

学 位 論 文 要 旨	
氏 名	ファジリ アヌグロホ
題 目	亜熱帯域における緑肥としてのヘアリーベッチの生育および利用に関する研究 (Study on the growth and utilization of hairy vetch ( <i>Vicia villosa</i> Roth) as green manure in subtropical region)
<p>亜熱帯域において作物生育の制限因子の 1 つに酸性土壌における低いリン酸肥沃度がある。同地域において低リン耐性の強いマメ科緑肥作物を利用することは持続的食料生産のための有効な手段である。そのため、本研究では冬季におけるマメ科緑肥作物の低リン耐性とバイオマスを中心とした検索と利用をポット試験および圃場試験で行った。</p> <p>ヘアリーベッチとクローバ類の低リン耐性をリン適正区とリン欠乏区を設けたポット試験を行い、リン適正区に対するリン欠乏区の相対生育量を比較することで調査した。その結果、ヘアリーベッチとクリムソンクローバで低リン耐性が強いことが明らかになった。また、リン適正区で栽培した各種植物のバイオマスはヘアリーベッチとピンククローバで顕著に高かった。したがって、ヘアリーベッチが亜熱帯域における冬季の緑肥として適していることが示唆された。</p> <p>圃場におけるヘアリーベッチのバイオマスおよび緑肥としての各種養分吸収量も温帯域でこれまでに報告されているものと同程度であり、それぞれ <math>200 \times 10^{-3} \text{kg m}^{-2}</math> 以上および緑肥としての窒素吸収量も <math>10 \times 10^{-3} \text{kg m}^{-2}</math> 以上と十分なインプットが期待できた。</p> <p>ヘアリーベッチは土壌を被覆する能力が高く、亜熱帯域での冬期における雑草防除能も大きくヘアリーベッチ生育期間中の雑草防除効果は 70~90%と高く推移した。ヘアリーベッチが枯死した後、不耕起とした場合には 5 月まで 60%程度の雑草防除能が認められたが、ヘアリーベッチを耕起に伴いすき込み施用した場合にはむしろ雑草発生量が 3 倍~6 倍高まることが明らかになり、C/N の低いヘアリーベッチのすき込み施用により窒素の無機化が速やかに起こったことが要因として考えられた。</p> <p>ヘアリーベッチの施用法と後作のデントコーンの生育との関係を調査した結果、ヘアリーベッチの施用はデントコーンの生育を著しく高め、特にその効果は不耕起マルチ施用した場合に強く示されることが明らかになった。ヘアリーベッチ施用後の土壌の無機態窒素量の動態をアンモニアおよび硝酸別に調査した結果、耕起・すき込み施用に比べて不耕起・マルチ施用ではアンモニア化成-硝酸化成が遅くなり、デントコーンの窒素吸収パターンにより適したためと考えられた。</p> <p>以上より、ヘアリーベッチは酸性土壌で問題になっている低リン耐性が強いだけでなく、<math>30^{\circ}\text{C}</math> 以上では枯死することが知られているヘアリーベッチは亜熱帯域においても十分な生育を示し、むしろ様々な作付け体型に緑肥として利用できる可能性を秘めたマメ科植物といえる。また、その利用に当たっては、耕起・すき込み施用より不耕起・マルチ施用が雑草防除や窒素などの養分放出パターンなどから後作物の生育を高めることが示された。</p>	

## 学 位 論 文 要 旨

氏 名	FAJRI ANUGROHO
題 目	Study on the growth and utilization of hairy vetch ( <i>Vicia villosa</i> Roth) as green manure in subtropical region (亜熱帯域における緑肥としてのヘアリーベッチの生育および利用に関する研究)

Phosphorus (P) is an essential for plant growth. Crop production is often limited by low P in acid soils of the subtropical agriculture. Several experiments have been conducted to assess an appropriate legume cover crop and green manure in subtropical soil conditions for the subsequent crop production in sustainable agriculture. Several winter legume plants were selected under pot condition with the P-deficient and P-sufficient soils in a short and long growing period. The growth of P-deficient tolerant plant was observed in fields for a long growing period.

In a short growing period, the biomass percentages of the shoots and roots were 66% and 99% for hairy vetch (HV), while 64% and 89% for crimson clover (CC), relatively higher than those of pink clover (PC), red clover (RC) and white clover, in comparison with the SP condition (100%). In a long growing period, the biomass of shoot and root of HV were higher than that of clover species on all harvesting dates, except for the shoot biomass of PC and root biomass of RC and PC harvested in April. Generally, the nutrient uptake of shoot and root of plants had a similar pattern to their biomass. Under pot condition, HV is an appropriate legume in subtropics, regarding to the high biomass and nutrient uptake.

The biomass and nutrient uptake of HV grown under four subtropical soils showed a similar level. Hairy vetch sown within October–November and harvested February–April in subtropics was reached the shoot biomass averages of 4000 kg ha<sup>-1</sup>, associated with N accumulation of 140 kg ha<sup>-1</sup>. Moreover, the shoot biomass of HV sown in October and December when harvested in February, March and April showed a significant difference. The 2 months delay in sowing date found the shoot biomass losses of 222 x10<sup>-3</sup>kg m<sup>-2</sup> in February, 129 x10<sup>-3</sup>kg m<sup>-2</sup> in March, 124 x10<sup>-3</sup>kg m<sup>-2</sup> in April, respectively.

Weeds, dominated by *Biden pillosa*, were effectively suppressed 71–87% by hairy vetch living mulch in the growing period of February–April, and 37–65% at the desiccated stage in May. In contrast, the residue of hairy vetch stimulated the weed growth by 300–600% during 63 and 84 days after incorporation. It may due to the richness of nutrients.

The shoot biomass of corn harvested showed markedly higher in no-tillage culture than in tillage culture. Similarly, the root biomass of corn in three layers was totally higher in no-tillage culture than in tillage culture. The distribution of root biomass of corn was higher in the upper and deeper layers than in middle layer. Meanwhile, the nitrate-N content of soils in no-tillage culture was markedly lower than in tillage culture.

学 位 論 文 審 査 結 果 の 要 旨	
学 位 申 請 者 氏 名	Fajiri Anugroho
審 査 委 員	主査 琉球 大学 教授 辻 瑞樹
	副査 琉球 大学 教授 鬼頭 誠
	副査 佐賀 大学 教授 野瀬 昭博
	副査 鹿児島 大学 教授 境 雅夫
	副査 鹿児島 大学 准教授 樗木 直也
審 査 協 力 者	
題 目	Study on the growth and utilization of hairy vetch ( <i>Vicia villosa</i> Roth) as green manure in subtropical region 亜熱帯域における緑肥としてのヘアリーベッチの生育および 利用に関する研究
<p>熱帯から亜熱帯地域には作物生産上問題のあるとされる酸性土壌が多く分布している。亜熱帯域に属する沖縄にも酸性土壌は分布している。酸性土壌における作物生産の制限因子のうちリンの欠乏が最も重要とされている。さらに、これら土壌は有機物の集積量が少なく物理性の劣化による根系の発達が不十分になりやすいことも生産性の低下に影響している。また、熱帯から亜熱帯地域では秋季から冬季における雑草防除も重要な課題になっている。これら問題を解決する方策の 1 つとして冬季の緑肥作物、特に雑草防除機能も期待できる被覆作物の利用を検討した。得られた知見は以下の通りである。</p> <p>低リン肥沃度土壌における冬季マメ科作物の検索</p> <p>冬季マメ科植物としては温帯産の寒地型マメ科牧草植物であるクローバ類やレンゲなどが有名である。また、近年温帯域から冷帯域にかけてヘアリーベッチが普及している。しかし、亜熱帯域におけるこれらマメ科植物の生育量や低リン耐性を基準にした耐酸性を調査した報告は多くなかった。本論文では、施肥リン酸が難溶性のアルミニウム型や鉄型として固定されやすい土壌を用い、リン酸施肥量を異にした低リン耐性試験を行った。その結果、低リン耐性はヘアリーベッチが最も強く、クローバ類の中ではクリムソクローバの低リン耐性が強かった。また、十分量のリン酸施肥を行い、開花期まで栽培した場合の生育量はヘアリーベッチおよびピンククローバが最も高かった。これらの結果を踏まえ、沖縄に分布する酸性～アルカリ性の 4 種土壌におけるヘアリーベッチの生育量に有意な差異がないことを明らかにした。これらのことから耐酸性を有し、生育量の大きいヘアリーベッチは亜熱帯域においても有望な緑肥作物であることを見いだした。</p>	

#### ヘアリーベッチの播種時期と収穫時期の検討

ヘアリーベッチは温帯域や冷帯域では冬季に生育が停滞するため春先からの生育量を高めるためには生育停滞期前に一定の生育量を確保する必要があり、温帯域では10月播種、冷帯域では9月播種が最適とされている。しかし、亜熱帯域では冬季における生育の停滞がほとんど無く、少なくとも10月から12月のいずれの時期に播種をした場合にも2月から4月に緑肥として十分な生育量を確保できることを明らかにした。このことは、ヘアリーベッチを緑肥として利用する際に様々な作付体系を可能にするものであり、多様な利用を検討しうることを示した。

#### ヘアリーベッチ施用方法の検討

冬季にヘアリーベッチリビングマルチとして栽培した場合には雑草発生を著しく抑制し、栽培期間中においても土壌の可給態窒素量が高まることを明らかにした。また、栽培後のヘアリーベッチを耕起に伴いすき込み施用および不耕起マルチ施用した場合とも土壌の窒素を中心にした肥沃度は高まり、後作物のデントコーンの生育量は高まった。特に、不耕起マルチ施用した場合には施肥窒素の硝化作用を遅らせ効率的な窒素利用が可能であり、その結果としてデントコーンの初期生育量がすき込み施用に比べて高まることを明らかにした。また、このことは、窒素の地下水への流亡を軽減し、環境保全の観点からも意義あることを示した。さらに、すき込み施用した場合には、土壌肥沃度の増進によりその後の雑草発生量が高まるが、不耕起マルチ施用した場合には、ヘアリーベッチ残渣による被覆効果などのため雑草発生量が有意に低下することも明らかにした。これらのことからヘアリーベッチの利用は不耕起マルチ施用がより有効な利用法であること示した。

以上のように、本論文は亜熱帯域における土壌肥沃度の増進だけでなく雑草防除機能を有する緑肥としてヘアリーベッチが有望であり、その利用法として不耕起マルチ施用が有益であることを肥料学的観点から解明し、多くの知見を提示したものであり、審査員一同は本論文が学位論文として十分価値があるものと判断した。

最 終 試 験 結 果 の 要 旨	
学位申請者 氏 名	Fajiri Anugroho
審査委員	主査 琉球 大学 教授 辻 瑞樹
	副査 琉球 大学 教授 鬼頭 誠
	副査 佐賀 大学 教授 野瀬 昭博
	副査 鹿児島 大学 教授 境 雅夫
	副査 鹿児島 大学 准教授 樗木 直也
審査協力者	
実施年月日	平成 22 年 1 月 6 日
試験方法 (該当のものを○で囲むこと。)	<input checked="" type="checkbox"/> 口答・筆答
<p>主査および副査は、平成 22 年 1 月 6 日の公開審査会において学位申請者に対して、学位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えることができた。</p> <p>以上の結果から、審査委員会は申請者が博士（農学）の学位を受けるに必要な十分の学力ならびに識見を有すると認めた。</p>	

学位申請者  
氏名

Fajiri Anugroho

[質問 1] ヘアリーベッチの窒素固定活性はどのように測定したのか。

[回答 1] 窒素固定活性は、いわゆるアセチレン還元法で測定しました。具体的には栽培した植物の根系を土壌から洗い出し、ビニール袋に密閉し、アセチレンガスを注入後インキュベーター内で1時間反応させ生成するエチレン量をガスクロマトグラフィーで測定するという窒素固定酵素であるニトロゲナーゼの酵素化学的特徴を利用した方法で測定しました。

[質問 2] ヘアリーベッチの緑肥としての効果は十分理解できるが、帰化植物としてのヘアリーベッチが沖縄や亜熱帯地域の生態系に及ぼす影響は無いのか。

[回答 2] ヘアリーベッチに限らず緑肥として新規に導入する植物は雑草化することもあり、導入に際しては注意する必要があると考えています。ヘアリーベッチは1年生のマメ科植物であり、クローバなどの永年生のものとは異なることに加えて、沖縄で栽培したヘアリーベッチは発芽能力のある種子が生産されないことを確認しています。したがって、雑草化することはないと、栽培した農耕地生態系から他の生態系に進入することはないと考えています。

[質問 3] ヘアリーベッチの緑肥としてすき込み施用と不耕起マルチ施用を検討しているが、環境へのインパクトの観点から施用法に関する考えを説明してください。

[回答 3] 不耕起マルチ施用は耕起に伴いすき込み施用した場合に比べて窒素などの養分の無機化による放出が遅くなり、地下水への溶脱が軽減することが考えられ環境汚染を軽減すると考えています。大気へのガス放出については調査していませんが今後検討する必要があると思っております。

[質問 4] ポット試験の結果からヘアリーベッチは低リン耐性が高いとしているが、圃場試験では、全リン含有率の高い暗赤色土でのヘアリーベッチの生育量は、全リン含有率の低い赤色土より高くなっているのではないか。ヘアリーベッチは低リン酸肥沃度土壌で良好な生育を示すといえるのか。また、そのメカニズムについては明らかになっているのか。

[回答 4] 低リン耐性は短期間のポット栽培試験での生育量と窒素固定能の結果から判断しています。低リン耐性のメカニズムについては今後の課題ですが、有機酸放出による難溶性無機リン酸であるアルミニウム型や鉄型リン酸の利用などを想定しています。

また、圃場試験の結果も生育量や窒素やリンなどの各種養分吸収量に有意な差はなく、同程度と判断しています。しかし、ヘアリーベッチのリン含有率は赤色土で暗赤色土より有意に低下しており、リンの栄養状態は不良になっているとも考えられますので、両土壌におけるヘアリーベッチの生育に全く差がないとはいえないと考えています。

[質問 5] ヘアリーベッチ施用によるデントコーンの生育状況の写真では不耕起マルチ施用した場合に比べてすき込み施用した場合で高まっており、葉色もいよいに見えるが、生育量の図では逆になっています。説明してください。

[回答 5] 写真は収穫時のものであり、葉色はすき込み施用で濃くなっています。おそらく土壌中の無機態窒素含有率が初期生育時には不耕起マルチ施用区の表層で高くなっていましたが、デントコーンの生育の進行に伴いすき込み施用区で高くなっていました。そのため調査時の葉色はすき込み施用で濃くなっていたと思われれます。

また、草丈の推移からも明らかなように初期生育時には不耕起マルチ施用区で生育量は高まっており、調査時においては不耕起マルチ施用区で高まっていました。

[質問 6] ヘアリーベッチを冬季の緑肥として利用することを検討されていますが、亜熱帯域では冬季に野菜など換金作物を栽培しており、実際にはどのような利用法を検討しているのか。

[回答 6] 亜熱帯域では冬季に作物栽培をしています。また、沖縄には放棄農耕地が多くあり問題となっています。これら放棄地の雑草防除や農耕地としての地力の維持・増進にヘアリーベッチを栽培することも想定しています。

[質問 7] ヘアリーベッチのリン吸収にクラスタールートなど根系の関与や菌根菌の影響などは調査されていないのか。

[回答 7] ヘアリーベッチの根系発達、根の形態と機能および菌根菌の影響など本試験では調査しておらず、明らかではありませんが、今後調査する必要があると考えています。本論文には入れていませんが、セスバニアやラッカセイなどを用いた試験では根系発達や菌根菌の関与によるリン吸収の増進を明らかにしつつあります。ヘアリーベッチもクローバ類より低リン耐性が強いことから同様のメカニズムがあると思われれます。

[質問 8] ヘアリーベッチの CN 比は 20 以下であり、すき込み施用した場合に分解が早いようですが、不耕起マルチ施用したヘアリーベッチの分解も早いのか。また、デントコーンの栽培にはいずれの施用法が良いと考えているのか。

[回答 8] 不耕起マルチ施用した場合にはすき込み施用よりは分解が遅くなると考えられます。また、硝化作用が遅く有機化も多くなると考えられます。したがって、窒素要求量が多い作物では不耕起マルチ施用ですき込み施用に比べて窒素供給量が少なくなると考えられます。また、温帯域での不耕起マルチ施用は、不耕起栽培開始数年の間、窒素の有機化やアレロパシーな関与により作物の生産性が低下する報告もあります。亜熱帯域での窒素やアレロパシー物質の動態を含めた圃場における複数年の栽培試験は必要であると考えています。