

学 位 論 文 要 旨

氏 名

井戸田 幸子

題 目

不良土壌で栽培される飼料作物の乾物生産と無機養分収支
(Dry matter production and mineral balance of forage crops cultivated on poor soils)

世界で進行する急速な人口増加に抗して、食料の安定供給をはかることが、世界農業の最重要課題と考えられる。しかし、世界の耕作可能地の約70%は低肥沃度か生育阻害要因の集積する不良土壌とされ、日本の畑地でも重粘土壌や酸性土壌などの生育不良土壌が多く分布する。このような耕地生態系では、系内を循環する各無機養分量が作物栽培時に均衡を保ち、地力が維持されることで持続的な畑地利用が可能になると考えられる。そこで、本研究は、2種類の作物生育不良土壌（特に化学性の劣る風積砂土および物理性の劣る重粘土壌）において、トウモロコシなどの飼料作物連年栽培下での地力維持の機構を解明することを目的に実施した。

中国内蒙古自治区の無機養分含量が乏しい風積砂土地域において、トウモロコシの連作年数の異なる4圃場（連作1, 5, 10および15年目）でのトウモロコシ栽培に伴う養分収支を投入量と支出量との差で評価した。窒素とリン酸は、栽培時の施肥による投入量がトウモロコシの吸収量を上回り、作物に吸収されない余剰養分を土壌が吸着保持するため、連年栽培でも地力が低下しなかった。また、長期間の施肥が養分含量の低い風積砂土の肥沃度を高め、連作が可能になると推察されたが、最も長期の連作15年目の圃場では、窒素収支が最小で地力が維持されていた。

南九州の排水性に乏しい重粘土壌において、代表的な3作付け体系の下で標準施肥量の飼料作物栽培を5年間実施し、その収量と養分収支を検討した。夏作飼料作物の収量は、冬作イタリアンライグラスに比べ年次間変動が大きく、台風襲来に伴う倒伏と高降水量に伴う過湿により、大幅に減収した。そこで、年間収量の安定性の確保には、夏作-冬作の年間作付け体系の実施が必要と考えられた。栽培5年目の夏作トウモロコシを除いて、施肥による無機養分の投入量が作物収穫による支出量を上回ったが、トウモロコシ-イタリアンライグラス体系およびトウモロコシ二期作体系では、栽培1年目に比べて5年目には、夏作トウモロコシの作物体中の窒素含量と収量の増加により、夏作トウモロコシ栽培時の窒素収支が大きく低下した。リン酸は常に投入量が支出量を大きく上回り、余剰のリン酸は土壌に吸着・保持されるものと推察された。また、標準施肥区に対して養分施用量が約2倍の高施肥区では、栽培終了時に圃場に残存する窒素量が、標準施肥区に比べて約2.1-3.8倍に増加し、飼料作物栽培における無機養分の均衡が崩れることが明らかとなった。

圃場栽培を単純化した、砂質土壌のポット栽培により、暖地型牧草ネピアグラスに数水準の施肥を行ったところ、施用した窒素とリン酸の植物体における利用効率は、それぞれ42%、25-30%と算出され、トウモロコシの圃場栽培に比べて窒素の利用効率はほぼ追随し、リン酸の利用効率は高く土壌に吸着されにくいことが示唆された。

以上のことから、作物生育不良土壌の風積砂土と重粘土壌では、栽培地の慣行施肥量の下で、トウモロコシを含む飼料作物を連年栽培しても、土壌の肥沃度は保持されることが解明された。

学 位 論 文 要 旨

氏 名

Sachiko Idota

題 目

Dry matter production and mineral balance of forage crops cultivated on poor soils
(不良土壌で栽培される飼料作物の乾物生産と無機養分収支)

A stable agricultural food supply will become increasingly vital as the world's human population increases. However, since the area of arable land is limited, poor soils (infertile soils and soils with accumulated growth inhibitors) should be used for forage production. Forage crop production can be sustained by maintaining the mineral balance of individual crops on these poor soils. The objective of this study was to determine ways of maintaining soil fertility on poor soils (Aeolian sandy soil and heavy soil) under continuous forage cropping.

In Inner Mongolia, China, continuous maize cropping was carried out on infertile Aeolian sandy soil for periods of 1, 5, 10 and 15 years and soil fertility was evaluated on the basis of available phosphorous (P), inorganic nitrogen (N) and exchangeable potassium (K) contents. Since inputs of basal N and P fertilizer were larger than the outputs of the individual elements in herbage, an excess of applied P should be absorbed in the topsoil layer. Soil fertility on Aeolian sandy soil was maintained by sufficient long-term fertilization for crop growth under continuous maize cropping in this region.

In Miyazaki, southern Kyushu, 3 forage cropping systems typical of the region were evaluated in terms of forage yield and mineral balance of individual crops under standard manure and chemical fertilizer applications on impermeable heavy soils of low fertility for 5 years (May 2001 – April 2006). The annual variation of herbage yields of summer crops (maize and sorghum) was greater than that of Italian ryegrass, which is a winter crop. Low yields were associated with frequent typhoons and heavy rainfalls. The relatively low and unstable productivity of heavy soil could be mitigated by combining a winter crop with a summer crop on heavy soil in this region. The inputs of basal and top-dressed N and P fertilizers were larger than the outputs of the individual elements in herbage in all cropping systems. The N balance of the maize summer crop decreased from the first year to the fifth year due to the increase in yield and N content of maize. With doubled fertilizer application, the N surplus remaining in the topsoil at the harvest of summer crops increased 2.1 – 3.8 times compared with the standard application, suggesting a mineral imbalance.

Mineral properties of napiergrass pot-cultured in a sandy soil were evaluated by monitoring mineral turnover in manure, soil, plant and percolating water in a simplified culture system. Utilization rates of N and P in the plant were 42% and 25 – 30%, respectively, suggesting that N utilization rate would be similar under field conditions of summer crops (maize and sorghum).

The results of this study show that continuous cropping of forages under the standard cropping system and fertilization typical of the regions can maintain soil fertility of poor soils (Aeolian sandy soil and heavy soil) by maintaining their mineral balance.

学位論文審査結果の要旨

学位申請者 氏名	井戸田 幸子
審査委員	主査 宮崎 大学 教授 平田 昌彦
	副査 佐賀 大学 教授 有馬 進
	副査 鹿児島大学 教授 中西 良孝
	副査 琉球 大学 教授 川本 康博
	副査 宮崎 大学 助教授 石井 康之
審査協力者	
題目	不良土壌で栽培される飼料作物の乾物生産と無機養分収支 (Dry matter production and mineral balance of forage crops cultivated on poor soils)
<p>世界で進行する急速な人口増加に対して、畜産物を含む食料の安定供給を図ることが、21世紀の農業の最重要課題と考えられる。近い将来、耕作適地では食用作物の栽培が優先されると予測されるため、草食家畜の餌としての粗飼料を増産するためには、世界の陸地の約70%を占める不良土壌（農業生産上化学性あるいは物理性に劣る土壌：たとえば、砂質土、重粘土、酸性土、塩基性土など）における飼料作物生産をより一層考慮に入れねばならない。不良土壌での持続的な粗飼料生産を行うためには、肥沃な土壌の場合以上に、養分の動態に配慮し、地力の維持・増進、施肥による養分供給と作物収穫による養分搬出のバランスの維持、養分流出による環境リスクの最小化を図ることが重要である。本研究は、不良土壌における持続性の高い飼料作物生産体系の構築に関する知見を得ることを目的とし、国内外の2種類の不良土壌（化学性に劣る砂質土壌および物理性に劣る重粘土壌）における飼料作物栽培の実態について、乾物生産性ならびに養分収支（地力の維持、環境負荷および供給と搬出のバランス）の観点から解明を行ったものである。</p> <p>まず、中国内蒙古自治区の風積砂土地域において、トウモロコシ連作年数の異なる4圃場（連作1、5、10および15年目）を対象とし、その収量性、養分収支および土壌中の無機養分含量を調査した。トウモロコシの乾物収量や土壌中の無機態窒素、可給態リン酸および交換態カリウムの含量には、連作に伴う低下が認められなかった。</p>	

養分収支の観点から、窒素とリン酸については、施肥による投入量が作物収穫による搬出量を上回るが、環境への流出が起こらない気象・栽培条件であるため、作物に吸収されない余剰養分が土壌に吸着保持され、連作下で地力が維持されると推察された。一方、カリウムについては、施肥では不足する養分量が、元来カリウム含量の高い土壌からの天然供給によって補われていることが示された。

次に、南九州の排水性に乏しい重粘土壌において、南九州の代表的な3種類の夏作-冬作飼料作物の作付を、宮崎県における標準施肥量に基づいて最大5ヵ年間行い、その収量性、養分収支および土壌中の無機養分含量を調査した。乾物収量は、夏作物では、冬作イタリアンライグラスに比べて年次間変動が大きく、台風襲来に伴う倒伏と高降水量に伴う圃場の過湿などにより、大幅に減収した。このため、年間収量の安定性の確保には、夏作-冬作の年間作付の実施が必要と考えられた。養分収支については、窒素では栽培5年目の夏作トウモロコシを除いて、施肥による投入量が作物収穫による搬出量を上回り、夏・冬作を合計した年間の窒素収支は全ての作付でプラスであった。リン酸では常に投入量が搬出量を大きく上回り、余剰のリン酸は土壌に吸着・保持されるものと推察された。土壌中の窒素および可給態リン酸の含量は、5ヵ年間の夏作-冬作作物の作付を実施しても低下は認められなかった。

しかし、標準施肥量の区に対して養分施用量を増加させた高施肥区では、乾物収量は18-43%増加したが、栽培終了時に圃場に残存する窒素およびリン酸の量が標準施肥区に比べて増加し、溶脱などによる環境への流出が懸念された。

最後に、圃場における連年栽培では前作栽培時の施肥の影響を除くことができないため、砂質土壌を充填したポットの表面に堆肥を4水準の量で施用し、乾物生産性に優れたネピアグラスを栽培し、無機養分収支と土壌無機養分含量の変化を調査した。堆肥中の窒素の栽培期間における土壌への放出率は24-41%と見積もられ、窒素およびリン酸の含量と植物体における吸収量は、堆肥施用量の増加に伴い増加した。リン酸の収支はいずれの堆肥施用量の下でもプラスであったが、窒素の収支はほぼ0に近く、堆肥から放出された窒素は、ネピアグラスにより、ほぼ完全に吸収利用されることが明らかとなった。

以上、本研究により、従来情報が乏しかった、不良土壌における飼料作物生産体系の乾物生産や養分収支（特に、地力維持機構）の一端が明らかになり、また、これらの知見は、不良土壌における持続的な飼料作物生産体系の構築の可能性を示唆するものと評価されることから、本論文は学位論文として十分な価値を有するものと判定した。

学力確認結果の要旨	
氏名	井戸田 幸子
審査委員	主査 宮崎 大学 教授 平田 昌彦
	副査 佐賀 大学 教授 有馬 進
	副査 鹿児島大学 教授 中西 良孝
	副査 琉球 大学 教授 川本 康博
	副査 宮崎 大学 助教授 石井 康之
審査協力者	
実施年月日	平成 19 年 1 月 24 日
試験方法 (該当のものを○で囲むこと) (口頭)・(筆答)	
<p>主査および副査の5名は、平成19年1月24日の公開審査会において、学位申請者に対して、学位申請論文の内容について説明を求め、関連事項について試問を行った。具体的には別紙のような質疑応答がなされ、いずれも満足できる回答を得ることができた。</p> <p>また、筆記により、外国語（英語）の学力を確認した。</p> <p>以上の結果から、審査委員会は、申請者が大学院博士課程修了者と同等以上の学力ならびに識見を有するものと認め、博士（農学）の学位を与えるに十分な資格を有するものと認めた。</p>	

学位申請者 氏 名	井戸田 幸子
<p>主な質疑応答：</p> <p>〔質問1〕 中国・内蒙古自治区において、連作年数の異なる4つの圃場で栽培試験を実施しておられるが、供試した品種の特性には、圃場間で差異がないのか？</p> <p>〔回答1〕 4つの圃場の内、1圃場では他と品種が異なるが、生育特性に差異は認められず、ほぼ同様と考えられた。</p> <p>〔質問2〕 トウモロコシ収穫後の刈り株を採食させるために、冬季にヒツジを放牧しているが、そのことによる養分収支への影響はどのように評価されるのか。</p> <p>〔回答2〕 実際には、主たる放牧地へヒツジを移動させる途中に、一時的に採食させた程度であり、圃場全体の養分収支に対する排泄糞尿などの影響は、無視し得るものと考えられる。</p> <p>〔質問3〕 トウモロコシ収穫後の圃場に、秋季に灌水を実施しているが、この水管理の意義を説明してほしい。</p> <p>〔回答3〕 年間を通した降雨の分布は夏季に集中するため、トウモロコシ収穫後の秋季に、貯留した水を灌水してそれを土中に凍らせて保持し、春先の降雨の少ない時期に、気温の上昇とともに解け出た水分を、播種後の発芽や初期生育に利用する意義が考えられる。</p> <p>〔質問4〕 ネピアグラスのポット栽培では、堆肥をメッシュに入れて土壌表面に施用し、それを移植苗保護用のフードで覆っているが、堆肥中の養分の放出などに与える影響はないものと考えられるのか。</p> <p>〔回答4〕 堆肥をメッシュに入れて施用したのは、堆肥を定期的に採取し、養分の放出率を測定する必要性があったためであり、移植苗保護用のフードで覆ったのは、移植した株の近傍は降雨が入るものの、それ以外ではポット内に降雨が流入するのを防ぐことにより、集中豪雨などに伴い堆肥が過剰に溶出して、ポット外への養分の流亡が発生しないように配慮したためである。</p> <p>〔質問5〕 中国・内蒙古自治区のトウモロコシ栽培について大変興味深くお聞きした。慣行的な化学肥料を含む施肥を実施することによって、耕地の肥沃度が高まる結果を得ているが、化学肥料の購入コストなどを考えると、全ての生産者に対して、持続性のある栽培体系が実施されているとは考えにくい。そこで、食用マメ科穀物の収穫残渣などの農業副産物を活用した、土壌肥沃度維持などの方策は考えられないのか。</p> <p>〔回答5〕 試験を実施した地域では、食用マメ科穀物が1種栽培され、豆として出荷されているので、この収穫残渣を緑肥として利用することも考えられる。</p>	

〔質問 6〕南九州の試験において、トウモロコシの乾物収量と台風の接近回数や降雨量との影響を考察しておられるが、トウモロコシの倒伏による減収などを考慮すると、最大瞬間風速との関連性を検討してみたらどうか。

〔回答 6〕今後の解析の参考にさせていただきたい。

〔質問 7〕本論文全体を通じ、持続的な植物（作物）生産を確立することとは、根本的にどのように捉えているか。試験を実施した地域や土壌の差異を含めて、土壌中に余剰の養分を蓄積させることが、結果として望ましいと考えられるのか。

〔回答 7〕栽培に伴い、土壌中に過剰に養分を蓄積させ、養分の溶脱・流亡などによって農外の環境に負荷を与えることは避けなければならないが、本研究を実施した土壌は元々肥沃度が低いため、余剰養分の蓄積は地力の向上や栽培の安定化につながるものと考えている。

〔質問 8〕中国の風積砂土地域においても、慣行的な施肥に羊糞などの有機物を施用しており、安定的な生産性を保持するためには、有機態の養分の役割が重要と考えられる。本研究ではその点の解析が不十分であると思われるが、どう考えるか。

〔回答 8〕中国・内蒙古自治区の土壌の全窒素含量は 0.04~0.78g/kg、有機物含量は 5.7~18.7g/kg と測定されており、いずれも低レベルと評価されるため、栽培に伴う有機物施用の効果が大きいものと推察される。

〔質問 9〕重粘土壌であるにも関わらず、リン酸吸収係数が 1500 以上と高い理由は、どう考えるか。

〔回答 9〕粘土鉱物の種類が関係していると推察される。

〔質問 10〕南九州における実験で、発酵牛糞堆肥に加えて化成肥料も施用しているが、植物の成長による養分の吸収速度と養分の溶脱速度との関係は。

〔回答 10〕土壌調査の結果から、不透水性の粘土層が分布することが明らかとなったため、それ以深の土層への養分の溶脱は考えにくい。

〔質問 11〕収穫後の刈り株や根などの残渣の養分収支に与える影響はどのように考えるのか。

〔回答 11〕収穫後の残渣は、収穫されて圃場から持ち出された量に比べると、極わずかと見積もられている。

〔質問 12〕中国・内蒙古自治区の気象条件と、トウモロコシの生産性との関連性はどのように考えられるのか。

〔回答 12〕試験地から数 10km 離れた、行政単位で「旗」に当たる地点における過去 10 ヶ年の気象条件を入手しており、本論文中に記載しているが、南九州における生産性との比較において、総合論議を深める参考にさせていただきたい。