

使用铁粉包衣种子的水稻直播 种植

—可在包衣后立即播种，解决了发热和出芽延迟的问题—

2025



2025年 12月

山内 稔

目录

	序言	4
1	<u>铁粉包衣种子</u>	4
1.1	包衣的目的和原理	
1.2	种子预处理、发芽速度、品种	
1.3	包衣材料的组成、分量及特性	
1.4	从准备种子到播种的作业流程	
2	<u>准备铁粉包衣种子</u>	11
2.1	准备材料	
2.2	准备种子	
2.3	包衣作业	
2.4	包衣后	
2.5	长期保存	
2.6	发芽测试	
3	<u>田地准备</u>	20
3.1	适合直播的水田	
3.2	直播失败的水田、即便直播成功但不够省力的水田	
3.3	准备直播用水田的关键点	
4	<u>肥料和农药</u>	23
4.1	肥料	
4.2	农药	
5	<u>播种</u>	24
5.1	播种时期对出苗和收割时期的影响	
5.2	表面播种	
5.3	穴播、条播与撒播的区别	
5.4	穴播、条播	
5.5	撒播	
5.6	播种量	
6	<u>晒苗</u>	30
7	<u>耙田后直播</u>	31
7.1	撒播（湛水播种）	
7.2	穴播、条播（暂时排干耙田水后进行播种）	
7.3	其他	
8	<u>免耙田直播</u>	33
8.1	免耙田湛水直播	
8.2	干田直播	

8.3	由耙田转为免耙田的直播事例	
8.4	免耙田对出苗率和产生自生稻的影响	
9	<u>鸟害导致出苗减少</u>	35
10	<u>土壤还原导致出苗减少</u>	36
11	<u>病虫害和水生生物导致出苗减少</u>	37
12	<u>稳定高产的关键点</u>	39
	12.1 优化播种量	
	12.2 改善水量管理	
	12.3 施肥管理	
	12.4 新型铁粉包衣种子与传统型的产量比较	
13	<u>可持续性</u>	41
	13.1 包衣材料的安全性	
	13.2 减少化学肥料	
	13.3 减少化学农药	
	13.4 保护水资源	
	13.5 应对全球变暖—高温损害、抑制甲烷生成	
	13.6 抑制杂草稻	
	13.7 湿田及其干田化、湛水直播及干田直播	
14	<u>知识产权、材料和技术指导</u>	43
	14.1 材料	
	14.2 技术指导	
	<u>参考资料</u>	43
	<u>作者、联系方式</u>	

序言

近年来，在亚洲和非洲地区，随着经济的快速增长，使得农业劳动力短缺，因此相较传统的移栽种植，省力的水稻直播种植备受关注。在这样的背景下，亚洲自 20 世纪 80 年代开始推广 Wet seeding（在耙田后立即强制排水并播种催芽种子的方法），但其背后存在的问题是当在蓄水的水田中播种稻种时，种子会漂浮流动，造成出苗不稳。而 2004 年开发的铁粉包衣直播技术解决了这一浮苗难题，实现了在湛水状态下播种（Water seeding）。然而，这种传统的铁粉包衣技术存在因铁氧化发热导致包衣作业复杂，以及发芽时间较长导致出苗稳定性不足等需要克服的课题。

本手册的核心是为了解决这些课题而在 2022 年开发的新型铁粉包衣技术。该新技术通过调节铁氧化产生的热量，并选择熟石膏，使得种子可以在包衣后立即播种，并且还实现了剩余包衣种子的长期储存。此外，还能与催芽种子以相同速度快速发芽，并稳定早期生长。与传统型的区别在于种子包衣，种植方法相同。

直播种植通常存在需要强制排水及过度使用化肥和农药来弥补出苗不稳定的问题。因此，本手册提出了采用新型铁粉包衣技术的种植方法，以避免对材料过度依赖，并同时实现产量稳定和可持续性。

本手册中提出的种植方法是针对日本国内有限地区开发而成。因此，为了适应地区特有的环境和种植惯例，仍需进一步的改进和优化。衷心希望本手册能成为您成功实现您所在地区直播种植的第一步。

1 铁粉包衣种子

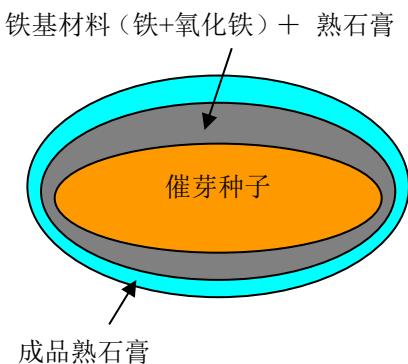
1.1 包衣的目的和原理

由于种子在水中受浮力影响，容易漂浮，因此选择比重大的铁基材料（铁与氧化铁的混合物）进行包衣。通过铁粉包衣处理，可以在耙田后的水田中实施湛水条件下的播种（在湛水状态下播种，英文称为 Water seeding，目前在亚洲普及的是在耙田后立即强制排水再播种催芽种子，称为 Wet seeding）。

包衣需要使用被称为粘合剂的糊状成分。。铁粉包衣种子中的粘合剂是水、铁锈和熟石膏。

- 在包衣时喷水，水也会含在催芽种子中。水作为粘合剂的作用在包衣层和种子干燥后就会消失。
- 铁氧化后会生成铁锈。因此，铁基材料中铁的浓度越高，包衣就越坚固。
- 熟石膏除了作为粘合剂外，还能促进铁的氧化反应。熟石膏在水中会逐渐溶解，因此只是

暂时发挥粘合剂的作用。



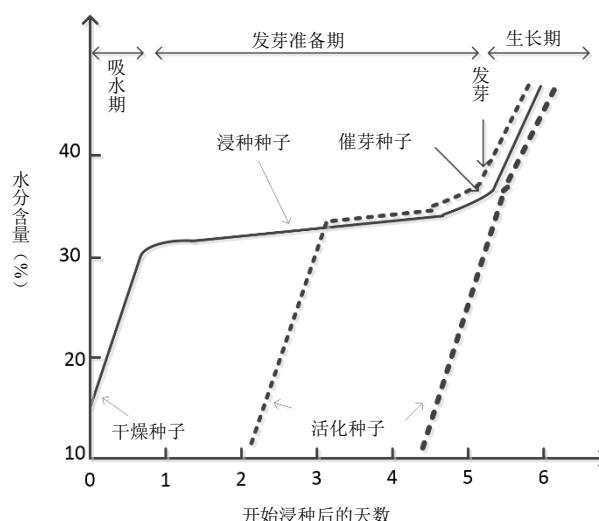
在喷水的同时，用铁基材料和熟石膏覆盖稻种表面。

铁开始氧化时会发热。因此，混合氧化铁以改变铁的浓度，从而调节氧化反应的强度。
铁在空气中、播种后在水中都会发生氧化。

1.2 种子预处理、发芽速度、品种

直播时使用发芽较快的种子，有利于稳定出苗及防治杂草。种子的发芽速度依次如下。

催芽种子 > 浸种种子 > 活化种子 > 干燥的未处理种子



将种子浸入水中，经过吸水期和发芽准备期后发芽并生长。

活化种子是指在发芽准备期停止浸种后进行干燥处理的种子，其发芽速度比未经处理的干燥种子更快。但是，需要吸水时间（1天）才能开始生长，比浸种种子和催芽种子要慢。

- 如果发芽率维持在较高水平，那么储存在低温储存库的前一年产种子无需进行浸种处理即可激活，并且会比刚收割的种子更早发芽。
- 反之，发芽率下降（低于 95%）的种子在浸种后干燥成活化种子时，发芽率还会进一步降低约 10%。因此，发芽率下降的种子不应作为活化种子，而应以催芽种子的状态播种。
- 关于铁粉包衣，不存在因品种不同而产生的适用性问题。但不同品种在发芽和早期生长的速度、株高以及抗倒伏性上存在差异，因此在直播方面存在适用性问题。
- 通过铁粉包衣处理，可减少种传病虫害的发生。因此，在例年较少发生种传病害的地区可以省略种子消毒步骤。虽然也可使用已经过种子消毒（包括温水消毒）的种子，但不可使用 Padan SG（使铁粉包衣种子的发芽率下降）和 Momigard（使铁粉包衣变脆）进行消

毒的种子。

1.3 包衣材料的组成、分量及特性

铁粉包衣种子的比重、强度、发热、发芽时间这四个重要特性由铁浓度、铁粉包衣比、水分含量这三大要素决定。

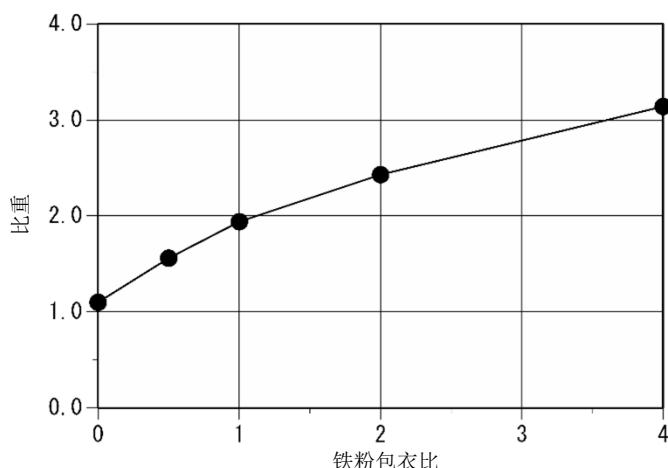
原材料是铁基材料（铁粉和氧化铁粉的混合物）和熟石膏。铁粉是“还原铁粉”，氧化铁是氧化皮（钢材制造过程中生成的铁的氧化物膜）等，其组成用铁浓度表示。

$$\text{铁浓度} (\%) = \text{铁粉重量} / (\text{铁粉重量} + \text{氧化铁重量}) \times 100$$

附着在稻种上的铁基材料的量用铁粉包衣比表示。

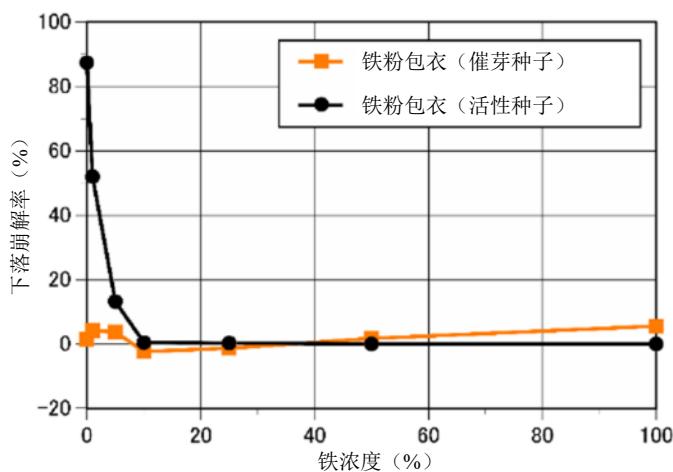
$$\text{铁粉包衣比} = \text{铁基材料重量} / \text{稻种干重}$$

熟石膏是在包衣后立即播种到水中也不易崩解的材料。

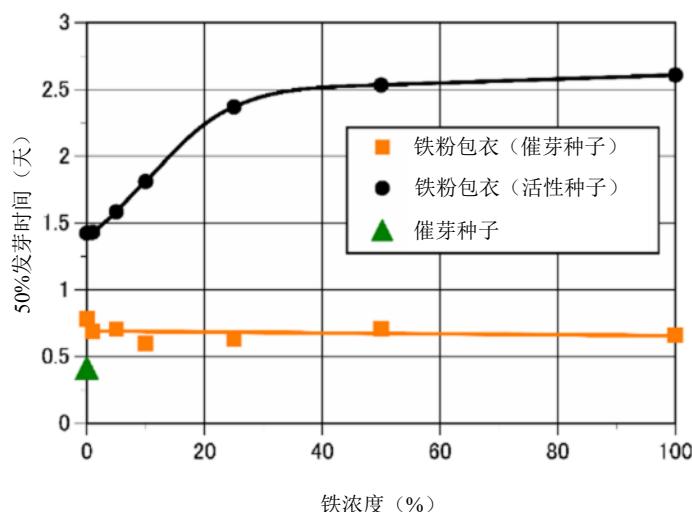


铁粉包衣比和比重的关系 稻种的比重约为 1.0，在水中容易漂浮。包衣比变大时，比重也变大，使种子变重，从而更好地粘附在土壤上，使种子更容易生根，不容易漂浮。

包衣层的强度由水分含量和铁基材料中所含铁粉的浓度决定。如果包衣种子处于湿润的催芽状态，则在播种时或储存时其机械强度更高。这是因为水起到了粘合剂的作用。然而，当包衣层干燥后转化为活化种子时，粘合剂只有铁锈。因此，当铁浓度低于 10% 时，包衣层会变得脆弱。



包衣层中所含铁浓度与下落崩解率的关系 包衣层的强度通过将包衣种子从高处掉落，根据此时包衣层的破损程度来测量。当下落崩解率超过 65%时，播种时包衣种子容易损坏。



包衣层中所含铁浓度与 50% 发芽时间的关系 发芽速度是指种子浸入水中，半数发芽所需的时间，即 50% 发芽时间（天）。

催芽种子发芽较快，其次是包衣的催芽种子。包衣的活化种子发芽较慢，当铁浓度超过 50% 时会更慢。

提高铁浓度可使包衣层变得坚硬牢固，但铁的氧化发热较强，种子的温度会升高，因此需要散热。种子的温度由发热与散热的平衡决定。铁粉种类不同，发热程度也存在差异。并且，散热会因作业场所的气温、湿度、是否有风、种子的水分含量（催芽种子和干燥种子的区别）等因素而有所变化。包衣后如果将种子摊薄平铺，散热会增大，种子温度的上升会较小，反之如果将种子堆成块，散热会较小，温度会升高。

按照铁粉包衣比 0.5，对水稻催芽种子进行包衣，并装入种子用网袋（40×60cm）中，堆积厚度为 5cm 时，在铁浓度 10% 和 25% 下，温度上升最高值均为 9℃，无差异；而当堆积厚度达到 10cm 时，在铁浓度 10% 下温度上升最高值为 13℃，在铁浓度 25% 下温度上升最高值为 28℃。铁浓度 50% 的材料在包衣下落试验中的强度几乎与传统的铁粉包衣种子（铁浓度 90~100%）相同。另一方面，由于铁浓度较低，发热程度比传统型小，因此更容易进行包衣作业。

铁基材料中所含铁浓度与氧化发热的程度、散热标准，以及包衣强度 铁粉包衣比为 0.5 的

示例

铁浓度 %	发热程度	散热标准 堆积厚度 cm	包衣的强度	
			催芽种子	活化种子
0~10	小	10	强	弱
25	中	5	强	中
50	大	3	强	强
90~100	极大	1	强	强

散热标准以包衣种子装入网袋时的厚度表示。在催芽种子中，水也起到粘合剂的作用，包衣的强度得以提高。



铁粉包衣比为 0~1.0 的种子
刚包衣后



铁粉包衣比为 0~1.0 的种子
氧化、干燥处理后（传统型）

标准规格是铁基材料的铁浓度为 10~25%、铁粉包衣比为 0.5 的催芽种子。铁浓度越高，储存时越需要摊薄平铺。将刚包衣的种子装入种子用网袋时，控制温度升高不超过室温 10°C 的标准是铁浓度为 10% 时网袋的堆积厚度为 10cm，铁浓度为 25% 时堆积厚度为 5cm。

铁粉包衣比和分量 (kg) 种子 (干重) 1kg 的示例

铁粉包衣比		0.1	0.5	1.0
混合	铁基材料 (kg)	0.1	0.5	1.0
	熟石膏 (kg)	0.01	0.05	0.1
铁基材料和熟石膏的混合品 (kg)		0.11	0.55	1.1
成品熟石膏 (kg)		0.01	0.05	0.05

将熟石膏按 10% 的比例混入铁基材料中。市面上也有混合品出售。成品熟石膏的量为铁基材料重量的 10%，但当铁粉包衣比超过 0.5 时，减少到约 5%。

铁粉包衣比和铁浓度需根据种植条件等进行调节。

在有利条件下，铁粉包衣比即使降低至约 0.05，仍有望对催芽种子出苗起到稳定作用。较小的铁粉包衣比使包衣作业更快更容易，抑制氧化发热，同时大幅降低材料费。另一方面，如果播种后风大，田面水晃动则更容易漂浮，排水时则容易遭受麻雀啄食危害。铁粉包衣比最大可以提高到 2 左右。在水中稳定，并能有效抑制麻雀啄食危害。但是包衣需要时间，氧化会产生更多热量，材料费用上升，播种料斗也会变重。

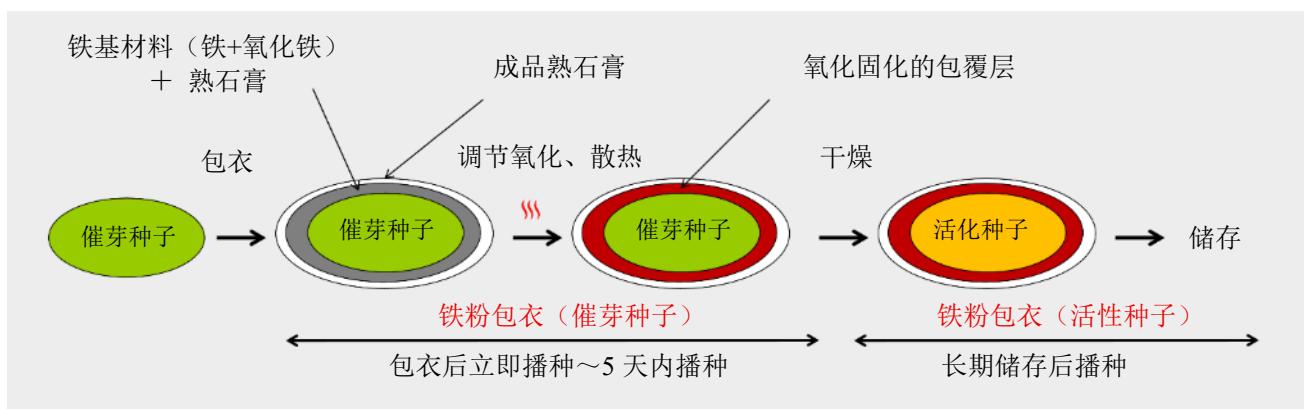
1.4 从准备种子到播种的作业流程

传统的铁粉包衣种子是批量预先制备后长期保存，并可以随时播种，属于“预先制备”型的省力方式。新技术是对催芽种子进行包衣后立即播种，如果有剩余的种子则可以在几天后播种、或者长期保存后播种的省力方式。换而言之，只针对播种当天所需的量进行包衣作业后播种，如果由于紧急情况或天气条件等原因导致播种中断或延迟，可以将其放入网袋中，或摊薄平铺以便储存直至播种。反之，也可以在播种日前进行包衣，1 到 5 天（仅供参考）后播种。干燥后可以长期保存再进行播种。因此，也可以成为“预先制备”型。

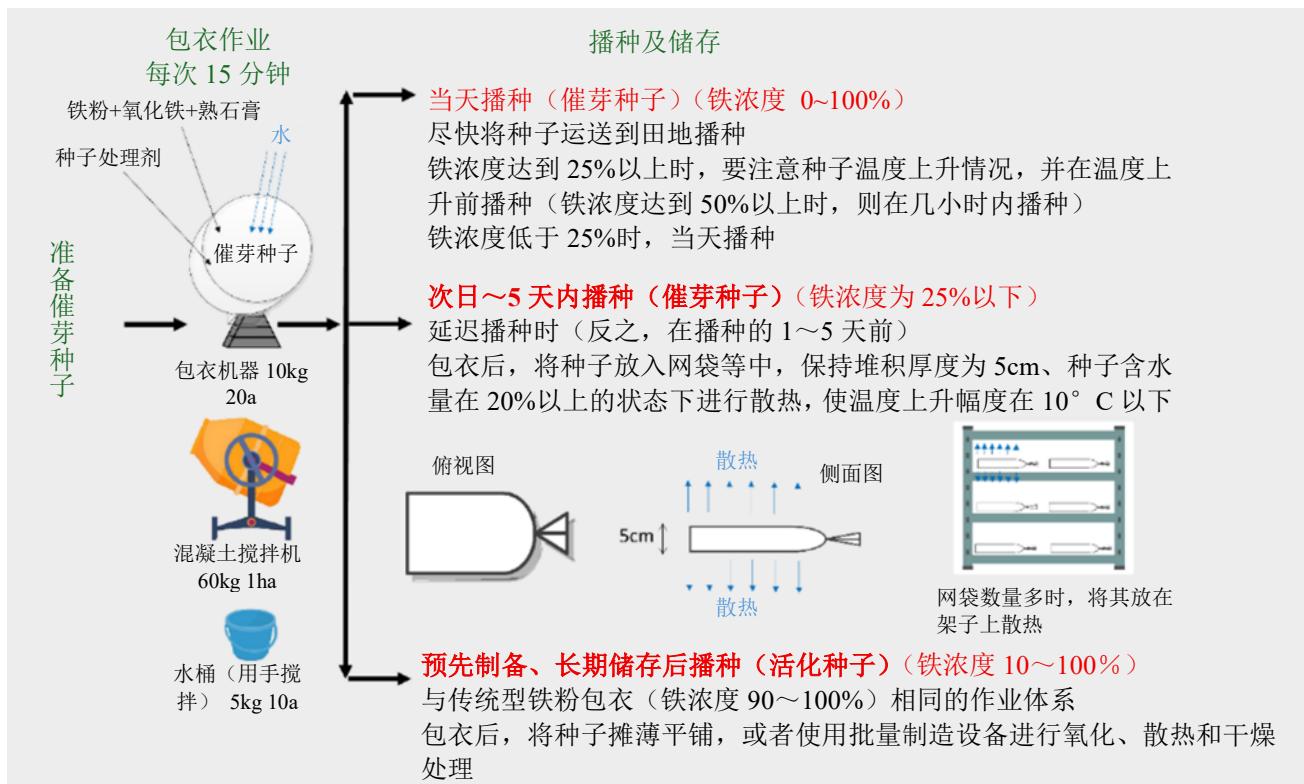
本技术的背景包括①对催芽种子进行包衣作业后立即播种，发芽和早期生长速度快且可靠；②批量准备包衣种子并长期保存，存在发芽率下降或自然灾害等风险；③包衣种子可在短时间内大量准备。

按照直播成功的可靠性和省力性，推荐顺序如下。

当天播种 > 次日~5 天内播种 > 5 天~长期储存后播种



铁粉包衣中铁的氧化、催芽种子的干燥，以及播种之间的关系



包衣、铁浓度以及播种时机的关系

- 当天播种（催芽种子）（铁浓度 0~100%）：无论铁浓度、铁粉包衣比、面积如何，都可以直播。需注意的是当铁浓度较高时，应在发热导致种子温度上升之前播种。铁浓度在 10% 左右时，发热较小，种子几乎不会受损。
- 次日~5 天内播种（催芽种子）（铁浓度 25% 以下）：如果氧化发热较弱，可以将种子放在网袋等中保持催芽状态。铁浓度不得超过 25%。
- 预先制备、长期储存后播种（活化种子）（铁浓度 10%~100%）：
 - 铁浓度 50%~100%：与传统型相同
 - 铁浓度 25%~50%：与传统型相比，因氧化发热造成种子损坏的风险降低，出芽延迟和结块问题得到改善。
 - 铁浓度 10%~25%：氧化发热、出芽延迟及结块问题得到进一步改善。可以将次日~5 天内的播种（催芽种子）变更为预先制备、长期储存后播种。
 - 铁浓度 10% 以下：由于铁锈的粘合作用较小，所以包衣强度下降，可能不具有实用性。

例如在日本西部，5 月份在早期害虫稻水象甲的发生区域，准备 1 公顷份标准规格铁粉包衣种子（铁浓度 10%，铁粉包衣比 0.5）的作业流程如下。

- (1) 将 50kg 的种子（干重）浸种，准备催芽种子。如果水温在 20~25°C 左右，需用足够的水浸种 2~3 天。

- (2) 称量混合好的铁基材料(铁、氧化铁、熟石膏)(铁和氧化铁 25kg + 熟石膏 2.5kg) 27.5kg, 以及成品熟石膏 2.5kg。准备种子处理剂(防治早期害虫用 YEOVAL SEED FS) 550mL。
- (3) 进行包衣处理。通常, 1 次包衣作业所需的时间为 15±5 分钟。使用大型混凝土搅拌机, 可以一次处理 40~80kg (1 公顷份) 种子。
 - ① 将种子沥干水分, 放入混凝土搅拌机中, 边转动边加入种子处理剂。(作业时间 1 分钟)
 - ② 分 3 次加入混合好的铁基材料。喷洒足量的水。(10 分钟)
 - ③ 分 3 次加入成品熟石膏。(5 分钟) 此时不喷水。
- (4) 储存、播种
 - ① 当天播种(催芽种子): 运至田地进行播种
 - ② 次日~5 天内播种(催芽种子): 将种子装入网袋中储存, 堆积厚度保持 5~10cm, 傍晚时搅拌排湿, 然后静置, 至第 5 天前完成播种
 - ③ 预先制备和长期储存后播种(活化种子): 将包衣种子摊薄平铺, 或使用批量制造设备进行氧化、散热、干燥(水分含量低于 14%) 处理。然后储存在阴暗处, 避免受潮, 再进行播种。
 - ④ 若将次日~5 天内播种(催芽种子)改为预先制备和长期储存后播种(活化种子), 则需在第 5 天后进行干燥处理。

2

准备铁粉包衣种子

2.1 准备材料



- (1) 购买符合铁粉包衣特性的铁粉、氧化铁粉及熟石膏。称量并混合。使用塑料袋或混凝土搅拌机可以提高混合效率。
- (2) 如使用混合品(不包括预混产品、由铁粉和氧化铁粉组成的铁基材料与熟石膏混合的产品、成品熟石膏), 则无需再次混合。但材料费用会变高。
- (3) 称量成品熟石膏。
- (4) 潮湿会导致铁氧化, 熟石膏也会变质。材料和混合品应放入塑料袋等密封储存, 保持干燥。
- (5) 微细铁粉(单一成分)属于消防法中规定的危险物品(可燃物)。

如需了解材料获取信息，请联系以下人员：

- JA
- 作者（联系我们）

其他说明

- 传统铁粉包衣中使用的石膏和硅胶不能使用。
- 根据《消防法》，细铁粉（作为单一物质）被视为危险材料（可燃物）。

2.2 准备种子

将种子浸种催芽。在气温较低时，使用催芽机等进行加温。最佳时机为种子胚部膨起时，此时胚芽透过颖壳隐约可见～初露微芽阶段，即可进行包衣处理。如果出芽过多，只要在包衣时芽不折断即可。

2.3 包衣作业

对催芽种子进行包衣处理。包衣所需时间与种子数量无关，每次均约 15±5 分钟。包衣时间过长会损坏种子。作业时应佩戴护目镜、防尘口罩和手套。

- (1) 在将种子放入包衣机器之前，先沥干多余的水分。将装有种子的网袋悬挂几分钟，或放置在托盘上。将已沥干水分的种子放入包衣机器中。
- (2) 必要时，添加种子处理剂以防治害虫，并涂抹在种子表面。
- (3) 加入总量 1/3 左右的铁基材料和熟石膏混合物。
- (4) 当铁基材料和熟石膏的混合物附着在种子周围时，添加更多混合物。反复进行此操作，并在必要时喷水。
- (5) 当混合物附着在包衣机器的旋转盘上时，尽早用刮刀等工具刮除。难以刮除时，可以在附着部位喷水使其脱落。
- (6) 将混合物附着在所有种子上后，尽量多喷水。种子表面被铁基材料均匀覆盖时，说明喷水不足。诀窍在于要充分喷水，使铁在包衣作业结束后继续氧化。停止喷水的标准是观察种子在旋转盘内的运动状态，当原本顺畅流动的状态（水分略少）被打破时（水分略多）即可停止。（开始包衣处理后约 10 分钟）
- (7) 之后停止喷水。分三次少量加入成品用熟石膏。转动几分钟，使包衣变硬。

喷水量与包衣的关系 铁基材料铁浓度为 12.5% 的示例



喷水不足时的包衣种子 表面均匀覆盖铁基材料。虽然包衣看起来很美观，但实际喷水量不足。此时，种子在包衣机器或混凝土搅拌机中顺畅流动。这种状态属于水量不足。



适当的喷水量 稻粉表面的底色开始显现。此时，包衣机器或混凝土搅拌机中顺畅流动的种子开始崩解（如涟漪般流动）。此时水量适当。



如果对已经喷洒了适量水的种子再喷洒更多的水，**过量的喷水量**会使露粉面扩大，包衣变得不均匀。这时水量适当。

准备铁粉包衣种子时，水量适当或略多比水量不足更为合适。



这是在略多水量的种子上添加成品熟石膏时的种子表面模样。熟石膏吸收了过量的水，不会有粘稠感或结块感，同时包衣外观不均匀的情况也得到缓解。



这是包衣第二天的种子模样。铁粉生锈，变成了淡棕色。

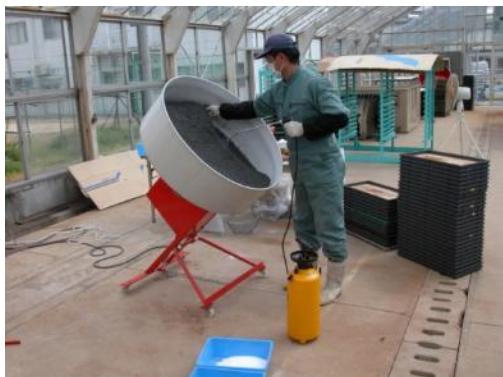
喷水不足时，铁粉氧化不充分，种子表面脱落的铁基材料量会增加。

即使水量略多，铁粉包衣种子也能顺利成品。

可以通过各种方法实施种子包衣处理。



如果是几公斤的种子，可以用水桶人工进行包衣处理。



包衣机器可以处理 1~10kg 的种子。



使用混凝土搅拌机时，应拆卸内部的搅拌叶片。一次可以处理的种子量大约是几公斤到 60kg。

这是使用大型混凝土搅拌机，一次性对大量种子进行包衣处理的作业步骤。喷雾器也要使用较大功率的手动式或电动加压式设备。



滚筒底部的种子可能搅拌不充分。要用长柄的铲子或铁锹搅拌。并充分喷水。

(1) 将经过网袋浸种的种子放在托盘等上面，静置沥水。将 40~80kg 的种子放入 110 升容量的混凝土搅拌机中。照片中的网袋可浸种 20kg 的种子。包衣时间约为 15 分钟。

(2) 启动混凝土搅拌机，加入铁基材料和熟石膏的混合物。然后喷水。通过改变滚筒的角度来调节种子的运动状态。

(3) 多喷水是关键。如果表面呈粉状则说明水量不足。

(4) 最后加入成品熟石膏，以覆盖包衣种子表层。开始加入成品熟石膏后，不再喷水。



(5) 装入网袋或大型容器中。

2.4 包衣后

- 未使用的铁粉、氧化铁粉、熟石膏及其混合物应装入塑料袋中密封储存，避免受潮。变质后无法用于包衣。
- 立即用水清洗机器。如果生锈的铁牢固附着在转盘上，应加入砂石和水进行搅拌和清洗。

在包衣当天播种时



将种子装入容器、水桶、网袋等中，运至田地进行播种。

包衣当天不播种时

湿润状态的铁粉包衣种子（催芽种子）可以装入网袋或网箱，以 5~10cm 的堆积厚度保存约 5 天。长期保存会导致种子的水分含量下降，从而发芽速度下降。

⚠ 防止发热的堆积厚度标准（短期储存催芽种子）

- 铁浓度为 10% 时：10cm 以下
- 铁浓度为 25% 时：5cm 以下

⚠ 在包衣当天的傍晚（作业结束时），轻轻搅拌装有种子的网袋，放出内部的湿气



装入网袋保存，在散热的同时避免已包衣的催芽种子干燥。当在种子用网袋（40x60cm）中放入 5 公亩份的种子（按干种子重量换算为 2.5kg）时，堆积厚度为 5cm（照片左侧，总重约 5kg），而 10 公亩份的种子（5.0kg）的堆积厚度为 10cm（照片右侧，总重约 10kg）。

为了防止催芽种子中所含水分释放和冷凝，以及为了从网袋表面散热，需要与地面保持间隙。

在包衣当天，催芽种子中含有较多水分。因此，放置一晚后会出现大量的冷凝水。并且也可能在网袋内部发芽。为了避免这种情况，只需在包衣当天的傍晚，轻轻揉搓网袋，让内部的种子接触外界空气，使水分轻轻蒸发即可。从次日起无需该操作。在播种前将其置于阴暗处。

当种子数量较多时，可以使用网状的联合收割机袋等，放在托盘上。

注意 如果将铁粉包衣种子摊放在蓝色塑料布上，则无法精细地管理水分和温度。

2.5 长期保存

虽然原计划在包衣后的几天内播种，且将其保存在网袋中，但由于某些原因需要延期播种并进行长期保存时，应像传统型铁粉包衣种子一样进行干燥保存。干燥的铁粉包衣种子（活化种子）的保存性会因品种和种子来源等而有所不同。

如果交付时种子的质量较高（发芽率为 95%~100%），通过风干可以保存几个月，而在批量制造设备中以热风（35°C）干燥时可以保存 1 年以上。如果种子的发芽率低于 95% 且质量较低，那么如果转为活化种子，其质量会进一步下降，因此不适合长期保存。若种子质量较低，播种时应使用铁粉包衣后的催芽种子。

虽然包衣中所含水分可以起到粘合剂的作用，但一旦干燥，这一功能将会丧失，铁锈则成

为主要的粘合剂。当铁基材料所含铁浓度为 10% 时，产生的铁锈较少，因此在保存、运输及播种时，会变得更易碎。铁浓度超过 25% 时，该问题会得到缓解，而超过 50% 时，包衣层会变得坚硬牢固。

包衣种子在氧化发热后干燥，反应逐渐变得缓慢，发热量也随之减小。发热程度取决于铁的种类和浓度。当铁浓度为 25% 时，有时需要将其摊薄平铺来散热，而铁浓度为 50% 时则必须进行此操作。种子的温度不得超过 40℃



在育苗盒之间放置木棍等，以确保热量不积聚，保持足够的间隙。使用育苗架或运苗容器可以使作业更轻松高效。

有风时，种子会迅速干燥，氧化过程停滞。此外，气温较低（10℃以下）时，氧化也会变慢。



摊薄平铺使水分蒸发，导致氧化（生锈）现象较少时，应对育苗盒中的种子喷水。包衣种子会吸收水分。以育苗盒中不积水为标准。



让热量散发，再次进行干燥。包衣种子的颜色在铁浓度高时，会通体变成锈褐色。铁浓度低时呈灰色或黑色。
表面看似干燥的种子内部往往是潮湿的，干燥需要较长时间。



一周后叠放育苗盒。保持这种状态，储存至计划播种日期。

注意 将未充分干燥的铁粉包衣种子放入水桶或网袋中会导致种子受损，无法长期保存。



长期保存时，使用传统型铁粉包衣种子的批量制造设备比较方便。可以在 2 天内完成氧化和干燥处理。

2.6 发芽测试

通过在包衣前后测量种子的发芽率，可以弄清直播种植失败时发芽率在哪个阶段下降。刚包衣后或在随后的保存期间发芽率下降可能是因为包衣所用种子的质量差，或包衣时热量积聚导致高温，或包衣后干燥不充分所致。



在一次性塑料培养皿中放入约 100 粒包衣前或包衣后的种子，添加足量的水（直径 9cm、高度 20mm 的培养皿中加水约 20mL），在 25~30℃下放置一周后，统计发芽和未发芽的种子数量，计算发芽率。

测试期间无需换水。水变质是因为种子品质不佳。



可以使用超市的食品托盘、一次性杯子、塑料瓶等代替培养皿。

气温较低时，请放入恒温器或育苗器中。

3

田地准备

3.1 适合直播的水田

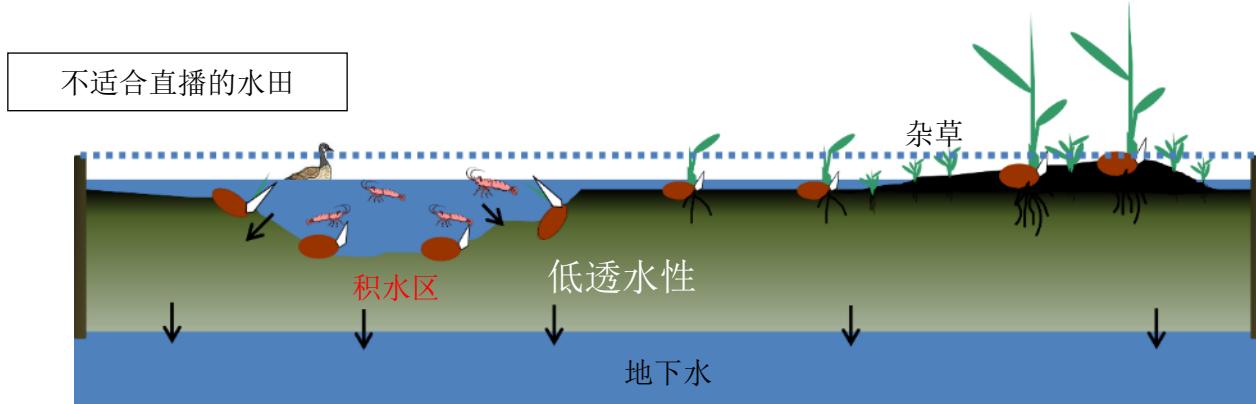
直播与移栽在水量管理及病虫害的发生生态上存在差异。因此，建议在成片的水田中集中引进直播种植。

直播铁粉包衣种子的情况下，在出芽时需要进行田面排水。这称之为晒苗，对于稳定出苗必不可少。因此，目标水田的条件如下所示。

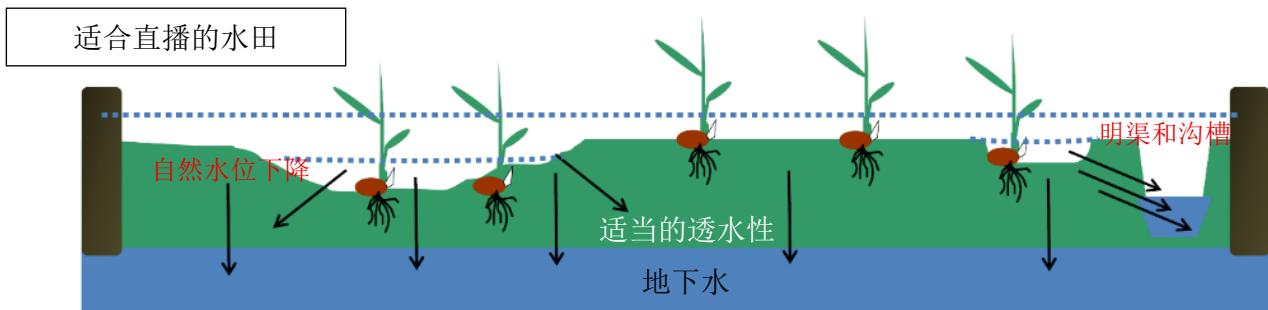
- 土地平整
- 适当的透水性（每天水位下降 10~20mm）
- 具备明渠和沟槽（快速灌排）
- 田埂高大坚固
- 能够在必要时进行灌排

3.2 直播失败的水田、即便直播成功但不够省力的水田

将为移栽准备的水田直接转用于直播时，则需要花费时间管理水量和杂草。即使排水，凹部也会形成积水区，结果因土壤还原造成生长障碍、病虫害、水生生物干扰、鸟类飞入觅食，以及高温时水温过度上升导致枯死等，从而造成出苗不良。另一方面，凸部会出现裂缝，也会滋生杂草。水稻出芽和早期生长也不均匀，难以掌握施撒除草剂的时机。如果田埂低矮且易崩塌，则无法形成深水，除草剂的效果就会降低。



不平整、过度耙田导致透水性差、没有明渠和沟槽、田埂低矮脆弱、无法在必要时及时灌水的水田不适合直播。



适度平整且具有透水性的水田，具备明渠和沟槽、田埂高大坚固、可以在必要时迅速灌排的水田能够省力地稳定实施直播，并有望高产。在这样的水田中，可以避免强制排水，除草剂效果良好，病虫害造成的损害也会减少。

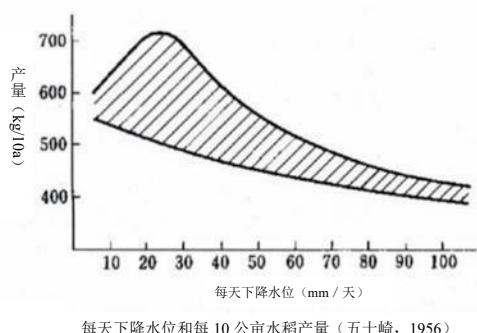
3.3 准备直播用水田的关键点

(1) 适度耙田

耙田能够达到①平整土地、②改善保水、③埋入杂草以抑制后续杂草的生长，④提高土壤肥力的效果。近年来，为了保护环境，建议在浅水灌溉后平整土地，以适当的力度进行耙田。

作业人员在作业时要特别注意以下两点。

- 大规模的田地平整：仅通过耙田作业难以使整个田地达到平整，强行追求平整会导致过度耙田，反而降低透水性。在广阔的田地中，事先使用激光平地机进行整地尤为有效。(但并非必须使用激光平地机。)
- 确保适当的透水性：在每天水位下降超过 10mm 的田地中，即使在 2~3cm 的凹陷处积水，也会在 2~3 天内自然消失。适当的透水性有助于使作业更省力，并促进根系健康生长。有报告称，水位下降在 20~30mm 的范围内时可以获最高产量。



适度耙田保持每天水位下降 10~20mm，有助于省工省力、降低成本、稳定高产。过度耙田会导致水体浑浊，污染水环境。

(2) 挖掘明渠和沟槽

如果已挖掘好明渠和沟槽，则即使因过度耙田而产生积水区，也能进行排水。

【设置方法和优点】

采用挖沟机或铲斗机进行设置。也可以利用拖拉机或耕耘机的车轮痕迹。

明渠可以迅速进行给排水，从而及时喷洒除草剂，不错过最佳时机。并且还有助于保持幼苗根系健康，达到预防倒伏的效果。



使用挖沟机进行明渠设置作业



使用铲斗机进行明渠设置作业

引进明渠的关键点在于仅在必要的水田中设置。不一定需要围绕田地周围设置框架明渠，在很多情况下，设置 I 形或 L 形的明渠即可。重要的是要确保连接到排水口。

设置明渠后，保持土壤暴露约 80% 左右的浅水湛水，进行耙田。在距离明渠 50cm 处耙田，避免在明渠的边缘撒种。此外，挖出的土壤要在田地中摊薄平铺。



明渠也存在缺点。土壤隆起时会长出杂草。耕作面积也会减少。



这是在直播水田中晒苗的样子。如果有明渠，则即使大力耙田，也能防止出现积水区。

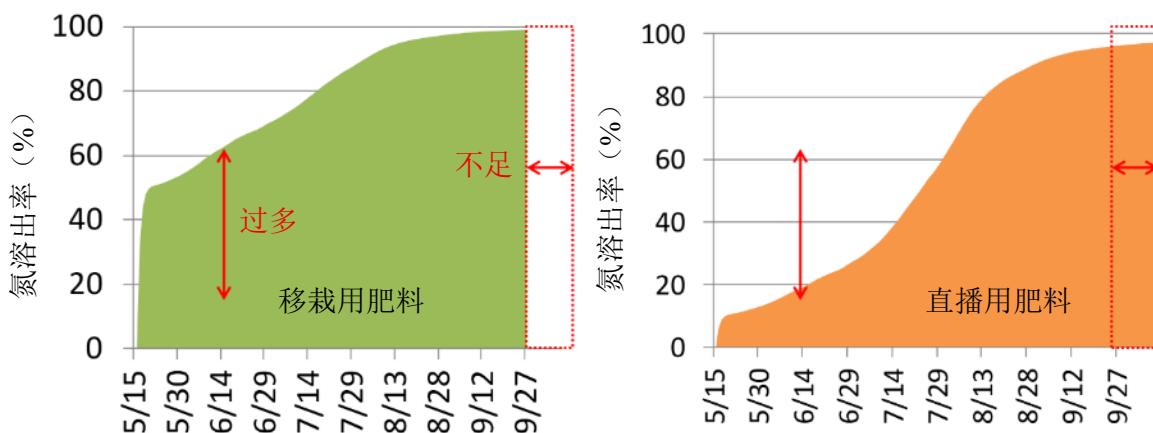


收割后，明渠也会保留下来。必要时在农闲期进行修复，以备春季使用。

4.1 肥料

施肥方法为条播和穴播时采用侧条施肥，撒播时采用全层施肥。引进直播的主要目的是为了省工省力，因此通常采用无需追肥的一次性基肥体系。

一次性肥料应使用直播专用肥料。直播时，种子会在播种后的一个月内利用胚乳的养分生长，因此无需速效氮。此外，由于收割时期比移栽晚7~10天，因此延长了肥料的有效作用时间。在移栽种植中为了确保茎数（穗数）会施用分蘖肥，而在直播中可根据播种量轻松确保茎数（穗数），因此不施用分蘖肥。



将移栽用肥料用于直播会导致早期氮过多，造成肥料损失、茎数过多和细茎化倾向。另一方面，在成熟期容易倒伏，氮素缺乏可能导致产量和质量下降。直播专用肥料会在生长后期发挥肥效，提高产量。

如果需要额外施肥来对抗高温，可以采用浇灌式施肥法实现省工省力。此外，使用无人机从空中喷洒专用肥料的追肥方式也已投入实际应用。

直播专用的一次性肥料由于缓释肥料的比例变高，所以成本相对较高。因此，积极施用完熟堆肥和有机物以提高土壤肥沃度。由于直播铁粉包衣种子为表面播种，因此可以积极使用完熟堆肥和有机物。

4.2 农药

移栽与直播的种植体系和病虫害发生生态不同，因此在使用农药时需特别注意。在使用时，请确认其已有直播用的相关注册，并且关于饲料稻（WCS）的农药使用，请参阅由一般社团法人日本草地畜产种子协会编制的《稻米发酵粗饲料生产与饲喂技术手册》。

（1）除草剂

直播种植与移栽种植不同，水稻与杂草同时开始生长，因此喷洒除草剂的最佳时间受限。基本是将播种前后可以使用的早期剂、播种时可以使用的早中期一次性剂，以及真叶发育后的早中期一次性处理剂组合而成。最近，针对晒苗后稗草已长得稍大一些的田地，也开发出了高效的早中期一次性处理剂。如果在晒苗期间产生大量杂草，则中后期 Clincher Bas ME 液剂或 Alleil SC 都很有效。

管理杂草比移栽种植更加困难。尤其常见的失败案例是在耙田时未能充分抑制杂草，即在田面稗草已经出芽的情况下进行播种所造成。在移栽种植中可以用一次性处理剂抑制这样的杂草，但在直播种植中，播种时使用的早期剂和早中期一次性剂的效果不如移栽时使用的一次性处理剂，无法充分抑制杂草。因此，重点在于从耙田到播种不能间隔太久，建议在耕田后1~3天内播种。

(2) 杀虫剂、杀菌剂

铁粉包衣处理可以抑制种传病虫害的发生。因此，在例年较少发生种传病害的地区可以省略种子消毒步骤。

防治从播种到出苗期间发生的病虫害有助于稳定出苗。因为不是特殊的病虫害，所以可以使用合适的农药以多种方法予以应对。此外，与移栽种植一样，在出苗期后也需要进行防治。

杀虫杀菌剂的防治体系如下所示。

- 针对早期和中期病虫害（如稻瘟病、稻水象甲、水稻负泥虫等），使用种子处理剂。可以在铁粉包衣时进行处理。YEVAL SEED FS（早期害虫、鳞翅目害虫）、ROUTINE SEED FS（稻瘟病）、EVERGOL SEED FS（纹枯病）、LUMISPANCE FS（飞虱类）等 YEOVAL SEED FS 在晒苗过程中遇到无法排水等问题时，能够抑制早期害虫，有助于稳定出苗。
- 在穴播和条播中，也可以使用颗粒剂撒布机，将附带的移栽水稻育苗盒处理剂在播种的同时施入土中。
- 大田颗粒剂对早期害虫（稻水象甲、水稻负泥虫）也有效。
- 针对中后期病虫害（如稻瘟病、纹枯病、飞虱类和蝽象类）使用大田颗粒剂。
- 对福寿螺使用注册药剂（四聚乙醛颗粒剂、磷酸铁颗粒剂、杀虫环颗粒剂、杀螟丹颗粒剂等）。

5

播种

5.1 播种时期对出苗和收割时期的影响

温度对发芽和早期生长有着显著影响。因此在温带地区，不同播种时期会影响出苗所需天数和收割日期。

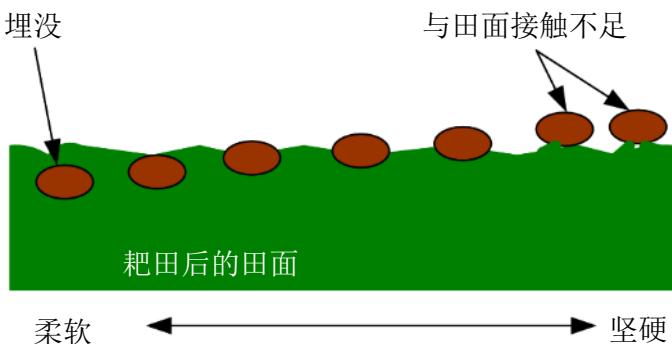
- 在插秧后温暖的时期播种，直播失败的风险较小。播种后的生长较快，1~2周内即可出苗，因此种植者可以非常省心。但收割会延迟。
- 在即将插秧时、插秧时或刚插秧后播种，2~3周内会出苗。与插秧相比，收割会延迟约10天。
- 如果与移栽用苗同时（即插秧的3周前）播种，大田温度低，生长会变慢，出苗需要3~4周，在此期间会滋生杂草。而且周围的水田没有水，容易成为水禽的猎物。直播失败的风险很大，而且会耗费精力。

5.2 表面播种

铁粉包衣种子可以用于湛水直播和干田直播。

- (1) 铁粉包衣直播是表面播种。如果进行剖面播种，则无法出苗。
- (2) 表面播种时，播下的种子有一部分会露出土壤表面。即使是一片水田中，在土壤较柔软的地方，种子会浅埋在土里，但只要晒苗就能出芽。
- (3) 较硬的田面更适合表面播种。

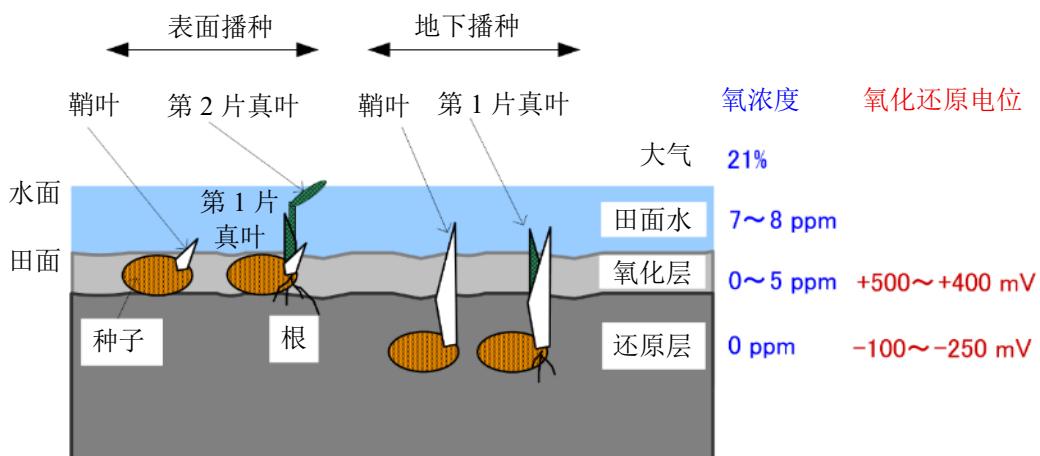
注意 如果在播种前，铁粉包衣种子在户外长时间遭受阳光直射，会达到如同铁板一样的高温，导致种子受损。



用铁粉包衣种子进行表面播种时，播下的种子一半可见，剩下的则浅埋不见。与田面接触不充分时，就无法吸水。此时需要延长湛水时间，使土壤与其紧密接触。干田直播时，通过在播种后压实种子，可以将出苗率提高约 10%。

在美国和亚洲广泛采用的湛水直播属于表面撒播。在水中，种子会受到浮力的影响，容易漂浮。在美国，通过用粗耕形成的土块夹住种子来防止漂浮，在亚洲，则通过排水来防止漂浮，而铁粉包衣直播是通过增大种子的比重来抑制种子漂浮。种子停留在土壤表面的氧化层中，氧气的充足供应使得第一片叶子和根得以生长。

剖面播种的优点在于种子不会漂浮。但是，缺氧或还原性障碍会增加枯死的风险。为避免这些问题，日本采用制氧剂或钼化合物进行包衣，并以准确的深度进行播种，再通过排水出芽（在出芽时排水，深埋于土中以干燥）避免还原性障碍。在海外，并未实施湛水直播的剖面播种。



5.3 穴播、条播与撒播的区别

希望在与移栽种植相似的外观条件下改为直播种植，避免密集种植以防病虫害入侵，以及种植越光米等容易倒伏的不适合直播的品种时，穴播和条播是合适的选择。

而如果想要利用目前拥有的机器，并提高作业速度，那么撒播是最佳选择。

	穴播、条播	撒播
机器	专用直播机	动力散布机、喷杆喷雾器（乘坐式管理机）、撒播机（撒肥机）、无人直升机、无人机
播种量	4kg/10a 左右 种子成本高时更有利	5kg/10a 左右
优点	<p>★出苗稳定（种植密度）</p> <ul style="list-style-type: none"> • 可以手动除草 • 适合易倒伏的品种 • 看起来与移栽苗的种植相似，从移栽改为直播在心理上更容易接受 • 可以侧条施肥，更省力 • 播种时可以开沟，易于晒苗 	<ul style="list-style-type: none"> • 作业速度快 • 可以在保持湛水的状态下播种，因此除草剂效果良好 • 可以利用各种机器。小面积也可以人工播种
缺点	<ul style="list-style-type: none"> • 播种速度慢 • 播种时需要排水作业 • 需要专用直播机 • 播种量的调节仅限于机器的设置范围内。 	<p>★无法高精度控制出苗（种植密度）</p> <ul style="list-style-type: none"> • 无法人工除草 • 不可用于易倒伏的品种 • 需要明渠或开沟 • 全层施肥，作业量大

★进行穴播和条播时，由于株距和行距已确定，即使出苗率非常差（例如 15%），也不会对种植造成很大的影响，外观也不会很差。

★撒播时出苗率大幅下降，种植会变得非常困难。因外观不佳，往往会停止种植。

5.4 穴播、条播

- (1) 使用可表面播种的专用机进行播种。
- (2) 无需开沟和覆土，将铁粉包衣种子自然落到田面上。
- (3) 在湛水状态下，难以掌握行驶位置，而且种子会随水流移动，所以无法进行条播和穴播。
因此在播种时会先暂时排水。
- (4) 为了减少排水量，需要调节耙田时的水量。如果水量较多，可以在播种前一天傍晚开始排水，这样可以达到适合第二天上午播种的田面状态。
- (5) 播种后进行湛水，之后在发芽后进行晒苗。



【铁粉包衣种子专用穴播机】

可以在播种铁粉包衣种子的同时进行施肥和防治病虫害（侧条施肥、除草剂、杀虫杀菌剂）。

配备有排水用开沟机。当沟渠过浅、形成积水区时，需要设置明渠。

这是在硬田面刚播种后的样子。任其自然下落，不开沟也不覆土。可以看到铁粉包衣种子、除草剂（小白点）、侧条施肥的肥料（沟槽内）。

5.5 撒播

- (1) 建议在耙田后的次日到第三天内，将种子播种在约 5cm 的水中。
- (2) 在耙田后立即强制排水播种，会导致种子下沉太深，对出苗造成不利影响。进行湛水播种。
- (3) 在撒播时可以使用各种播种机。
- (4) 撒播时应开挖明渠或排水槽，以防止形成积水区。
- (5) 注意不要让铁粉包衣种子和药剂漂散到邻近田地。



动力撒布机有多种形状的喷嘴。简单的圆柱形（黑色）或螺旋形（蓝色）喷嘴几乎不会破坏包衣，但能够同时远近撒播的喷嘴（红色）则可能会破坏包衣。

播种时，如果铁粉包衣种子破裂，可能会有碎片飞溅到操作员脸上。请佩戴防护眼镜和口罩。



使用动力撒布机时，从水田周围开始撒播。首次使用时，可以将铁粉包衣种子分两次放入动力撒布机中绕两周撒播，使种子全面均匀地撒播在田地里。可用于湛水直播和干田直播。



在宽阔的水田中，撒播作业较为费力，因此使用插秧机或乘坐式管理机也是有效的方法。除了动力撒布机外，还可以使用喷杆喷雾器或施肥用的撒播机等设备。



使用无人直升机撒播时，要确保播种时的水深（5cm），以免田面因风压而暴露。



在梯田中使用无人机播撒是一种便捷的直播方式。如果田埂脆弱狭窄，则会影响作业人员的安全。

5.6 播种量

播种量影响出苗数，进而影响产量。直播时，如果出苗数为 $100 \text{ 株}/\text{m}^2$ ，则可获得稳定的高产量。习惯于移栽种植的种植者在改用直播种植时，需注意出苗数不足容易导致减产。为了降低种苗费，目标是最低 $100 \text{ 株}/\text{m}^2$ 。

$$\text{出苗数 (株/m}^2) = \text{播种种子数/m}^2 \times \text{出苗率 (\%)} / 100$$

根据每粒种子的重量，播种的种子数/ m^2 可以换算为重量，并以播种量（kg 干燥种子/10a）表示。

出苗率（播种的种子中长成幼苗的比例）受多种因素影响。一般而言，在已耙田的条件下，铁粉包衣种子（活化种子）的出苗率为 50±20%（30%~70%）。

因与播种时期土壤还原和病虫害问题的发生频率有关，往往日本东部的出苗率较高（50~70%），而日本西部较低（30~50%）。种子处理剂、特别是早期害虫防治剂能够提高及稳定出苗率。铁粉包衣种子的出苗率高于未处理的催芽种子及活化种子。免耙田湛水直播和干田直播的出苗率相比耙田后的水田高出约 10~20%。

鸟害和福寿螺的食害会显著降低出苗率。考虑到气象条件，应设置较高的播种量，即使发生意外问题，也能确保出苗数达到 100 株/ m^2 以上。

出苗率与播种量的关系

当出苗率在 30~70% 之间波动时，为了使出苗数达到 100 株/ m^2 ，播种量应约为 4~8kg/10a。如果每 $1m^2$ 播种 200 粒铁粉包衣种子，当出苗率为 50% 时，则出苗数为 100 株/ m^2 。200 粒相当于干燥种子 5kg/10a 的普通品种（千粒重 25g、1 粒重 25mg）。

为确保出苗数达到 100 株/ m^2 所需的出苗率与播种量的关系

出苗率 (%)	播种量 (kg/10a)
30	8.3
40	6.3
50	5.0
60	4.2
70	3.6

穴播机的设置

穴播机的行距已设置为 30cm，因此播种量由株距和每株所播种子的粒数决定。为了将穴播的播种量设置为 4kg/10a 以上，株距为 14cm 时每株需要 7 粒，株距为 16cm 时需要 8 粒，株距为 18cm 时需要 9 粒，株距为 21cm 时需要 10 粒。

穴播时，调节每株的粒数至关重要。每株 1 粒的差异相当于播种量相差 10%。

在直播种植中，出苗期的湛水或积水区容易发生还原性障碍、鸭子食害、病虫害、水生生物干扰，以及高温时期播种时因水温过度上升等扰乱现象，导致出苗率下降。对于直播铁粉包衣种子而言，晒苗是成功出苗的关键技术。

- 播种后铁粉包衣种子在田面发芽时（播种后 2~7 天）开始晒苗。在此期间，消除积水区。田间严禁薄层水。晒苗期通常为 2~7 天。
- 温暖地区和寒冷地区的管理方式不同。基本上，温暖地区的晒苗期是从观察到鞘叶伸长到不完全叶及真叶展开，寒冷地区则是从不完全叶伸长开始到真叶展开的时期。
- 晒苗和排水出芽有所不同。排水出芽是确保剖面播种出苗的水量管理。要让田面干燥到可以穿运动鞋走路的程度，充分干燥至土壤深处并达到氧化状态。另一方面，晒苗是传统水稻田为确保表面播种出苗率而采用的一种方法。表面排水使土壤达到饱水状态，即使干燥后也只会出现轻微裂缝。
- 晒苗可防止出苗不良或早期生长不均。
 - 根部在地下伸展，防止出现“多根”，提高抗倒伏性。
 - 防止发生还原性障碍。
 - 防止除草剂造成药害。
 - 防止病虫害和水生生物的干扰。
 - 防止水禽飞入。
 - 防止高温时积水区水温过度上升导致枯死。



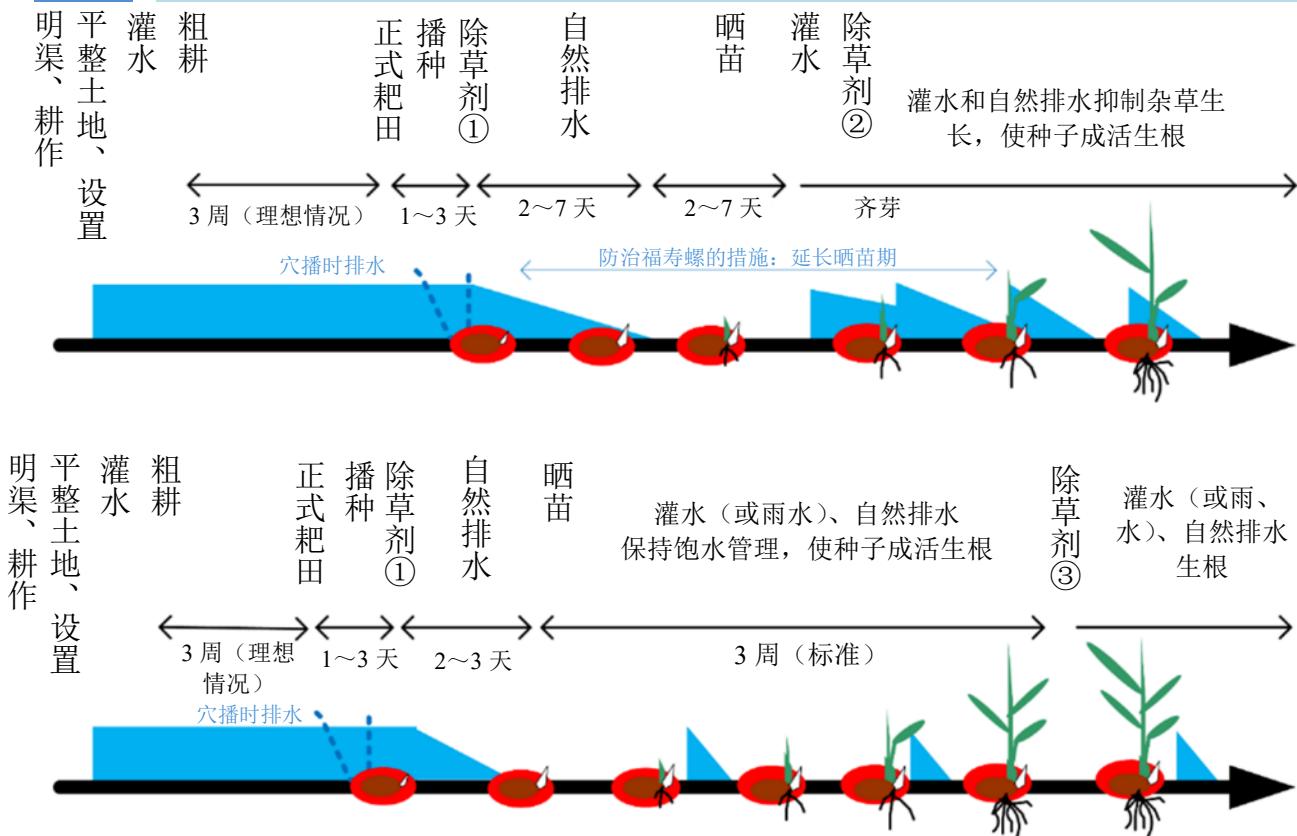
晒苗的理想状态为保持饱水管理（脚印中能积存少量水的湿润程度）。播种时切开的沟槽中有积水，但种子周围保持干燥为最佳状态。



采用表面播种时，特别是在晒苗时，撒下的种子大部分在田面上，可以观察种子的生长情况。照片是在开始晒苗的 1~2 天后，鞘叶伸长，出现不完全叶的样子。

7

耙田后直播



除草剂① = 早期剂或可与播种同时使用的早中期一次性剂

除草剂② = 早中期一次性剂

除草剂③ = 中后期除草剂

耙田后湛水直播铁粉包衣种子的基本模式

上图：湛水期较长的湛水直播（Water seeding with pinpoint flooding）体系 延长湛水期，用水保温并抑制杂草生长。

下图：湛水期较短的湛水直播（Water seeding with delayed flooding）体系 通过适度干燥的水量管理，减少因稻水象甲和福寿螺造成的出苗不良问题。

7.1 撒播（湛水播种）

- (1) 从秋收后到开春，平整土地并开挖明渠。耕作可以抑制杂草生长。
- (2) 在正式耙田的约三周前进行粗耕。虽然不是必须步骤，但有助于管理杂草。如果不进行粗耕，则通过除草剂或耕作，在灌水后正式耙田之前抑制杂草。
- (3) 以浅水和适当的强度进行正式耙田。在耙田后的水中播种。可以省略排水作业，并抑制杂草生长。这是铁粉包衣直播的主要优点。
- (4) 在耙田后的 1~3 日内播种，并喷洒除草剂①。如果播种延迟会导致杂草生长势头增强。

- (5) 播种后水位会自然下降。水量不足时需要补水。
- (6) 完成排水的标准是当铁粉包衣种子的表面能看到白色鞘叶的尖端时。在日均气温低于 17℃ 的低温条件下，鞘叶的伸长期特别容易受到低温的影响，因此应推迟排水直到不完全叶展开的时期，或者进行饱水管理。预报晚霜时应进行湛水。温暖时期在播种后 2 天，寒冷时期则在约 7 天后进行。延迟排水会导致根部在水中呈章鱼足状延伸，形成倒苗。
- (7) 排水完成后，开始晒苗。完成晒苗的标准是水稻植株生根（扎根于土中）时，出现不完全叶（绿色针状芽）和第 1 片真叶。但是，如果受到病虫害（稻水象甲等）或水生生物（福寿螺等）的危害，则需延长晒苗的时间。建议晒苗期为：天气寒冷或使用适当的农药抑制病虫害和水生生物危害时为 2 天，天气温暖时为 7 天，在福寿螺栖息的水田则约为 3 周。
- (8) 开始晒苗几天（晴天时约 3 天，通常为 5-7 天）后，田面会干燥并开始出现裂缝，因此需要补水以保持湿润。因降水使田面湿润时，则无需补水。大约每周补水 1 次。即使晒苗期为 3 周，实际也只需补水数次。如果晒苗时间过长，杂草丛生，且认为无法用除草剂②处理时，则需要在晒苗期间使用 Clincher Bas 等进行枯草处理。
- (9) 当水稻处于齐芽期，病虫害和水生生物造成的危害减小时，进行灌水。在施加除草剂②后，需要保持湛水以抑制杂草。随后，水稻生长覆盖田面，抑制杂草后，改为拉开间隔灌水，使其保持偏干状态以促进生根。
- (10) 在移栽时，由于种植间距较大，为了抑制杂草，需始终保持湛水，而在铁粉包衣直播时，以播种量 5kg/10a 的密植方式抑制杂草，并且由于是表面播种，所以通过保持偏干状态以促进生根。移栽和直播的水量管理有所不同。

7.2 穴播、条播（暂时排干耙田水后进行播种）

进行穴播或条播时，暂时排水进行播种、侧条施肥并喷洒除草剂①，随后立即重新灌水。尽管存在需要排干耙田水、浪费水资源、水质污染、易生长杂草等问题，穴播和条播仍具备诸多优点。

7.3 其他

可以通过各种方法进行耙田后的直播。必要时调整铁粉包衣比和铁浓度后直播。

Wet seeding（排干耙田水进行播种、在齐芽期灌水）是在亚洲广泛应用的撒播催芽种子的水量管理方法。在日本被称为湿土直播或无包衣直播。在耙田后立即强制排水，将种子播种在土壤表面，使其紧密贴合。铁粉包衣种子可以采用 Wet seeding。由于铁粉包衣种子较重，所以应在土壤较硬的条件下进行播种，以避免剖面播种。事先排水，早期不可使用除草剂。在齐芽期灌水，使用早中期一次性剂或者在排水状态下使用中后期剂。这些条件使得不易产生浮苗，可以保持较小的铁粉包衣比，并且可以用水桶等轻松进行包衣处理。

铁粉包衣种子可以采用免耙田的湛水直播和干田直播进行播种。理想的田地是即使免耙田，每天下降水位也保持在 30mm 以下的漏水少的湿田。

优点是因为无需耙田，所以进一步省工省力、降低成本，并且出苗稳定。

缺点是需要平整的水田，除草剂的使用次数增加，施肥量增加。还需要注意防止产生自生稻和杂草稻。

8.1 免耙田湛水直播

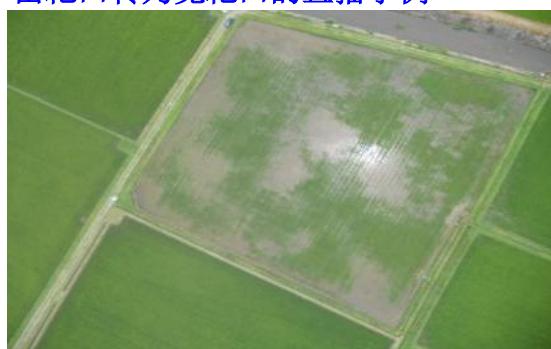
在湛水状态下直接播种铁粉包衣种子时，无需耙地。虽然与美国加利福尼亚的催芽种子湛水直播相同，但铁粉包衣种子较重，因此出苗会更加稳定。

8.2 干田直播

与常规的干田直播不同之处在于这属于表面播种，并且播种后至少需要保持湛水半天以上。常规的干田直播种子是吸收降雨而来的土中水分出芽，但铁粉包衣种子的干田直播是表面播种，因此无法充分吸水。

另一方面，若在即将播种时有降水，则无法实施常规的干田直播，但如果使用铁粉包衣种子，则可以将干田直播改为免耙田的湛水直播。

8.3 由耙田转为免耙田的直播事例



这是耙田后的湛水直播。出现积水区，出苗不良。在 1 公顷的水田中，很难通过耙田来平整土地，无法避免因过度耙田而导致产生积水区（2011 年）。因此，因稻水象甲造成的出苗不良现象屡屡发生。



在播种前用激光整平机平整土地后，无需耙田，直接用铁粉包衣种子进行湛水直播（2012 年）。



结果，几乎没有出现积水区，也没有发生还原性障碍和病虫害，出苗稳定（2012年）。

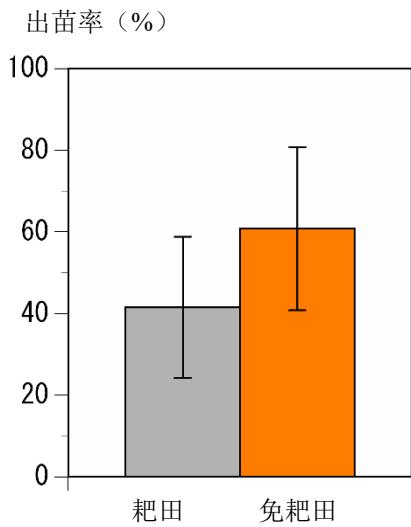


在免耙田的水田中，可以灌水后像耙田后水田一样播种。照片是穴播机的使用示例。

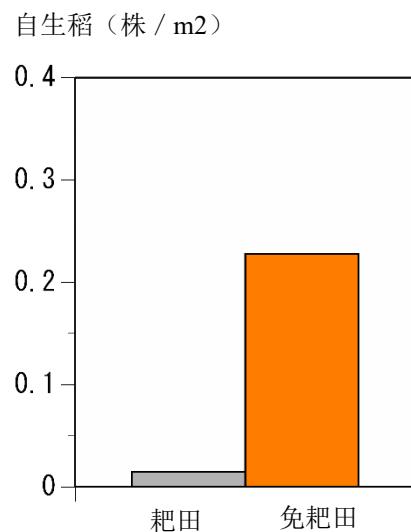


在用铁粉包衣种子进行干田直播时，先在干田状态下撒播、灌水，保持湛水半天以上，让种子吸水。

8.4 免耙田对出苗率和产生自生稻的影响



在免耙田条件下，出苗率会变高（广岛县福山市）。



在免耙田条件下，更容易产生自生稻（广岛县福山市）。

为了预防产生自生稻和杂草稻，重点在于收割时不要掉落种子，并且应晚播，在即将播种或湛水时使用草甘膦类除草剂（Roundup 等）使生长中的杂草枯萎，随后用铁粉包衣种子进行表面播种，无需耕作。

产生自生稻和杂草稻时，改为耙田后进行湛水直播或移栽。

9 鸟害导致出苗减少

通过铁粉包衣可以减轻鸟害。不同鸟类的损害特征各不相同，需要采取针对性措施。

<麻雀>



包衣层硬，进食需要时间，从而可以减轻损害。播种量较小时，食害会导致出苗数不足，使产量下降。播种量为 5kg/10a 左右时，即使受到少量鸟害，也不太会出现出苗数不足的情况。
提高包衣比和铁浓度可以减小损害。

<灰头金翅雀>



铁粉包衣也能有效减少灰头金翅雀造成的食害。相较于麻雀，灰头金翅雀造成的损害更为严重，因此用于防治金翅雀时，应进一步提升铁粉包衣比和铁浓度。

<鸭子>



在湛水状态下会发生食害。排水后，鸭子不会飞来。
水深时，损害会加大。夜间也会发生食害。播种几天后，如果田面水变得浑浊、播下的种子消失，则可能是晚上鸭子来过。浅水管理和晒苗可有效防止鸭子飞来。

<乌鸦>

关于乌鸦造成的损害尚未充分确认详细情况。有报告称，它们会成群结对地飞来，毁掉所有出苗，甚至会拔苗等捣乱。



如果发现乌鸦飞向水田或在周围看到乌鸦群，重要的是不可放任不管，应在田地的周围和中央拉起鱼线，如果正在晒苗则进行灌水等。

直播铁粉包衣种子时，如果调节铁粉包衣比和铁浓度，则可以通过排水的方式解决鸭子、麻雀和灰头金翅雀的食害问题。乌鸦的问题仍未得到解决。

10

土壤还原导致出苗减少



免耙田时透水性较大，不会积水。反之，过度耙田会导致透水性降低，则会出现积水区。

积水区会发生出苗不良的情况。免耙田时水稻也会生长，但也会出现大量杂草。



在积水区，坏死种子和倒伏种子会增多。若持续排水，部分倒伏种子会恢复并重新生长。



土壤还原会延缓水稻生长，导致因感染而枯死的种子增多。



在透水性较大的免耙田水田中生长旺盛。另一方面，在耙田后的水田中，尤其是在积水区，因还原性障碍导致根系生长受到抑制。因此，田面上倒伏的秧苗增多。

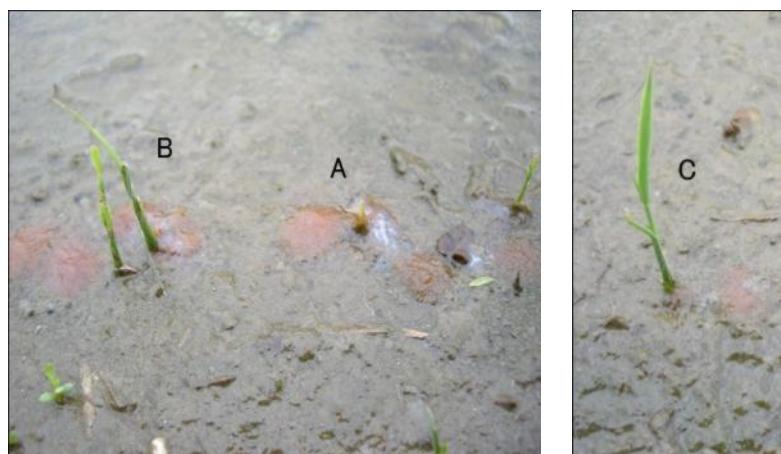
解决方法是调整为合适的耙田强度，并设置明渠，以防止形成积水区。

11

病虫害和水生生物导致出苗减少

直播铁粉包衣种子时，发现稻水象甲、椎实螺类、福寿螺、摇蚊、鲎虾、幼苗腐烂病（腐霉属）对出苗造成损害。

海外也曾多次报道过类似问题。这些问题可以通过水量管理和使用合适的农药来解决。采用铁粉包衣直播时，在半山丘陵地区的撂荒水田或与森林相邻的水田中此类情况较为常见，且受害程度会随播种时期的不同而变化。严重时，几十公亩的水田里甚至没有幼苗能够存活。



播种后受到食害的幼苗

A：出芽后立即受害，B：真叶展开中受害，C：较小的受害水稻（播种三周后，在出苗率为30%的水田拍摄）。直播时，防治早期病虫害有助于稳定出苗。

在平坦的水田中，铁粉包衣直播已取得成功，但这可能得益于周围移栽田中使用了育苗盒施用

剂等，使病虫害得到了充分的防治。



稻米象甲造成的损害



摇蚊



椎实螺类造成的损害



幼苗腐烂

发生病虫害和水生生物造成的干扰时的现象

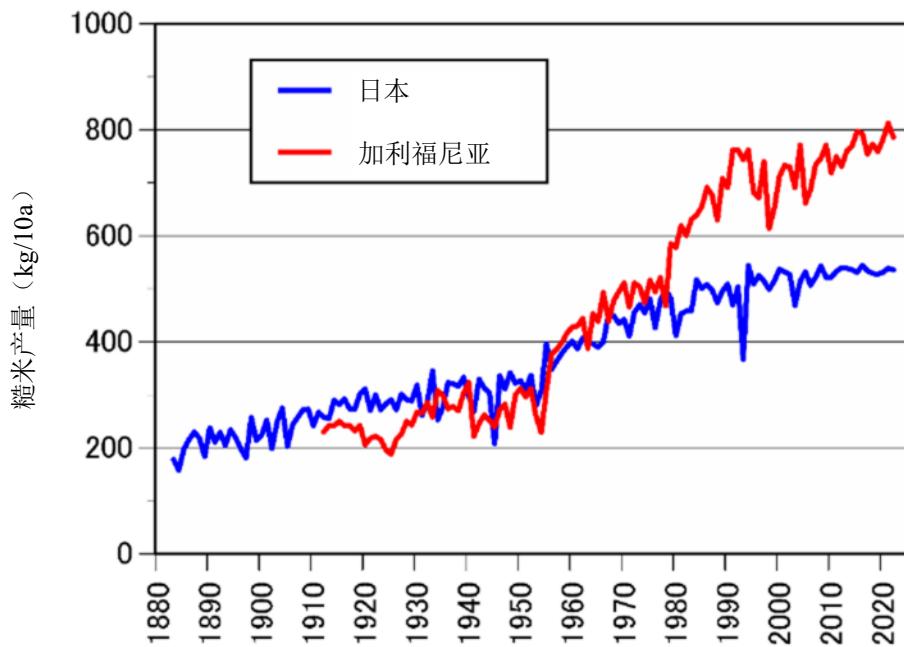
- 播种后3~5天内确认发芽或出芽，但随后幼苗失去活力，颜色变浅，出现倒伏，或直立枯死。发现种子似乎没有发芽。中途种子消失了。
- 播种1周后，鞘叶展开，不完全叶伸长，似乎被什么东西咬断了。
- 表面播种的一周后种子已埋入土中，看不到了。
- 田面上既没有水稻，也没有杂草。

针对病虫害和水生生物干扰的措施

有效措施是改善水量管理并延长排水期。如果难以实施，则使用农药。

- 通过晒苗可以降低损害。长期晒苗的效果尤佳。
- 将湛水播种改为排水播种。
- 免耙田的湛水直播和干田直播可以解决这一问题。
- 包衣时使用种子处理剂既省力又非常有效。大田的防治措施也同样有效。适当使用农药，即使在未充分晒苗的情况下，也能确保出苗。
- 一旦出苗不良，再喷洒农药也于事无补。预防胜于治疗。

铁粉包衣直播是一种表面播种技术。谈及直播，有观点认为“表面播种无法实现高产”，但在1980年之前，加利福尼亚湛水表面播种的产量与日本相同，而且此后不断增加，目前已达到1.4倍。这表明通过表面播种可以实现高产。



加利福尼亚和日本的产量比较（使用农水省及美国农业部的数据）
加利福尼亚的主要种植方式是催芽种子的免耙田湛水表面播种，而在日本是移栽。

铁粉包衣直播如果种植得当，其产量可以与移栽相当，或高出几个百分点。

越光水稻移栽与铁粉包衣表面条播的比较

(2005年9月产量调查后的情况，试验水田)



移植（排水口侧）

铁粉包衣（中央部）

铁粉包衣（进水口侧）

重点关注直播中茎数较多的特点。关于2003年至2005年的三年平均糙米产量，移栽为493kg/10a，铁粉包衣条播为528kg/10a。其中播种量为232粒/m² (6.2kg/10a)，出苗数为141株/m²，出苗率为60.9%。

多数高产品种穗粒重、分蘖少，因此适合密植。移栽时行距已固定，并且为了减少育苗盒数量，难以实现密植，但直播则可以增加播种量，容易应对。

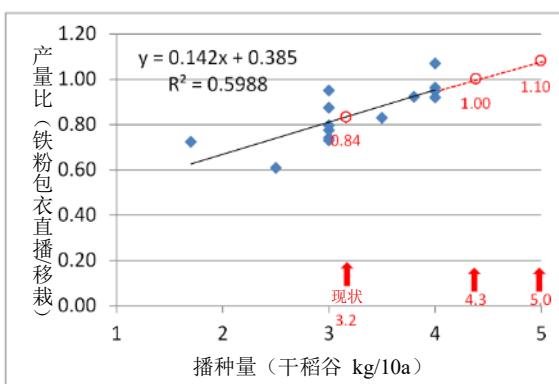
为了实现省力低成本、稳定高产、具有环保附加值的铁粉包衣直播，关键点如下。

12.1 优化播种量

当地的直播水田产量与移栽相同，或约低 10%。主要原因是播种量不足。此外，还存在水量及施肥管理不当和杂草管理失败等问题。为了提高产量，需要充分理解移栽种植和直播种植的区别。

直播种植的出苗数为 100-150 株/m² 左右时可获得高产。然而，在当地的铁粉包衣直播区域，出苗数多为 60~80 株/m²，产量仅达到移栽种植的 90%。为了提高出苗数，在早期确保茎数（穗数），使田地抗杂草，实现稳定高产，优化播种量尤为重要。

通过优化播种量来提高产量



数据：2015 年度大规模示范田数据，不包括冈山县（无对照区）和德岛县（因福寿螺导致出苗不良）的数据

全农大规模示范试验田（2015 年度）中
播种量与产量的关系

另外，虽然有时会因担心倒伏而减少播种量，但其效果远不及优化水量管理、施肥管理以及引进耐倒伏品种，反而会导致产量不稳定，未成熟青粒增多。

12.2 改善水量管理

水量管理不当会导致出苗不稳、杂草管理失败以及因“多根”现象导致倒伏，从而使产量下降。在已耙田的水田中，为了更省力地进行适当且快速的水量管理，设置明渠十分有效。倒伏有折断型、弯曲型以及根倒伏型这三种。直播的问题根源在于因水量管理不当导致的根倒伏。水稻的根系较弱，会生长成章鱼足状，即使进行中期晒田，土壤也不会干透，则会导致在柔软部分发生倒伏。所以应使田面保持干燥，确保根系健康生长。

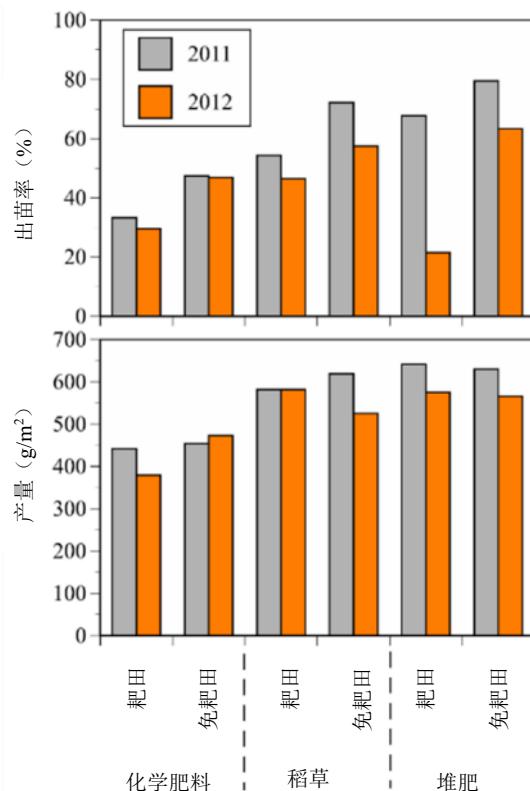
相关措施是实施晒苗，并通过明渠和沟槽确保水田灌排系统可靠、快速。在漏水较少的水田中，应轻微耙田，或者彻底免耙田。此外，一旦出苗，水稻覆盖田面，在与杂草的竞争中占据优势后，应拉开灌水间隔，保持湿润偏干状态，促进根系生长，同时让土壤适度干燥也非常重要。为了抑制温室气体产生，并减少因高温导致稻谷发白，提升根系活力，通过间断灌溉使土壤保持氧化状态，有助于铁粉包衣直播水稻高产。

产量比表示铁粉包衣直播水田与移栽水田的比例。播种量是干燥种子的重量。所有试验田使用了直播专用肥料进行试验。

播种量的平均值为 3.2kg/10a，处于较低水平，产量仅为移栽的 84%。如果将播种量提高到 4.3kg/10a，预计可与移栽产量相当，若达到 5.0kg/10a，则预计能够比移栽产量高出 10%。

12.3 施肥管理

直播铁粉包衣种子时，施用有机物和堆肥能提高产量。



在连续施用化肥、稻草、牛粪堆肥的田地中，
铁粉包衣种子的耙田和免耙田湛水撒播直播
的出苗和产量（农研机构西日本农业研究中心
的水田，2011年，2012年）

12.4 新型铁粉包衣种子与传统型的产量比较

直播新型铁粉包衣种子有望比传统型或移栽获得更高的产量。

三种铁粉包衣种子的发芽和田间幼苗的出苗及产量

（品种秋盛、广岛县三原市、2023/5/25 播种）

铁粉包衣种子的种类	包衣日	培养皿		播种后第 18 天				播种后第 117 天	
		发芽率	发芽速度	出苗率	株高	单株重	分蘖株	总重	精米重量
		%	d	%	cm	mg	%	Kg/10a	Kg/10a
新型铁粉包衣 (催芽种子)	5/25	93.7	0.55	51.4	12.9	31.9	53.7	1697	609
新型铁粉包衣 (活性种子)	3/14	91.9	1.82	52.7	12.2	24.8	26.1	1579	583
传统型铁粉包衣 (活性种子)	3/14, 4/28	94.0	2.50	48.8	11.4	20.2	15.0	1490	535

发芽速度是指 50% 种子发芽所需的天数 催芽种子与活化种子的发芽率分别为 98.7% 和 95.7%，发芽速度分别为 0.25 天和 1.48 天 广岛县秋盛品种的移栽平均产量为 571 kg/10a

就制造种子的省工省力性、出芽的速度和产量而言，新型铁粉包衣（催芽种子） \geq 新型铁粉包衣（活化种子） \geq 传统型铁粉包衣。

13

可持续性

引进直播种植对人和环境的影响较大，因此必须从如下各个方面认真考虑其可持续性。

13.1 包衣材料的安全性

在铁粉包衣直播过程中每年会向土壤中投入铁、氧化铁和熟石膏。基于以下理由，我们认为对环境的负面影响较小。

- 所使用的铁、氧化铁和熟石膏均为环境负荷较小的天然物质或由其衍生的材料。
- 直接播种铁粉包衣种子时，向水田中投入的铁为 2.5kg/10a（播种量为 5kg/10a，铁粉包衣比为 0.5 时）。
- 水田土壤中约含 7% 的铁，原本就大量存在。
- 为提高肥沃度，建议施用含铁的土壤改良材料（连续多年施用时，按铁含量换算为 34kg/10a）。本技术仅使用了该量的 1/13。

13.2 减少化学肥料

由于是表面播种，因此不易受到还原性障碍的影响。可以施用堆肥和有机物，从而减少化肥的使用量（降低肥料成本）。

13.3 减少化学农药

必要时，可以选择使用或不使用农药。

- 在直播种植中，除草剂的使用次数相较移栽种植有所增加。虽然这取决于杂草的生长情况，但一般来说，干田直播约需使用 4 次，湛水直播约 2 次，移栽约 1 次。对催芽种子进行铁粉包衣后，在不排干耙田水的状态下进行播种时，可以更有效地抑制杂草生长，因此能够减少到与移栽相同的水平。
- 在防治方面，可以使用环境负荷较小的种子处理剂，相比使用大田防治剂，环境负荷会更小。
- 铁粉包衣直播能抑制种传病害的发生。这是铁生锈时产生的活性氧的作用，是一种自然现象。可以减少使用种子消毒剂。
- 通过铁粉包衣来避免鸟害，被认为主要是由于铁膜较硬所产生的物理效果。不需要驱避剂。
- 铁粉包衣直播是表面播种，因此不需要制氧剂。

13.4 保护水资源

耙田后使用铁粉包衣种子进行湛水直播时，不会排干耙田水，因此可以节水。此外，耙田水中含有大量的营养盐类和粘土，因此可以避免因其流失而造成的水质污染。在湿田可以免耙田直播，减少土壤扰动，从而减轻水质污染。

13.5 应对全球变暖—高温损害、抑制甲烷生成

进行铁粉包衣直播时，需要进行晒芽，使其保持湿润偏干状态，并进行中期晒田。在湿田也可以进行免耙田和干田直播。这些措施减少了甲烷气体的产生，直接有助于应对全球变暖。

13.6 抑制杂草稻

直播种植中杂草稻问题尤为严重。铁粉包衣种子种植至今已超 20 年，但尚未有报告称出 现杂草稻的情况。耙田后的湛水直播以及实施晒苗但不进行表面排水，不使土壤过度干燥，可能限制了杂草稻发芽。

13.7 湿田及其干田化、湛水直播及干田直播

水田干田化的优点在于便于干田直播，可实现省工省力、降低成本，防止耙田时浑水外流，能减少温室气体甲烷的排放量。水田处于湛水状态时，原本就具备维持生物多样性、水质净化、缓解洪水和保护土壤等环保功能。另一方面，在湿田中耙田会增加环境负荷，使农作物的生产力下降。铁粉包衣种子可以在湛水、干田和免耙田的条件下进行直播，根据水田状况引进播种，可能会对可持续发展作出贡献。

在引进铁粉包衣直播时，建议从多个角度考虑可持续性。

14 知识产权、材料和技术指导

本手册包含专利技术（日本专利第 7092423 号（2022 年）以及中国专利号 ZL 2022 1 1548935.4）（铁粉包衣种子的制造及使用相关专利）。为了促进稻作技术的健康发展，请您尊重专利权并遵守合规要求。

14.1 材料

请使用拥有授权许可的法人或个人制造和销售的材料。使用该材料时，可确保合规性。

14.2 技术指导

有关材料、包衣及种植相关技术和授权许可的事宜，请向作者咨询。

参考资料

- 井上博喜、山内稔、宫川久义 2009 [种子的铁粉包衣处理对水稻育苗期病害的防治](#) 日本植物病理学会报 75: 164-169
- 栗久宏昭 2009 [水稻铁粉包衣直播中因稻水象甲造成的出苗不良](#) 2008 年度近畿中国四国农业研究成果信息
- 松浦昌平、竹本一惠、东条元昭、山内稔 2012 [水稻铁粉包衣湛水直播中因 Pythium arrhenomanes 造成的出苗不良](#) 日本植物病理学会报刊 78: 301-304
- 宫川久义、山内稔、井上博喜 2013 [使用铁粉包衣种子调制机制造的铁粉包衣种子对种传病害的防治效果](#) 关西病虫研究报告 55: 23-30
- 佐藤彻、东聪志、市川岳史 2011 [北陆地区水稻铁粉包衣湛水直播种植中包衣量、播种深度及播种后的水量管理对出芽和出苗的影响](#) 日本作物学会学报 80: 157-164
- 泷村勇二、星野滋 2010 [水稻铁粉包衣直播中因椎实螺类造成的出苗不良](#) 2009 年度近畿中国四国农业研究成果信息
- 专利第 4441645 号 铁粉包衣稻种的制造方法（发明者：山内稔、专利权人：农研机构）申请日 2004/1/6
- 专利第 7092423 号 稻种的直播方法及稻种的包衣方法（发明者：山内稔、专利权人：山内稔）申请日 2022/1/28
- 山内稔、土门正幸、嘉纳百树、藤原逸平 2008 [铁粉包衣种子的批量制造技术](#) 近畿中国四国地区的新技术 7: 22-24

- 山内稔 2012 [使用铁粉包衣种子的水稻湛水直播技术](#) 日本作物学会学报 81: 148-159
- 山内稔 2017 [A Review of Iron-Coating Technology to Stabilize Rice Direct Seeding onto Puddled Soil](#) Agronomy Journal 109 (3) :739-750
- 山内稔、盐见峻、樋口亮、山川绅哉、村冈贤一、中西一泰、阿部浩人、东野裕广、田中达也、山本晋弘、石滨典子、神田美佳、小野广树、岩田和彦 2018 使用铁粉包衣种子的水稻直播种植 手册 2018 1-57 全国农业协同组合联合会
- 山内稔 2019 水稻铁粉包衣直播种植中省工稳产高产与环境保护的协调发展 土壤建设与生态农业 51: 27-34
- 山内稔、本间智己、森本真之佑、绪方翔、佐藤博之 2022 [铁粉包衣种子：解决氧化发热和出芽延迟问题并可在造粒后立即直播](#) 第 254 届日本作物学会讲演会 p.21
- 山内稔、绪方翔、本间智己、森本真之祐、片岛恒治、河良信善、阿曾沼广树、大久保智博、日高秀俊、佐藤博之 2023 [扩大铁粉包衣种子的播种期（制造后立即播种～长期储存）与直播种植中的出苗](#) 第 256 届日本作物学会讲演会 p40
- 山内稔、绪方翔、本间智己、森本真之佑、佐藤博之、片岛恒治、河良信善、阿曾沼广树、大久保智博、日高秀俊 2024 [新型铁粉包衣直播技术：实现种子制造省力化并解决出芽延迟问题](#) 日本作物学会第 257 届讲演会摘要集 p138
- 山内稔、佐伯贵知、高岛和彦、吉园修治、窪田陆也、长谷川哲司、长友瑞生、藤田幸利 2024 [九州山地中部梯田的新型铁粉包衣种子无人机撒播](#) 日本作物学会第 258 届讲演会摘要集 p.4

作者、联系方式

山内 稔 [researchmap](#) (日本科学技术振兴机构研究人员信息数据库)

如有任何疑问，请使用联系方式栏