

氏 名 (本 國 籍)	坂 上 清 一 (北海道)
学 位 の 種 類	博士 (農学)
学 位 記 番 号	農博乙第137号
学 位 授 与 年 月 日	平成24年3月13日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第3条第2項該当
学 位 論 文 題 目	Demographic Approach to the Sustained Yield of Red Clover in Mixed-sown Meadows (混播採草地におけるムラサキツメクサの収量維持 のための個体群統計学的アプローチ)
審 査 委 員 会	主査 静岡大学 教 授 澤 田 均 副査 静岡大学 教 授 山 下 雅 幸 副査 岐阜大学 教 授 宮 川 修 一

論 文 の 内 容 の 要 旨

マメ科牧草ムラサキツメクサ (*Trifolium pratense* L.) は栄養価が高く、窒素固定能もあるため、持続的な草地生産にとって有用な草種である。しかし、一般に短年生であり、草地造成時に播種しても数年で消失することが多い。ムラサキツメクサ個体群を長期間存続させるような草地管理技術の開発が望まれている。申請者は、日本中部の山地地域に所在するムラサキツメクサーオオアワガエリ混播採草地において、造成以来20年以上にわたりムラサキツメクサが維持されていることに着目し、その存続の仕組みを解明するために、一連の個体群統計学的研究を行った。この採草地では、乾草ないしサイレージ調整を目的として、年2回の刈り取りが行われてきた。寒地および高冷地におけるオオアワガエリ優占採草地では標準的な刈り取り頻度である。本学位論文は、マメ科牧草ムラサキツメクサを混播した永年採草地の牧草収量を適正に維持するような草地管理技術の開発および評価に資するため、その個体群動態および出芽動態を解明すること、それら動態に及ぼす採草作業時期、頻度および内容の影響を解明することを目的とした。

第2章では、上記の採草地において、土壌表層に自然落下した種子からのムラサキツメクサ実生の出現、生存および開花について、その時期と量を個体標識によって8年間にわたり観測した。実生の主な出現時期は、毎年3月から5月（春期出芽コホート）と9月から11月（秋期出芽コホート）であった。半減期の平均値は、春期出芽コホートが42日、秋期出芽コホートが135日であった。実生の死亡原因は、そのほとんどが採草時の機械作業によるものであった。観測期間中に個体標識された総数13,485個の実生を調べたところ、4年間を超えて生き残った個体はなかった。開花した成熟個体のほとんどは、秋期出芽コホート由来であった。これらは、屋外において初めて本草種の生存率と寿命を定量したデータである。

第3章では、屋外におけるムラサキツメクサの種子発達を予測するモデルを作成した。このモデルは開花速度、結実割合および種子稔実割合で構成される。それぞれの速度および割合は、上記採草地から移植された複数の成熟個体の開花数、結実数、および稔実動態

を観測することで決定した。受粉した小花は稔実のために十分な時間があれば硬実種子となるが、不十分な場合、透水種子の状態となる。モデルの予測は次のとおりである：一番草刈り取りを経た後、ムラサキツメクサは7月下旬から8月下旬にかけて生存能力のある種子を生産する；生存可能な硬実種子は、透水種子よりも1週間遅れで稔実する；透水種子数は8月中旬にピークに達し、その時点における透水種子数と硬実種子数の比率はほぼ1対1である。以上の予測は、種子トラップを利用し、そこへ落下した種子数および透水種子数と硬実種子数の比率を観測する実験から概ね支持された。モデルは、2番草の乾草調整の時期が透水種子と硬実種子の落下数に強く影響することを示唆した。

第4章では、採草地で落下したムラサキツメクサ種子の個体群統計学的推移を調べた。種子トラップを用いた観測によれば、2番草の乾草調整中の機械作業によって、多くの透水種子と硬実種子が土壌表面に落下することが判明した。機械作業は実生の生存に悪影響を及ぼす一方、種子の拡散のためには好影響を与えた。その後、定期的に採取した土壌表層からムラサキツメクサ種子を分離し発芽試験を行いつつ推計したところ、落下した透水種子のうち、16%は当年秋に発芽し、84%は失われることが明らかとなった。一方、硬実種子の11%は翌年春に発芽し、83%は失われ、6%は翌年秋まで硬実種子として残存した。以上より、本採草地におけるムラサキツメクサ個体群に関して、春期および秋期出芽という2期のコホート形成の仕組みが明らかとなった。

第5章では、ムラサキツメクサを含む主要牧草の実生出芽の期日を予測するモデル（出芽予測モデル）を提案した。このモデルは種子発芽に関する基準温度と有効温度に基づくものであり、それら数値を複数の恒温条件下での発芽試験によって決定した。試験地で長期観測された日平均気温データを用いてムラサキツメクサの出芽時期を予測したところ、実生は4月初旬に出芽し始め、もし非休眠種子が存在するならば、11月初旬まで出現し続けることが示された。第1章において実証された、実生出現の時期をほぼ追認する予測結果となった。

これらの結果をもとに第6章では、ムラサキツメクサ個体群を長期的に存続させ、草地持続性を高めるための管理技術について考察した。個体群統計学的データの集積および解析は、刈り取り、乾草調整作業、施肥、追播といった採草地管理のタイミング、頻度および強度の決定に極めて有用であると結論した。

審 査 結 果 の 要 旨

平成24年1月17日（火）に静岡大学農学部において、主査および副査の3名を含む関連教員・学生の出席のもとに、学位申請者 坂上清一氏の提出した博士論文の公開発表会と質疑応答および学力の確認を実施した。引き続いて審査委員全員の出席のもとに研究内容について審査委員会を開催した。本研究の概要および審査結果は以下のとおりである。

本学位論文は、マメ科牧草ムラサキツメクサを混播した永年採草地の牧草収量を適正に維持するような牧草地管理技術の開発および評価に資するため、日本中部山地地域のムラサキツメクサーオオアワガエリ混播採草地において、その個体群動態および出芽動態を解明することを目的とした研究をまとめたものである。

本学位論文第2章では、上記の採草地において、土壌表層に自然落下した種子からのムラサキツメクサ実生の出現、生存および開花について、その時期と量を8年間にわた

り観測した。実生の主な出現時期は、毎年3月から5月（春期出芽コホート）と9月から11月（秋期出芽コホート）であった。半減期の平均値は、春期出芽コホートが42日、秋期出芽コホートが135日であった。総数13,485個の実生を個体標識して調べたところ、4年間を超えて生き残った個体はなかった。開花した成熟個体のほとんどは、秋期出芽コホート由来であった。

第3章では、屋外におけるムラサキツメクサの種子発達を予測するモデルを作成した。このモデルは開花速度、結実割合および種子稔実割合で構成される。モデルの予測は次のとおりである。①ムラサキツメクサは7月下旬から8月下旬にかけて生存能力のある種子を生産する。②生存可能な硬実種子は、透水種子よりも1週間遅れで稔実する。③透水種子数は8月中旬にピークに達し、その時点における透水種子数と硬実種子数の比率はほぼ1対1である。以上の予測は、種子トラップを利用した実験から概ね支持された。モデルは、2番草の乾草調整の時期が透水種子と硬実種子の落下数に強く影響することを示唆した。

第4章では、採草地で落下したムラサキツメクサ種子の個体群統計学的推移を調べた。2番草の乾草調整中の機械作業によって、多くの透水種子と硬実種子が土壌表面に落下した。落下した透水種子のうち、16%は当年秋に発芽し、84%は失われた。一方、硬実種子の11%は翌年春に発芽し、83%は失われ、6%は翌年秋まで硬実種子として残存した。

第5章では、ムラサキツメクサを含む主要牧草の実生出芽の期日を予測するモデル（出芽予測モデル）を提案した。試験地で長期観測された日平均気温データを用いてムラサキツメクサの出芽時期を予測したところ、実生は4月初旬に出芽し始め、もし非休眠種子が存在するならば、11月初旬まで出現し続けることが示された。

これらの結果をもとに第6章では、ムラサキツメクサ個体群を長期的に存続させ、草地持続性を高めるための管理技術について考察した。個体群統計学的データの集積および解析は、刈り取り、乾草調整作業、施肥、追播といった採草地管理のタイミング、頻度および強度の決定に極めて有用であると結論した。

以上について、審査委員全員一致で本論文が岐阜大学大学院連合農学研究科の学位論文として十分価値あるものと認めた。

学位論文の基礎となる学術論文

1. Seedling appearance, survival and flowering of *Trifolium pratense* in a cutting meadow. JARQ 36: 235-241. (2002) Seiichi Sakanoue
2. Seed development of red clover in mixed-sown meadows: model predictions. Field Crops Research 89: 197-203. (2004) Seiichi Sakanoue
3. Demography of red clover seeds in mixed-sown meadows. Journal of Agricultural Science 143: 193-197. (2005) Seiichi Sakanoue
4. Thermal time approach to predicting seedling emergence dates of red clover, white clover and lucerne in farm fields. Grass and Forage Science 65: 212-219. (2010) Seiichi Sakanoue
5. Use of a simple distribution function to estimate germination rates and thermal time requirements for seed germination in cool-season herbage species. Seed Science and Technology 38: 612-623. (2010) Seiichi Sakanoue