

十勝地方のラッカセイ栽培における適正な栽植密度の検討

佐藤颯太¹⁾・石山真士¹⁾・田中一郎²⁾・秋本正博^{2,3)}

(¹⁾ 帯広畜産大学畜産学部, (²⁾ 十勝グランナッツ合同会社, (³⁾ 帯広畜産大学環境農学研究部門)

要旨：十勝地方のラッカセイでは適正な栽植密度の情報がなく、習慣的に5~6株 m²で栽培が行われている。本研究では、異なる栽植密度で栽培したラッカセイの生育や収量を比較することで十勝地方における適正な栽植密度を検討した。2021年と2022年に早生品種「タチマサリ」を帯広畜産大学実験圃場で栽培した。植え穴の間隔が30 cm, 20 cm, および15 cmのマルチを用いることで、栽植密度が5.8株 m² (5.8株区), 8.7株 m² (8.7株区), および11.6株 m² (11.6株区)となる3つの試験区を設置した。5.8株区では、収穫期まで茎葉部が生長し続けたが、8.7株区と11.6株区では葉面積指数が最大となった後に生長が停滞した。その結果、登熟期の株は8.7株区と11.6株区で小型であり、株当たりの稔実莢数も少なかった。稔実莢率は、5.8株区に比べ8.7株区と11.6株区で高く、5.8株区では未熟莢が多数発生した。単位面積当たりの子実収量は、5.8株区の168 g m²に比べ8.7株区で254 g m², 11.6株区で264 g m²と有意に高く、栽植密度を高くすることで株当たりの生産量は低くなるものの、単位面積当たりの子実収量を改善することができた。11.6株区は8.7株区に比べ栽培に種子を多く必要とするほか、茎葉の繁茂による病害の発生が目立った。十勝地方における「タチマサリ」の栽植密度として、本研究の設定のなかでは8.7株 m²が適正と考えられた。

キーワード：個体群生長速度、栽植密度、収量、純同化率、稔実莢率、葉面積指数、ラッカセイ。

ラッカセイ (*Arachis hypogaea* L.) は南アメリカを起源とするマメ科作物である。2020年の世界のラッカセイの生産量は油糧用も含めて53900千tにもなり、これはマメ科作物の中でダイズに次ぐ多さである (FAO 2023)。海外における主なラッカセイの産地は、中国中南部、インド、ナイジェリアなど温暖な地域であるが、近年では北海道と同緯度かさらに北方にあたるカナダのオンタリオ州や中国の黒竜江省などの寒冷な地域でも栽培が行われている (Sheidow 1993, Yao 2004)。タンパク質やビタミン類、脂質に富むほか、抗酸化性ポリフェノールの一種であるレスベラトロールを含むことから機能性食材としても注目を集めており (大垣・佐川 2003, 谷口 2014, Ebisawa ら 2015)、2000年から2020年までの20年間で、世界の消費量は1.5倍にも増加している (FAO 2023)。

日本においてもラッカセイは日常的な食材として需要が高く、国内の消費量はおよそ90千tと同じマメ科作物のアズキに匹敵する値となっている (農林水産省 2023)。一方で、国内におけるラッカセイの生産量は少なく、2020年度における輸入量が1次加工品を含めて88千tであるのに対し、国内生産量は13千tと、自給率は13%ほどしかない (農林水産省 2023)。また、作付面積は減少の一途をたどっており、最盛期の1965年に66.5千haであったのが、2020年には6.2千haと1/10にまで縮小している (農林水産省 2023)。供給が寡少であることや年次間の作況の差が激しいことから、市場相場の変動も大きく不安定である

(野島 2012)。国産ラッカセイの生産、流通基盤は脆弱であり、現状で大幅な改善を期待することは難しい。国産ラッカセイの安定供給と輸入依存型の供給体制からの脱却、そして日本における作物としてのラッカセイの維持のため、新たな産地の開拓による増産が求められている (前田 2005)。

北海道十勝地方では、大規模な耕地を用いた畑作が営まれている。ダイズやアズキ、インゲンなど多様なマメ科作物が栽培されており、マメ科作物を育てるための環境的、技術的水準が高い。十勝地方ではラッカセイが新規導入されてから日が浅いため生産例こそ少ないが、河東郡芽室町の生産グループを中心に商業栽培が行われている。品種の選択と初期生育時の保温を適切に行うことで近年では全国平均以上の収量を得ることが可能になってきている (秋本ら 2017, 2018)。十勝地方でラッカセイの普及が進み、大規模な作付が行われるようになれば、国産ラッカセイの供給拡大が期待できる。

十勝地方における現行のラッカセイ栽培は、都府県における慣行的な栽培技術をそのまま踏襲するかたちで行われている。都府県と十勝地方では、気象をはじめ土壌や使用する資材、品種など、栽培上の様々な条件が異なる。そのため、都府県における栽培方法が、必ずしも十勝地方において適正であるとは限らない。例えば、千葉県や茨城県では、主要品種である「ナカテユタカ」や「千葉半立」の最適な栽植密度を、株間30 cm程度で5~6株 m²と設定して

2023年9月29日受理。連絡責任者：秋本正博 〒080-8555 北海道帯広市稲田町西2線11

TEL 0155-49-5480, FAX 0155-49-5593, akimoto@obihiro.ac.jp

本研究は、一般社団法人農林水産業みらい基金「農林水産業みらいプロジェクト」(2020~2022年)の予算を活用し、十勝グランナッツ合同会社と帯広畜産大学の共同研究のもと執り行った。

いる(長谷川ら 1988)。十勝地方においても、これに倣いほとんどの生産者が品種によらず栽植密度を5~6株 m^{-2} としている。しかしながら、十勝地方では、千葉県や茨城県と異なり「タチマサリ」や「郷の香」といった早生の品種を主に栽培している。また、作期を通じた積算気温が低い十勝地方で栽培を行った場合、同じラッカセイ品種でも都府県に比べ株が小型になることが分かっている(工藤・小代 1988, 秋本ら 2017)。気温や日照時間、品種などの条件が異なる場合、作物の草型が変化するため同じ栽植密度でも立毛の構造や受光体勢、収量は違うものになる(Steberlら 2020)。これらのことから、現行の栽植密度が収量を高めるための最適な条件であるか検討を行う必要がある。

十勝地方でラッカセイを栽培する際の管理方法については、未だ十分な知見が得られていない。十勝地方の環境に適合した栽培方法を改めて検討することにより、更なる栽培の効率化や収量の増加が図れるものと期待される。特に栽植密度については、作物の受光体勢を決定づけ、生育や収量に大きな影響を及ぼす重要な指標であり(中野ら 2004, Fudanoら 2007, 磯部ら 2015)、その適正化は新規作物を導入する際に優先して検討されるべき課題である。

本研究では、十勝地方の環境に適合したラッカセイの栽培方法の確立を最終目標に、新規作物の導入において重要となる栽植密度に注目し、十勝地方の環境下で生産を行うための最適な条件の検討を行った。現行の栽植密度で栽培を行った場合、立毛が疎となり圃場内に空間が生じる傾向がある。そこで本研究では、ラッカセイを現行の密度と、それよりも高い密度で栽培する試験区を設置し、それぞれにおける株の生育や収量を比較した。

材料と方法

1. 供試品種

本研究には、ラッカセイ品種「タチマサリ」を供試した。「タチマサリ」は、千葉県農業試験場(現千葉県農業総合研究センター)において1974年に八系20号と八系3号の交雑から育成された早生品種で、主茎が徒長しないため耐倒伏性が高い特長を持つ(竹内ら 1975)。これまでの予備試験により、十勝地方で栽培した場合に多収であることが分かっている(秋本ら 2018)。栽培に用いた種子は、全て2020年に帯広畜産大学の実験圃場で栽培した株から採集したものである。

2. 栽培条件

2021年と2022年に帯広畜産大学の実験圃場で栽培した。圃場の土壌は火山性黒ボク土であり、2カ年とも使用した圃場の前作は緑肥用ヒマワリであった。施肥は大学がある帯広市川西地区の豆類標準施肥量と同じになるよう、成分量で窒素 1.9 g m^{-2} 、リン酸 16.0 g m^{-2} 、カリウム 8.3 g m^{-2} 、およびマグネシウム 2.9 g m^{-2} を基肥一括で施用した。なお、本圃場の土壌は酸性度がpH 6.3とマメ科作物を栽

培する際の適性値にあり、かつ交換性石灰の飽和度が高い値を示したため、炭酸カルシウム等の土壌改良材は用いなかった。

播種に先立ち、ラッカセイの栽植位置を植え穴の間隔が異なる3種類の95 cm幅透明プラスチックマルチで被覆した。それぞれのマルチ上には45 cm畝間の千鳥配列の2条で30 cm間隔、20 cm間隔、および15 cm間隔で植え穴が設けられている。これらのマルチ上で栽培を行うことによって、栽植密度が異なる3つの試験区を設置した。十勝地方の生産者が使用する一般的な農業機械の規格では、95 cm幅のマルチを圃場に張る場合に畝の間隔が150 cm前後になる。本研究では、生産現場での条件に合わせマルチを150 cm間隔で展張し、それぞれの区画における栽植密度が順に、 5.8 株 m^{-2} 、 8.7 株 m^{-2} 、 11.6 株 m^{-2} となるようにした。以降、それぞれのマルチを展張した区画を5.8株区、8.7株区、11.6株区と表記する。なお、5.8株区の栽植密度は、十勝地方のラッカセイ栽培における現行の密度設定に相当する条件である。1区画を10 m長のマルチ畝2本とし、6反復の乱塊法に従い試験区を設置した。

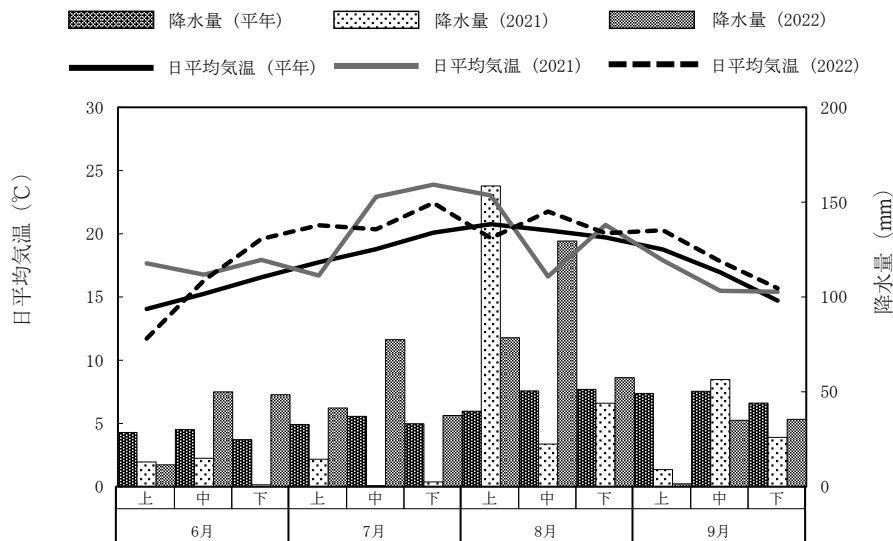
2021年、2022年とも、5月25日に植え穴当たり1粒の種子を土中約3 cmの深さに播種した。保温と鳥害の防除を目的に、播種後から6月20日まで試験区を90%光透過性の農業用不織布で被覆した。また、開花後に伸長する子房柄が土壌に貫入するのを妨げないように、開花盛期の7月下旬にマルチを剥離した。

3. 株当たりの生育量の調査

各試験区から任意に6株を選び採取を行った。採取は、開花が開始された7月中旬から開始し、2021年は7月15日、31日、8月15日、31日、そして9月22日の合計5回、2022年は7月15日、30日、8月14日、29日、9月13日、そして26日の合計6回行った。なお、「タチマサリ」の生育ステージは、7月中旬に開花始期、7月下旬に開花盛期、8月中旬以降に結莢期、そして9月中旬以降に登熟期であった。採取した株について、子房柄数と総莢数を記録した。なお、本研究では、子房柄の先端が1 cm以上の大きさに肥大したものを莢とした。複葉をスキャナーで読み取り、画像解析ソフトImageJ/Fiji(Schindelinら 2012)を用いて小葉と葉柄の合計面積を求めることで葉面積を測定した。また、株を70℃に設定した通風乾燥器で3日間乾燥させた後に、莖葉、子房柄、および莢に分け、それぞれの重量を測定した。得られた値から、葉面積指数、個体群生長速度、および純同化率を算出した。

4. 子実収量、および収量構成要素の調査

2021年は9月22日に、2022年は9月26日に収穫を行った。それぞれの試験区から連続した10株を選び、地面から引き抜いた後に子実の水分含量が20%程度になるまで天日で乾燥させた。収穫した株について、稔実莢数、稔実



第1図 帯広市における2021年、2022年、および平年の日平均気温と旬ごとの降水量の推移。
データは、帯広畜産大学内に設置された気象観測ロボットにより取得したものをを使用した。

莢率、および百粒重をそれぞれ記録した。なお本研究では、大きさによらず子葉が十分に肥大した完熟子実を稔実粒とした。また、稔性に関わらず、1粒の子実を含んでいる莢を1粒莢、2粒、および3粒の子実を含んでいる莢をそれぞれ2粒莢、3粒莢とし、少なくとも1粒の稔実粒を含む莢を稔実莢とした。100粒重については、株ごとに得られた稔実粒の総重量を計測し、その粒数をもとに算出した。莢から殻を取り除き、稔実粒のみを選別して重量を計測した。得られた値から、それぞれの試験区の栽植密度をもとに子実収量を計算した。

5. 統計解析

調査項目について、試験年次と栽植密度を変動要因とした二元配置分散分析を行った。栽植密度の効果が認められた場合には、年次ごとに試験区間の値の差を Bonferroni の多重比較検定により5%水準で検定した。なお、稔実率については、データの分布が正規性を示さなかったため、解析に先立ちデータを arcsin 変換した。計算には、統計ソフト STATA Ver.17.0 (株式会社ライトストーン) を用いた。

結 果

1. 気象条件

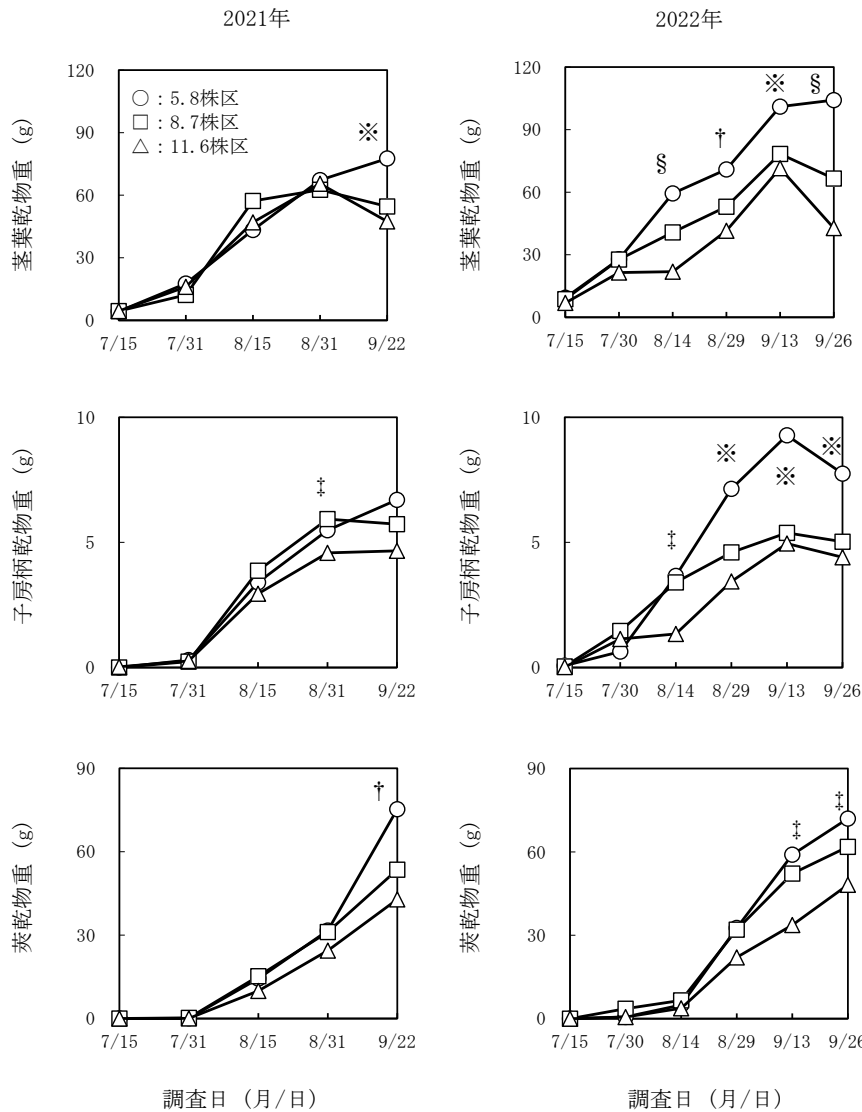
2021年の試験地周辺は、「タチマサリ」の茎葉部の生長が盛んになりだす7月中旬から下旬にかけて最高気温が30℃を上回る日が10日以上続くなど気温が平年よりも4℃程度高かった(第1図)。また、この期間に降雨が少なく、土壌が乾燥した状態であった。これに対し、8月初頭から20日までは降雨が多く、気温が平年より5℃程度低い日が続いた。8月下旬には気温が平年並みに回復したが、9月初旬には再び気温が平年よりも3℃程度低い日が続いた。一方、2022年は、6月上旬にやや低温な期間があったもの

の、栽培期間を通じておおそ帯広市の平年並みの気温・降水量であった。なお、播種日の5月25日から、収穫期に当たる9月20日までの試験地の積算気温は、2021年で2330℃、2022年で2246℃と、いずれも平年値の2121℃に比べて高かった。

1. 生長解析

「タチマサリ」の株当たりの乾物重の推移を第2図に、株当たりの子房柄数と莢数の推移を第3図にそれぞれ示した。2021年、2022年とも、茎葉部乾物重については、全ての試験区で調査を開始した7月中旬から上昇し始めた。そして、5.8株区では、9月中旬以降も生長が継続し、最終調査日まで茎葉部の重量が維持された。これに対し、8.7株区と11.6株区では、8月下旬、あるいは9月上旬に最大となった後、9月下旬にかけて低下する傾向を示した。子房柄乾物重と莢乾物重は8月中旬から上昇し初め、生育後期になるに従い5.8株区の値が8.7株区や11.6株区を上回るようになった。子房柄数と莢数についても、乾物重の推移と同じく生育後期になるに従い5.8株区の値が8.7株区や11.6株区を上回るようになった。最終調査日における面積当たりの乾物重と子房柄数、および莢数を第1表に示した。栽植密度が低いほど、株のサイズが大きく、株当たりに作られる子房柄や莢が多い傾向を示したが、面積当たりの値を比較すると、茎葉乾物重や子房柄乾物重については栽植密度による差が認められず、莢乾物重については5.8株区に比べ8.7株区と11.6株区で高かった。子房柄数や莢数についても、5.8株区に比べ8.7株区と11.6株区で高い値であった。

葉面積指数、個体群生長速度、および純同化率の推移を第4図に示した。葉面積指数は、7月中旬から上昇し始め、2021年では8月31日の調査で、2022年では9月13日の



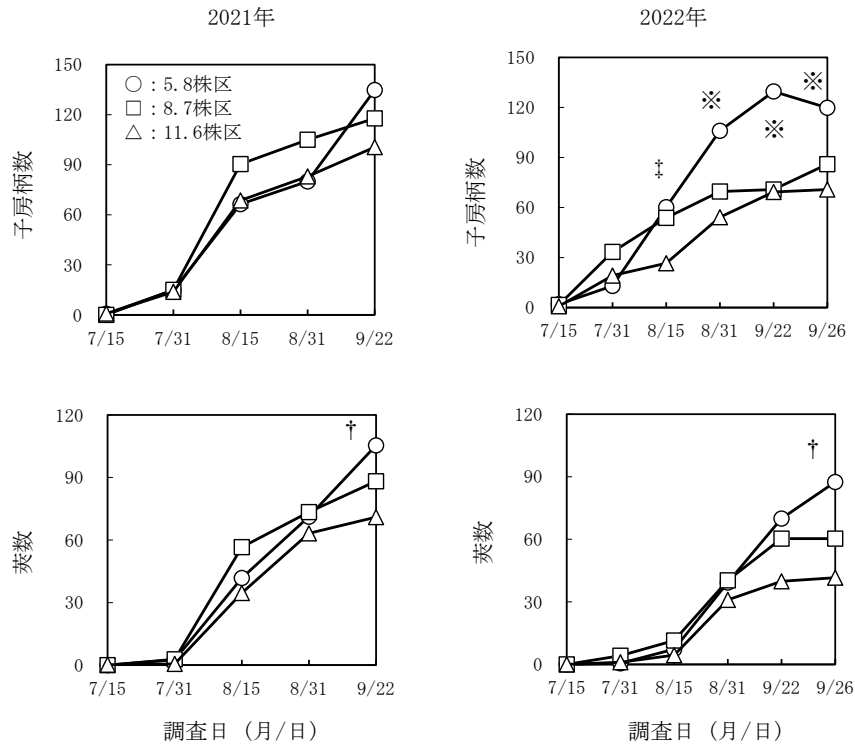
第2図 栽植密度が異なる条件で栽培した「タチマサリ」の株当たりの乾物重の推移。
 § : 全ての試験区の間, ※ : 5.8株区と他の試験区の間, † : 11.6株区と他の試験区の間, ‡ : 5.8株区と11.6株区の間で、それぞれ5%水準の有意差を示す。

調査でそれぞれ最大となった。葉面積指数の最大値を試験区間で比較すると、2カ年とも栽植密度が高い試験区ほど値が高い傾向を示した。また、8.7株区と11.6株区では、葉面積指数が最大値を取った後に急激に低下したが、5.8株区では最終調査日まで値が維持された。個体群生長速度は、2021では8月15日の調査で、2022年では8月29日の調査でそれぞれ最大となり、その時の値は5.8株区に比べ、8.7株区や11.6株区で有意に高かった。その後、8.7株区と11.6株区では値が低下し、最終調査日には負、あるいは $0 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ に近い値となったが、5.8株区では最終調査日まで $10 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 前後の値が維持された。純同化率は、2021では8月15日の調査で、2022年では8月29日の調査でそれぞれ最大となった。純同化率の最大値を試験区間で比較すると、2022年では5.8株区に比べて8.7株区と11.6株区で有意に高かった。

葉面積指数による個体群生長速度の回帰式を求め、鳥袋ら(1982)の方法に従い個体群生長速度を最大にするときの葉面積指数として最適葉面積指数を算出した(第2表)。最適葉面積指数は、2ヶ年とも栽植密度が高い試験区ほど高い傾向を示し、5.8株区では2021年に2.0、2022年に2.3であったのに対し、11.6株区では2021年に2.9、2022年に2.7であった。また、8.7株区と11.6株区では、実測した葉面積指数の値が最適葉面積指数を上回ったのが、2021年には8月15日の調査、2022年には8月29日の調査であったのに対し、5.8株区ではそれぞれ8月31日の調査、9月13日の調査と遅かった(第4図)。

2. 収量構成要素

収量構成要素の値を第3表に示した。稔実莢率は栽植密度が 8.7 株 m^{-2} 以上の高い2つの試験区で高く、2カ年の



第3図 栽植密度が異なる条件で栽培した「タチマサリ」の株当たりの子房柄数と莢数の推移。
 ※：5.8株区と他の試験区の間， †：11.6株区と他の試験区の間， ‡：5.8株区と11.6株区の間で、それぞれ5%水準の有意差を示す。

平均は、5.8株区で60.6%であるのに対し、8.7株区と11.6株区ではそれぞれ72.6%、71.3%であった。稔実莢数の合計は、2021年、2022年とも5.8株区に比べ8.7株区と11.6株区で多く、2カ年の平均では8.7株区で474.2個 m^{-2} 、11.6株区で481.4個 m^{-2} と5.8株区の374.7個 m^{-2} に対しそれぞれ約1.3倍であった。稔実莢の構成をみると、2粒莢については、5.8株区に比べ8.7株区と11.6株区で有意に多かったが、1粒莢については、2カ年の平均を比較した場合に5.8株区で最も多かった。5.8株区では、全稔実莢に占める1粒莢の割合も他の試験区に比べ高かった。5.8株区では他の試験区に比べ全ての稔実莢に占める1粒莢の割合が高い傾向を示した。百粒重に対しては、栽植密度の効果が検出されず、試験区間に大きな値の差は認められなかった。

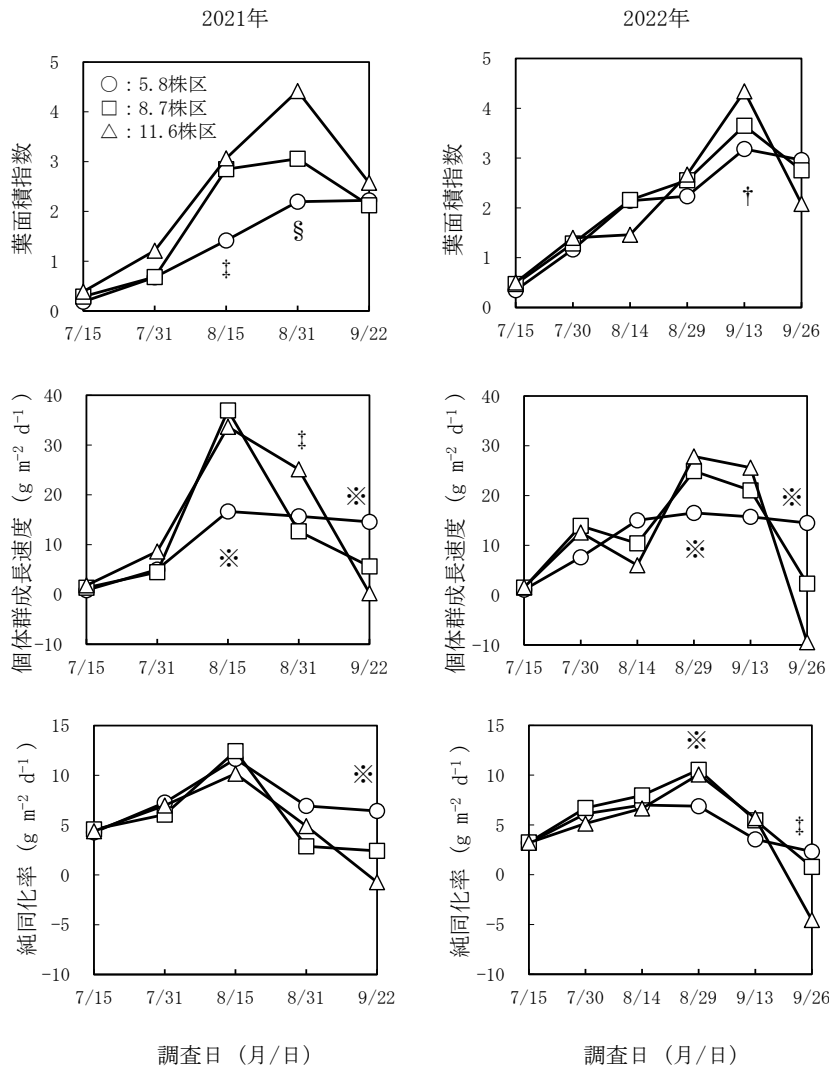
3. 子実収量

子実収量を第5図に示した。子実収量については、年次間で値の変動が見られ、3試験区とも2021年より2022年が高かった。試験区間の比較では、2021年、2022年とも5.8株区に比べ、8.7株区と11.6株区で値が高かった。2カ年の平均は、5.8株区の168 $g\ m^{-2}$ に対し、8.7株区で254 $g\ m^{-2}$ 、11.6株区で264 $g\ m^{-2}$ と、ともに約1.5倍高かった。

第1表 栽植密度が異なる条件で栽培した「タチマサリ」の最終調査日における面積当たりの乾物重、子房柄数、および莢数。

作付年次	乾物重 ($g\ m^{-2}$)			子房柄数 (m^{-2})	莢数 (m^{-2})
	茎葉	子房柄	莢		
2021年					
5.8株区	450.1	38.9	436.7 ^b	694.8 ^c	345.7 ^b
8.7株区	475.0	49.8	465.8 ^a	748.2 ^b	428.0 ^a
11.6株区	549.8	54.1	497.2 ^a	821.3 ^a	401.2 ^a
2022年					
5.8株区	580.9	44.9	417.4 ^b	718.8 ^b	611.3 ^c
8.7株区	579.4	43.8	537.8 ^a	1024.9 ^a	767.3 ^b
11.6株区	580.7	39.5	558.6 ^a	1169.0 ^a	823.6 ^a
2カ年平均					
5.8株区	515.6	41.9	427.1 ^b	738.3 ^c	478.5 ^b
8.7株区	527.2	46.8	501.8 ^a	886.5 ^b	597.7 ^a
11.6株区	523.2	46.8	527.9 ^a	994.1 ^a	611.9 ^a
ANOVA					
年次	*	ns	ns	**	**
密度	ns	ns	**	**	**
交互作用	ns	ns	ns	*	*

ns, **, *:5%水準で有意でない, 1%水準, 5%水準でそれぞれ有意。異なる英小文字は、Bonferroniの多重比較検定により5%水準の有意差を示す。



第4図 栽植密度が異なる条件で栽培した「タチマサリ」の葉面積指数、個体群生長速度、および純同化率の推移。
 § : 全ての試験区の間, ※ : 5.8株区と他の試験区の間, † : 11.6株区と他の試験区の間, ‡ : 5.8株区と11.6株区の間で、それぞれ5%水準の有意差を示す。

考 察

1. 気象条件の生育への影響

開花期の乾燥は、子房柄の発達を抑制し莢の減少を引き起こす原因となる(高橋・林 1958, 小野・尾崎 1974)。また、結莢期の低温や多雨は、莢の登熟を妨げる(小野ら 1974)とともに、そうか病などの病害を引き起こす原因となる(長井ら 1985)。2021年は、開花期に高温乾燥、結莢期に低温過湿と、2022年に比べてラッカセイの生育に好ましくない気象条件が入れ替わり生じた。その結果、2021年の子房柄数や総莢数、稔実莢数は、栽植密度によらず2022年よりも低い傾向を示し、子実収量についても2021年で低い値になったと考えられる。

第2表 葉面積指数(x)による個体群成長速度(y)の回帰式と最適葉面積指数。

作付年次	回帰式	決定係数	最適葉面積指数
2021年			
5.8株区	$y = -4.6x^2 + 18.3x - 2.4$	0.97**	2.0
8.7株区	$y = -6.2x^2 + 28.7x - 6.7$	0.82*	2.3
11.6株区	$y = -3.1x^2 + 18.0x - 5.6$	0.96**	2.9
2022年			
5.8株区	$y = -2.8x^2 + 13.0x - 4.1$	0.98**	2.3
8.7株区	$y = -2.8x^2 + 14.4x - 4.1$	0.86*	2.6
11.6株区	$y = -2.2x^2 + 11.7x - 9.6$	0.93**	2.7

** , * : 1%水準, 5%水準でそれぞれ有意。

第3表 栽植密度が異なる条件で栽培した「タチマサリ」の収量構成要素.

作付年次	稔実莢率 (%)	稔実莢数 (m ⁻²)				百粒重 (g)
		1粒莢	2粒莢	3粒莢	合計	
2021年						
5.8株区	61.3 ^b	85.8 (27.6) ¹⁾	223.9 ^c (71.9)	1.7 (0.6)	311.5 ^c	49.0
8.7株区	70.9 ^a	88.7 (22.6)	302.8 ^a (77.0)	1.7 (0.4)	393.2 ^a	51.0
11.6株区	71.2 ^a	85.8 (24.0)	269.1 ^b (75.3)	2.3 (0.6)	357.3 ^b	50.4
2022年						
5.8株区	59.9 ^b	152.0 ^b (39.5)	232.0 ^b (60.2)	1.2 (0.3)	385.1 ^c	48.9
8.7株区	74.3 ^a	132.2 ^c (24.2)	410.6 ^a (75.3)	2.6 (0.5)	545.5 ^b	55.6
11.6株区	71.3 ^a	174.0 ^a (28.7)	424.6 ^a (70.1)	7.0 (1.1)	605.5 ^a	52.0
2カ年平均						
5.8株区	60.6 ^b	145.0 ^a (38.7)	228.5 ^b (61.0)	1.2 (0.3)	374.7 ^b	48.9
8.7株区	72.6 ^a	110.5 ^b (23.3)	361.1 ^a (76.1)	2.6 (0.6)	474.2 ^a	53.3
11.6株区	71.3 ^a	129.9 ^b (27.0)	348.0 ^a (72.3)	3.5 (0.7)	481.4 ^a	51.2
ANOVA						
年次	ns	**	**	ns	**	ns
密度	**	**	**	ns	**	ns
交互作用	ns	**	ns	ns	**	ns

ns, **, *: 5%水準で有意でない, 1%水準, 5%水準でそれぞれ有意.

異なる英小文字は, Bonferroniの多重比較検定により5%水準の有意差を示す.

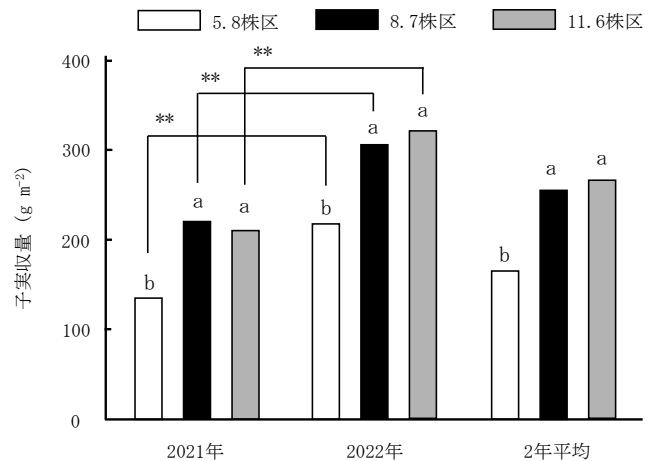
1) 括弧内は, 全莢に占めるそれぞれの莢の割合.

2. 栽植密度が生育に及ぼす影響

ラッカセイは無限伸育型の植物であり (前田 1993, 磯田・生井 2016), 生育上の障害がなければ生殖生長を開始した後も栄養生長を継続する. 作物の生長様式は栽植密度により影響を受け可塑的に変化するが, この傾向はラッカセイのような無限伸育型の作物においてより顕著とされる (Baez-Gonzalezら 2020, Ferreiraら 2020, Heliosら 2021).

本研究では, 栽植密度が高い試験区ほど株が小型であった. 十勝地方で「タチマサリ」を栽培した場合, 9月上旬以降は葉の脱落が始まる. 5.8株区では, 9月下旬の収穫まで茎葉部の重量が維持されており, 葉面積指数も著しくは低下しなかった. このことは, 5.8株区では葉を失いながらも収穫まで新たな茎や葉の生産を継続していることを意味する. 栽植密度が低い5.8株区では, 生育中・後期まで他の試験区よりも葉面積指数が低く, また最適葉面積指数に達しないため, 生長する空間に余裕がある. この条件により無限伸育型の特性が強く現れ, 収穫まで栄養生長が継続したと考えられる. これに対し, 8.7株区と11.6株区では, 生育後期に茎葉部の重量が減少し, 葉面積指数も急激に低下した. 8.7株区と11.6株区では, 葉を失う生育段階になると実質的に茎葉部の生産を行っていないことが分かる. 栽植密度が高い8.7株区と11.6株区では, 5.8株区に比べて早い生育ステージで最適葉面積指数に達し, 繁茂した茎葉が多く重なり合うようになったことで栄養生長が停止したと考えられる.

ダイズでは, 栽植密度を高めた場合に茎葉部が小型にな



第5図 栽植密度が異なる条件で栽培した「タチマサリ」の子実収量. 異なる英小文字は, Bonferroniの多重比較検定により, 年次内の処理間に5%水準の有意差を示す. **: 年次間の1%水準の有意差を示す.

り, それに伴って生殖部の重量も低くなる (中野ら 2001, 2004). 「タチマサリ」においても, 栽植密度が高い試験区ほど株当たりの子房柄や莢の数や重量が低くなった. 一方, 栽植密度を8.7株 m⁻²以上に高めることで稔実莢率が高くなった. 千葉県で栽培した場合, 「タチマサリ」では開花から莢の登熟まで50~60日を要する (竹内ら 1975, 工藤・小代 1988). つまり, 十勝で9月下旬に収穫することを前提にすると, 8月中旬以降に咲いた花は結実に至らない可

能性が高い。5.8株区では、生育後期まで茎葉部の生長が続き8月中旬以降も開花が継続したが、8.7株区と11.6株区では、茎葉部の生長が緩慢になるのに先立ち8月上旬以降は着蕾数が減少する傾向を示した(データ不掲載)。そのため、8.7株区と11.6株区では、5.8株区に比べて登熟に至らない未熟莢の発生が抑えられ、稔実率が低い値になったと考えられる。

3. 栽植密度が子実収量に及ぼす影響

栽植密度が低い条件では、1株が大きく育つものの面積当たりの株数が少ない。反対に、栽植密度が高い条件では、面積当たりの株数が多いものの株が小型になる。そのため、一般的な作物の栽培では、ある水準までは栽植密度を高めるほど収量が増加するが、それ以上の栽植密度になると収量が低下する(Donald 1963)。

本研究により、十勝地方で「タチマサリ」を栽培する際の栽植密度を、現行の条件に相当する5.8株 m^{-2} から8.7株 m^{-2} 、あるいは11.6株 m^{-2} に高めることで、効果的に子実収量を高められることが明らかになった。栽植密度を高めることで株当たりの生産量が低下するが、面積当たりの株数によりこれを補うことが可能であった。農林水産省(2023)の統計をもとに推計した直近10年間のラッカセイの子実収量は、全国平均でおよそ160g m^{-2} である(莢収量の値に莢に占める子実の重量歩合である0.6をかけることにより計算)。2021年の試験では、5.8株区の子実収量が132g m^{-2} と全国平均よりも低い値であった。しかしながら、栽植密度を8.7株 m^{-2} や11.6株 m^{-2} に高めるだけで、同じ圃場において全国平均を上回る子実収量を得ることができた。また、8.7株区や11.6株区では、5.8株区に比べて1粒莢の発生が少なかった。1粒莢は、外観から商業価値が低く、加工の際に規格外莢として取り除かれることが多い。栽植密度を8.7株 m^{-2} や11.6株 m^{-2} に高め、収穫物中の1粒莢を減少させることで、さらなる経済的な利便も期待することができる。

ラッカセイでは、ダイズなどに比べ葉の相互遮蔽が起りやすい(中沢・中山 1967)、密植を行った場合に葉面積指数は上昇するものの(Haroら 2022)、それに伴う純同化率の低下を生じやすい(小野 1982)。8.7株区と11.6株区では、子房柄や莢の増加が最も進む8月下旬から9月上旬にかけて、5.8株区よりも葉面積指数が高い傾向を示したが、それに伴う純同化率の低下は起こらなかった。栽植密度を高めたことで、どちらの試験区でも群落の受光量が増加し、光合成により莢を肥大させるための太陽エネルギーを効率的に獲得できるようになったと考えられる。また、密度が高い試験区ほど最適葉面積指数が高かったことから、本研究の密度設定の範囲内であれば密度を高めることで生長に有効となる葉面積の増加が行えると考えられる(Ito 1997)。本研究で設定した8.7株 m^{-2} 、あるいは11.6株 m^{-2} の密度は、十勝地方の「タチマサリ」栽培において

Donald (1963) が指摘する、「一定以上の栽植密度になると収量が低下する」という水準には達していないことが示唆される。

4. 十勝地方における適正な栽植密度

十勝地方のラッカセイ栽培では、栽植密度を都府県の慣行的な設定に従い5~6株 m^{-2} としている。しかしながら、栽植密度を現行よりも高い8.7株 m^{-2} 以上にすることで子実収量を大幅に改善することができた。本研究で設定した8.7株 m^{-2} と11.6株 m^{-2} の密度条件では、子実収量や稔実莢の構成に大きな差がなく、生産の面においてはどちらの条件でも期待される効果が同じである。一方で、栽植密度を11.6株 m^{-2} とした場合、現行の条件に比べ栽培に用いる種子を2倍多く必要とする。ラッカセイの栽培用種子は、生産の多くを千葉県などに依存しているため、北海道では取引価格が高く、播種量が多い場合には生産コストが高騰してしまう。また、マルチを用いた栽培を行うラッカセイでは、栽植密度が高い場合に土壌が過湿状態となりやすく、降雨の多い年には病害が発生する心配がある(野崎ら 1975)。本研究の栽培でも、栽植密度を11.6株 m^{-2} に高めた試験区では、他の試験区に比べ褐斑病や灰色カビ病、白絹病などに罹病する株が多く観察された。これらのことを踏まえると、本研究で設定した条件のうち、十勝地方で「タチマサリ」を栽培する際の適正な栽植密度は、8.7株 m^{-2} と考えられる。

謝辞：本研究にあたり、十勝グランナッツ合同会社、および十勝グランナッツ生産者有限責任事業組合の構成員諸氏から多大なご助言をいただいた。ここに厚く感謝の意を表します。

引用文献

- 秋本正博・中田翔子・熊田総佳・遠本秀久・小林規人・平等聡・田中一郎 2017. 十勝地方におけるラッカセイ (*Arachis hypogaea* L.) の適正栽培法の検討. 帯広畜産大学学術研究報告 38: 13-24.
- 秋本正博・佐藤憲・熊田総佳・遠本秀久・小林規人・平等聡・田中一郎 2018. 十勝地方におけるラッカセイ (*Arachis hypogaea* L.) の適正栽培法の検討 II. 十勝地方での栽培に適した品種の選択. 帯広畜産大学学術研究報告 39: 15-23.
- Baez-Gonzalez, A.D., Fajardo-Diaz, R., Padilla-Ramirez, J.S., Osuna-Ceja, E.S., Kiniry, J.R., Meki, M.N. and Acosta-Díaz, E. 2020. Yield performance and response to high plant densities of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars under semi-arid conditions. *Agronomy* 10: 1684.
- Donald, C. M. 1963. Competition among crop and pasture plants. *Adv. Agron.* 15: 1-118.
- Ebisawa, R., Tamura, T., Ozawa, M. and Mura, K. 2015. Comparison of the antioxidant activities between the proanthocyanidin of a different degree of polymerization from peanut skin. *Food Preservation Science* 41: 3-8.
- FAO 2023. FAOSTAT. Crops and livestock products. <https://www.fao.org/>

- faostat/en/#data/QCL (2023年1月31日閲覧).
- Ferreira, A.S., Zucareli, C., Werner, F., Fonseca, I.C.B. and Junior, A.A.B. 2020. Minimum optimal seeding rate for indeterminate soybean cultivars grown in the tropics. *Agron. J.* 112: 2092-2102.
- Fudano, T., Hayashii, T. and Yazawa, S. 2007. Effect of plant density and variety on allometry of inflorescence architecture in *Gypsophila paniculate* L. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 76: 327-332.
- Haro, R.J., Carrega, W.C. and Otegui, M.E. 2022. Row spacing and growth habit in peanut crops: Effects on seed yield determination across environments. *Field Crops Res.* 275: 108363.
- 長谷川理成・藤田紀子・石渡桂 1988. 千葉県の花花生採種栽培における作期と収量・品質との関係. *千葉原農研報* 10: 1-12.
- Helios, W., Jama-Rodzeńska, A., Serafin-Andrzejewska, M., Kotecki, A., Kozak M., Zarzycki, P. and Kuchar, L. 2021. Depth and sowing rate as factors affecting the development, plant density, height and yielding for two faba bean (*Vicia faba* L. var. *Minor*) cultivars. *Agriculture* 11: 820.
- 磯部勝孝・佐藤竜司・坂本成吾・新井達也・宮本美沙・肥後昌男・鳥越洋一 2015. 光エネルギー利用効率と物質生産および子実収量からみたキノア品種「NL-6」の最適栽植密度の検討. *日作紀* 84: 369-377.
- 磯田昭弘・生井幸子 2016. 近代育成ラッカセイ品種の開花結実習性と収量との関係. *食と緑の科学* 70: 9-14.
- Ito, D. 1997. A simulation approach for the determination of the optimum leaf area index in a mulberry population. *JARQ* 31: 265-270.
- 工藤康文・小代寛正 1988. 落花生品種ナカテユタカおよびタチマサリの収量性の比較について. *日作九支報* 55: 101-105.
- 前田和美 1993. 落花生の“Ideotype”の特性 - 多収化における亜種 *fastigiata* の寄与. *日作紀* 62: 211-221.
- 前田和美 2005. わが国の落花生は生き残れるか? *豆類時報* 41: 2-8.
- 長井雄治・深見正信・竹内妙子 1985. ラッカセイそうか病の発生生態と防除に関する研究 第1報. *千葉農試研報* 26: 101-111.
- 中野尚夫・河本恭一・石田喜久男 2001. ダイズにおける栽植様式が節位別分枝の発生と生育に及ぼす影響. *日作紀* 70: 40-46.
- 中野尚夫・平田清則・大西政夫 2004. ダイズの栽植密度による光受量の変化と生育・収量. *日作紀* 73: 175-180.
- 中沢秋雄・中山兼徳 1967. 関東地方における主要畑夏作物の晩播適応性に関する研究. *農事試研報* 10: 23-49.
- 農林水産省 2023. 令和4年産小豆, いんげん及びらっかせい(乾燥子実)の収穫量, 特定作物統計調査. https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokutei_sakumotu/attach/pdf/index-3.pdf (2023年2月28日閲覧).
- 野崎光夫・柳原元一・井上徹 1975. ラッカセイマルチ栽培における病害防除について. *東北農業研究* 16: 123-126.
- 野島直人 2012. 経済のグローバル化と落花生加工業の経営戦略 - 国産品加工・小売業のニッチ市場と生き残り戦略 -. *現代社会研究* 10: 11-24.
- 大垣佳寛・佐川巖 2003. 日本産ラッカセイの種子, 種皮およびラッカセイ加工品のリスベラトロール含有量. *食料工誌* 12: 570-573.
- 小野良孝・中山兼徳・窪田満 1974. 落花生の莢実の発育におよぼす結莢圃の土壤温度および土壤水分の影響. *日作紀* 43: 247-251.
- 小野良孝・尾崎薫 1974. 落花生の莢実の発育および収量におよぼす気温の影響. *日作紀* 43: 242-246.
- 小野良孝 1982. ラッカセイの登熟前期における純同化率に及ぼす葉面積指数, 比葉面積, 葉身窒素含量および莢実への乾物分配率の影響. *日作紀* 51: 287-292.
- Schindelin, J., Arganda-Carreeras, I., Frise, E., Kaynig, V., Longair, M., Pietzsch, T., Preibisch, S., Rueden, C., Saalfeld, S., Schmid, B., Tinevez, J.Y., White, D.J., Hartenstein, V., Eliceiri, K., Tomancak, P. and Cardona, A. 2012. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nat. Methods* 9: 676-682.
- Sheidow, N.W., Roy, R.C. and Van Hooren, D. L. 1993. Commercial peanut production in Ontario. Ontario Ministry of Agriculture and Food, Toronto.
- 島袋正樹・工藤政明・玉城光一・宮城幸照 1982. 沖縄におけるサトウキビの物質生産に関する研究 第3報 サトウキビの乾物生産と最適葉面積指数について. *熱帯農業* 26: 193-197.
- Steberl, K., Hartung, J., Munz, S. and Graeff-Hönniger, S. 2020. Effect of row spacing, sowing density, and harvest time on floret yield and yield components of two safflower cultivars grown in Southwestern Germany. *Agronomy* 10: 664.
- 高橋芳雄・林正衛 1958. 落花生の結莢部土壤水分が結実に及ぼす影響について. *千葉農試研報* 2: 74-79.
- 竹内重之・亀倉壽・齊藤省三・石井良助・石田康幸 1975. 落花生新品種「タチマサリ」について. *千葉農試研報* 16: 135-146.
- 谷口亜樹子 2014. 乾燥落花生の機能性と調理および加工食品の開発. *鎌倉女子大紀要* 21: 87-92.
- Yao, G. 2004. Peanut production and utilization in the People's Republic of China. Rhoades, R. E. eds., Peanut in Local and Global Food Systems Series Report No.4, University of Georgia, Atlanta. 11-15.

Study on the Optimal Planting Density for the Cultivation of Peanut in Tokachi Region

Sota SATO¹⁾, Shinji ISHIYAMA¹⁾, Ichiro TANAKA²⁾ and Masahiro AKIMOTO^{2,3)} (¹⁾*School of Agriculture and Animal Science, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine;* ²⁾*Tokachi Grandnuts LLC;* ³⁾*Department of Agro-Environmental Science, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro 080-8555, Japan*)

Abstract: In the Tokachi region, peanuts are customarily grown at a density of 5-6 plants m⁻². However the optimal planting density remains to be determined. This study examined the optimal planting density of peanut in the Tokachi region by comparing the growth and yield of the early variety ‘Tachimasari’ grown at the experimental field of Obihiro University in 2021 and 2022 at the planting densities of 5.8 plants m⁻² (5.8-plot), 8.7 plants m⁻² (8.7-plot), and 11.6 plants m⁻² (11.6-plot). Plants in the 5.8-plot grew larger and produced more fertile pods than those in the 8.7-plot and 11.6-plot. On the other hand, pod fertility was higher in the 8.7-plot and 11.6-plot than in the 5.8-plot, and the plants in the 5.8-plot produced many immature pods. Seed yield in the 8.7-plot and 11.6-plot was 254 g m⁻² and 264 g m⁻², respectively, which was significantly higher than the yield of 168 g m⁻² in the 5.8-plot. By growing peanut at a higher planting density than 5.8 plants m⁻², decline of the pod production by each plant could be compensated by the number of plants, resulting in a higher seed yield. Stands in the 11.6-plot appeared to overgrow and exhibited a higher leaf area index than those in the 8.7-plot. This resulted in an increase the incidence of diseases conspicuously in the 11.6-plot. It was concluded that 8.7 plants m⁻² was the optimal planting density for the peanut variety ‘Tachimasari’ in the Tokachi region.

Key words: Crop growth rate, Planting density, Yield, Net assimilation rate, Pod fertility, Leaf area index, Peanut.
