabilitation 生态改善  
revegetation 植被重建  
recalcitrant seed 顽拗型种子  
scarification 割痕处理  
seed agglomerate 种子团聚体  
seed coating 种子包衣  
seed collection and transfer zones 种子采集与转移区  
seed enhancement 种子增强  
seed farming efficiency 种业效率  
seed lot 种子批  
seed batch 种子批次  
seed production areas, SPAs 种子生产区  
seeds of improved genetics 遗传改良种子  
seed stripping 种子脱粒  
seedling establishment 幼苗建植  
smoke water 烟水  
sourcing 溯源  
storage 贮藏  
stratification 层积处理  
Tetrazolium Test, TZ 四唑检测法  
triphenyl foramzan 三苯基甲贍  
Trier devices 试验机装置  
variety 品种  
varietal fidelity 品种真实度  
vacuum 真空清洁  
vermiculite 蛭石  
viability 生活力  
viable seed unit, VSU 生活力种子单位  
visual assessment 目测法评估  
2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride 2,3,5-氯化三苯基四氮唑