



将生物炭放在边缘使用：质量、土壤和测量

作者：Michael Shafer（泰国清迈暖心基金会）

翻译：李岚（Lan Li）

ECHO Asia Notes, Issue 35

May 2018

Michael Shafer 博士身为美国罗格斯大学政治学退休教授，其于 2008 年创立了暖心基金会。在于 2013 年 ECHO 会议上首次了解到生物炭之后，暖心团队开始为小型农场主设计并测试改进型生物炭制造设备，其具有成本低、技术要求低的优势。在 2017 年，暖心团队因开发村级生物炭社会企业模型而获得世界能源全球奖(泰国)。该团队刚刚推出了一家以“Rak Din”品牌销售农民生物炭产品的社会企业。

在这篇文章中，Shafer 博士分享了他在发展中国家世界中实际使用生物炭的经验。他的目标是重新关注生物炭的研究，将其从学术实验室转移到发展中国家混乱的农场环境之中。他希望通过“泥巴里的靴子”开发实践者放心，他们可以在现场制造、使用甚至测试生物炭。

1. 引言

到目前为止，人们针对生物炭材料及其工作原理已进行了大量研究。同时发展中世界中的相关现场试验也逐步表现出越来越好的效果。

但是，当你和生活几乎是处于“水深火热”的小型农场主一起工作时，你应该对所有关于生物炭好处的报道持保留态度。我这样说并不是质疑相关数据。毫无疑问，这些研究工作者所做的工作都是非常杰出的（大多数研究结果都是一样的，但是由于没有公布错误以及无法的发现，会导致偏差的产生）。相反，你必须努力抑制你的兴奋，因为你永远不要忘记你在哪里工作（地点），在和谁一起工作（对象）。

1.1. 实验世界和你

针对生物炭进行的实验室实验所具有的三个特征使它们与作为开发实践者可能进行的试验之间具有较为明显的差异。那些为了在科学期刊上发表文章而进行实验的人必须知道：（1）生物炭的确切特征；（2）土壤的精确化学；以及（3）生物炭、堆肥、粪便和黏土等成分的精确测量数据。但是对于处于发展中世界的农场而言，你和与你一起工作的农民不知道也不可能知道这些事情中的任何一件。

1.2. 需要做什么？

不要摒弃科学。生物炭是一种很好的材料；不要被那些告诉你不能使用生物炭的专家吓倒，“除非你使用这种原料，在这个温度下热解，添加到这个土壤中，等等…”生物炭可以为与你一起工作的农民带来令人惊叹的事情。然而，如果你学会清晰地思考你试图用生物炭材料完成的事情，理解透彻测试要求，并牢记你工作的真正限制，那么你花在学习和介绍生物炭材料上的时间将会更为有效。在本文中，我将根据我们在泰国清迈高地 Phrao 周围的经验，分享关于如何使用生物炭材料管理您的工作的建议。我的这些建议是基于四年的经验在“暖心”实验农场（包括 35 块试验田）中得出的。自 2015 年以来，我们已经在我们的农场和与农民进行的田间试验中对基于生物炭的有机肥与合成肥料的差异进行了研究。这两种试验结果均表明，在当地土壤中，农民制造和施用的生物炭有机肥的表现优于通常在这一地区使用的合成肥料。

1.3. 生物炭质量，土壤类型，生物炭的用途，以及在田间测量生物炭

当与小规模农民一起来制造生物炭时，您需要考虑三个因素：（1）您可以教农民制作的生物炭的质量；（2）他们耕种的土壤的特性；以及（3）在您准备使用生物炭时如何实现针对其相关指标的测量。这些正是实验室科学家担心的几个方面！你可能已经听说过很多关于为什么这些因素都是至关重要的解释，以及为什么你和与你一起工作的农民都不能被信任来处理它们的原因。请不要理会它们！

在上述农场中，我们设计并测试了一种结构简单、技术含量很低的生物炭制造机器；并受委托进行了相关土壤性质研究；并通过现场测量系统进行了相关方面的试验。我们相信，只要你注意自己在做什么，在哪里，为谁以及为什么，你可以教会任何一个小型农场主如何制造出高质量的生物炭并成功地使用它。

2. 常令人困惑的“生物炭质量”问题

什么是好的或优质生物炭？及时你不知道，那么你也并不孤单。没有人能够彻底弄明白这一点，这是因为具有的答案将取决于你打算使用生物炭的“用途”以及你打算制造它的“目的”。在一种应用领域中效果很好的生物炭材料在另一种领域中就可能表现的没那么令人满意。在这篇文章中，“优质生物炭”被定义为能够“为小型农场主带来农作物增产和土壤改良的生物炭。并且我也只针对世界上最贫穷小农场主使用的生物炭制造方法进行了探讨。

实验室以及农田现场针对生物炭得到的结果和推测之间存在一定的差异。这是因为利用实验室方法，研究人员可以识别生物炭的一个或多个被认为或已知与提高产量相关的特征。试验人员可以建立能够测试不同生物炭样品的方法，以确定达成特定目标所需的特性，因此其结果相较于农田现场试验要“更好”。相比之下，田间法主要是将不同类型的生物炭添加在农民田地的土壤之中，并对由此产生的产量提高/土壤改良进行测定，以了解哪种生物炭具有更为显著的积极影响。前一种方法能够得到大量有用的信息，并提供了理解生物炭发挥魔力的因果机制的可能性。然而，后一种方法告诉你所有你需要知道的关于你正在制造的生物炭是否具有完成这项工作的质量（虽然“做工作”是什么，是一个模棱两可的目标：例如，你已经获得了额外的 10% 的收益，但这能被认为是成功的还是不成功的？如果你制造更高质量生物炭，你能达到 20% 吗？这个经验性的问题让我们中的一些人晚上睡不着觉。）。)

在“暖心”农场，我们既没有科学家，也没有实验室。我们可以做 Hugh McLaughlin 对生物炭质量的低影响测试（McLaughlin，2010 年），但仅此而已。我们做的最重要的一项测试是“看，妈妈，干净的手”测试。也就是说，我们处理生物炭，然后用水洗手。如果生物炭被水洗掉，那么表明生产温度就足够高，足以产生具有良好生物炭特征的临界层的碳环。如果我们的手仍然是油腻的黑色，那就说明生产温度太低，焦炭仍然含有油，焦油和其他芳烃，表明炭化并不充分。对于我们的观众——当地的农民而言，他们并不关心“真正的”实验室结果。他们关心的是有形的结果。他们想知道三件小事：我们的生物炭会增加产量吗？庄稼会明显更健康了吗？就外观、感觉和蠕虫存在的基本衡量标准而言，土壤是否

更健康？为了能够从生物炭测试中得出任何结论，无论是在实验室还是在现场，原材料必须明确规范。如果没有基线，那么试验结果基本上就会变得毫无价值。在田间，一个重要的问题是，“鉴于农民可能制造生物炭的方式，那么他们在地里放的是什么东西？”农民将使用各种作物残留物来制造生物炭；例如，你可以在人们种植玉米的地方进行培训，但如果你幸运的话，那些人会雇佣在家里种植水稻的亲戚，因此会制作稻草炭。农民还将使用各种各样的方法来制造生物炭。你可以教农民一种制造生物炭的非常具体的方法，但你可以肯定的是，在以后的 25 次教学迭代中，当他们分享和改变方法时，真正掌握的方法将很少。第二个重要的问题是：“自制生物炭的使用对农民来说是否值得？”

在我看来，最大的问题是：“你能诚心诚意地告诉农民，如果他们花时间和精力制造生物炭并将其投入农田，他们将会改善他们的作物吗？”

2.1. 简而言之：是的

我是怎么知道的？

我知道，因为我们在“暖心”农场已经教农民如何使用 TLUD（顶燃式通风）桶形烤炉和“flame cap”槽来制造生物炭，然后送他们去制造他们自己的生物炭。接下来，我们建立了成对的试验田，这些试验田紧挨着彼此，并要求农民用他们通常使用的合成肥料混合物和他们制造的生物炭来施肥，这些生物炭要么是普通的，要么按照我们的要求用粪便、猪尿、EM 或粘土进行改良得到的。我们要求所有的试验地都要靠近交通畅通的道路，这样社区成员才能看到它们。我们在每个地块上悬挂大横幅，以确定处理方式。我们用各种原料制成的生物炭来重复这些测试，因为农民将使用他们现有的任何原料，重要的是要知道结果是否因特定地点的原料而略有不同。

试验结果显示，试验田农作物产量与试验条件之间具有一致且正相关的关系。表 1 给出了 2016 年 10 名种植茉莉和糯米的农民的相关试验数据。需要注意的是，上述两种农作物的产量本身就具有显著差异。这些数据既反映出了种间差异，同时也反映出了不同处理方式之间的差异。该试验中的指标为 kg 产品/平方米。处理方式如下所示：处理方式 1: 400kg 饱和猪尿的生物炭；处理方式 2: 化肥 16-20-0:46-0-0=1:1 加 6kg 生物炭，总重为 15kg；处理方式 3: 400 kg 堆肥和 400

kg 饱和猪尿的生物炭。所有生物炭地块都以 250g 生物炭/m² 的施肥量给予生物炭。

表 1.2016 年 10 名种植茉莉和糯米的农民的相关试验数据

Averages	Biochar Plot Yields (kg/m ²)	NPK Plot Yields (kg/m ²)	+/- Increase in Biochar Yields (kg/m ²)	% +/- Increase in Biochar Yields
Ave Tr 1	.2125	.1956	.0169	8.8%
Ave Tr 2	.3638	.3338	.03	9.1%
Ave Tr 3	.4238	.395	.0288	7.3%
Ave SanPaTong Tr 1	N/A	N/A	N/A	N/A
Ave SanPaTong Tr 2	.5625	.4688	.0937	20.0%
Ave SanPaTong Tr 3	.5738	.525	.0488	11.6%
Ave Mali 105 Tr 1	.225	.2031	.0219	10.8%
Ave Mali 105 Tr 2	.1419	.1419	0	0.0%
Ave Mali 105 Tr 3	.2813	.2581	.0232	9.1%

在这个测试项目（Warm Heart, 2017 年）期间对参与的农民进行的视频采访中，农民经常评论说，生物炭地块中的植物看起来更健康，而且生物炭地块中的土壤在生长季节中有明显的改善。（农民对生物炭能够改善植物和土壤健康特别满意，他们表示，这对他们来说比产量提高更重要。因为生物炭可以做 NPK 显然做不到的事情，所以他们强烈倾向于生物炭。）。从种植茉莉的一对生物炭/NPK 地块收获后立即进行的土壤测试（如表 2 所示）（处理方式 1）证实了生物炭对土壤质量的积极影响。

表 2.从种植茉莉的一对生物炭/NPK 地块收获后立即进行的土壤测试

Plot	pH	%OM	%N	Phosphorous mg/kg	Potassium mg/kg	Iron Cmol(+)/kg
Biochar (400 kg biochar with pig urine)	5.00	8.62	0.18	4.25	96.30	14.54
NPK	4.89	8.43	0.18	4.20	88.30	13.41

2.2. 土壤类型和生物炭

目前关于土壤主要涉及两种思考方式。在大多数发达国家的农业应用中，关于土壤的讨论集中在特殊农田土壤的特定特性上，甚至在农田的一部分特性上。

在大多数发展中国家，这样的信息是无法获得的。然而，相对于你对农民耕作的土壤的了解，生物炭可以提供巨大的潜在收益（特别是作为土壤改良剂）。

在广泛的范围内，科学家根据类型对土壤进行分类，每种土壤都具有总体农业潜力的一般特征。大多数发展中国家都有土壤类型地图。你可以通过识别你所在的主要土壤类型，并提出相关的建议，来帮助与你一起工作的农民。如果你和发展中国家的小型农场主一起工作，他们耕种的基本土壤类型很可能在生物炭将会纠正的方式上存在缺陷。

我们怎么知道？

在承诺推广生物炭之前，暖心委托土壤科学家 Peter Elstner 准备东南亚土壤类型的概述。然后我们要求他用生物炭的已知益处覆盖每种土壤类型的关键特征。由此，我们可以根据特定土壤的全球（主要是热带地区）分布，对生物炭作为土壤改良剂的预期高效进行概括。

2.3. 土壤类型

如果你与发展中国家的小农户合作，你很可能处于最常见土壤类型分别为强淋溶土 Acrisols、石质土 Lithosols 或强风化黏盘土 Nitisols 的热带地区（例如，在东南亚大陆，这三种土壤类型占总表面积的 60%以上）。如果你查看下面的三张世界地图，你会看到发展中国家的土壤中属于强淋溶土、石质土或强风化黏盘土的比例相当大。强淋溶土是一种真正贫瘠的土壤，在上述地区极其常见。比起强淋溶土土壤，石质土和强风化黏盘土相对较好，但这两种土壤都无法实现可持续农业的发展。然而，使强淋溶土变得可怕的土壤的特性使它们成为生物炭的完美匹配者。因为生物炭可以帮助很好地补偿石质土和强风化黏盘土中所存在许多严重缺陷。

强淋溶土（如图 1 所示）正遭受着“植物养分普遍缺乏，铝毒性，强磷吸附，消化/结壳和高度易受侵蚀等严峻的问题，这些对其作为耕地使用施加了严格的限制.....由于强淋溶土中的生物活性很低，因此其自然再生，例如通过机械操作退化的表层土壤，将会使非常缓慢”（FAO，2001 年）。

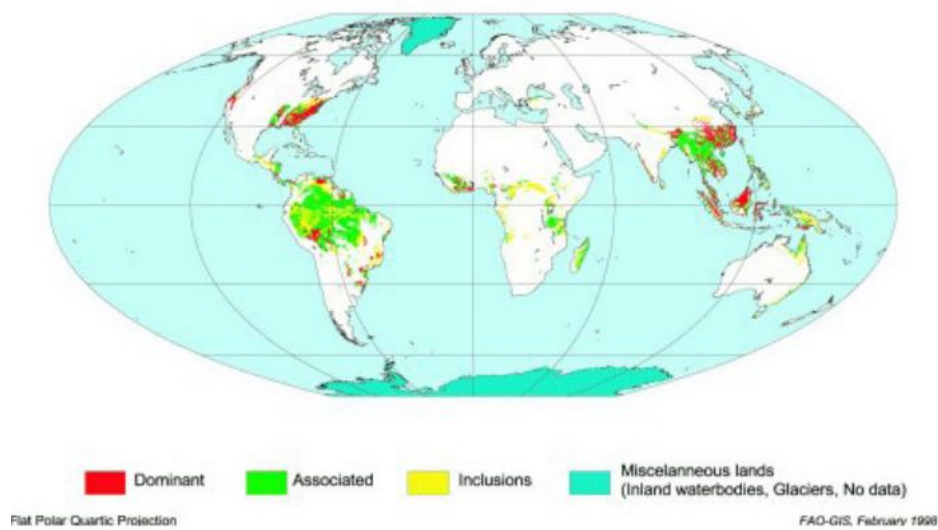


图 1.Acrisols 全球分布图

要想石质土这一类型的土壤能够种植农作物（如图 2 所示），就“需要反复投入化肥或石灰”，它们的“不稳定的表面土壤结构使土壤容易在坡地上崩解和侵蚀”。它们确实“具有更高的碱饱和度，因此比通常在强淋溶土中发现的结构更强一些，它们的保湿性能也略好于强淋溶土。而强淋溶土作为一种强风化土壤，具有有效养分水平低，养分储量低的特点。然而，石质土的化学性质通常比强淋溶土好。强淋溶土由于其较高的土壤 pH 和没有严重的铝毒性。由于石质土的阳离子交换能力低，因此可交换碱基的绝对量一般不超过 $2 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$ 细土。低绝对水平的植物养分和低阳离子保留率的土壤使肥料或石灰的循环投入成为持续种植的前提条件。发生化学或物理上退化的石质土如果不积极开垦，那么其再生速度将会非常缓慢”（FAO，2001 年）。

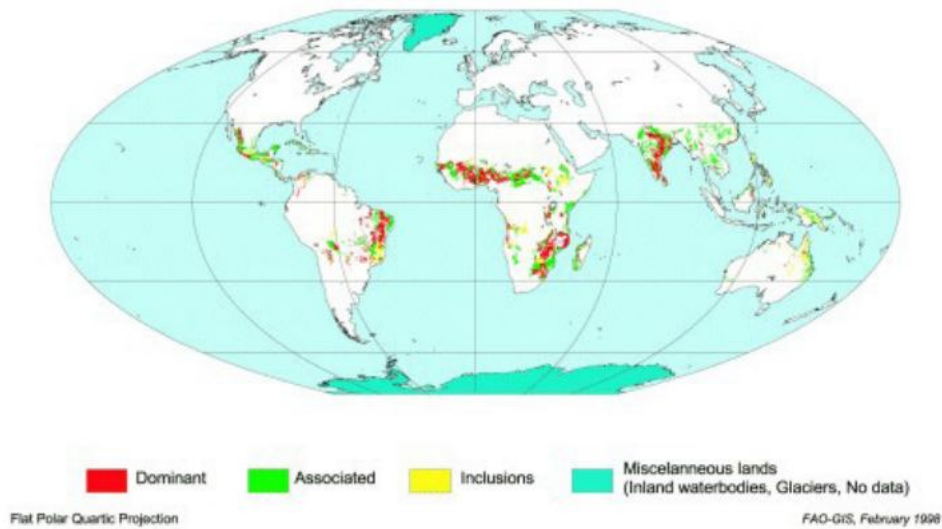


图 2. Lithosols 全球分布图

在潮湿的热带地区，强风化粘磐土（如图 3 所示）被认为是很好的土壤，因为它们较为稳定且具有一定的抗侵蚀能力，同时也因为它们允许农作物深深的生根，且排水良好，也能够保持水分。它们比强淋溶土和石质土含有更多的有机质和化学养分，但仍然不是很肥沃，所以它们最适合用于种植作物，如咖啡、可可和橡胶（FAO，2001 年）。

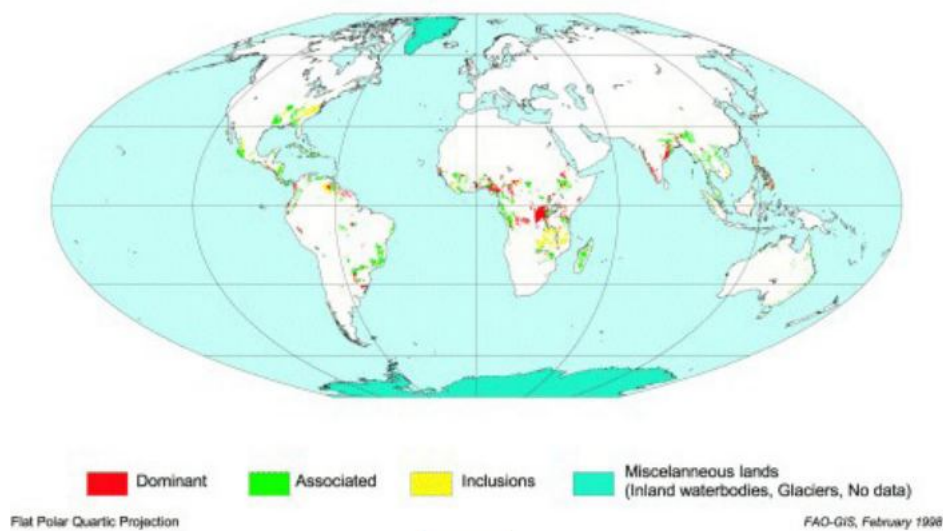


图 3. Nitosols 全球分布图

2.4. 生物炭和土壤类型

在“东南亚大陆土壤”的原始版本中，Eltner（2017 年-根据要求提供）总结了生物炭的主要益处，然后将效益模式与每种主要土壤类型相关的特征进行了比较。有关生物炭的优异方面如下所示：

- ① 通过提高土壤 pH 降低土壤酸度
- ② 增加阳离子交换能力（CEC）
- ③ 减少营养素的淋洗【作用】
- ④ 提高土壤耕作，降低土壤密度
- ⑤ 增加土壤持水能力
- ⑥ 降低铝毒性
- ⑦ 支持土壤微生物生命

然后，当他总结每种土壤类型在东南亚实际测试的特点时发现，很明显，生物炭并不是所有地方所有土壤的灵丹妙药。然而，当你检查土壤类型的化学和农学性质时（如表 3 所示），也可以很明显地看出，强淋溶土、石质土或强风化黏盘土都可以从生物炭的使用中受益（如表 4 所示）。

表 3.东南亚大陆七种土壤类型的相关特征

RSGs	Fertility	pH	CEC	Soil Structure	Water Holding	Drainage	Fauna Activity
Acrisols	low	acid	low	low stability	low	slow	low
Gleysols	good	weakly acid to neutral	high	NA	NA	saturation with water	low
Cambisols	good	weakly acid to neutral	medium	stable	good	well-drained	high
Lithosols	low	weakly acid to neutral	medium	stable	low	well-drained	low
Luvisols	good	weakly acid to neutral	medium	stable	good	well-drained	NA
Fluvisols	good	neutral	medium	stable	NA	stagnating groundwater	NA
Nitisols	low	acid	low	stable	good	well-drained	high

表 4.生物炭对三种最常见和最有问题的土壤（强淋溶土 Acrisols、石质土 Lithosols 或强风化黏盘土 Nitosols）的影响：在热带发展中国家，这些土壤几乎覆盖了整个陆地表面的三分之二

RSGs	Fertility	pH	CEC	Soil Structure	Water Holding	Drainage	Fauna Activity
Acrisols	improves	raises	raises	improves	improves	improves	improves
Lithosols	improves	improves to neutral	neutral	neutral	improves	neutral	improves
Nitisols	improves	raises	raises	neutral	improves	neutral	neutral

总而言之，如果你与热带或亚热带地区的小型农场主合作，你可能无法微调你使用的生物炭的类型，以适应每个农民田地的特定土壤，但你可以有把握地评估生物炭是否会产生影响。如果你的土壤属于强淋溶土类型，你可以预期生物炭能够对其产生很大的影响；如果你的土壤属于石质土类型，效果很好；如果你的土壤属于强风化粘磐土，则也会得到一定的效果。您可能会获得高于预期的结果，但要确保在将生物炭推广到农民之前，首先亲自测试生物炭的生产、应用和使用情况！

（国际数据表明，这篇文章对生物炭可能的功效的评估过于保守。即使在美国和欧洲的原始土壤中，实验数据也显示出极好的结果。然而，由于你和与你一起工作的农民不知道土壤的具体情况，主要的结论是，你的土壤很可能是坏的，而生物炭擅长对其以不同的方式进行修复。）

2.5. 测量

你会发现在与小农一起制作生物炭化有机肥时，针对标准测量方法的使用和沟通将是一件非常棘手的事情。在实验室环境中，人们可以从绝对值开始工作，其中最好的指标为干物质或“dm”，在这颗，如要准确确定您使用了多少生物炭或堆肥，您需要将其完全干燥，然后称重。同样在实验室，你可以分析湿成分的化学含量，比如猪尿（我们用它来使生物炭营养化），并且确切地知道各自的组分或比例。但是，这些技术在田间现场是不可用的。你可能会简单地认为生物炭在湿的状态不会发生膨胀，所以体积可以作为一种一致的测量方法。但随后你会发现，每种原料（以及每种热解方法和产生它所需的温度）都会产生不同的生物

炭浓度——每种生物炭均具有不同的密度，它们随着时间的推移会发生不同的破碎。

所以要怎么做？

首先，提醒自己为什么首先要测量生物炭。你测量的目的不是为了精确的科学实验。您正在测量以实现一定程度的可复制性。你想知道：如果我这样做，我会得到什么？你想知道一种特定的生物炭混合物会对产量、植物健康或土壤质量产生什么影响。你需要一种测量的方法，这将允许你在相对有意义的容许范围内比较不同处理方法之间的关系，不过这将考虑到农民将实际使用的工具。

那些工具是水桶。

与你一起工作的农民几乎肯定可以使用秤来称量他们的大米或其他作物，这样他们就可以称量他们的生物炭配方成分。然而，如果不知道配料的水分含量，重量测量就不会有太大的意义。例如，在 JRO 中制造的生物炭几乎肯定会比 FC 槽中制造的生物炭具有更低的水分含量。

我们在“暖心”农场无法实现对湿度的精确测量。然而，生物炭应用的国际标准是以吨/每公顷为单位（没有具体说明水分含量），这要求我们可以将可克/公斤应用于平方米。当农民用手播送生物炭时，估计施用量已经够困难的了；如果没有对水分含量的标准定义，或者没有测量水分的能力，那么试图这样做是一场闹剧。生物炭应用的“国际标准”（基于世界各地的研究）是每公顷 10 吨或每平方米 1 公斤。科学文献表明，土壤越好，就需要越多的生物炭来实现给定的性能提高。但在“暖心”农场中，我们发现，土壤品质越差（例如侵蚀的 Acrisols），增加产量所需的生物炭就越少。在我们的试验中，我们从未使用过每平方米超过 250g 的生物炭，但我们看到了农作物产量的大幅增加，因为我们一直在寻求提高产量，同时尽量减少贫困农民的额外劳动，因这些农民往往处于年老或缺乏营养的状态。

由于含水率很难测量，我们需要一种方法来比较不同批次的生物炭、堆肥、黏土或其他材料，以确定这些变化是否会导致田间产量的差异。

与通过重量进行测定相比，使用水桶来测量配料的过程要简单的多。首先测量出大量的生物炭以及您准备使用的其他添加物。然后使用相同材料和相同的水桶，同时对它们进行混合。尽你所能，以恒定的比例加入配料。如果你的农民采取同样的方法，随着时间的推移，你也会这样做，这样你将尽可能接近相对可比性。

水桶测试无法使你说出更多明确的内容（可以包括土壤类型、生物炭热解方法、原料、成本、生物炭停留的时间长度等）。然而，如果您正确地构建您的测试结构，即您以这种方式仔细地管理您的处理，并以适当的、随机的和具有一致性的重复绘图模式来应用它们，您将能够在您的特定的本地环境中对每种处理相对于其他处理的价值做出强有力的声明。请注意，这种方法并不意味着不科学。相反，它考虑了你必须在其中工作的实际限制，并且仍然满足科学方法的基本要求。你的实验可能不会产生可公布的结果，但它们可以在你的特定环境中产生有意义的、相对的处理比较，这可以为其他像你一样在类似环境中操作的人提供指导。如果你这样做，你将能够向农民做出自信的声明，如果他们像这样制造生物炭，并像那样混合，他们就可以期望达到一定的结果。

底线

不要被人们关于什么是“优质生物炭”的说法所误导。同样，不要对“正确使用正确的生物炭”或“正确的测量方法”心有余悸。在你的特定背景下，寻找“足够好”的方法和材料，你试图实现的目标，以及对你有用的资源。早在古代，Aristotle就说过同样的话：寻求“在学科性质允许的每一种研究中的精确度”（亚里士多德，译本，1962年）。

参考文献

Aristotle. Translated 1962. *Nicomachean Ethics*. The Library of Liberal Arts. Translated by Martin Ostwald.

Elstner, P. 2017. Soils of Mainland Southeast Asia. ECHO Asia Notes #30. *Available:*

<https://www.echocommunity.org/en/resources/3e433eed-7f37-488f-841f-32fef3d1652f>.

FAO 2001. Lecture Notes on the Major Soils of the World. P. Driessen, J. Deckers, O. Spaargaren, and F. Nachtergaele (Eds.). Rome: FAO. *Available:*
<http://www.fao.org/docrep/003/y1899e/y1899e00.HTM>.

Hilber, I., and T. D. Bucheli. 2010. Activated carbon amendment to remediate contaminated sediments and soils: A review. *Global NEST Journal* 12(3): 305-317.

International Biochar Initiative (IBI). 2018. *Available:*
<http://www.biochar-international.org/>.

Jeffrey, S., D. Abalos, K. A. Spokas, and F. G. A. Verheijen. 2015. Biochar effects on crop yield. *In: Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation, 2nd ed.*, Eds. Johannes Lehmann and Stephen Joseph. New York: Routledge. Pp. 301-325.

McLaughlin, H. 2010. Characterizing biochars: Attributes, indicators and at-home tests. *In: The Biochar Revolution: Transforming Agriculture and Environment*. Eds. Paul Taylor and Hugh McLaughlin. Lilydale, Australia: Global Publishing Group. *Available:*
<http://warmheartworldwide.org/characterizing-biochar/>.

Rongjun, B., S. Joseph, L. Cui, G. Pan, L. Li, X. Liua, A. Zhanga, H. Rutledge, S. Wonge, C. Chia, C. Marjo, B. Gong, P. Munroec, and S. Donned. 2014. A three-year experiment confirms continuous immobilization of cadmium and lead in contaminated paddy field with biochar amendment. *Journal of Hazardous Materials* 272: 121-128.

Warm Heart Foundation. 2017. Biochar Interviews with Farmers in Phrao (English Version). Chiang Mai, Thailand: Warm Heart Foundation. *Available:*
<https://youtu.be/eUSEE1-ueE0>.

