

FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES

Institute of Soil Science and Land Evaluation

University of Hohenheim

Field: Soil Chemistry and Pedology

Supervisor: **PD Dr. Ludger Herrmann**

Seedball technology development for subsistence-oriented pearl millet production systems in Sahelian West Africa

Dissertation

submitted in fulfillment of the regulations to acquire the degree “Doktor der Agrarwissenschaften”

(Dr.sc.agr. in Agricultural Sciences)

to the

Faculty of Agricultural Sciences

Presented by

Charles Ikenna Nwankwo

Born in Enugu, Nigeria

2018



Summary (in English)

The objectives of this study were to review the potential of the local material-based innovation – i.e. the seedball technology, at enhancing pearl millet seedlings establishment under Sahelian conditions, identify its potential constraints as well as applicability, chemically and mechanically optimize the seedball, and validate its performance under Sahelian field conditions. Seedball is a local seed pelleting techniques that aims at improving seedlings performance and to stabilize yield.

First, the potential local materials such as sand, loam, wood ash, gum arabic, termite soil, charcoal as well as animal dung as the seedball components were identified and reviewed. These materials were selected based on their affordability to the local farmers. Potential constraints to seedball applicability as well as adoption in the Sahel were evaluated, and options for adaptation were discussed with the farmers. Afterwards, mechanical and chemical optimization of the seedball technology in several greenhouse experiments were conducted, followed by a germination test of the optimized seedball in the Sahelian field. Lastly, the mechanism of pearl millet seedlings root and shoot enhancement was investigated using micro-suction cup and computer tomography.

Our evaluation showed that the materials needed for seedball production are locally available at affordable costs. The seedball technology totally conforms to the agronomic management practices in the African Sahel. In addition, the socio-economic status as well as cultural practices seemed not to reduce the chances of seedball technology adoption in this region. Our greenhouse studies showed that the seedball base dough, from which about ten 2 cm diameter-sized seedballs can be produced, is derived from the combination of 80 g sand + 50 g loam + 25 ml water. Either 1 g mineral fertilizer or 3 g wood ash can be added as nutrient additive to enhance early biomass of pearl millet seedlings. With respect to nutrient additives, ammonium fertilizers and urea hampered seedlings emergence. Wood ash amended (Sball+3gAsh) and mineral fertilizer-amended seedballs (Sball+1gNPK)

enhanced shoot biomass by 60 % and 75-160 %, root biomass by 36 % and 94 %, and root length density of pearl millet by 14 % and 28 %, respectively, relative to the control. Again, the mineral fertilizer amended seedball in particular enhanced root dry matter by 227 %, compared to the control. Although the shoot nutrient content was not clearly enhanced by the seedball, nutrient extraction, calculated as the product of biomass yield and nutrient content, was higher in the nutrient-amended seedballs, compared to the conventional sowing. In Senegal, optimized seedballs showed over 95 % emergence in an on-station trial, indicating its viability in the Sahel region. With respect to seedball enhancement mechanism, the mineral fertilizer-amended seedball in particular promoted root growth within the vicinity of the seedball as early as 7 days after planting. The analysis of the sampled soil solution revealed that P as well as other cations and anions, observed through EC measurement, were released by the seedball in direct proximity of the seedball. Most likely, the nutrient release by the seedball triggered the observed fine root growth and overall higher root biomass of pearl millet seedlings. However, due to nutrient depletion in the root zone, nutrient supplementation was needed after three weeks after sowing to further promote growth of the well-established seedlings.

At the Sahelian field, where seedlings enhancement is decisive for higher panicle yield in pearl millet, nutrient amended seedballs can potentially increase panicle yield under subsistence production. The seedball technology is cheap, and seems to have favorable conditions for adoption in the Sahel, coupled with its minimal seed usage and simple sowing on the sandy soil. A recommendation will be to conduct long-term, on-farm as well as on-station field trials, testing the seedball technology under different seasonal weather conditions. Pearl millet and sorghum are the major Sahelian staple crops. Fonio (*Digitaria spp*) is often neglected despite its high nutritional values. It is, therefore, recommended to test the seedball technology on the other fine-grained cereal crops.

Zusammenfassung (in German)

Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Potential von Saatkugeln, einer auf lokalen Ausgangsmaterialien basierenden Aussaattechnologie, untersucht, um den Perlhirseanbau, insbesondere die Auflaufphase, unter den Bedingungen der Sahelzone zu verbessern. Die möglichen Einsatzbeschränkungen wurden identifiziert, die Saatkugeln bezüglich ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften optimiert und die Anwendbarkeit unter Feldbedingungen der Sahelzone validiert. Saatkugeln stellen eine lokale Pelletiertechnik dar, die Sand, Lehm sowie Holzasche oder einen geringen Anteil an Mineraldünger verwendet, um das Auflaufverhalten zu verbessern.

Zunächst wurden die potentiellen lokalen Ausgangsmaterialien zur Herstellung der Saatkugeln wie zum Beispiel Sand, Lehm, Holzasche, Termitenhügelsubstrat, Gummi arabikum, Holzkohle, sowie Kompost identifiziert und charakterisiert. Diese Materialien wurden anhand ihrer Bezahl- und Verfügbarkeit für die lokalen Bauern ausgewählt. Potentielle Einschränkungen des Einsatzes der Saatkugeln, sowie die Adaption an die Bedingungen der Sahelzone wurden unter Einbeziehung der lokalen Landwirte diskutiert und evaluiert. Anschließend wurden verschiedene Gewächshausexperimente durchgeführt, um die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Saatkugeln zu optimieren. Darauf folgte ein Keimungstest der optimierten Saatkugeln unter Feldbedingungen der Sahelzone. Abschließend wurden mittels Mikrosaugkerzen und Computertomographie die Mechanismen des Keimlingswurzelwachstums und des Sprosswachstums der Perlhirsekeimlinge untersucht.

Unsere Evaluation zeigte, dass die Ausgangsmaterialien für die Saatkugelherstellung vor Ort zu niedrigen Kosten verfügbar sind. Die Saatkugeltechnologie entspricht den landwirtschaftlichen Verfahrensweisen in der afrikanischen Sahelzone und kann daher leicht angewandt werden. Außerdem scheinen der sozioökonomische Status und die kulturellen Praktiken der Landbevölkerung

einem Einsatz der Saatkugeltechnologie in dieser Region nicht negativ entgegenzustehen. Die Gewächshausexperimente zeigten, dass eine Mischung aus 80 g Sand, 50 g Lehm und 25 ml Wasser die optimale Zusammensetzung der Saatkugeln darstellt. Aus dieser Menge können zehn Saatkugeln mit einem Durchmesser von 2 cm hergestellt werden. Zusätzlich wurden sowohl 1 g Mineraldünger als auch 3 g Holzasche als Nährstoffquelle hinzugefügt, um die frühe Biomassenproduktion der Perlhirschenkeimlinge zu verbessern.

Der Einsatz der Stickstoffverbindungen Ammonium und Harnstoff hemmte das Auflaufen der Keimlinge. Die Nährstoffadditive Holzasche bzw. Mineraldünger führten zu einer Zunahme der Sprossbiomasse um 60 % bzw. 75 - 160 %, der Wurzelbiomasse um 36 % bzw. 94 % und der Wurzellängendichte der Perlhirse um 14 % bzw. 28 %, relativ zur Kontrolle. Die Mineraldünger enthaltende Saatkugel erhöhte insbesondere die Wurzeltrockenmasse um 227 % im Vergleich zur Kontrolle. Der Nährstoffgehalt des Sprosses nach Anwendung der Saatkugel-Technologie war nicht eindeutig erhöht. Jedoch war die Nährstoffextraktion, berechnet als Produkt aus Biomassertrag und Nährstoffgehalt, bei den mit Nährstoffen angereicherten Saatkugeln, höher als bei herkömmlicher Aussaat.

In Senegal zeigten die optimierte Saatkugeln in einem Stationsversuch eine Auflauftrate von über 95 %. Die Mineraldüngervariante zeigte bereits 7 Tage nach der Aussaat eine Steigerung des Wurzelwachstum in der Nähe der Saatkugel. Die Leitfähigkeitsmessung der Bodenlösung im Rhizotronversuch zeigte, dass Nährstoffe aus der Saatkugel herausdiffundierten. Höchstwahrscheinlich löste die Nährstofffreisetzung aus der Saatkugel das beobachtete Feinwurzelwachstum und die positive Gesamtwurzelentwicklung der Perlhirsesämlinge aus. Aufgrund der Nährstoffverarmung in der Wurzelzone drei Wochen nach der Keimung wird jedoch eine weitere Nährstoffgabe erforderlich, um das Wachstum der etablierten Sämlinge weiter zu

fördern.

Auf den Arenosolen der Sahelzone können Saatkugeln mit zugesetzten Nährstoffen den Biomassertrag in der Subsistenzlandwirtschaft erhöhen. Die Saatkugeltechnologie ist kostengünstig und es scheint keine soziokulturellen Gründe zu geben, die gegen eine Anwendung sprächen. Die Technologie ist mit einem minimalen Saatgutverbrauch bei einfacher Aussaat auf sandigem Boden verbunden. Als weiterer Schritt sollten mehrjährige Freilandversuche unter realen Bedingungen auf Subsistenzbetrieben in der Sahelzone durchgeführt werden. Perlhirse und Sorghum sind die Grundnahrungsmittel. Fonio (*Digitaria spp.*) wird trotz seiner hohen Nährwerte oft vernachlässigt. Es wird empfohlen, die Saatkugel-Technologie mit Sorghum- und Fonio-Kulturen zu testen.

Appendix

Publications related to this thesis within the period of doctoral studies

- Nwankwo, C. I., and Herrmann, L. (2018). Viability of the seedball technology to improve pearl millet seedlings establishment under Sahelian conditions – a review of pre-requisites and environmental conditions. *IJAIR* 6, 261-268
- Nwankwo, C. I., Mühlhena, J., Biegert, K., Butzer, D., Neumann, G., Sy, O., and Herrmann, L. (2018). Physical and chemical optimisation of the seedball technology addressing pearl millet under Sahelian conditions. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 119, 67-79
- Nwankwo, C. I., Blaser, S. R., Vetterlein, D., Neumann, G., and Herrmann, L. (2018). Seedball-induced changes of root growth and physico-chemical properties – a case study with pearl millet. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 181, 768-776

Conference contributions (oral presentations related to this thesis)

- Herrmann, L., Sy, O., Nouri, M., Oumarou, H. M., Aminou, A. and Nwankwo, C. I. (2015). Optimisation of the seedball technology for pearl millet, and agronomic and socio-economic evaluation in the context of smallholder farmers in Senegal and Niger. *Sorghum and Millet Innovation Lab*, March 2015, Niamey, Niger Republic
- Herrmann, L., Nwankwo, C. I., Mühlhena, J., Butzer, D., Biegert, K. and Neumann, G. (2015). Saatkugeln als Managementoption zur Verbesserung des Auflaufverhaltens von Perlhirse (*Pennisetum glaucum*) auf sandigen Böden im Sahel. Deutsche Forschungsgemeinschaft, September 2015, Munich, Germany
- Herrmann, L., Sy, O., Nouri, M., Oumarou, H. M., Dieng, C. T., Aminou, A. and Nwankwo,

C. I. (2016). Optimisation of seedball technology in the context of smallholder farmers in the African Sahel - Niger and Senegal as the target countries. *Sorghum and Millet Innovation Lab*, March 2016, Senegal

- Herrmann, L., Sy, O., Nouri, M., Oumarou, H. M., Aminou, A. and Nwankwo, C. I. (2017). Optimisation of the seedball technology for pearl millet, and agronomic and socio-economic evaluation in the context of smallholder farmers in Senegal and Niger *Sorghum and Millet Innovation Lab*, March 2017, Saly, Senegal
- Nwankwo, C. I., Herrmann, L., Vetterlein, D. and Blaser, S. R. G. A. (2017). Seedball-induced changes of root growth and physico-chemical properties in the rhizosphere of pearl millet seedlings. *Tropentag*, September, 2017, Bonn, Germany

Poster presentations (related to this thesis)

- Nwankwo, C. I., Herrmann, L., Rennert, T. and Neumann, G. (2015). Optimisation of seedball technology for pearl millet (*Pennisetum glaucum*) production in the Sahel. *Tropentag* September 2015, Berlin, Germany
- Nwankwo, C. I., Herrmann, L., Neumann, G. Aminou, A. M., Oumarou, H. M., Nouri, M. K. and Sy, O. (2017). Seedball technology improves pearl millet yield in Sahelian production systems. *Tropentag*, September 20 - 22, 2017, Bonn, Germany
- Nwankwo, C. I., Maman, N. K., Moussa, H., Sy, O., Maman, A. A., Neumann, G. and Herrmann, L. (2016). Seedball fabrication guide: Harnessing the potential of local materials through seedball technology. *Sorghum and Millet Innovation Lab*, March 2016, Saly, Senegal
- Nwankwo, C. I., Maman, N. K., Moussa, H., Sy, O., Maman, A. A., Neumann, G. and Herrmann, L. (2016). Mechanisation of seedball production: Increasing pearl millet

production efficiency through a simple tool. *Sorghum and Millet Innovation Lab*, March 2016, Saly, Senegal

- Nwankwo, C. I., Herrmann, L. and Neumann, G. (2017). Assessment of morpho-physiological traits associated with drought stress tolerance in seedball pearl millet seedlings. *Sorghum and Millet Innovation Lab*, March 2017, Saly, Senegal
- Herrmann, L., Sy, O., Nouri, M., Oumarou, H. M., Aminou, A. and Nwankwo, C. I. (2017). Optimisation of seedball technology for pearl millet; agronomic and socio-economic evaluation in the context of smallholder farmers in Senegal and Niger. *Sorghum and Millet Innovation Lab*, March 2017, Saly, Senegal

Publications not related to this thesis

- Ayenan, M. A. T., Sodedji, K. A. F., Nwankwo, C. I., Olodo, K. F., & Alladassi, M. E. B. Harnessing genetic resources and progress in plant genomics for fonio (*Digitaria* spp.) improvement. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65, 373 - 386
- Nwankwo (2017): Rival assessment of organic and conventional agriculture based on farmers' perspectives and preferential choices – a review. *International Journal of Agriculture Innovations and Research* 5, 720 – 726
- Neumann G., Jauß H., Asim M., Nwankwo C. I. (2014): Gesucht – Gefunden. Signalwirkungen von Nährstoffen und ihre Bedeutung für Düngung und Wurzelentwicklung von Raps, 34, 34 - 37
- Neumann G., Jauß H., Ken F., Kremer I., Nwankwo C. I. (2014): Bedeutung Funktion und Biologie der Rapswurzel *Raps*, 32, 30 - 32