

埃塞俄比亚吉马亏缺灌溉下哈拉格咖啡基因型幼苗生物量的量产和分配

Minda Tadesse

埃塞俄比亚 吉马 吉马农业研究中心灌溉和水收获研究部

摘要：在埃塞俄比亚，干旱严重制约着咖啡产量。为了克服这一问题，了解不同水分胁迫下咖啡基因型在不同部位生物量积累模式的变化规律，对选择耐旱基因型具有重要意义。因此，本研究的目的是评价和表征在吉马农业研究中心雨棚亏缺灌溉对哈拉格咖啡基因型生物量分配模式的影响。试验采用完全随机区组设计，有 3 个重复，处理包括 3 种缺陷水平（40、80 和 120% 的 ETc）和 6 种基因型（H-674/98、H-739/98、H-823/98、H-981/98、H-929/98 和 H-857/98）。结果表明，由于灌溉不足和基因型及其相互作用，咖啡干生物量分配模式发生了显著变化。总的来说，在 40% ETc 条件下，根系的生物量同化和分配较高（37%），而在水分充足的情况下，根系的投入以牺牲茎部为代价，使植物从底层土壤中提取更多的水分，如果上层土壤水分有限，相反，在水分充足的情况下，叶片的干物质分配较大（48%），最终在水分胁迫条件下下降到 26%。在灌溉良好的环境下，叶片中积累的干物质越多，植株的光合能力就越强，从而促进植株生长。研究咖啡植株不同部位的干生物量分配规律，对确定适宜的浇水量和确定变异气候条件下的耐旱基因型具有重要意义。

关键词：亏缺灌溉；生物量生产；生物量分配；咖啡幼苗；哈拉格咖啡基因型

Biomass Mass Production and Partitioning in Seedling of Harerghe Coffee Genotypes Under Deficit Irrigation at Jimma, Southwest Ethiopia

Minda Tadesse

Department of Irrigation and Water Harvesting Research, Jimma Agricultural Research Centre, Jimma, Ethiopia

Abstract: In Ethiopia, the coffee production is highly constrained by drought. To overcome such problem, knowing the behavior of coffee genotype's biomass accumulation pattern to different parts under contrasting moisture stress is important in selection of drought tolerant genotypes. Therefore, the objectives of the present study were to evaluate and characterize the biomass partitioning patterns of Harerghe coffee genotypes as influenced by deficit irrigation in rain shelter at Jimma agricultural research center. An experiment was conducted in completely randomized block design with three replications, where treatments consisted of three deficit level (40, 80 and 120% of ETc) and six genotypes (H-674/98, H-739/98, H-823/98, H-981/98, H-929/98 and H-857/98). The result showed that the coffee dry-biomass partitioning patterns were significantly varied due deficit irrigation and genotypes as well as their interactions. Overall, the biomass assimilation and allocation were higher for roots (37%) under 40% ETc and finally dropped to 23% under well watered seedlings, the investment made in root at the expense of shoot in drought conditions, enables the plants to extract more water from deeper soil layers, if water is limited in upper soil layers. Conversely, the dry matters portioned to leaf were greater (48%) under well watered seedlings and finally dropped to 26% under water stressed conditions. The accumulation of more dry-matter to leaf in well irrigated environment enables the plants to enhance photosynthetic capacity and thereby improve plant growth. Lastly, the study of dry biomass partitioning patterns in different parts of coffee plant is crucial important to decide appropriate watering amount and identifying drought tolerant genotypes for future breeding program under variable climatic conditions.

Keywords: Deficit irrigation; Biomass production; Biomass partitioning; Coffee seedling; Harerghe coffee genotypes

1. 简介

咖啡是最重要的农产品之一，在国际贸易中排名第二，仅次于原油。2010-11 年，全球生咖啡总产量超过

13416 万袋 (60 公斤容量)，全球市场零售价值超过 227 亿美元。许多咖啡种植国的经济在很大程度上依赖于这种作物的收入。全球咖啡种植区有超过 1 亿人的收入直

接或间接来自这种作物的生产^[1]。

同样, 咖啡 (*Coffea arabica* L.) 在埃塞俄比亚国民经济中扮演着重要的角色, 贡献了超过 60% 的外汇收入和政府 30% 的直接收入。此外, 25% 的人口生计依赖于咖啡产业。然而, 这种作物的全国平均产量很低, 主要原因是缺乏适合不同地区的良种、病虫害和季节性缺水。

阿拉比卡咖啡属于喜阴植物种类, 因此大多数传统种植都是在荫凉条件下进行的^[1,2]。遮荫咖啡生产受到辐射和养分竞争, 最终可能导致产量受限。因此, 为了提高产量和收入, 世界各地都采用了集中管理的全日照咖啡生产系统, 并结合适当的灌溉^[4-7]。然而, 全日照栽培的经验令人失望, 共识似乎是, 在全日照光照下, 需要提供足够的营养资源 (如氮) 和水, 以避免两年生木结实和枝条枯萎等问题^[8,9], 并减少树木的经济寿命^[10]。然而, 辐射和营养供应的最佳组合很难定义。

同样, 严重的水资源短缺和环境质量恶化正在威胁亚洲和非洲大部分地区的农业可持续性。总的来说, 干旱和不利的温度是咖啡生产的主要气候限制。因此, 咖啡是一种高度依赖环境的作物, 在咖啡种植区, 平均温度升高几度和 / 或短期干旱都会大大降低优质咖啡的产量。考虑到全球变暖现象, 预计咖啡种植区将严重减少。

提高干旱易发地区植物性能的补充方法包括鉴定和选择有助于抗旱性的性状。潜在重要性状的部分列表可能包括水萃取效率、水利用效率、水力传导、渗透和弹性调节以及叶面积的调节。这些性状大多较为复杂, 其控制和分子基础尚不清楚。

咖啡树的叶面积受到干物质向器官部位 (根、干、叶和树枝) 转运的间接影响。根据功能平衡理论^[13,14], 随着氮素供应的增加、水分供应的充足和遮荫程度的提高, 对茎部特别是叶片的分配会增加。叶片占总植株干重的比例, 叶重比是决定树木早期相对生长率^[15]的决定因素。相对于植物其他部位, 生物量在叶片上的分配是由叶片重量比决定的。高叶重比比低叶重比时, 叶面积扩张快, 光捕获快。因此, 叶面积比可以反映叶片的相对投入。如果环境是有利的, 对叶片和其他部分的投入是平衡的, 从而维持碳的供应和制备。

咖啡或其他作物的干物质产量取决于叶面积指数、光合速率和吸收同化物^[16]的代谢汇的强度。如果要使作物表现最佳, 它们必须有调节机制, 以确保光合作用和氮同化物按比例分配到植物的各个部分, 以提供良好平衡的全植物功能。例如, 在营养生长阶段, 同化物应按一定比例分配到叶片和新根的生产中, 使光合作用的能力与获取矿物质营养物质和水的能力之间保持平衡。

不同研究者研究发现, 树种的根冠比变化或茎部储备的临时积累, 伴随着养分、水分可利用性和碳代谢的变化, 从而影响干物质的分配^[18-20]。根据一些发现, 土壤水分有效性降低对生长响应的净结果不仅是植物生长

速度的降低, 而且是干物质分布的转变, 有利于根系生物量^[20,21]。幼苗根和芽之间的干物质分配发育不同, 因为在每种条件下, 幼苗可利用的水分量是不同的。在形成^[22]的结构和根中, 幼苗的形态和干物质的分布和分配比例有明显的变化。在埃塞俄比亚, 关于干物质分配到咖啡作物不同部位的土壤水分不足的信息有限。因此, 本研究的目的是研究和表征不同土壤水分亏缺水平对咖啡幼苗不同部位干物质分配模式的影响。

2. 材料与方法

该实验于 2020 年在埃塞俄比亚农业研究机构 (EIAR) 的吉马农业研究中心 (JARC) 的温室中进行了大约五个月。研究中心位于北纬 7°40', 东经 36°47', 海拔 1753m。该中心年平均降雨量约 1540 毫米, 月平均最高和最低气温分别为 25.9 和 11.3°C, 平均相对湿度为 67.2%。

2.1. 实验设计

试验采用完全随机的析因组合设计, 重复 3 次, 处理包括 6 个哈氏基因型 (H-674/98、H-739/98、H-823/98、H-981/98、H-929/98 和 H-857/98) 和 3 个灌溉水平 (40%、80 和 120% ETc 水平)。

将每个基因型与 3 个灌水量 (6 个基因型 X 3 个灌水处理) 组合, 然后将组合处理随机分配到试验田。每个试验区设 18 个小区, 6 个小区 40% ETc 灌溉, 6 个小区 80% ETc 灌溉, 6 个小区 120% ETc 灌溉, 每小区 8 株, 共评价 432 株。根据田间容量和日蒸发量的确定, 所有灌溉处理间隔 4 天, 每个品种分别承受 40%、80% 和 120% 等 3 种灌溉量。

2.2. 种植材料

选用 6 个哈热咖啡基因型的纯种子, 从试验田中选用并释放哈热咖啡, 按推荐的苗圃管理标准进行育苗, 将 1 年活力健康的苗木移栽到温室中 5 升容积的花盆中。在每个花盆中种植一株幼苗, 并浇水至田间容量, 以方便建库。

2.3. 参数测量

采用破坏取样法测定干物质总产量及其在植物各部位间的分配。从每个地块中选取 2 株代表性植物进行采收, 分离成叶、茎 (包括树枝) 和根, 在 70°C 下烘干至恒重, 以确定总干物质产量及其在叶、茎和根之间的分配。将根系浸泡在清水中清洗, 以去除附着的土壤。各植物体 (叶、茎和根) 的干生物量分配由公式 1 确定:

$$PP(\%) = \frac{PPDW}{TDY} * 100 \quad (1)$$

式中, PP= 分别分配到叶、茎或根的干生物量百分比, PPDW= 植株部分干重 (叶、茎、根), TDY= 总干物质产量 (TDY=SDW+LDW+RDW), SDW= 茎干重, LDW= 叶干重, RDW= 根干重。

2.4. 现场容量和日蒸发测定

将晒干的苗圃土壤装入罐子中, 每个罐子的容量为

5 升。将罐子称重并浇水至滴点,用聚乙烯薄膜覆盖以防止蒸发,并允许自由排水 24 小时。然后,重新称量花盆,以确定土壤的大田容量(FC)和日蒸发损失。用重量法测定干重基础上的水分含量(在 105°C 的烘箱中干燥至恒定重量),24 小时后从湿罐中取出 150-200g 湿土壤样品,并以 v/v 为百分比估计每天的水分损失量。连续 5 天,每天称重,蒸发水分损失量(ETc)计算为初始锅重和最终锅重之差。然后将得到的重量(g/天/锅)换算成水(升/天/锅)。为了保证计算的准确性,连续 5 天每天采集土壤样品,计算土壤蒸发的水分损失。在这两种方法的基础上,确定了每天所需的灌溉水量,并以日蒸发损失为基础,设定灌溉调度为 4 天一次。

2.5. 统计分析

数据在 R-software 中使用 agricolae 软件包进行分析^[23,24],采用一般线性模型程序进行析因完全随机区组设计。使用 Fisher's lsd 程序区分治疗手段之间的显著差异($p < 0.05$)。

3. 结果与讨论

3.1. 干生物量分配

结果表明,不同土壤湿度下,干生物量分布在叶、茎和根的百分比有较大差异。因此,品种、灌溉和相互作用对干生物量在叶、茎和根的积累分布有极显著的影响($P < 0.0001$)。相应的,在 40% ETc 水平下,干生物量积累的较大和较小分别分配给根和叶。而在 80% 和 120% ETc 水平下,叶片和根系的干生物量分配均无显著变化。在 40%ETc 下处理的植物已经形成了适应干旱的机制,以保持较低的叶干物质和较大的根干物质,使它们能够节约现有的水分并从花盆底部提取额外的水分。拉海和埃卡纳亚克^[25]在木薯上的发现表明,过量水分胁迫增加了砧木、纤维根和贮藏根的干物质积累,但减少了茎叶的分配。干旱胁迫减少了贮藏根的干物质分配,但增加了砧木、须根和茎的分配。与水分充足的咖啡树^[19]相比,部分根区干燥处理的总干物质分配给根部的比例较高,而分配给叶片的干物质比例较低。

3.2. 叶片干生物量积累

品种和灌溉水平对咖啡幼苗叶片干物质分配有极显著的交互作用($p < 0.001$)。因此,H-823/98(40.1%) 在所有灌溉制度中叶片分配了更多的干生物量。同样,3 种灌溉方式下干生物量积累占叶片的比例差异显著($p < 0.0001$)。但在 80% 和 120% 灌水条件下,叶片生物量积累比例无显著差异。在 40% ETc 处理下,叶片生物量积累比例分别比 120% 和 80% ETc 处理低 24.2% 和 22.8%。在不同的基因型中,H-929 基因型在 80% ETc 条件下对叶片干物质积累比例较高,H-739 在 120% ETc 条件下为 44.6%,H-957/98(26.1%)、H-981/98(31.3%)、H-929/98(31.1%)、H-739(31.6%) 和 H-674(31.4%) 基因型在 40%ETc 条件下对叶片干物质积累比例较低。其中,H-857/98 基因型在限制土壤湿度、40% ETc 条件下显著

降低了叶片干物质分配比例。总的来说,叶片的干物质分配比例从 40% ETc 时的 26% 增加到 120% ETc 时的 48%,说明随着水分供应的增加,叶片生长加快,反之亦然。这意味着咖啡幼苗通过维持较低的干生物量积累比例来应对限制土壤水分,从而减少蒸发并保存现有水分。特斯法耶^[19]进行了类似的研究,与水分充足的植物相比,部分根区干燥的植物总干物质分配给根的比例更高,生物量分配给叶片的比例更低。

3.3. 茎干生物量积累

灌水和品种对茎干生物量积累比例影响显著($p < 0.001$)。不同基因型间差异显著($p < 0.001$)。H-674/98(35.9%) 和 H-823(30.6%) 基因型在茎干生物量分配中所占比例分别较大和较低。灌水处理显著($p < 0.001$) 改变了茎内生物量积累比例,因此 40% ETc 灌溉积累的茎内生物量比例相对较高。而在灌水条件下,80% 和 120% 灌水条件下茎内生物量积累比例较低,分别为 32.9% 和 32%,且 80% 和 120% 灌水条件下茎内生物量积累比例差异不显著。

不考虑相互作用,H-739/98(38.3%)、H-857/98(37.1%)、H-739(36.4%) 和 H-929(39.2%) 在 40% ETc 作用下生物量积累比例较大。H-929/98 和 H-739 在 80% ETc 条件下生物量积累占茎的比例较低,分别为 27.8% 和 29.7%。这说明在 40% ETc 胁迫条件下,多数咖啡幼苗茎干生物量相对大于叶干生物量,以减少蒸发面。

3.4. 干生物量积累到根

不同品种和灌溉方式的根系干生物量积累比例差异显著($p < 0.0001$)。在不同基因型中,H-823(29.3%) 和 H-857(29.6%) 的根系干物质积累比例较高,H-929(25.8%) 的积累比例较低。各灌溉处理间差异极显著($p < 0.01$)。有趣的是,在 40% ETc 灌溉条件下,根系干生物量分配较 80% ETc 和 120% ETc 分别显著提高了约 25.9% 和 24.5%。而在 80% 和 120% ETc 灌溉条件下,根系干生物量积累比例无明显变化。此外,在 40% ETc 灌溉作用下,H-857/98 和 H-981/98 的根系生物量分配比例较高(36.6%),而在 120% ETc 灌溉作用下 H-929(22.5%) 和 80% ETc 灌溉作用下 H-674(23%)、H-929(23.8%) 和 H-981/98(24.1%) 的根系干生物量分配比例较低。因此,在灌溉条件良好的植物(80% 和 120% ETc)下,植物各器官的生长和生物量分配或多或少是平衡的,这通过提高光合能力来增强碳同化。几乎所有的基因型积累了更多的生物量到根的水分供应减少。同时,对于某些基因型,在过量水分供应条件下,生物量分配到根系的比例下降。如果根深内土壤水分有限,则根器官的投资以牺牲茎部为代价,是为了克服有限的水分,从深层土壤中提取更多的水分。这一发现与 Taye^[20]报道的干旱胁迫下根干质量高于灌溉良好的幼苗相一致。这种响应可能提示了一种以牺牲茎部系统为代价,将更多的日生物量产量投入到根系的抗旱策略;使植物能从深层土壤中寻

找水分。特斯法耶^[19]也报道了类似的工作，表明土壤水分胁迫处理的总干物质分配到根系的比例高于浇水充足的植物，生物量分配到叶片的比例低于浇水充足的植物。

表 1. 基因型和不同灌溉制度对根、茎、叶干物质积累分布的影响

Treatments	Stem (%)	Leaf (%)	Root (%)
variety	**	**	**
H674	35.96a	37.50bc	26.53bc
H739	32.70c	38.77ab	28.50ab
H823	30.57d	40.19a	29.29a
H857	33.87bc	36.54c	29.60a
H929	34.90b	39.20ab	25.89c
H981	33.60bc	37.99bc	28.39ab
LSD @0.05	1.6	2.02	2.2
CV (%)	5.1	5.4	8.15
Irrigation	***	***	**
40%ETc	35.70ab	31.84b	32.37a
80%ETc	32.99b	41.27a	25.70b
120%ETc	32.01b	41.99a	25.99b
LSD @ 0.05	1.17	1.4	1.5
Variety X Irrigation	***	***	***

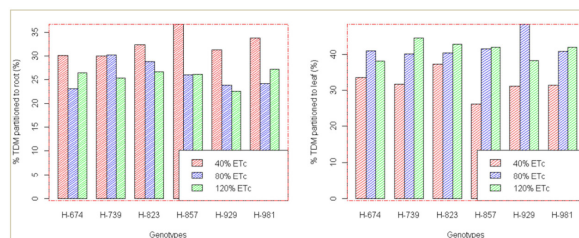
在最不显著差异检验中，列中相同字母后的均值在 5% 水平上无统计学差异。* 在 $p<0.05$ 时显著，** 在 $p<0.01$ 时显著，*** 在 $p<0$ 时显著。

表 2. 不同灌溉制度和基因型对根、茎、叶干物质积累分布的交互作用

Variety	Irrigation Levels	Stem (%)	Leaf (%)	Root (%)
H674	40% ETc	36.4abc	33.45f	30.12b-d
H674	80% ETc	36.03bc	40.92cd	23.05gh
H674	120% ETc	35.40c	38.14de	26.44d-g
H739	40% ETc	38.30ab	31.64f	30.00b-d
H739	80% ETc	29.70ef	40.10cde	30.18b-d
H739	120% ETc	30.14ef	44.60b	25.29e-h
H823	40% ETc	30.35ef	37.30c	32.29bc
H823	80% ETc	30.70e	40.40cde	28.83c-d
H823	120% ETc	30.40ef	42.80cd	26.70d-g
H857	40% ETc	37.12abc	26.106g	36.66a
H857	80% ETc	32.50de	41.47bcd	26.01e-h
H857	120% ETc	31.90e	41.90cd	26.12e-h
H929	40% ETc	37.60abc	31.10f	31.29bc
H929	80% ETc	27.89f	48.31a	23.81f-h
H929	120% ETc	39.17a	38.23de	22.58h
H981	40% ETc	34.82cd	31.36f	33.82ab
H981	80% ETc	35.15cd	40.76cd	24.10f-h
H981	120% ETc	30.873e	41.87cd	27.25d-f
LSD @ 0.05		2.8	3.34	3.8

在最不显著差异检验中，列中相同字母后的均值在 5% 水平上无统计学差异。* 在 $p<0.05$ 时显著，** 在 $p<0.01$ 时显著，*** 在 $p<0.001$ 时显著。

图 1. 分配给根和叶的生物量比例



4. 结论

结果表明，灌水不足和基因型或基因型组合的不同导致生物量生产和分配模式的变化。在 40% ETc 水平下，咖啡根系占总株系的比例为 37%，在 120 ETc 水平下下降到 23%；表明这种较大的变化可能是浇水量的结果。具体来说，在干旱条件下，咖啡幼苗以牺牲枝条为代价，为根部积累了更多的干物质，然后能够从更深的土壤中提取更多的水分。相反，在完全灌溉的咖啡中，它们倾向于向茎部积累更多的干物质，以增强光合作用能力。因此，这一发现为评估和表征咖啡基因型对诱导亏缺灌溉的生长反应提供了重要信息。这一结果也有助于在气候变化条件下确定干旱易发地区如哈拉尔河地区的耐旱基因型。然而，要了解咖啡基因型之间的适应机制，还需要在对比环境条件下的田间试验中进行详细的研究。

参考文献

- [1] ICO. 2010. International Coffee Organization. Annual Review. <http://www.ico.org/>
- [2] Tesfaye, S. G, Ismail, M. R., and Mahmood, M., 2008. Effects of deficit irrigation and partial rootzone drying on growth, dry matter partitioning and water use efficiency in young coffee (*Coffea arabica* L.) plants. *Journal of Food, Agriculture & Environment* Vol. 6 (3 & 4): 312-317. 2008.
- [3] Araujo WL, Dias PC, Moraes GA, Celin EF, Cunha RL, Barros RS, DaMatta FM (2008) Limitations to photosynthesis in coffee leaves from different canopy positions. *Plant Physiol Biochem* 46: 884-89.
- [4] DaMatta FM, Ronchi CP, Maestri M, Barros RS (2007) Ecophysiology of coffee growth and production. *Braz J Plant Physiol* 19: 485-510.
- [5] Bruno, I. P., Reichardt, K., Bortolotto, R. P., Pinto, V. M., Bacchi, O. O. S., Dourado-Neto, D. and Unkovich, M. J., 2015. Nitrogen balance and fertigation use efficiency in a field coffee crop. *Journal of Plant Nutrition*, 38 (13), pp. 2055-2076.
- [6] Harmand J-M, Ávila H, Dambrine E, Skiba U, de Miguel S, Renderos RV, Oliver R, Jiménez F, Beer J (2007) Nitrogen dynamics and soil nitrate retention in a *Coffea arabica*— *Eucalyptus deglupta* agroforestry system in Southern Costa Rica. *Biogeochem* 85: 125-139.
- [7] Jaramillo-Botero C, Santos RHS, Martinez HEP,

Cecon PR, Fardin MP (2010) Production and vegetative growth of coffee trees under fertilization and shade levels. *Scientia Agricola* 67: 639-645.

[8] Fahl J, Carelli M, Vega J, Magalhães A (1994) Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). *J Hort Sci* 69: 161-170.

[9] Siles P, Harmand J-M, Vaast P (2010) Effects of *Inga densiflora* on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. *Agroforestry Systems* 78: 269-286.

[10] Perfecto, I., Rice, R. A., Greenberg, R. and Van der Voort, M. E., 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity: shade coffee plantations can contain as much biodiversity as forest habitats. *BioScience*, 46 (8), pp. 598-608.

[11] DaMatta, F. M. and Ramalho, J. D. C., 2006. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian journal of plant physiology*, 18 (1), pp. 55-81.

[12] DaMatta, F. M., 2004. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. *Brazilian journal of plant physiology*, 16 (1), pp. 1-6.

[13] Brouwer R (1962) Nutritive influences on the distribution of dry matter in the plant. *Neth J Agric Sci* 10: 399-408.

[14] Lambers H (1983) The functional equilibrium, nibbling on the edges of a paradigm. *Neth J Agric Sci* 31: 305-311.

[15] Poorter H, Remkes C (1990) Leaf area ratio and net assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate. *Oecologia* 83: 553-55.

[16] CHB. 1987. Coffee Hand Book (CHB). Coffee Growers Association, Harare, Zimbabwe, Canon Press (Pvt)

Ltd.

[17] Setter, T. L. 1992. Assimilate allocation in response to water deficit stress. *International Crop Science*. pp. 733-735. Crop Science of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.

[18] Chaves, R. M., Ten-Caten, A., Pinheiro, H. A., Ribeiro, A. and Damatta, F. M. (2008) Seasonal changes in photoprotective mechanisms of leaves from shaded and unshaded field-grown coffee (*Coffea arabica* L.) trees. *Trees*, 22, 351-361. Doi: 10.1007/s00468-007-0190-7.

[19] Tesfaye, S. G., 2008. Effects of deficit irrigation and partial rootzone drying on growth, dry matter partitioning and water use efficiency in young coffee (*Coffea arabica* L.) plants.

[20] Taye, K. 2012. Biomass production and distribution in seedlings of *Coffea arabica* genotypes under contrasting nursery environments in southwestern Ethiopia. *Agricultural Sciences*, 3 (06), p. 835.

[21] James S. McDonald, Tom Ericsson and Carl-Magnus Larsson. 1996 Plant nutrition, dry matter gain and partitioning at the whole-plant level. *Journal of Experimental Botany*. 47: 1245-1253.

[22] Ericsson T. 1995. Growth and shootroot ratio of seedlings in relation to nutrient availability. *Plant and Soil* 168/169: 205-14.

[23] Mendiburu, F. and deMendiburu, M. F., 2019. Package 'agricolae'. R Package, Version, pp. 1-2.

[24] Team, R. C., 2013. R: A language and environment for statistical computing.

[25] Lahai, M. and Ekanayake, I., 2009. Accumulation and distribution of dry matter in relation to root yield of cassava under a fluctuating water table in inland valley ecology. *African Journal of Biotechnology* Vol. 8 (19), pp. 4895-4905.