

(表紙)

学位論文
審査資料

連合農学研究科
生物生産科学専攻
臼木一英
(岩手大学所属)

タマネギ直播栽培におけるリン酸の施肥法改善と栽培管理が
生育関連形質および収量に及ぼす影響の解明

連合農学研究科
生物生産科学専攻
臼木一英
(岩手大学所属)

目次

緒言	1
第1章 火山性土におけるリン酸の施肥位置と施肥量が直播タマネギの生育に及ぼす影響と種子のリン酸溶液への浸漬ならびに過リン酸石灰との接触が発芽・出芽に及ぼす影響	14
第1節 火山性土におけるリン酸の施肥位置と施肥量が直播タマネギの生育に及ぼす影響	14
第1項 火山性土におけるリン酸の垂直方向への施肥位置と施肥量が直播タマネギの生育に及ぼす影響	14
第2項 火山性土におけるリン酸の水平方向への施肥位置と施肥量が直播タマネギの生育に及ぼす影響	29
第2節 タマネギ種子のリン酸溶液への浸漬ならびに過リン酸石灰との接触が発芽・出芽に及ぼす影響	37
第1項 タマネギ種子のリン酸溶液への浸漬が発芽・出芽に及ぼす影響	37
第2項 タマネギ種子のリン酸溶液への浸漬ならびに過リン酸石灰との接触が発芽・出芽に及ぼす影響	47
第3節 本章の総合考察	51

第 2 章	黒ボク土圃場のタマネギ (<i>Allium cepa</i> L.) 直播栽培 における種子直下のリン酸局所施用がリン酸吸収および初 期生育・収量に及ぼす影響	55
第 1 節	黒ボク土圃場のタマネギ (<i>Allium cepa</i> L.) 直 播栽培における種子直下のリン酸局所施用がリン酸 吸収および初期生育・収量に及ぼす影響	55
第 2 節	リン酸肥沃度を異にする火山性土圃場のタマ ネギ直播栽培におけるリン酸直下施用が初期生育・ 収量に及ぼす影響	71
第 3 節	火山灰土壌での「播種条下局所施用」によるタ マネギ直播栽培におけるリン酸肥料減肥法	84
第 4 節	本章の総合考察	91
第 3 章	直播栽培における日平均気温と展葉数との関 係説明およびリン酸の直下施肥が展開葉数に及ぼす 影響	93
第 1 節	直播栽培における日平均気温と展葉数との関 係説明	93
第 2 節	リン酸の直下施肥が展開葉数およびりん茎重 に及ぼす影響	112
第 3 節	本章の総合考察	120
第 4 章	リン酸直下施肥と組合せた窒素・カリウム肥 料の施用時期が春播き直播タマネギの生育・収量に 及ぼす影響と窒素・リン酸・カリウム肥料の直下施肥	

が春播き直播タマネギの生育・収量に及ぼす影響	122
第1節 リン酸直下施肥と組合せた窒素・カリウム肥料の施用時期が春播き直播タマネギの生育・収量に及ぼす影響	122
第2節 窒素・リン酸・カリウム肥料の直下施肥と中耕時の追肥との組み合わせた栽培管理が春播き直播タマネギの生育・収量に及ぼす影響	142
第3節 本章の総合考察	164
第5章 総括	166
摘要	174
謝辞	179
引用文献	180
Summary	194

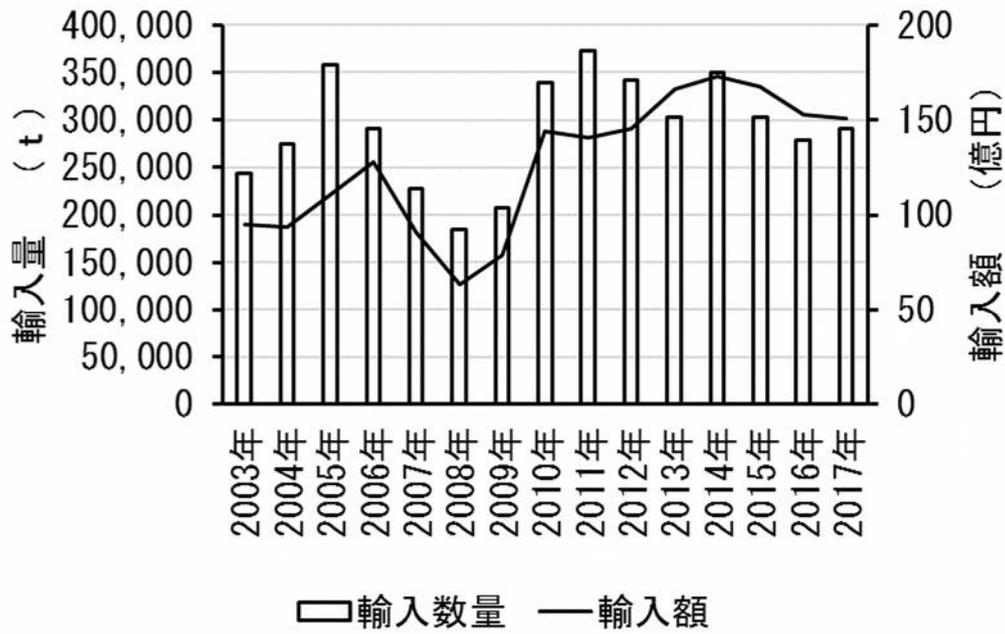
緒言

タマネギ (*Allium cepa* L.) は、ヒガンバナ科ネギ亜科ネギ属の単子葉植物である。原産は中央アジアの山岳地帯とされるが、野生種は発見されていない(執行, 2007)。栽培の歴史は古く、4700年以上前に始まったとされる(Brewster, 2008)。食用としての日本への栽培種の導入は、1870年代始めとされる。現在でも台所の常備野菜として汎用的に利用される。また、ソース等の原材料としての加工用や外食・中食において業務用の食材としても需要が高い。近年、食の簡便化・外部化の進展に伴って野菜の需要は、家計消費が減少する一方で、業務・加工用需要が年々増加し、2010年には野菜消費量全体の56%を占めるに至った(小林, 2012)。

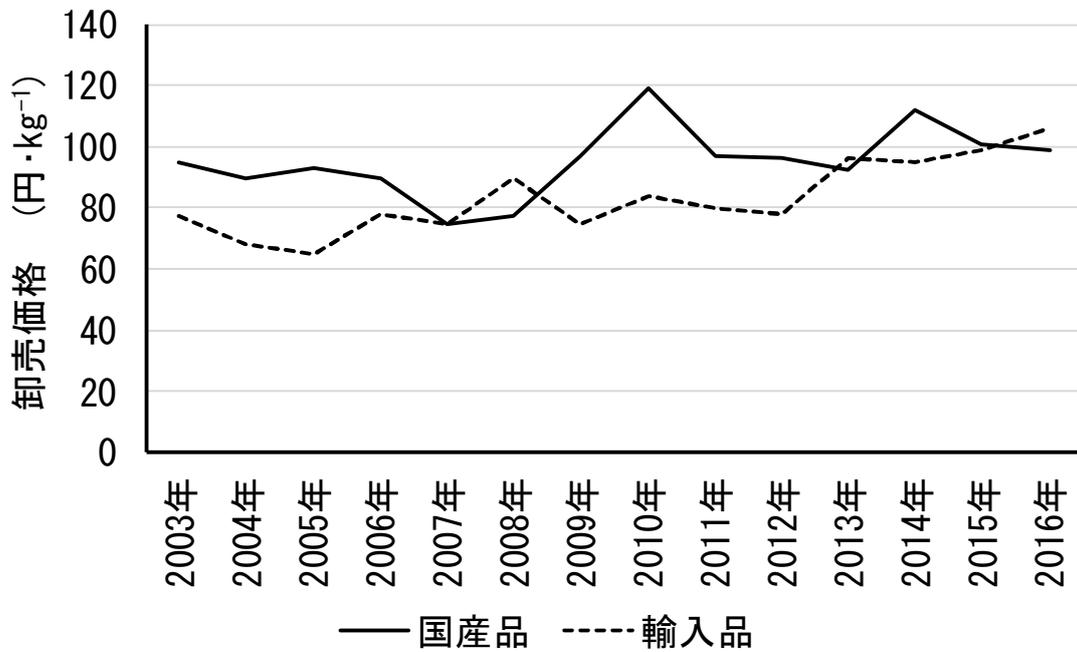
国内におけるタマネギ生産は、用途に応じて生食用や業務・加工用として栽培される。日本国内では規格内歩留まりが重視され、特に業務・加工向けでは加工適性からL大ないし2L以上の大玉が好まれる(藤島・小林, 2008)。一方、欧州では、酢漬け用、加熱調理用、市場向け及び食品製造での使用は、栽培した同じ品種から、それぞれ大、小、中、および規格外として規格を仕分け

て利用する (Brewster, 2008). このため, 欧州の生産者は栽植密度を変化させることによって大まかにりん茎の大きさを制御し, 規格分けした後に, これらの出荷形態のいずれかに供給することが可能である. このように日本と欧米では流通体系が大きく異なり, 求められている生産のための技術体系も国内ニーズに合わせたもので無ければならない. なお, 国内において 1960年代に移植栽培が普及するまでは直播するのが一般的であったが, 直播栽培に関する報告は, 北海道や本州の高冷地, 神奈川県および佐賀県において見られるにとどまる (岩間・濱島, 1951; 工藤, 1996; 中山ら, 2001, 2002; 白井ら, 2013; 末貞ら, 2017). 現在の日本においては, 規格内歩留まりを確保するために, 収量や規格サイズが安定しやすい移植栽培が普及し, 省力化のために機械化が図られてきた. しかし, 室 (2012) は, 上記のような背景の中でも新たにタマネギ栽培に取り組む際の導入コストが移植栽培よりも低く, また, 既存産地においても低コスト化を図ることができる直播栽培を行う意義は大きいとする. 特に, 国産品の業務・加工用の需要では, 「周年的な安定供給, 安定価格, 高品質」が求められている (入江, 2011). このような背景

の中で，農林水産省（2017）によれば，2010年以降のタマネギの輸入量は27万t以上，輸入額は140億円以上で推移している（第0-1図）。また，財務省貿易統計（財務省，2017）では，国産品と輸入品の卸売価格は，年内変動があるが，年平均では拮抗するようになりつつある（第0-2図）。国内外の状況が変化しつつある現在においても，業務・加工用の国内ニーズおよび日本の土壌や気象条件に合わせた直播栽培の技術体系は，まだ確立されていない。直播栽培と移植栽培との作業体系の違いは，圃場の準備である耕起作業から播種，その後の初期生育の確保までである。直播栽培においては育苗に関わる資材が不要となることで低コスト化が図られているが，これに加えて耕起と播種作業を同時に行うことでさらに省力化が可能となる。また，タマネギ栽培の耕起と播種作業を同時に行うことで作業時間の短縮が図られ，他作物の播種や収穫作業との競合が回避できる。寒地においては気温の上昇に伴い各種作物の作業が同時に始まるので春作業の競合を避けるためには作業工程の簡略化が重要となる。一方，暖地・温暖地においては水稻の収穫時期を避けて播種することが必要である（村上，2018）。



第0-1図 タマネギの輸入量および輸入額の推移



第0-2図 タマネギの国産品および輸入品の卸売価格の推移

タマネギは、最大収率を達成するために非常に肥沃な土壌を必要とし、窒素、リン酸、カリウムに感受性が高い作物と見なされている (Greenwood ら, 1980a, 1980b, 1980c). 特にタマネギは、*Alliums* 属の特徴である低根密度と根毛の欠如のために、播種時に根表面への十分な速度での養分供給を必要とし、土壌溶液中のリン酸およびカリウムは高い濃度が求められる。なお、タマネギの発芽直後における養分吸収量は、その後の生育期間のほぼ倍であることが明らかにされている (Brewster ら, 1975). したがって、幼植物の生育速度を最大にする栄養要件を満たすために、出芽後には土壌溶液の高い濃度を必要とされるが、初期生育以降の吸収は、より低い濃度でも維持できることを意味している。タマネギの高い土壌肥沃度の必要性は、おそらく発芽直後の短期間が養分吸収に重要な生育ステージであることを大きく反映している (Brewster, 2008). この生育初期の栄養素の不足によって生育が制限されたタマネギは、収穫まで制限がなかった作物よりも低収となる可能性が高い (Costigan ら, 1983). しかし、我が国には火山噴出物を母材もしくは母材の一部とする土壌(火山性土)が、国土の約 1/5 を占める面積で分布

している（川口，1977）．火山性土では施肥リン酸が速やかに固定されてしまうことから，リン吸収が農業生産上の制約になることがある（Dahlgrenら，2004）．特に日本の代表的な畑土壌である黒ボク土は火山性土であり，施用されたリン酸肥料は非結晶のアルミニウムなどに固定され作物への可給性が著しく低下することが知られている．このような理由から日本の野菜栽培におけるリン酸などの局所施肥技術について，全層施肥に比べ肥料効率が良く，施肥量の削減が可能となり，土壌への負荷軽減や省力化，コスト低減が図られることが指摘されている（高橋，2001）．主な局所施肥のタイプは，条施肥・溝施肥のように作物の根に近い部分へ肥料を条もしくは溝に施肥する方法や深層施肥のように追肥の代替を目的とした作土の深い位置に施肥する方法などがあげられる．なお，施肥リン酸が速やかに固定されてしまう場合，最も効果的なリン酸施肥は，作物の根の位置と施肥位置を一致させ，根と肥料が接触する確率を高めることが重要である（Sleightら，1984）．タマネギ栽培では土壌100g当たり有効態リン酸60～80mgが適正とされ（北海道立総合研究機構農業研究本部，2015），110mg程度までは多いほど収量が増加傾

向にあることが報告されている（大西・田中，2012）。しかしながら，日本における火山性土でのタマネギの直播栽培について，リン酸肥料の施肥位置や施肥量と生育との関係を調査した報告はなく，未だ不明な点が多く残されている。

作物のリン酸肥料の要求性は根系発達が未熟な生育初期に特に大きく，リン酸肥料を種子と同一の場所に施肥する肌肥施肥や接触施肥は，根系の未発達な幼植物への養分供給に有効である（Millerら，1971；鈴木ら，1966）。一方，小麦では窒素，リン酸，カリウムの三要素を接触させても発芽障害が見られないが，デントコーンでは土壌の電気伝導率（EC値）を高め易い硫酸を接触させると出芽率が低下することがある（伊藤ら，2000；鈴木ら，1966）。タマネギにおいては，種子の水平方向3 cm側方かつ垂直方向0から6 cm下方にリン酸アンモニウム溶液を注入することで，窒素肥効率が改善することが報告されている（Stone，2000b）。しかし，デントコーンと同様にタマネギでも肥料との接触は，出芽率を低下させる可能性が考えられる。小野寺ら（2014）は，タマネギの育苗培土内にリン酸施肥を行う際，過リン酸石灰添加後のEC値が $0.27 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ を超

えると発芽障害が発生することを報告している。そのため、局所施肥を行う場合には、発芽や出芽に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

リン酸以外の重要な肥料成分として窒素が挙げられるが、タマネギは効率的な方法で満たすことが最も困難な作物の一つである。一般的に、窒素施用量の増加に伴って増収する範囲は $0 \sim 15 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ であって、その後には、横ばいとなる (Brewster, 2008)。同様に寒地における標準的な基肥の窒素量は、 $0 \sim 15 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ で十分であるとされている (西田ら, 2005)。また、ドイツやスウェーデン南部では、タマネギの生育期における土壌の表層 30 cm の無機窒素含量の目標値は、収量が $6 \text{ t} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ の場合、窒素吸収量が $12 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ となるように設定されている (Stone, 2000b, Gertsson and Bjorklund, 2002)。しかし、問題を複雑にしているのは、特にタマネギが出芽時の土壌塩分に対して最も敏感な作物の一つであること (Allen ら, 1998, Brewster, 2008)、ならびに苗立ち率の減少程度は土壌中の硝酸濃度に関連しているため、最終的な最大収量を達成するのに十分な量の基肥施用を行うことで苗立ち率と初期生育が影響を受ける可能性があることである (Brewster

， 2008)。そのために，播種時の局所施肥は，効果的であるが，過剰な施肥による土壌 EC の上昇は避けられるべきである。窒素は，リン酸とは異なり，土壌の EC を高めやすいと考えられることから直下施肥を行う場合には，十分な検討を要する。移植栽培において岩田ら（1959）は，秋播き作型において葉部生育の盛んになる3月中下旬から生育の完了する5月中下旬にかけて最も窒素を必要とし，5月下旬以後および冬期間は上述の期間ほどには窒素を必要としないことを示唆した。また，中山ら（2002）は，秋播き直播栽培において，堆肥を $5 \text{ t} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 施用すれば基肥の効果は判然とせず，2月から4月にかけて土壌中無機態窒素を高めることができる1月と2月の追肥と同等の効果があるとした。Stone（2000a）は，種子下 25 mm の位置へリン酸アンモニウム溶液をスターター肥料として注入する方法を使ったときの最高収量（ $59 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ）は， $85 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ の窒素施肥で達成され，全層施肥した窒素施肥 $130 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ に匹敵することを明らかにした。さらに Stone（1998）は，リン酸アンモニウムを加えたリン酸カリウムの溶液をスターター肥料として畦長 1 m あたり，窒素，リン酸およびカリウムの 375，980，920 mg（それぞれ 10，27 お

よび $25 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 相当) を種子下 25 mm に灌注することで、土壌のリン酸やカリウムの肥沃度に関わりなく収量が安定することを示した。省力化と他作物との作業競合の回避には、施肥と播種、あるいは耕起、施肥、播種の同時作業が有効である。現在、平畝において直下施肥を行うための施肥爪が市販化されて播種と同時に施肥が可能となり、省力化と他作物との作業競合の回避ができる。リン酸のみならず窒素とカリウムを含めた施肥と播種を同時に行うことで省力化が図られる。我が国においても、国内ニーズに適したサイズの生産を目的として、新しい局所施肥技術の開発が急務であると考えられる。

これまでに、局所施肥技術は、全層施肥に比べ肥料効率が良く、施肥量の削減が可能となり、土壌への負荷軽減や省力化、コスト低減を図られることがわかっている(高橋, 2001)。そこで第1章では、第1節において過リン酸石灰を用いて種子から施肥位置までの垂直方向(第1項)および水平方向(第2項)への距離および局所施肥した施肥量(第1項)が直播タマネギの出芽や生育に及ぼす影響について検討を行った。また、同時に局所施肥では発芽や出芽に影響を及ぼす可能性が

あることから，局所施肥が土壌の EC 値に及ぼす影響について明らかにした（第 1 項）．第 2 節では，肥料から溶出されるリン酸溶液が種子に吸収されることを想定して，リン酸溶液濃度と発芽や出芽，根の伸長へ及ぼす影響を明らかにした．

第 2 章では，圃場における局所施肥の影響を明らかにする目的で，第 1 節において播種条の下方に局所施肥を行う直下施肥（以下，直下施肥と記載）について検討した．また，北海道十勝管内の畑地土壌における有効態リン酸含量は，増加傾向にあり，火山性土の 1 つである黒ボク土でも畑作の土壌診断基準値の上限値である $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 乾土に達する（岡崎，2011）．タマネギの移植栽培の場合には，有効態リン酸が $600 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 乾土程度は必要で $1100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 乾土程度までは有効態リン酸が多いほど収量が増加傾向にあることが知られている（大西・田中，2012）．十勝管内の畑地土壌における有効態リン酸含量は，上記のタマネギの栽培に必要な水準よりも低く，直播栽培においても生育量を確保しつつ土壌への負荷軽減や省コスト化を図る施肥方法の開発が必要である．そこで，第 2 節では異なるリン酸肥沃度の土壌での直下施肥の影響を調査した．第 3 節

では，第 1 章から第 2 章第 2 節までの結果を受けてリン酸減肥の可能性について検討した．

Brewster (2008) は，基準温度 3.5～23.0℃，Lancaster ら (1996) は 5.0℃ 以上の有効積算気温に伴って展葉することを報告している．そこで，第 3 章第 1 節では直下施肥が基準温度を設定した積算気温と展葉との関係に及ぼす影響について検討した．さらに，第 3 章第 2 節では直下施肥により生じた葉数に及ぼす影響の継続性について解析した．

第 4 章では，第 1 節においてリン酸の直下施肥と組み合わせた窒素とカリウム肥料の施肥法が生育および収量へ及ぼす影響について，第 2 節ではリン酸減肥の条件下で，窒素，リン酸，カリウム肥料の直下施肥が直播タマネギの生育および収量へ及ぼす影響について検討した．

最後に，これらの研究を総括し，栽培生理学的見地からそれら窒素，リン酸，カリウムの施用条件の違いが収量へ及ぼす影響を総合的に考察することで，直播したタマネギの収量の安定化を図る実用的な施肥管理法を知ろうとした．

なお，本論文中の主要な実験は，農研機構北海道農研

センター芽室研究拠点および十勝地域の農家圃場において行ったものである。

第 1 章 火山性土におけるリン酸の施肥位置と施肥量が直播
タマネギの生育に及ぼす影響と種子のリン酸溶液への浸漬なら
びに過リン酸石灰との接触が発芽・出芽に及ぼす影響

第 1 節 火山性土におけるリン酸の施肥位置と施肥量
が直播タマネギの生育に及ぼす影響

第 1 項 火山性土におけるリン酸の垂直方向への施肥
位置と施肥量が直播タマネギの生育に及ぼす影響

材料および方法

1. 供試土壌および供試品種，栽培方法

国立研究開発法人農研機構北海道農業研究センター
芽室研究拠点のタマネギ栽培の履歴がないほ場から採
取した火山性土を $1 \cdot 10000 \text{ a}^{-1}$ ワグネルポットに充填
して実験に供した。実験 1 と実験 2 は 5 反復，また，
実験 3 は 4 反復で実施した。用いた土壌の化学性を第
1-1 表に示した。なお，土壌の仮比重は 0.72 であった。
タマネギの品種は‘北もみじ 2000’（（株）七宝）の
コート種子を供試した。第 1 項実験 1，実験 2 では， 1
 $\cdot 10000 \text{ a}^{-1}$ ワグネルポット当たり 5 粒を播種，実験 3

第1-1表 供試した土壌の養分特性

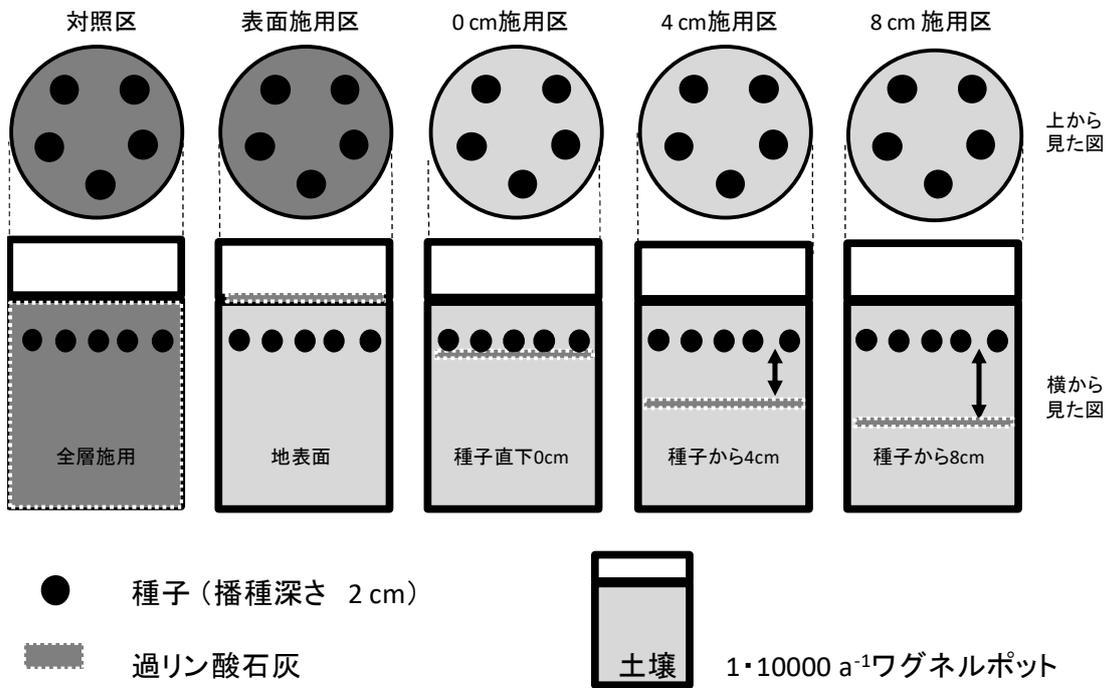
pH	全窒素 (%)	硝酸態窒素 (mg・100g ⁻¹)	アンモニア態窒素 (mg・100g ⁻¹)	有効態りん酸 (mg・100g ⁻¹)	交換性カリウム (mg・100g ⁻¹)	交換性苦土 (mg・100g ⁻¹)	交換性石灰 (mg・100g ⁻¹)	塩基飽和度 (%)	りん酸吸収係数	CEC (me・100g ⁻¹)
5.8	0.4	15.9	0.6	24.9	55.4	44.1	301.4	51.9	1421	27.2

施肥前に表層から15 cmの深さまで土壌を検土杖によってサンプリングした pH (H2O) はガラス電極法 (北海道立総合研究機構, 2012) により求めた。全窒素は乾式燃焼法 (日高, 1997), 硝酸態窒素およびアンモニア態窒素はハーパー法 (日高, 1997) により試料液を得た後に硫酸ヒドロジウム還元法 (日本工業規格, 2016) を用いて定量した。有効態りん酸はトルオグ法 (北海道立総合研究機構, 2012), リン酸吸収係数はSPAD簡便法 (北海道立総合研究機構, 2012) により測定した。交換性カリウムはシヨレーンベルガー法 (北海道立総合研究機構, 2012) により求めた。

では 30 粒を播種した。また，第 1 項実験 3 では 50 ml 容スクリー管瓶にも同土壌を充填して使用した。なお，播種深度は，2 cm とした。実験 1，実験 2 および実験 3 は，15℃ 暗所 8 時間 20℃ 明所 16 時間，湿度は成り行きとした人工気象室（LPH-1HMP-2，日本医化器械製作所（株））内で行い，毎日，土壌含水比が 50% となるように $1 \cdot 10000 \text{ a}^{-1}$ ワグネルポット上部から蒸留水を灌水した。なお，試験は 2011 年に実施した。

2. 過リン酸石灰の施用位置の検討（実験 1）

肥料はすべて基肥のみとし，リン酸は，過リン酸石灰（くみあい 17.5 粒状過リン酸石灰，くみあい肥料（株）：以下，過リン酸石灰）を $1 \cdot 10000 \text{ a}^{-1}$ ワグネルポット当たり 1.8 g（ P_2O_5 として北海道施肥ガイド 2010 に基づいた標準施用量の $30 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 相当）を施用した（北海道農政部，2015）。処理区は地表面に施用する表面施用区，種子の直下 0 cm に施用する 0 cm 施用区，種子から 4 cm 下に施用する 4 cm 施用区，種子から 8 cm 下に施用する 8 cm 施用区の 4 処理区を設けた（第 1-1 図）。窒素およびカリウムは，化成肥料（くみあい BBNK 肥料尿素入り，くみあい肥料（株）：以下，BBNK）を N および K_2O として $1 \cdot 10000 \text{ a}^{-1}$ ワグネルポット



第1-1図 試験1における過リン酸石灰の施肥位置の模式図

当たり $15 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ となるように全層施用した。なお、対照区は、同量の過リン酸石灰および BBNK を全層施用した。播種後 47 日目に草丈、展開した葉数および根部を切断した莖盤基部以上を地上部として乾物重を測定した。なお、葉数については子葉を除き、最初の本葉を第 1 葉としてそれ以降を第 n 葉とした。

3. 過リン酸石灰の施用量の検討（実験 2）

第 1 項実験 1 と同様、肥料はすべて基肥のみとし、リン酸は、過リン酸石灰を $1 \cdot 10000 \text{ a}^{-1}$ フグネルポット当たり 0.9 g 施用（ P_2O_5 として $15 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ ）する 15 kg 施用区、1.8 g 施用（同 $30 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ ）する 30 kg 施用区、2.7 g 施用（同 $45 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ ）する 45 kg 施用区ならびに無施用区の 4 処理区を設け、種子の直下 0 cm に施用した。窒素およびカリウムは、実験 1 と同様に全層施用した。なお、対照区は、30 kg 施用区と同量の過リン酸石灰ならびに BBNK を全層施用した。播種後 47 日目に草丈、展開した葉数および根部を切断した莖盤基部以上を地上部として乾物重を測定した。なお、葉数の計測については子葉を除き、最初の本葉を第 1 葉とした。

4. 種子直下への過リン酸石灰施用が出芽に及ぼす影響（実験3）

第1項実験1と同様，肥料は基肥のみとし，リン酸は，過リン酸石灰を $1 \cdot 10000 \text{ a}^{-1}$ ワグネルポット当たり 0.9 g 施用（ P_2O_5 として $15 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ ）とする 15 kg 施用区， 1.8 g 施用（同 $30 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ ）とする 30 kg 施用区， 2.7 g 施用（同 $45 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ ）とする 45 kg 施用区ならびに無施用区の4処理区を設け，種子の直下 0 cm に施用した．窒素およびカリウムは，無施用とした．播種後14日目の出芽数を数えた．また， 50 ml 容スクリュー管瓶に土壤を充填し，乾土 5 g に対して過リン酸石灰 0.060 g ， 0.119 g および 0.179 g を添加した直後に土壤のEC値を測定した．過リン酸石灰の添加量については，ほ場において局所施肥することを想定して土壤量と施肥量との関係を算出した．本実験に供試した仮比重 0.72 の土壤における深さ 1 cm かつ面積 10 a の 10 m^3 の土の質量は 7200 kg となる．この土にリン酸 $15 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ の過リン酸石灰を施用すると 85.71 kg を必要とし，土 5 g 当たり 0.060 g の過リン酸石灰に相当する．同様にリン酸 $30 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ および $45 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ の場合には， 0.119 g および 0.179 g の過リン酸石灰

に相当する。なお，充填した土壌および過リン酸石灰を添加した土壌の EC の測定は藤沼ら（1970）の方法に従い，EC メーター（CM-30R，東亜ディーケーケー（株））によって計測した。

5. 統計処理

得られたデータは，Tukey の多重比較検定ならびに分散分析を利用し，その有意性を検定した。なお，第 1 章および第 2 章ではエクセル統計 2012 for Windows（R）（社会情報サービス（株）），第 3 章ではエクセル統計 2015 for Windows（R）（（株）社会情報サービス），第 4 章ではデータはエクセル統計 2016 for Windows（R）（（株）社会情報サービス）を使用した。具体的な統計解析の手法はその都度，記載した。

結果および考察

第 1 項実験 1 において過リン酸石灰の施肥位置を検討した結果，草丈は，リン酸成分を全層で施用した対照区との間に表面施用区および 8 cm 施用区では有意差が認められなかったが，0 cm 施用区および 4 cm 施用区では有意に高くなった（第 1-2 表）。葉数は，施肥位置が種子に近づくにつれて対照と比べて有意に多くなり，0

cm 施用区では 1.4 枚多くなった。乾物重は葉数と同様に施肥位置が種子に近づくとつれて大きくなり、0 cm 施用区では対照区と比べて有意に大きくなった。

過リン酸石灰の施用量を検討した第 1 項実験 2 では草丈、葉数および乾物重ともリン酸成分を全層で施用した対照区と比較して無施用区や 15 kg 施用区でも有意差は認められなかった（第 1-3 表）。しかし、30 kg 施用区および 45 kg 施用区では対照区に比較して有意に増加した。リン酸は拡散係数も小さいので土壤溶液中の濃度にリン吸収が影響されやすい（栗原，1984）。本実験では供した土壤の有効態リン酸が $24.9 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ であり、発芽直後の土壤溶液中のリン濃度は、タマネギの適正範囲よりも低かった可能性が高く、種子の直下にリン酸を施肥することによって発芽直後から生育に必要なリンを効率よく吸収できたことが生育促進の要因であると考えられた。さらに、施用量に応じて乾物重が増加していたことからリン酸施用が生育を促進した要因であることを示している。第 1 項実験 2 において、30 kg 施用区と 45 kg 施用区の間には有意な差が認められなかった。キャベツおよびトウモロコシ苗の移植直前にリン酸を与えることで定植後の光合成お

第1-2表 過リン酸石灰の施肥位置がタマネギの生育に及ぼす影響

	草丈 (cm)		葉数 ^z (枚)		乾物重 (g/株)	
対照 (全層) 区	20.0 ±2.0 ^y		2.20 ±0.22		0.126 ±0.028	
表面施用区 ^x	18.1 ±0.6		1.98 ±0.10		0.090 ±0.008	
0 cm施用区	29.6 ±0.8	*** ^w	3.60 ±0.13	***	0.469 ±0.095	***
4 cm施用区	26.8 ±1.2	***	3.04 ±0.11	***	0.305 ±0.051	*
8 cm施用区	20.9 ±0.3		2.54 ±0.07		0.175 ±0.036	

z子葉を除き最初の本葉を第1葉とした

y平均値±標準偏差を示す

x表面施用：ポット土壌表面，0 から8 cm施用区：種子からの垂直距離を表す

w *, ***, は, Dunnettの多重検定により対照区との間に5%もしくは0.1%水準で有意差があることを示す

なお, 種子はポット表面から2 cm深に播種した

第1-3表 種子直下へ施用した過リン酸石灰の量がタマネギの生育に及ぼす影響

	草丈 (cm)		葉数 ^z (枚)		乾物重 (g/株)	
対照 (全層) 区	16.3 ±0.5 ^y		2.47 ±0.19		0.089 ±0.011	
無施用区	13.5 ±0.3		1.82 ±0.13	* ^x	0.036 ±0.003	
15 kg 施用区	17.5 ±0.8		2.44 ±0.16		0.098 ±0.011	
30 kg 施用区	22.2 ±1.5	***	3.27 ±0.19	**	0.195 ±0.035	**
45 kg 施用区	21.7 ±1.0	***	3.24 ±0.20	*	0.196 ±0.034	**

z子葉を除き最初の本葉を第1葉とした

y平均値±標準偏差を示す

x *, **, ***は, Dunnettの多重検定により対照区との間に5%, 1%もしくは0.1%水準で有意差があることを示す

よび根の生理活性が高まり、初期生育は促進される（渡邊ら，1997；Watanabeら，2005；渡邊ら，2011）。これらの例と同様に，ポット実験では種子の下方0 cmから4 cmまでの距離に位置する場所へリン酸を30もしくは45 kg・10 a⁻¹を施用することで，播種後50日目頃の初期生育を促進することが本実験の結果から明らかになった。過リン酸石灰の施肥位置が生育に及ぼす影響は，種子からの距離が近くなるにつれて肥効が大きくなることが示唆された。一般には施用リン酸のうち作物の利用率は10～20%程度にとどまっている（藤原，1985）。また，タマネギではリンが欠乏すると生育が著しく抑制され（執行，2007），リン酸肥沃度の低い土壌では，生育，球肥大が不良となり，著しく収量が低下する（相馬ら，1983）。第1節第1項において，0 cm施用区および4 cm施用区では生育が全層施肥である対照区に優れたことから種子直下への過リン酸石灰施用の局所施用は，発芽直後からリンを効率よく吸収利用できたと考えられた。Millerら（1971）は，トウモロコシを用いて固形肥料の側条施肥と液肥の種子直下への施肥を比較して初期生育とリン吸収が種子直下への施用で高まっていたことを報告している。また，鈴木ら（1966

)は、火山性土における施肥位置が小麦の生育および収量に及ぼす影響を調査し、三要素のなかで吸収経過に最も大きい差が認められるのはリンであり、種子に近い位置に施肥した場合には最大の茎数に達する時期が早まったことを報告している。これらの作物では種子の近傍へのリン酸施用が生育初期におけるリンの吸収やそれに伴う生育促進を助長していると考えられ、トウモロコシや小麦と同様に株の直下へのリン酸施用は、直播タマネギの生育を向上させる可能性がある。

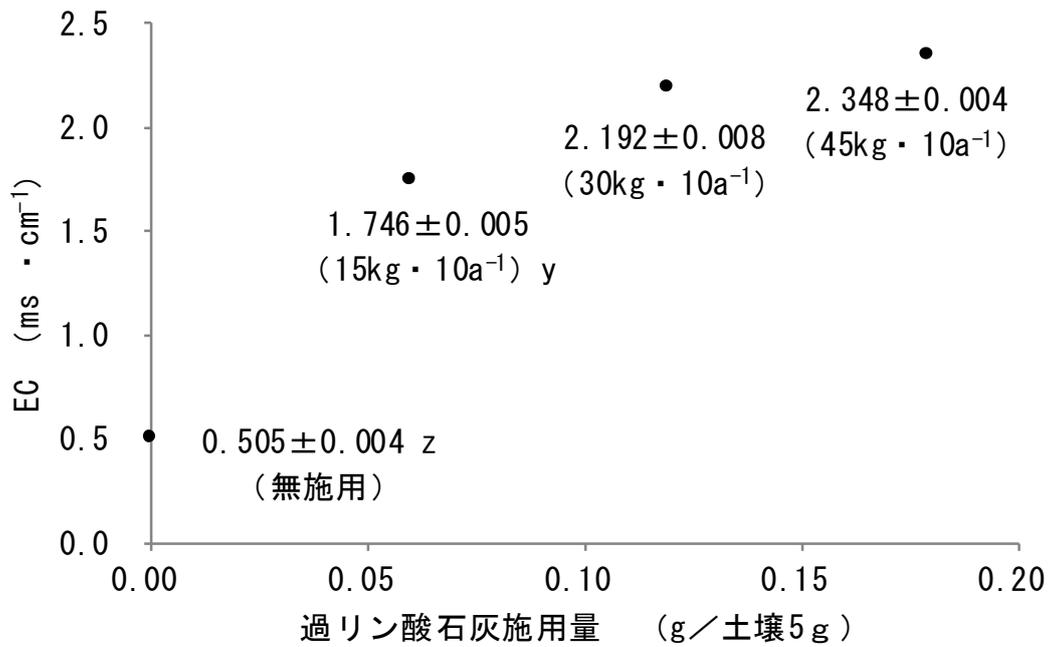
第1項実験3では、施肥に伴う土壌ECの上昇が出芽に及ぼす影響を検討した。種子直下0cmの位置に過リン酸石灰を施用したとき、施用量に関わらず出芽率は97.50～99.17%であり、有意差は認められなかった。なお、過リン酸石灰無施用とした直下無施用区では出芽率98.61%であった(第1-4表)。また、ほ場において局所施肥をすることを想定して過リン酸石灰を添加したとき、土壌のECは過リン酸石灰の施用量が多くなるにつれて高まり、土壌5gに対して過リン酸石灰0.060gを加えた場合には $1.746 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 、0.119gでは $2.192 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 、0.179gでは $2.348 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ であった(第1-2図)。

第1-4表 種子直下へ施用した過リン酸石灰がタマネギの出芽に及ぼす影響

	出芽率 (%)
無施用区	98.61 ±0.64 ^z
15 kg 施用区	99.17 ±0.83
30 kg 施用区	97.50 ±0.83
45 kg 施用区	98.33 ±1.67
分散分析 ^y	n.s.

z平均値±標準偏差を示す

y分散分析によりn. s. は有意性なしを示す



第1-2図 供した土壤における過リン酸石灰の施用量と土壤ECとの関係

z 平均値±標準誤差

y10a 当たりに換算したリン酸施用量

土壌 EC は測定が容易であり，また，溶存イオンの総濃度を反映すること，作物の吸水に影響する浸透圧とほぼ比例すること（寺沢，1981）から施肥が作物へ及ぼす影響程度の指標としてよく用いられている．局所施肥とは異なるが，一般的に葉菜類栽培土壌の適正な土壌 EC として火山性土の場合には作付け時の CEC が 30 me 以上の場合には $0.2 \sim 0.7 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ ，CEC が 30 me 以下の場合には $0.2 \sim 0.6 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ と考えられている（草野，1982）．また，北海道施肥ガイド 2015（北海道立総合研究機構農業研究本部，2015）によれば $0.6 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 以下をタマネギ栽培における土壌 EC の適正值としている．本実験では，スクリュウ管瓶に充填した土壌 CEC が 27.2，EC が $0.50 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ であり，施肥前の土壌は適正な値の範囲に収まっていた．しかし，第 1-2 図に示したように過リン酸石灰の施用量が多くなるにつれ土壌 EC は高まった．この P_2O_5 で $15 \sim 45 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 相当である過リン酸石灰の施用量ではすべて CEC が 30 me 以下の場合における EC 値 $0.2 \sim 0.6 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ の適正な値の範囲を上回った．肥料塩類による作物への影響は，多肥化の傾向が強まるにつれて発芽障害や初期生育の障害が指摘されている（水落，1985）．種子直下へ

過リン酸石灰を施肥した場合の EC が $1.746 \sim 2.348 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ は、生育抑制や障害発生が懸念される値であるが、EC の測定が過リン酸石灰の混和直後であったのに対して出芽まで数日を要していたことから発芽や生育に障害を与えなかった可能性がある。本実験の条件では出芽障害が認められなかったが、EC の測定時期なども影響している可能性があるため、過リン酸石灰が出芽に及ぼす影響については、さらに検討が必要である。種子直下への過リン酸石灰施用は初期生育を促進するが、リン酸の施用量の増加が収量増に寄与することには上限があると考えられる。局所施肥するにあたっては土壌からのリン供給量および土壌 EC 値によりほ場での最適な種子直下への施肥量を判断する必要がある。特に局所施肥技術では施肥位置が最も重要である。すなわち、生育障害を受けずに肥料養分を最も効率的に吸収できる位置が最適であり、センチメートル単位の正確さが求められる（高橋，2001）。本実験では種子からの距離が 0 cm から 4 cm までへのリン酸施用によってタマネギの葉数が増加し、対照区の乾物重 0.090 g に比べて 0 cm 施用区では 0.469 g ， 4 cm 施用区では 0.305

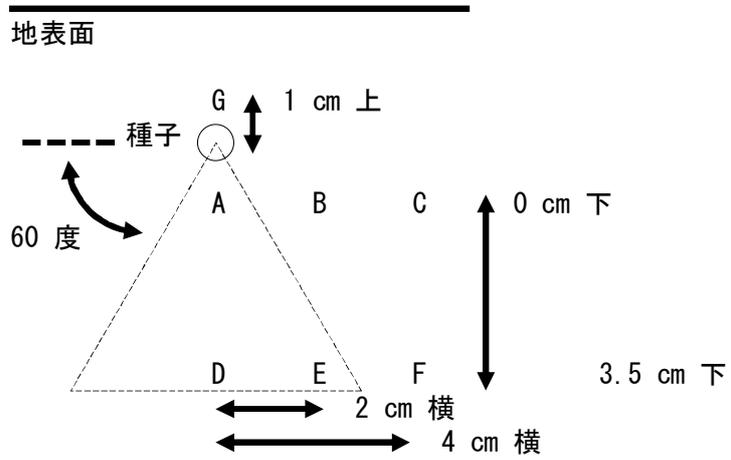
g となったことから展開した葉数の違いが乾物重を増加させる要因となっていた。

第 2 項 火山性土におけるリン酸の水平方向への施肥位置と施肥量が直播タマネギの生育に及ぼす影響

材料および方法

1. 供試土壌および供試品種，栽培方法

芽室研究拠点のタマネギ栽培の履歴がないほ場から採取した火山性土を供し，プランター（底辺 16 cm × 58 cm，土の深さ 10 cm）にタマネギ‘北もみじ 2000’のコーティング種子を株間 10 cm の 1 粒蒔きとして 2013 年 5 月 4 日に施肥，播種した。肥料はすべて基肥のみとした。直下施肥区は，施肥位置が第 1-3 図の A ~ G となるように過リン酸石灰をプランター当たりリン酸（ P_2O_5 ）として $10 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ となるように施肥した。窒素（N）とカリ（ K_2O ）は BBNK をプランター当たり $10 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ となるように全層施用した。プランターは屋外に設置し，土壌表面が乾いた時には適宜，灌水を行った。2013 年 8 月 9 日にプランターを解体し，根部を切断した茎盤基部以上を地上部として乾物重を測定した。



第1-3图 施肥位置

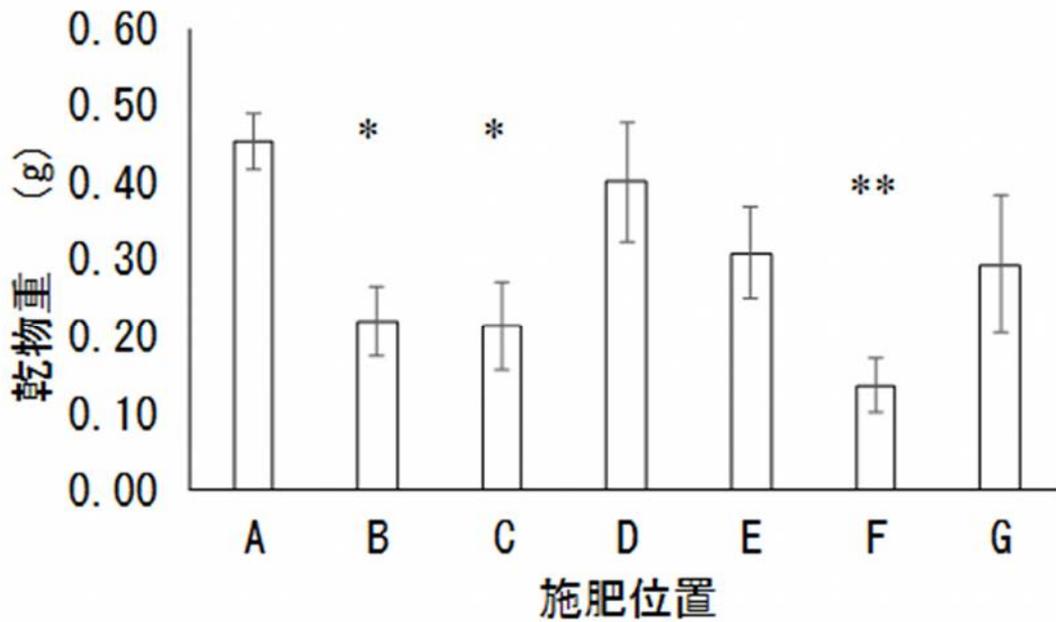
土壌のリン酸吸収係数と有効態リン酸（トルオーグリ
ン酸）の分析は施肥前の土壌を供した。

2. 統計処理

得られたデータは，Dunnettの多重比較検定ならびに
相関分析を利用し，その有意性を検定した。

結果および考察

供した土壌のリン酸吸収係数は 1479.0，有効態リン
酸は，217.0 mg・kg⁻¹とリン酸吸収係数が高く，タマネ
ギ栽培に適正とされる土壌 1 kg 当たり有効態リン酸
600～800 mg（北海道立総合研究機構農業研究本部，
2015）に及ばないことから，リン酸が生育の制限要因と
なる可能性がうかがわれた。なお，試験期間の2013年
5月の日平均気温，日最高気温，日最低気温の月平均は
9.5℃，15.6℃，4.6℃，6月は15.4℃，22.0℃，10.5℃
であった。施肥位置の違いによって生育量が異なり，水
平方向では種子から2 cm離れたBおよび4 cm離れた
Cの位置では直下Aに比べて有意に生育が劣った（第
1-4図）。垂直方向では種子から3.5 cm下のDおよび
その2.0 cm横であるEでは種子からの距離が遠くなる
につれて小さくなる傾向にあるが，直下Aとの間に有



第1-4図 施肥位置が生育に及ぼす影響

*, **は Dunnett の多重比較検定により A との間に 5% もしくは 1% 水準で有意差があることを示す

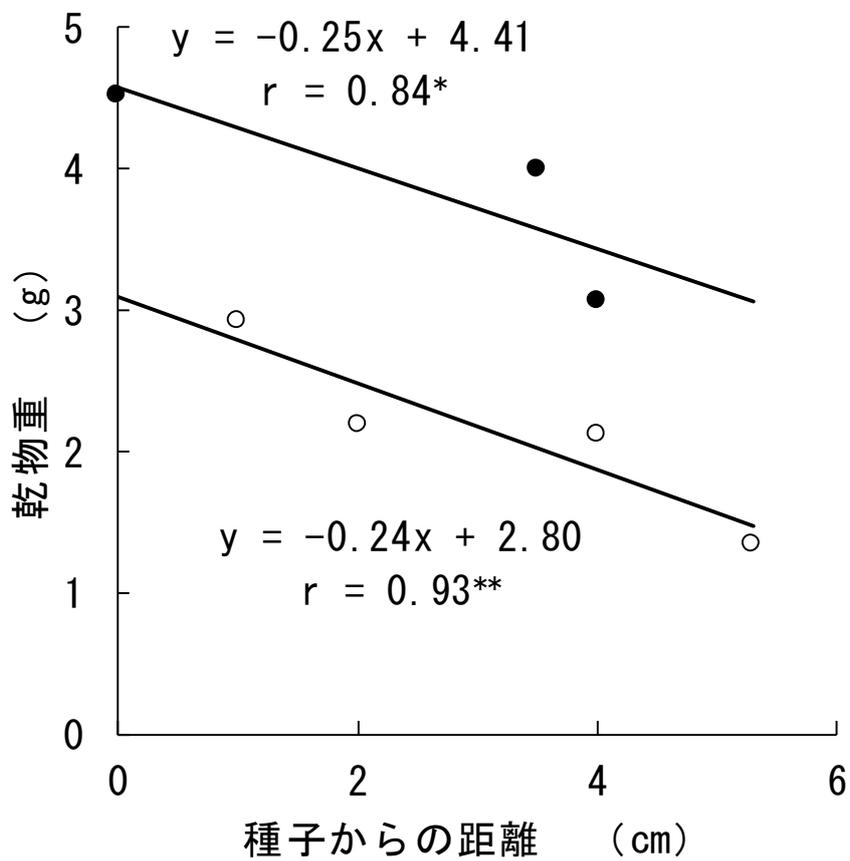
施肥位置のアルファベットは第1-3図を参照

垂線は平均値±標準誤差を示す (n=3)

意な差が認められなかった。また、種子の 1 cm 上である G も直下 A との間に有意差が認められなかった（第 1-4 図）。以上のように種子からの距離が重要となるが、垂直方向だけでなく水平方向への距離が及ぼす影響を含めて検討した結果、種子の真横では生育に対する過リン酸石灰の施用効果が劣るが、種子の位置を頂角とし、種子から 3.5 cm 離れた位置の底辺 4 cm で構成される範囲では距離に応じて差があるものの種子の直下 0 cm に施肥した場合と有意な差がつかないことが示唆された。また、地上乾物重は、種子からの距離が長くなるにつれて小さくなく傾向にあった。また、種子を頂角とし、角度 60 度以内の範囲に施肥した場合とそれ以外の位置に施肥した場合とでは、施肥の効果が異なり、それぞれ種子からの距離が長くなるほどに地上部乾物重は小さくなった。池上（1949）は、根箱を用いて 9 月 24 日に播種したタマネギの根系について調査した結果、3 月 20 日には垂直方向に 23 cm、水平方向に 25 cm の根群を形成することを報告した。これは、根系の広がり、およそ 57 度の角度であることを示している。また、局所施肥技術について、タマネギの播種時に種子の水平方向 3 cm 横かつ垂直方向 0 から 6 cm 下にリン酸

アンモニウム溶液をスターター肥料として注入することで、窒素肥効率が改善することが報告されている (Stone, 2000a)。この施肥位置は、種子からの距離が遠いが、種子を頂角とした角度 60 度以内の根系があると想定される範囲と同じである。本実験において、種子を頂角とした角度 60 度以内への施肥が地上部乾物重を有意に増加させたことから根系の近傍への施肥が生育を促進するに有効な手段であると判断できた。

これらの結果から施肥位置により影響が異なることから、施肥位置を種子の直上 1 cm の位置を頂角とし、角度 60 度以内となる種子から 3.5 cm 下までの底辺 4 cm で構成される三角形の範囲への施肥とそれ以外の位置への施肥とを分けて相関を調べた。その結果、それぞれ有意な相関が認められ、地上部乾物重は、種子からの距離が長くなるにつれて減少する傾向にあった (第 1-5 図)。第 1 節では、過リン酸石灰を用いて種子から施肥位置までの垂直方向および水平方向への距離が直播タマネギの出芽や生育に及ぼす影響について検討を行い、種子の真横では生育に対する過リン酸石灰の施用効果が劣るが、種子の位置を頂角とし、種子から 3.5 cm 離れた位置の底辺 4 cm で構成される三角形の範囲では



第1-5図 施肥位置の種子からの角度と距離が生育に及ぼす影響

●は第1-4図のA, D, Eを, ○はB, C, F, Gを示す
 *, **は5%もしくは1%水準で有意であることを示す

距離に応じて差があるものの種子の直下 0 cm に施肥した場合と有意な差がつかないことが示唆された。これは、種子を頂角とし、角度 60 度以内の範囲に施肥した場合とそれ以外の位置に施肥した場合とでは、施肥の効果が異なり、それぞれ種子からの距離が長くなるほどに地上部乾物重は小さくなりことから、根系の近傍に施肥することで生育促進に寄与できることを明らかにした。同時に局所施肥では発芽や出芽に影響を及ぼす可能性があることから直下施肥が土壌の EC 値に及ぼす影響について検討し、その土壌の EC 値は、生育抑制や障害発生を起こさないことを確認した。しかし、局所施肥した場合には、土壌全体ではなく、種子の近くに施された肥料から溶出される溶液の濃度が発芽に影響を及ぼす可能性がある（伊藤ら，2000）。一般に土壌へ施用された肥料に含まれるリン酸は土壌溶液中に溶解するよりも、ただちに土壌と平衡関係を維持する（加藤ら，1985）。しかし、土壌とリン酸肥料をサンドイッチ状につめた場合と攪拌器で混合した場合を比較すると、混合した場合にはツケナによるリン酸吸収量が低下する（吉田ら，1996）。土壌と肥料との混合を避けた局所施肥では、ツケナによる吸収と同様に発芽時のタマネ

ギ種子によるリン酸吸収も促進される可能性が考えられる。また、施肥量が多くなるにつれて土壌との平衡関係が生じる前に種子が肥料成分を吸収する可能性が高まり、特に局所施肥においては肥料が土壌と混合されないことで種子と接触した場合に発芽や出芽へ影響を及ぼし易いと推察される。

第2節．タマネギ種子のリン酸溶液への浸漬ならびに過リン酸石灰との接触が発芽・出芽に及ぼす影響

第1項 タマネギ種子のリン酸溶液への浸漬が発芽・出芽に及ぼす影響

材料および方法

1. 種子のリン酸溶液への浸漬が発芽および根長に及ぼす影響（実験1）

浸漬処理に用いたリン酸溶液は渡邊ら（2007）の方法に従いリン酸二水素カリウムとリン酸水素二カリウムをモル比で3：1に混合した水溶液とし、処理濃度はリン濃度で0.5%溶液、1.0%溶液および5.0%溶液とした。同時に蒸留水に浸漬する処理も設けた。なお、0.5%

溶液，1.0% 溶液および 5.0% 溶液の EC 値はそれぞれ $1.61 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ ， $2.73 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ および $8.73 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ ，また pH はそれぞれ 6.97，6.84 および 6.57 であった．EC 値は EC メーター，pH は pH メーター（D-51，堀場製作所（株））によって計測した．品種は‘オホーツク 222’（（株）七宝）を用い，0.5% 溶液，1.0% 溶液，5.0% 溶液および蒸留水に 25℃ で 24 時間浸漬した裸種子を，5℃ の冷蔵庫内で一夜風乾して実験 1 および実験 2 に供した．なお，対照は無処理とした．

発芽試験は蒸留水を満たしたシードパック（177 mm × 163 mm，大起理化工業（株））を用い，リン酸溶液浸漬処理もしくは蒸留水浸漬処理した種子を 15 粒播種した．シードパックは，20℃ のインキュベータ内に静置した．発芽勢は播種後 3 日目の発芽数を播種粒数で除した値，発芽率は 7 日目の発芽数を播種粒数で除した値とした．根長は播種後 7 日目に莖盤基部からの長さが最も長い根を測定した．蒸留水に浸漬した種子は蒸留水区，リン酸溶液に浸漬した種子はそれぞれ 0.5% P 区，1.0% P 区，5.0% P 区として 6 反復で行った．

2. 種子のリン酸溶液への浸漬が出芽および初期生育に及ぼす影響（実験 2）

出芽試験には芽室研究拠点の圃場から採取した火山性土を供した。採取時における土壌の有効態リン酸は $21.7 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ 乾土，リン酸吸収係数は 1480 であった（第 1-5 表）。有効態リン酸はトルオーグ法，リン酸吸収係数は SPAD 簡便法（北海道立総合研究機構，2012）により測定した。供した土壌の EC 値は $0.08 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ であった。EC 値の測定は藤沼ら（1970）の方法に従い，EC メーターによって計測した。上記の土壌を充填した $1 \cdot 10000 \text{ a}^{-1}$ ワグネルポットを用い，第 1 項実験 1 の方法に従いリン酸溶液浸漬処理もしくは蒸留水浸漬処理した種子を播種深が 2 cm となるように 15 粒播種した。試験期間中の灌水は，土壌含水比が 50% となるように毎日，蒸留水を加えた。出芽勢はポットを 20°C のインキュベータ内に静置し，播種後 3 日目と 7 日目に初生葉が地表に出た株数を播種粒数で除した値，出芽率は 10 日目に生じた株数を播種粒数で除した値とした。播種後 15 日目にはポットを解体し，茎盤基部から上を地上部として乾物重を求めた。試験は 3 反復で行った。

第1-5表 供試した土壌の養分特性

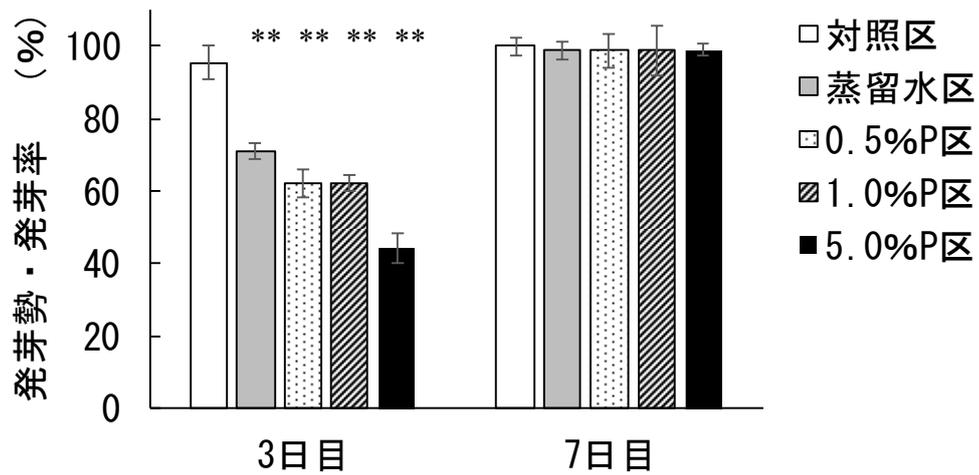
pH	全窒素 (%)	硝酸態窒素 (mg・100 g ⁻¹)	アミノ態窒素 (mg・100 g ⁻¹)	有効態りん酸 (mg・100 g ⁻¹)	交換性カリ (mg・100 g ⁻¹)	交換性苦土 (mg・100 g ⁻¹)	交換性石灰 (mg・100 g ⁻¹)	塩基飽和度 (%)	りん酸吸収係数	CEC (me・100 g ⁻¹)
5.7	0.4	30	0.8	21.7	74.2	52.8	312.2	61	1479	25.1

施肥前に表層から15 cmの深さまで土壌を検土杖によってサンプリングした pH (H2O) はガラス電極法 (北海道立総合研究機構, 2012) により求めた。全窒素は乾式燃焼法 (日高, 1997), 硝酸態窒素およびアミノ態窒素はハーパー法 (日高, 1997) により試料液を得た後に硫酸ヒドラジウム還元法 (日本工業規格, 2016) を用いて定量した。有効態りん酸はトルオーグ法 (北海道立総合研究機構, 2012), リン酸吸収係数はSPAD簡便法 (北海道立総合研究機構, 2012) により測定した。交換性カリウムはシヨレーンベルガー法 (北海道立総合研究機構, 2012) により求めた。

結果および考察

第 1 章 第 2 節 第 1 項 実験 1 において，蒸留水およびリン酸溶液に浸漬した種子の播種後 3 日目の発芽勢は，溶液濃度が高まるにつれて低下し，対照区と比べて蒸留水区でも発芽勢が有意に低下し，特に 5.0% P 区は低かった（第 1-6 図）．しかし，播種後 7 日目の発芽率はすべての区で 100% 近くまで高まり，有意差が認められなかった．播種後 7 日目の根長は，対照区と比べてリン酸溶液浸漬処理により短くなる傾向にあり，0.5% P 区と 5.0% P 区は有意に短かった（第 1-7 図）．また，5.0% P 区は蒸留水区と比べても有意に短かった．

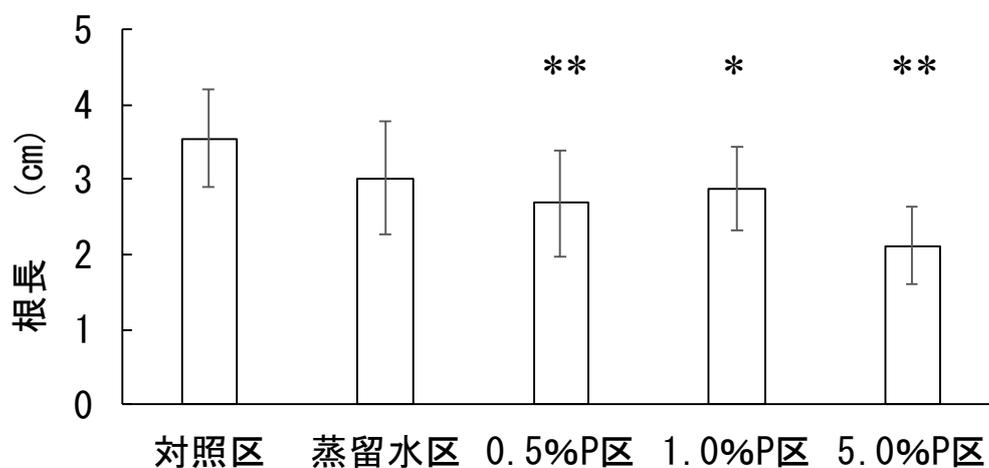
第 1 章 第 2 節 第 1 項 実験 2 において，リン酸溶液に浸漬した種子の播種後 3 日目の出芽は，浸漬した溶液濃度が高まることで遅れ，1.0% P 区と 5.0% P 区では出芽率が有意に低くなった（第 1-8 図）．播種後 7 日目の出芽勢は 5.0% P 区のみ有意に少なくなった．播種後 10 日目の出芽率は対照区と比べてすべての区で有意差が認められなかった．播種後 15 日目の株当たり乾物重はすべての処理区で 30～31 mg となり，対照区との間には有意差が認められなかった（第 1-9 図）．また，野菜種子を塩溶液でプライミングする方法を検討した結



第 1-6 図 種子のリン酸溶液への浸漬が発芽に及ぼす影響

**は、Dunnett の多重比較検定により測定日毎に対照区との間に 1%水準で有意差があることを示す

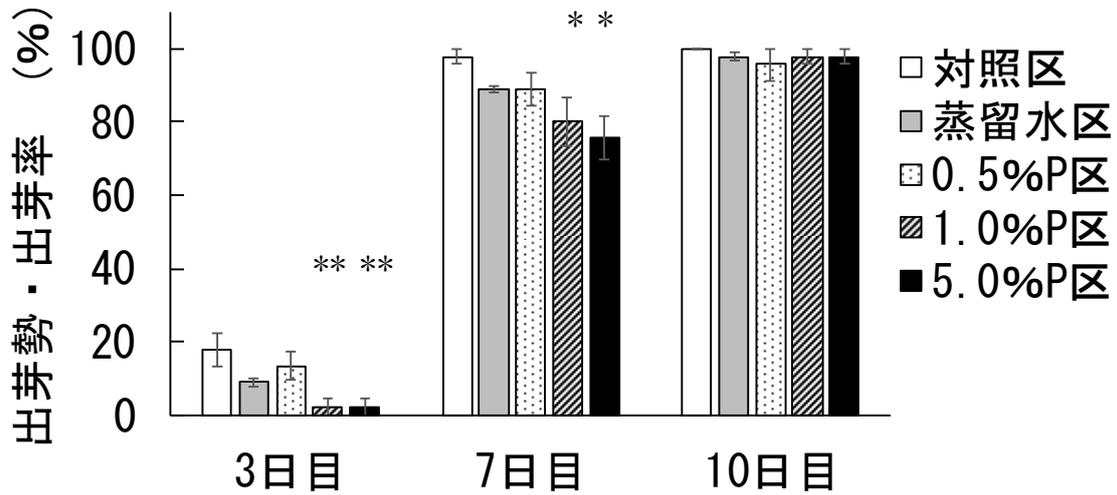
垂線は平均値±標準誤差を示す (n=6)



第1-7図 種子のリン酸溶液への浸漬が根長に及ぼす影響

*, **は、Dunnettの多重比較検定により対照区との間に5%もしくは1%水準で有意差があることを示す

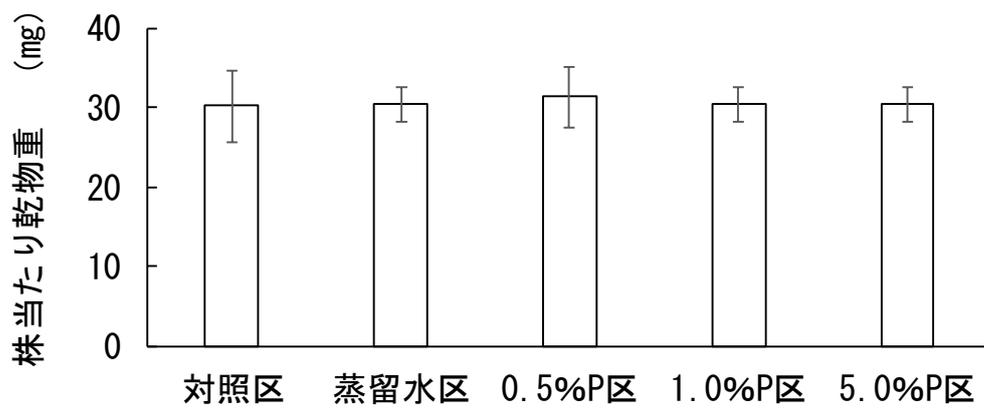
垂線は平均値±標準誤差を示す (n=6)



第1-8図 種子のリン酸溶液への浸漬が出芽に及ぼす影響

*, **は, Dunnett の多重比較検定により測定日毎に対照区との間に5%もしくは1%水準で有意差があることを示す

垂線は平均値±標準誤差を示す (n=3)



第1-9図 種子のリン酸溶液への浸漬が初期生育に及ぼす影響

垂線は平均値±標準誤差を示す (n=3)

果，第三リン酸塩（ K_3PO_4 ）はプライミング処理中の発芽が抑制され，この効果には溶液の高い pH が関与していることが示唆されている（Suzukiら，1989）．そこで種子が肥料から溶出したリン酸溶液を直接吸収することを想定して，第2節第1項では，種子を pH が中性付近のリン酸溶液に浸漬し，その後に風乾した種子を用いることで溶液と土壌との平衡関係による影響および土壌 pH の影響を排除した．用いたリン酸溶液は「定植前リン酸苗施用法」として水稻（渡邊ら，2007）やキャベツおよびトウモロコシ（渡邊ら，2011），ネギ（村山・宮沢，2013），移植タマネギにおける育苗期の葉面散布（小野寺ら，2014）に用いられている溶液である．これらの報告は苗の定植直前にリン酸溶液を施用する方法であり，本試験の発芽時の影響を検討した条件とは大きく異なる．発芽時のリン酸施肥の影響を調査した移植タマネギの育苗ポット内施肥の場合には，発芽障害は過リン酸石灰を添加した培土の EC 値が $0.27\text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ を超えると生じる（小野寺ら，2014）．なお，重過リン酸石灰 5 g を蒸留水 25 mL に溶解した水溶液の EC 値 $2.79\text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ は，第2節第1項における 1.0% 溶液の EC 値 $2.73\text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ に相当し，発芽障害が懸念される濃度であり，1.0

% 溶液へ浸漬した種子の播種後 3 日目の発芽勢への影響が認められた（第 1-6 図）。発芽時のタマネギ種子は、過リン酸石灰が溶解した上記の濃度の溶液を直接に吸収する可能性があり、これらの結果から種子が吸水したリン酸溶液は、発芽速度に影響を及ぼすと考えられた。

第 2 項 タマネギ種子と過リン酸石灰との接触が出芽に及ぼす影響

材料および方法

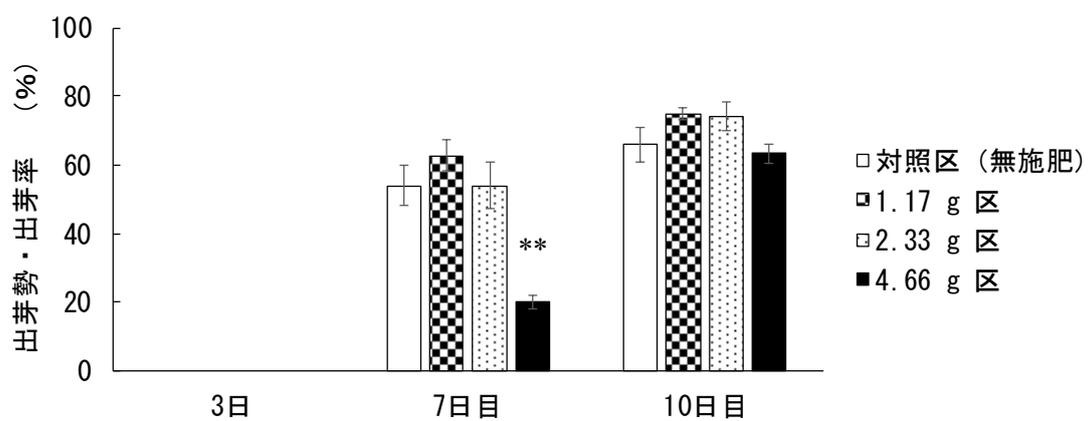
第 1 項実験 2 に供した土壌を用い、面積 81 cm^2 の容器（ジップロック@コンテナー 130 mL, 旭化成ホームプロダクツ（株））に乾土 100.0 g を充填し、その上に‘オホーツク 222’の裸種子を 50 粒播種した。施肥処理区は播種と同時に粒状の重過リン酸石灰（43.0 - 40.0 重過リン酸石灰, ホクレン肥料（株）：以下、重過リン酸石灰）を接触するように種子と同じ位置に施肥し、土壌と混和せずに乾土 50.0 g を覆土した。対照区は無施肥とした。供した重過リン酸石灰 5 g を蒸留水 25 mL に溶解した際の EC 値は $2.79 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$, pH は 3.57 であっ

た．圃場において種子直下への 10 a 当たり P_2O_5 として 10 kg の施肥量は重過リン酸石灰の場合，24 kg に換算され，種子の直下への施肥量は畝長 1 cm 当たりに 0.072 g となる．圃場において直下施肥を行った末貞ら（2018）の方法による圃場における直下施肥の施肥幅は 2.5 cm であることから施肥量は $0.0288 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ と算出される．そこで，施肥処理は，面積 81 cm^2 の容器への施肥量を 2.33 g とする 2.33 g 区，その半量の 1.17 g 区，倍量の 4.66 g 区を設けた．EC 値の測定は上記の割合で土壌と肥料を混合したサンプルについて EC メーターを用いて計測した．試験期間中の灌水は，土壌含水比が 50% となるように毎日蒸留水を加えた．出芽勢は 20℃ のインキュベータ内に静置して播種後 3 日目と 7 日目に初生葉が地表に出た株数を播種粒数で除した値，出芽率は 10 日目に生じた株数を播種粒数で除した値とした．試験は 3 反復で行った．

得られたデータは，Tukey-Kramer の多重比較検定によりその有意性を検定した．

結果および考察

播種後 3 日目の出芽は全区で認められなかった（第 1-10 図）。播種後 7 日目には出芽は認められたが、4.66 g 区の出芽勢は対照区と比べて半分以下の 20% と有意に小さかった。しかし、時間の経過に伴って発芽が認められ、播種後 10 日目の出芽率にはすべての区において対照区との間に有意差が認められなくなった。土壌全量と肥料を混合した場合の EC 値は、2.33 g 区では $0.06 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ 、1.17 g 区では $0.12 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ 、4.66 g 区では $0.26 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ であった。種子と肥料との接触が出芽に及ぼす影響について、タマネギの発芽時に種子と肥料が接触する条件を検討した第 1 節第 1 項では、播種後 14 日目の出芽率には有意差は認められなかった。なお、デントコーンではリン酸施用量が 10 a 当たり 2.7 kg および 5.4 kg の場合は肥料濃度が高まるにつれて播種直後の出芽が遅れるものの 8.5 日目には無施肥と同じ出芽率となり、施用量が 8.1 kg の場合は日数に関わらず無施肥と比べて出芽率が低下することが報告されている（Baweja and Bates, 1971）。タマネギを用いた第 2 節第 1 項では発芽や根の成長は発芽直後のリン酸吸収による影響を受け、溶液の濃度が高まるにつれて遅延した。第 2 節第 2 項の実験における土壌 EC 値は、施肥量が最も



第 1-10 図 リン酸施肥量が出芽に及ぼす影響

**は、Dunnett の多重比較検定により測定日毎に対照区との間に 1%水準で有意差があることを示す

垂線は平均値±標準誤差を示す (n=3)

多い 4.66 g 区でも $0.26 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ であり，発芽障害の目安とされる $0.27 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ をわずかであるが下回っているにも関わらず，出芽遅延が認められた．この原因は，土壌 EC 値の測定が容器内の全土壌と肥料を混合したために，種子の近傍の EC 値とは異なっていた可能性がある．種子近傍の重過リン酸石灰溶液の EC 値は，第 2 節第 1 項に用いた 1.0% 溶液に相当すると思われる．そのために第 2 節第 2 項における播種後 7 日目の出芽勢はリン酸施用量が増えるにつれて低下し，4.66 g 区は対照区と比べて半分以下となったことが推察された．しかし，種子と過リン酸石灰が接触しても播種から時間が経過した播種後 10 日目の出芽率は，本試験の施用量内では影響がないことが明らかになった（第 1-10 図）．なお，堀口（1984）によれば，植物体内に吸収されたリン酸は，大部分がオルトリン酸およびそのエステルとして存在する．また，Ferjani ら（2011）は，シロイヌナズナの出芽にはオルトリン酸 2 分子がエステル結合したピロリン酸の除去が不可欠であることを報告している．

第 3 節．本章の総合考察

リン酸肥料を局所施肥する効果的な方法を開発するために、過リン酸石灰を用いて種子から施肥位置までの垂直方向への距離および局所施肥した施肥量が直播タマネギの出芽や生育に及ぼす影響について調査した。直播タマネギへの過リン酸石灰の局所施用は、慣行の全層施肥に比べて初期生育を促進する可能性が認められた。特に垂直方向の位置としては種子の下方 0 cm から 4 cm への施肥による生育促進効果は高く、土壌からのリン供給量および土壌 EC 値により異なると考えられるが、リン酸として 30 もしくは 45 kg・10 a⁻¹ を施用することで効果が高まることが示唆された。また、種子からの水平方向の距離に関しては、種子を頂角とした角度 60 度以内への施肥が地上部乾物重を有意に増加させたことから、根系の近傍への施肥が生育を促進するに有効な手段であると判断できた。

さらに、局所施肥した場合の土壌溶液中のリン酸濃度は、発芽障害が懸念される濃度を超える可能性があることから、タマネギ種子のリン酸溶液への浸漬が発芽、出芽および生育に及ぼす影響を検討した。さらに、施肥した過リン酸石灰がタマネギの出芽に及ぼす影響を調査した。その結果、タマネギの発芽時に、肥料から

溶出するリン酸溶液の吸収が発芽や発根に及ぼす影響は、発芽直後に限られることが明らかになった。このため局所施肥した場合において施肥した過リン酸石灰と種子が接触しても、タマネギの出芽に及ぼす影響は時間の経過に伴って小さくなり、 P_2O_5 で10 a当たり5から20 kgの過リン酸石灰を局所施肥した場合の播種後10日目における出芽率に及ぼす影響は認められないと判断された。

以上のことから、生育初期の葉数や地上部乾物重は、施肥位置が種子に近づくにつれて大きくなり、過リン酸石灰の0～4 cm施用は初期生育を促進することが明らかになった。また、種子を頂角とした角度60度以内への施肥が地上部乾物重を有意に増加させたことは、根系の近傍への過リン酸石灰施肥が生育を促進するために有効な手段であると判断できた。局所施肥するにあたっては土壌EC値によりほ場での最適な種子直下への施肥量を決める必要があるが、局所施肥した肥料から溶出されるリン酸溶液の吸収が発芽やタマネギの出芽、生育に及ぼす影響は、発芽直後に限定されることが明になった。さらに、局所施肥した過リン酸石灰と種子との接触がタマネギの出芽に及ぼす影響は、播種後

10 日目における出芽率に及ぼす影響は認められないと判断された。しかし、生産を目的とした場合には、リン酸肥料を局所施肥することで出芽を遅れさせないために種子と過リン酸石灰の間にギャップを設け、施用量は 10 a 当たり 20 kg 以内とすることが求められるだろう。第 2 節第 2 項における施肥量は 10 a 当たりに換算すればリン酸成分量で 5 から 20 kg の過リン酸石灰を局所施肥した場合にあたる。本研究の結果では、圃場におけるリン酸成分量 10 a 当たり 5 から 20 kg の重過リン酸石灰の局所施肥がタマネギの出芽に及ぼす影響は、日数経過とともに小さくなり、播種後 10 日目の出芽率には影響が及ばないと判断された。これらのことから、肥料と種子が接触もしくは混合した際に播種直後には出芽の遅れなどの影響が出る可能性もあるが、播種後 10 日目以降の出芽率にはリン酸局所施肥の影響は認められず、成分量 10 a 当たり 10 kg に限定されることなく、成分量 5 から 20 kg の播種溝の下方への局所施肥は初期生育の促進や球肥大の向上ができる技術と成り得ると考えられた。

第 2 章 寒地の火山性土圃場のタマネギ直播栽培における 種子直下のリン酸局所施用がリン酸吸収および初期生育・収 量に及ぼす影響およびリン酸局所施肥による減肥栽培の検討

第 1 節 火山性土圃場のタマネギ直播栽培における 種子直下のリン酸局所施用がリン酸吸収および初期生 育・収量に及ぼす影響

材料および方法

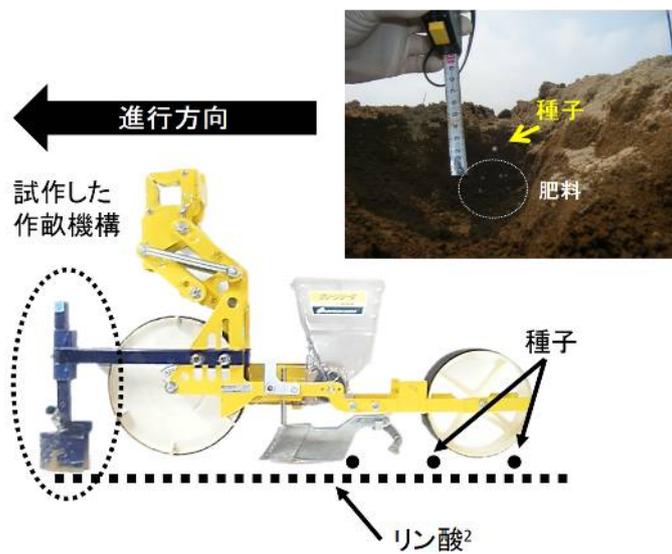
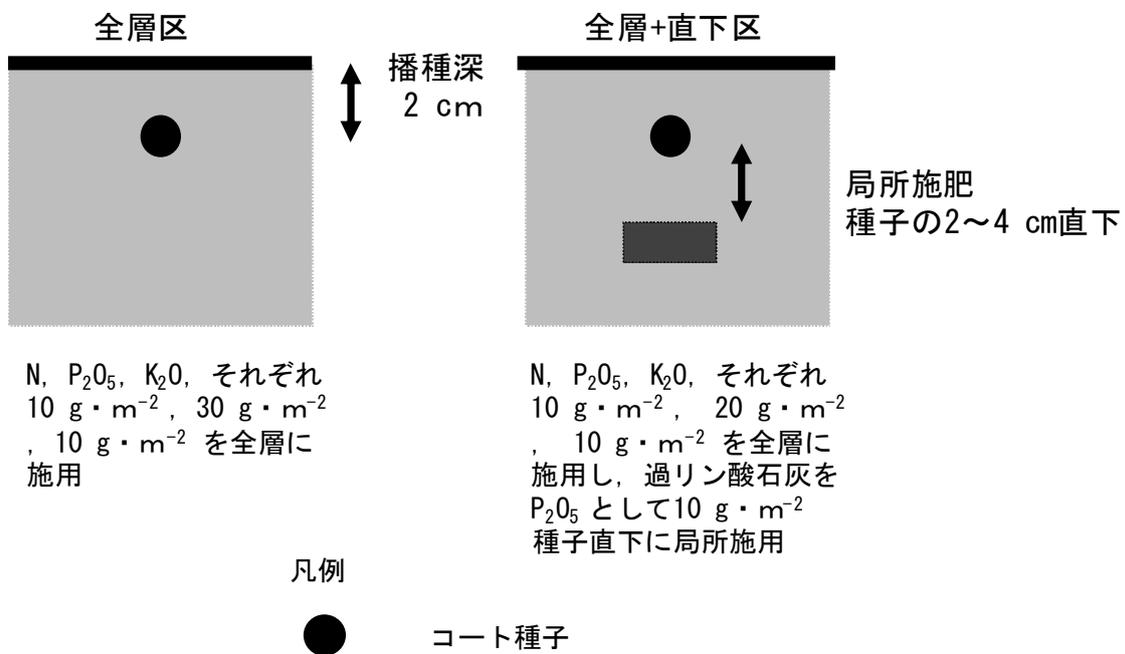
1. 供試土壌および供試品種，栽培方法

芽室研究拠点（北海道河西郡芽室町新生南 9 線 4 番地，北緯 42.9，東経 143.1，標高 94.8 m：以下，芽室研究拠点）の火山性土圃場において 2012 年度は 1 区 4.8 m×6.0 m，2013 年度は 1 区 4.8 m×7.0 m の試験区を 4 反復分設けた。施肥前に表層から 15 cm の深さまで土壌を検土杖によってサンプリングし，有効態リン酸はトルオーグ法，リン酸吸収係数は SPAD 簡便法（北海道立総合研究機構，2012）により測定した。タマネギは，‘北もみじ 2000’ のコート種子を供試した。肥料はすべて基肥のみとし，北海道施肥ガイド（北海道立総合研究機構農業研究本部，2015）に基づいた春まき移植タマネ

ギの標準施用量のうちリン酸が低い場合の施肥対応となるように窒素（N）、リン酸（ P_2O_5 ）およびカリ（ K_2O ）はそれぞれ $10\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $30\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $10\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 施用した。全層区は化成肥料（エーコープ苦土入り複合硝加燐安 S131、ホクレン肥料（株）：以下、S131）を全層施用した。全層＋直下区は、リン酸の総施肥分量が全層区と同じ 30 g に合わせて $20\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ の全層施肥に加えて種子の直下に $10\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 施肥した。なお、全層＋直下区では、化成肥料（エーコープ苦土入り複合硝加燐安 S121、ホクレン肥料（株）：以下、S121）を全層施用するとともに種子の下方 2～4 cm の間に過リン酸石灰を施用した。全層区は、肥料散布後にロータリー耕を行うことによって 0～15 cm の層を攪拌した。全層区の播種は、クリーンシーダ APS-40C（アグリテクノ矢崎（株））を用いて行った。全層＋直下区における施肥および播種は、上記の肥料を全層施肥後にロータリーによって攪拌、末貞ら（2018）の方法に従い、クリーンシーダ APS-40C の播種機構の前方向に舟形の作畝機構を取り付けて局所施肥のための施肥畝を形成した。同時に過リン酸石灰を播種溝の底面から 2～4 cm に位置するように施肥畝に施肥したのち、覆土して別の舟形の作畝機構

によって改めて作られた播種溝に播種を行った（第 2-1 図）。播種深度は両処理区ともに 2 cm，株間は 10 cm，条間は 30 cm の 4 条蒔きとした。栽植密度は 33 株・ m^{-2} である。2012 年度は 5 月 1 日，2013 年度は 4 月 22 日に施肥と同時に播種した。

2012 年度は 7 月 3 日と 8 月 9 日に，2013 度は 6 月 24 日と 8 月 1 日に子葉を除き最初の本葉を第 1 葉として展開した葉数を調査，2012 年 7 月 3 日と 8 月 9 日および 2013 年 6 月 24 日と 8 月 1 日には根部を切断した茎盤以上を地上部として地上部乾物重を測定した。サンプリングは，反復ごとに 1 m を 8 畝ずつ行った。なお，2012 年度は 7 月 3 日，2013 年度は 6 月 24 日の調査株数を苗立ち数として計数した。2012 年 9 月 12 日および 2013 年 9 月 13 日に根切りを行い，2012 年 9 月 27 日および 2013 年 9 月 26 日に圃場から収穫したのち風乾し，収穫 10 日目以降にりん茎重および規格サイズを調査した。収穫株率は播種粒数に対する腐れ，分球，未倒伏など障害球を除いた収穫株の割合，規格内収量はそれらのうち，2S サイズを除いた S サイズから 2L サイズまでの総計とした。規格サイズは球径 5 cm 以下を 2S，さらに 1 cm 刻みで S，M，L，L 大として，9 cm 以上の



第 2-1 図 試験区の施肥法（施肥位置）と試作した作畝機構

球を2Lとした。以下、規格内収量調査は同じ方法を用いた。2012年7月3日、8月9日および2013年6月24日、8月1日に調査した地上部と9月27日および2013年9月26日に収穫した球は、乾燥後に粉碎してサリチル硫酸法により湿式灰化、モリブデンブルー法によりリン酸含量を比色定量した。

2. 気象データ

気象データは、芽室研究拠点内に設置された気象観測露場における2012年4月から9月および2013年4月から9月の日平均気温データを利用した。

3. 統計処理

得られたデータは、二元配置分散分析および規格サイズ別の収量比較ではBonferroniの多重比較検定を行い処理間の有意性を検定した。

結果および考察

両年度とも施肥前の土壌のリン酸吸収係数は1600前後、有効態リン酸は $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 乾土以下であった（第2-1表）。苗立ち株率は両処理区とも80%越え、年度間や処理間に有意差が認められなかった（第2-2表）。タマネギの移植栽培においては、有効態リン酸が 600 mg

第2-1表 施肥前の有効態P₂O₅とリン酸吸収係数

年度	有効態 P ₂ O ₅	リン酸吸収 係数
	(mg・100g ⁻¹ 乾土)	
2012	7.0	1558.9
2013	9.2	1603.9

第2-2表 施肥位置が苗立ち株率に及ぼす影響

年度	試験区 (施肥位置)	苗立ち株率 ^z (%)
2012	全層区	89.2
	全層+直下区	86.7
2013	全層区	84.4
	全層+直下区	84.1
二元配置 分散分析 ^y	年度 (A)	ns
	施肥位置 (B)	ns
	交互作用 (A×B)	ns

^z 苗立ち株率は播種粒数に対する出芽株割合

^y 二元配置分散分析によりns : 有意差なし (n=4)

・ kg^{-1} 乾土程度は必要であることが知られている（大西・田中，2012）。本研究は移植栽培ではないが，供した圃場は両年ともにリン酸吸収係数が高く，有効態リン酸含量が $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 乾土以下の低い値であることからリン酸が生育の制限要因となる可能性が考えられた。一方，水落（1985）は，作物への多肥化の傾向が強まるにつれて肥料塩類による発芽障害や初期生育の障害が発生することを指摘している。しかし，本研究の苗立ち株率は全層区と全層＋直下区との間に有意な差は認められず，全層＋直下区における局所的なリン酸濃度の上昇による障害はなかった。

生育期間中に展開した葉数を比較すると年度間に差が認められるものの，全層＋直下区で生育初期には $0.4 \sim 0.7$ 枚，りん茎形成始期には $0.7 \sim 0.8$ 枚多くなり生育期間を通じて生育が促進された（第2-3表）。草丈も全層区に比べて全層＋直下区が有意に高くなった。地上部乾物重も生育期間を通じて増大し，両年度とも有意差が認められた。葉数，草丈および地上部乾物重は，年度の違いにより程度の差があるが局所施肥によって有意に増大している（第2-3表）。よって，種子の直下 $2 \sim 4 \text{ cm}$ へ施用した過リン酸石灰は，生育初期およびり

第2-3表 施肥位置が葉数、草丈および地上部乾物重に及ぼす影響

年度	試験区 (施肥位置)	生育初期			りん茎形成始期		
		葉数 (枚)	草丈 (cm)	地上部 乾物重 (g/株)	葉数 (枚)	草丈 (cm)	地上部 乾物重 (g/株)
2012	全層区	2.6	15.9	82.0	11.8	68.3	6.4
	全層+直下区	3.0	17.9	133.0	12.6	76.4	9.8
2013	全層区	2.1	18.5	68.5	11.2	66.2	5.0
	全層+直下区	2.8	23.6	156.5	11.9	74.4	8.1
二元配置 分散分析 ^z	年度 (A)	*	*	n.s.	*	n.s.	n.s.
	施肥処理 (B)	**	*	**	*	**	**
	交互作用 (A×B)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

^z 二元配置分散分析により** : 1%水準で有意差あり, * : 5%水準で有意差あり, n. s. : 有意差なし (n=4)

ん茎形成始期における生育を促進することが明らかになった。すなわち、過リン酸石灰を種子の直下 2～4 cm へ局所施肥することで葉の抽出を速め、第 2 葉から 3 葉が展開する時期には、0.4 から 0.7 枚の差が生じた。この差はりん茎形成始期まで維持され、生育ステージの進行を促進した。しかし、そのような局所施肥がその後の生育や収量に及ぼす影響は不明である。また、タマネギにおいて最大の生長速度を得るためには、発芽直後の高い土壌リン酸濃度を必要とすることが知られている (Brewster, 2008)。これらの報告のようにタマネギは発芽後に高い土壌リン酸肥沃度を必要とし、発芽後の短期間が重要な役割を果たしていると考えられた。特に、本研究によって局所施肥により第 2 葉から 3 葉が抽出する時期に生じた差が生育後期まで維持され、その展葉数の差が草丈と地上部乾物重を増加させたと考えられる。

播種から倒伏までの日数は両年度とも全層＋直下区で有意に早まった (第 2-4 表)。ただし、2013 年度は 2012 年度に比べて倒伏までの日数が長かった。収穫時のりん茎重は、全層区に比べて全層＋直下区で増大した。分球や未倒伏の株を除いた収穫株数には処理間差

第2-4表 施肥位置が倒伏日数，球重，収穫株率および規格内収量に及ぼす影響

年度	試験区 (施肥位置)	倒伏日数 ^z (日)	球重 (g/個)	収穫株率 ^y (%)	規格内収量 ^x (kg・m ⁻²)
2012	全層区	128	167.4	66.7	3.7
	全層+直下区	124	200.1	74.8	5.0
2013	全層区	144	166.3	72.4	3.9
	全層+直下区	141	188.9	75.7	4.7
二元配置 分散分析 ^v	年度 (A)	**	n.s.	n.s.	n.s.
	施肥位置 (B)	**	*	n.s.	*
	交互作用 (A×B)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

^z 播種から+B12:G15立毛8割の倒伏が認められた日までの日数

^y 収穫株率は播種粒数に対する腐れ、分球、未倒伏など障害球を除いた収穫株割合

^x 規格内収量は総収量のうち2Sサイズを除いたSサイズから2Lサイズまでの総計

^v 二元配置分散分析により** : 1%水準で有意差あり, * : 5%水準で有意差あり, n. s. : 有意差なし (n=4)

が認められず，収穫株数を播種粒数で除した収穫株率は80%を下回った．単位面積当たりの規格内収量は，両年度とも処理間に有意差が認められた．生育初期およびりん茎形成始期のリン酸含量は0.57%から0.61%で有意差が認められなかった．収穫期のリン酸含量は2012年度が0.51%，2013年度が0.58%となり，施肥法の違いによる有意差は認められなかったが，年度の違いによる有意差は認められた（第2-5表）．生育初期のリン酸吸収量は2012年度の全層区が0.49 mg/株，全層+直下区が0.76 mg/株，2013年度の全層区が0.41 mg/株，全層+直下区が0.94 mg/株と種子の直下に施肥することで有意に増大した．りん茎形成始期のリン酸吸収量も2012年度の全層区が38.4 mg/株，全層+直下区が55.9 mg/株，2013年度の全層区が28.5 mg/株，全層+直下区が49.4 mg/株であり生育初期と同様に種子の直下に施肥することで有意に増大した．収穫期のリン酸吸収量は，2012年度の全層区が853.7 mg/球，全層+直下区が1020.5 mg/球，2013年度の全層区が964.5 mg/球，全層+直下区が1095.6 mg/球であり，種子の直下に施肥することで有意に増大した．この収穫期のリン酸吸収量が施肥リン酸に占める割合を示す

第2-5表 施肥位置がリン酸含量および吸収量に及ぼす影響

年度	試験区 (施肥位置)	生育初期		りん茎形成始期		収穫球	
		P ₂ O ₅ 含量 ^z (%)	P ₂ O ₅ 吸収量 ^y (mg/株)	P ₂ O ₅ 含量 ^z (%)	P ₂ O ₅ 吸収量 ^y (mg/株)	P ₂ O ₅ 含量 ^z (%)	P ₂ O ₅ 吸収量 ^x (mg/球)
2012	全層区	0.60	0.49	0.60	38.4	0.51	853.7
	全層+直下区	0.57	0.76	0.57	55.9	0.51	1020.5
2013	全層区	0.60	0.41	0.59	28.5	0.58	964.5
	全層+直下区	0.60	0.94	0.61	49.4	0.58	1095.6
二元配置 分散分析 ^w	年度 (A)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	*
	施肥位置 (B)	n.s.	*	n.s.	*	n.s.	*
	交互作用 (A×B)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

^z 乾物当たり%

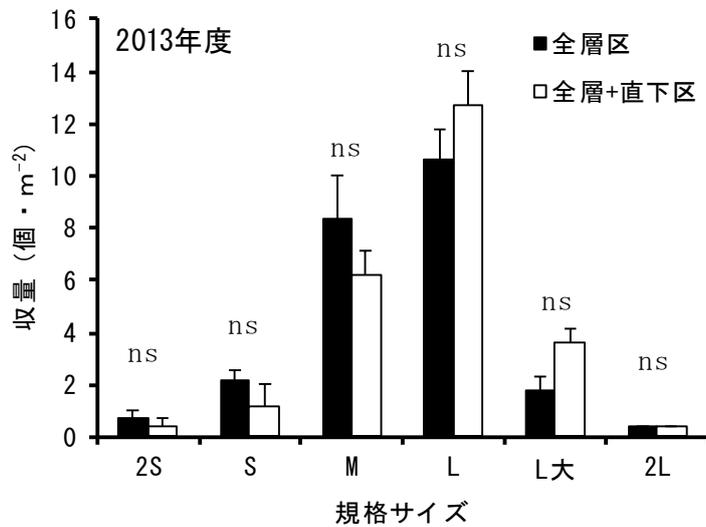
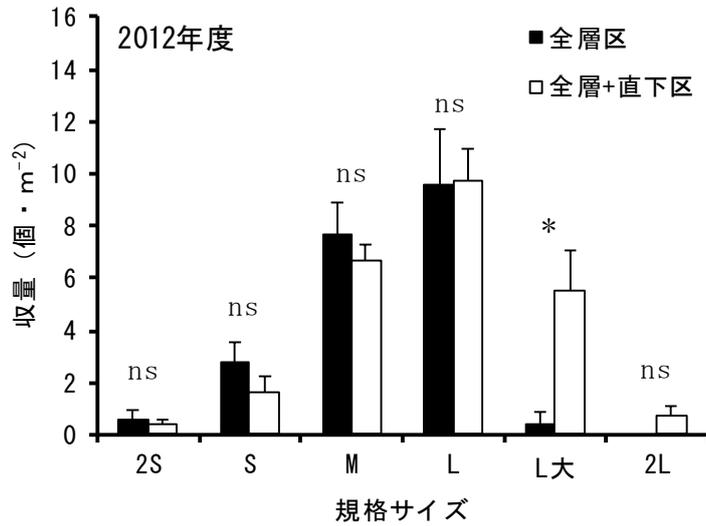
^y 株当たりmg

^x 球当たりmg

^w 二元配置分散分析により** : 1%水準で有意差あり, n. s. : 有意差なし (n=4)

みかけのリン酸肥効率は，2012年度が全層区 6.2%，全層＋直下区 8.2%，2013年度が全層区 8.2%，全層＋直下区 9.6%であった．キャベツや水稲，コムギにおいて苗にリン酸処理を行うことで生育ステージが前進する（渡邊ら 2002，2007，2011）．また，タマネギはリン酸が欠乏すると生育が著しく抑制され，りん茎肥大が阻害される（執行，2007）．本研究において，播種から倒伏までの日数は，両年度とも過リン酸石灰を種子の直下へ局所施肥を行うことで短縮した（第 2-4 表）．生育初期のリン酸含量には差が認められなかったが，リン酸吸収量は全層区に比べて全層＋直下区で 2012年 1.5 倍，2013年度 2.3 倍と増大した．これらの結果から，他作物と同様にリン酸吸収を改善することによりタマネギ直播栽培においても生育ステージが前進し，倒伏期が早まったと結論できる．

規格サイズごとの球数分布は両年度ともに施肥処理の違いにかかわらず L サイズが最も多く，次いで M サイズの順となった．2013 年は有意とはならなかったものの規格サイズごとの球数分布は全層区に比べて全層＋直下区で L 大が増えたことから種子の直下への局所施肥によって大玉傾向になった（第 2-3 図）．りん茎の

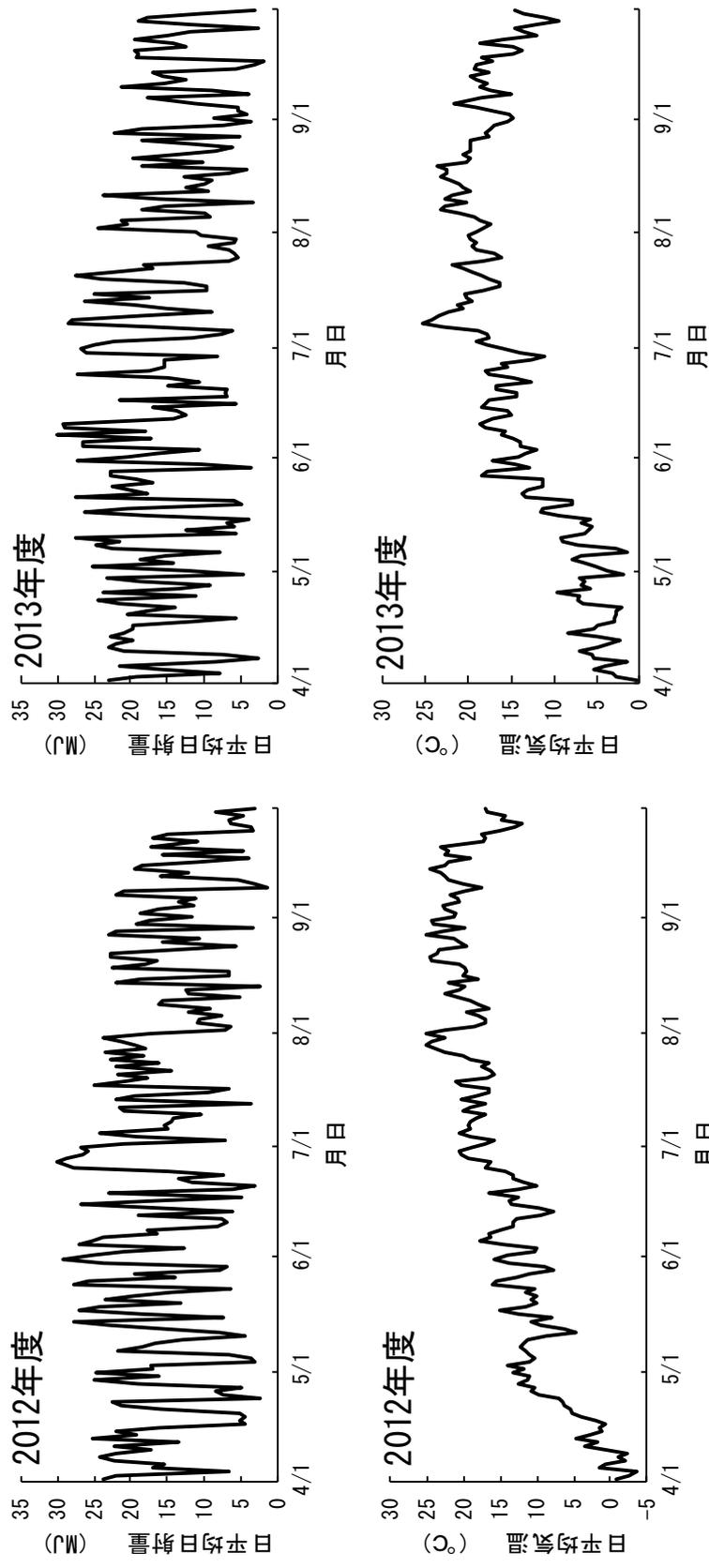


第 2-2 図 種子直下へのリン酸の局所施用が規格サイズ別の収量に及ぼす影響

Bonferroni の多重比較検定により規格サイズごとに処理間で* : 5%水準で有意差あり, ns : 有意差なし (n=4)

球径 5 cm 以下を 2S, さらに 1 cm 刻みで S, M, L, L大として, 9 cm 以上の球を 2L とした

肥大を継続するためには 15℃ から 20℃ 程度の気温が適した（執行，2007）。肥大期間と考えられた 9 月の日平均気温を比較すると 14℃ を下回ったのは 2012 年度では 9 月 25 日，2013 年度では 9 月 23 日になってからであり，両年度とも 14℃ 以下になったのは収穫までに 2 日間だけであった（第 2-3 図）。このため，両年度ともに全層区と全層 + 直下区の両処理区は肥大に適していた気温を経過したと思われる。一般にタマネギは，肥厚葉の数の増加によりりん茎のサイズが大きくなる傾向にあり，りん茎形成開始期の植物体のサイズが大きいほど大球が形成される（執行，2007）。本研究においては，生育が促進されたことで全層区に比べて生育ステージが前進して肥大開始が早まった全層 + 直下区において肥大に適した気温の継続期間が 3，4 日間，積算温度で 76.4℃ および 46.4℃ 長くなり，両年度とも加工用に適した L 大以上の個体数が増えたと推察される。2012 年度の播種から収穫までの日平均気温は 4.8～25.1℃，2013 年度は 1.4～25.4℃ であり，生育後半には 2012 年度の方がやや暖かく推移し，2012 年度の収穫までの日平均気温の期間内平均は 17.1℃，2013 年度は 15.7℃ であった（第 2-3 図）。なお，日平均日射量は，2012 年



第2-3図 北海道農業研究センター芽室研究拠点における4月から9月の日平均日射量(上)と日平均気温(下)の推移

度は 15.4 MJ, 2013 年度は 15.0 MJ であり, 年度間の違いがなかった.

柳田ら(2012)は, タマネギ直播栽培において単位面積当たりの収穫株数が多くなるにつれて総収量が増大し, 平均りん茎重が 170 g で目標収量を $6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ とした場合に必要な収穫株数を $36 \text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$ と試算した. 本研究において収穫した株数は, $24 \sim 26 \text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$ であり, 10 株以上も上記の試算に及ばないため, 目標収量の 6~8 割と低い収量となったと考えられる. しかし, 種子の直下への局所施肥を行うことで, 平均りん茎重は 170 g を越えることから播種粒数を増やし, 収穫株数を $36 \text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$ にすることで増収する可能性がある.

なお, 局所施肥は, 施肥効率が高いため減肥栽培が可能でコスト削減も図られるという利点もある(高橋, 2001). 本研究において種子の直下へ局所施肥を行うことで収穫時の見かけのリン酸肥効率は 1.4% 以上高まることから, 第 2 節では種子の直下への局所施肥による減肥栽培について検討する.

第 2 節. リン酸肥沃度を異にする火山性土圃場のタマネギ直播栽培におけるリン酸直下施用が初期生育・

収量に及ぼす影響および減肥栽培の検討

材料および方法

1. 施肥処理の方法および供試品種，栽培方法

芽室研究拠点の火山性土圃場において2014年度、2016年度、2017年度は1区1.2 m×8.0 mの試験区を4反復分設けた。2014年度の試験区は、2013年度によう磷（20.0粒状熔成りん肥，日之出化学工業（株））を無施用，現物100 g・m⁻²，200 g・m⁻²，300 g・m⁻²を施用してエンバク野生種を栽培した。2016年度の試験区は，よう磷を2015年度に施肥して大豆を栽培した跡地を供した。2017年度の試験区は，よう磷を2015年度に施肥して大豆を栽培，同じ区によう磷を2016年度にも同量，施肥してエンバク野生種を栽培した跡地を供した。2014年度，2016年度，2017年度のタマネギ栽培の施肥前に表層から15 cmの深さまで土壌を検土杖によってサンプリングし，有効態りん酸をトルオーグ法により測定した。タマネギは，2014年度には，‘北もみじ2000’，2016年度および2017年度には，‘オホーツク222’のコート種子を供試した。肥料はすべて基肥のみとし，北海道施肥ガイド（北海道立総合研究機構農業研究本部

、2015)に基づいた春まき移植タマネギの標準施用量のうちリン酸が低い場合の施肥対応となるように窒素、リン酸およびカリウムはそれぞれ $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $30 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 施用した。全層区は S131 を全層施用した。直下区は、リン酸の総施肥分量が全層区と同じ $30 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ に合わせて $20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ の全層施肥に加えて種子の直下に $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 施肥した。なお、直下区では、S121 を全層施用するとともに種子の下方 2~4 cm の間に重過リン酸石灰をリン酸分量で $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ となるように施用した。直下減肥区では、化成肥料（くみあい苦土尿素入り複合硝加磷安 S555、ホクレン肥料（株）以下、S555）を全層施用するとともに種子の下方 2~4 cm の間に重過リン酸石灰をリン酸分量で $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ となるように施用した。全層区は、肥料散布後にロータリー耕を行うことによって 0~15 cm の層を攪拌した。播種は、本章第 1 節と同じ方法で行った。2014 年度は 4 月 21 日に全層施肥、4 月 22 日に直下施肥と同時に播種した。2016 年度は 4 月 22 日に全層施肥、4 月 27 日に直下施肥と同時に播種した。2017 年度は 4 月 24 日に全層施肥、4 月 26 日に直下施肥と同時に播種した。

2014 年度は 6 月 16 日、2016 度は 6 月 26 日、2017 度

は 6 月 21 日に子葉を除き最初の本葉を第 1 葉として展開した葉数と根部を切断した莖盤以上を地上部として地上部乾物重を測定した。サンプリングは、反復ごとに 2 m を 2 畝ずつ行った。2014 年 8 月 28 日、2016 年 9 月 13 日、2017 年 9 月 19 日に根切りを行い、2014 年 9 月 7 日および 2016 年 9 月 21 日、2017 年 9 月 20 日に圃場から収穫したのち風乾し、収穫 10 日目以降にりん茎重および規格サイズを調査した。サンプリングは、反復ごとに 2014 年度は 3 m を 2 畝、2016 年度と 2017 年度は 2 m を 2 畝ずつ行った。

2. 統計処理

得られたデータは、二元配置分散分析によりその有意性を検定した。

結果および考察

実験は、有効態リン酸含量が $57.0 \sim 351.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ である芽室研究拠点で実施した（第 2-6 表、第 2-7 表、第 2-8 表）。寒地の畑作地帯における約半数の生産者が到達できる収量水準を確保するために必要な土壌診断基準では、畑作物においては、有効態リン酸が $100 \sim 300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 乾土とされている（北海道立総合研究機構農業

第2-6表 リン酸肥沃度が生育初期の葉数および乾物重に及ぼす影響 (2014)

施肥法	よう磷施用量 (U -酸沃度 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	葉数 ^z					乾物重 ^y (g)				
		0	100	200	300	平均	0	100	200	300	平均
全層区	39.3	61.9	74.0	99.8	—	—	—	—	—	—	—
直下区	3.8	3.9	4.0	4.1	3.95 b	0.217	0.277	0.298	0.298	0.273 b	
	4.1	4.1	4.1	4.3	4.15 a	0.315	0.296	0.313	0.408	0.333 a	
二元配置 分散分析 ^x	施肥法 (A)	*				*					
	よう磷施用量 (B)	ns				ns					
	交互作用 (A×B)	ns				ns					

^z 子葉を除き本葉を1枚目とした

^y 乾物率は株あたりの値

^x 二元配置分散分析により* : 5%水準で有意差あり, ns : 有意差なし (n=4)

第2-7表 リン酸肥沃度が生育初期の葉数および乾物重に及ぼす影響(2016)

施肥法	よう磷施用量				葉数 ^z				乾物重 ^y (g)						
	0	100	200	300	平均	0	100	200	300	平均	0	100	200	300	平均
(1) 酸肥沃度 (mg·kg ⁻¹)	57.0	110.8	167.5	268.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
全層区	3.1	3.1	3.1	3.0	3.1	0.102	0.104	0.108	0.116	0.108	0.108	0.108	0.108	0.116	0.108
直下区	2.9	3.1	3.0	3.1	3.0	0.120	0.104	0.125	0.110	0.115	0.120	0.104	0.125	0.110	0.115
直下減肥区	3.0	3.1	3.1	3.1	3.1	0.105	0.113	0.127	0.120	0.116	0.105	0.113	0.127	0.120	0.116
施肥法 (A)	ns														
二元配置分散分析 ^x	ns														
よう磷施用量 (B)	ns														
交互作用 (A×B)	ns														

^z 子葉を除き本葉を1枚目とした

^y 乾物率は株あたりの値

^x 二元配置分散分析により ns : 有意差なし (n=4)

第2-8表 リン酸肥沃度が生育初期の葉数および乾物重に及ぼす影響 (2017)

施肥法	よう磷施用量 (リン酸肥沃度 mg·kg ⁻¹)				葉数 ^z				乾物重 ^y (g)						
	0	100	200	300	平均	0	100	200	300	平均	0	100	200	300	平均
全層区	111.0	164.0	255.0	351.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
直下区	1.8 e	2 de	2.3 d	2.2 d	2.1	0.060	0.068	0.113	0.069	0.078 b	0.060	0.068	0.113	0.069	0.078 b
直下減肥区	2.6 ab	2.8 a	2.9 a	2.8 a	2.8	0.191	0.209	0.214	0.188	0.201 a	0.191	0.209	0.214	0.188	0.201 a
	2.6 ab	2.6 ab	2.6 ab	2.8 a	2.7	0.171	0.188	0.189	0.209	0.189 a	0.171	0.188	0.189	0.209	0.189 a
二元配置 分散分析 ^x	施肥法 (A) **														
	よう磷施用量 (B) **														
	交互作用 (A×B) ns														

^z 子葉を除き本葉を1枚目とした

^y 乾物率は株あたりの値

^x 二元配置分散分析により** : 1%水準で有意差あり, ns : 有意差なし (n=4)

研究本部，2015）。畑作地帯にタマネギの直播栽培を導入する際には，畑作物との輪作を考慮する必要がある。一方，タマネギの移植栽培の場合には，有効態リン酸が $600 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 乾土が必要，で $1100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 乾土程度までは有効態リン酸が多いほど収量が増加傾向にあることが知られている（大西・田中，2012）。特にリン酸が欠乏すると生育が著しく抑制され（執行，2007），リン酸肥沃度の低い土壌では，生育，球肥大が不良となり，著しく収量が低下する（相馬ら，1983）。畑作物との輪作へのタマネギ直播栽培の導入のためには，土壌のリン酸肥沃度が $100 \sim 300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 乾土の範囲にあってもタマネギの収量が確保できることが重要である。そこで，寒地の畑作地帯における土壌診断基準において有効態リン酸が $100 \sim 300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 乾土の範囲内での直播栽培したタマネギへの直下施肥の影響を検討した。2014年度における生育初期の葉数と乾物重は，直下施肥により有意に増大した（第2-6表）。一方，リン酸肥沃度による葉数と乾物重への影響は認められなかった。2016年度は，施肥法やリン酸肥沃度が葉数や乾物重に及ぼす影響は無かった（第2-7表）。2017年度は，施肥法の違いが葉数と乾物重の増大をもたらしたが，リン酸肥

沃度が乾物重に及ぼす影響は認められなかった（第 2-8 表）。第 2 葉から 3 葉が展開する時期には，0.4 から 0.7 枚の差が生じた本章第 1 節の結果と同様に直下施肥により初期生育が促進される傾向にあったが，年度の違いによって有意差の有無が生じた。しかし，直下施肥において減肥を組み合わせても減肥をしない場合と初期生育には有意差が生じていなかった。2014 年度のりん茎重と規格内収量は，全層施肥と直下施肥との間に有意差が認められなかった（第 2-9 表）。一方，2016 年度のりん茎重は，施肥法によって有意差が認められ，全層施肥に比べて直下施肥や直下施肥と減肥の組み合わせによって増大，規格内収量は全層施肥に比べて直下施肥と減肥の組み合わせによって増大した。しかし全層施肥と直下施肥との間には有意差が認められなかった（第 2-10 表）。また，リン酸肥沃度がりん茎重と規格内収量に及ぼす影響は認められなかった。2017 年度のりん茎重と規格内収量は，2014 年度および 2016 年度とは異なり，全層施肥に比べて直下施肥および直下施肥と減肥の組み合わせにより有意に増大した（第 2-11 表）。また，りん茎重と規格内収量は，直下施肥および直下施肥と減肥の組み合わせとの間に有意差が認めら

表2-9 施肥位置がりん茎重および規格内収量に及ぼす影響 (2014)

施肥法	よう磷施用量				りん茎重 (g/個)				規格内収量 ^x (kg・m ⁻²)						
	0	100	200	300	平均	0	100	200	300	平均	0	100	200	300	平均
全層区	153.4	168.2	173.1	174.8	167.4	4.7	4.5	5.2	5.4	5.0					
直下区	164.3	172.6	167.9	180.6	171.4	4.8	4.8	4.9	5.3	5.0					
二元配置 分散分析 ^y	施肥法 (A)				ns	よう磷施用量 (B)				ns	交互作用 (A×B)				ns

^z 播種から立毛8割の倒伏が認められた日までの日数

^y 収穫株率は播種粒数に対する腐れ、分球、未倒伏など障害球を除いた収穫株割合

^x 規格内収量は総収量のうち2Sサイズを除いたSサイズから2Lサイズまでの総計

^w 二元配置分散分析により** : 1%水準で有意差あり, * : 5%水準で有意差あり, ns : 有意差なし (n=8)

表2-10 施肥位置がりん茎重および規格内収量に及ぼす影響 (2016)

施肥法	りん茎重 (g/個)				規格内収量 (kg・m ⁻²)				
	0	100	200	300	0	100	200	300	平均
全層区	117.5	130.2	108.4	108.4	2.2	2.3	1.7	2.7	2.2 ab
直下区	149.2	161.9	133.0	148.2	2.0	2.5	1.9	2.0	2.1 b
直下減肥区	154.0	155.8	144.4	179.8	2.9	2.1	2.8	3.1	2.8 a
二元配置 分散分析 ^w	施肥法 (A) **								
	よう磷施用量 (B) ns								
	交互作用 (A×B) ns								

^x 播種から立ち毛8割の倒伏が認められた日までの日数

^y 収穫株率は播種粒数に対する腐れ、分球、未倒伏など障害球を除いた収穫株割合

^z 規格内収量は総収量のうち2Sサイズを除いたSサイズから2Lサイズまでの総計

^w 二元配置分散分析により** : 1%水準で有意差あり, * : 5%水準で有意差あり, ns : 有意差なし (n=4)

第2-11表 施肥位置がりん茎重および規格内収量に及ぼす影響 (2017)

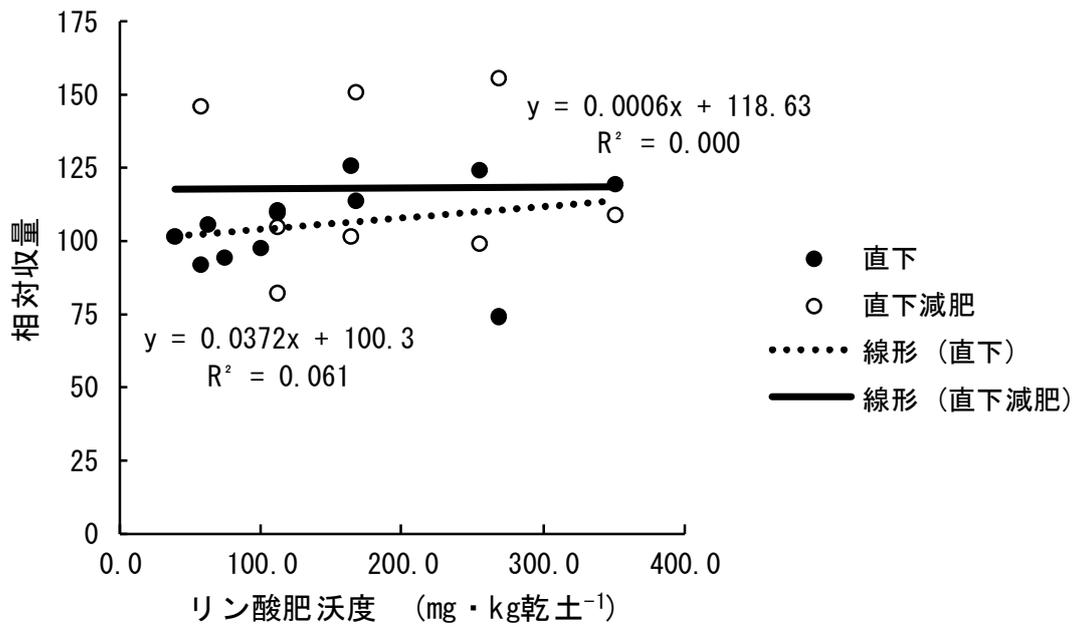
施肥法	よう磷施用量				りん茎重 (g/個)				規格内収量 (kg・m ⁻²)			
	0	100	200	300	平均	0	100	200	300	平均		
全層区	212.8	196.4	247.0	230.8	221.7 b	5.2	4.9	4.9	4.5	4.9 b		
直下区	229.0	256.6	267.0	271.2	256.0 a	5.7	6.2	6.0	5.4	5.8 a		
直下減肥区	247.6	243.6	261.3	272.8	256.3 a	6.0	6.3	6.0	5.9	6.1 a		
二元配置 分散分析 ^{*)}	施肥法 (A)				*	規格内収量 ^x				**		
	よう磷施用量 (B)				ns					ns		
	交互作用 (A×B)				ns					ns		

^{*)} 播種から立毛8割の倒伏が認められた日までの日数

^{*)} 収穫株率は播種粒数に対する腐れ、分球、未倒伏など障害球を除いた収穫株割合

^{*)} 規格内収量は総収量のうち2Sサイズを除いたSサイズから2Lサイズまでの総計

^{*)} 二元配置分散分析により** : 1%水準で有意差あり, * : 5%水準で有意差あり, ns : 有意差なし (n=4)



第 2-4 図 リン酸の全層施肥を 100 としたときの直下施肥および直下施肥と減肥の組み合わせによる相対収量

れなかった。全層施肥と比べて直下施肥ではりん茎重が増大することで規格内収量が多くなる傾向にあるが、年度の違いによりその程度は異なっていた。全層施肥を100とした時の直下施肥および直下施肥と減肥の組み合わせによる規格内収量の値を第2-4図に示した。寒地の畑作地帯における土壌診断基準において有効態リン酸が $100 \sim 300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 乾土の範囲内では、リン酸肥沃度によらず全層施肥とは収量性に違いが生じないと考えられた（第2-4図）。

以上の結果から寒地の畑作畑への直播したタマネギの導入に際して、土壌のリン酸肥沃度である有効態リン酸が $100 \sim 300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 乾土の範囲内では、施肥リン酸を施肥標準の $1/3$ を種子直下施肥することで、 $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ の減肥できると考えられた。

第3節 火山灰土壌でのタマネギ直播栽培における直下施肥を用いたリン酸肥料減肥の影響の解明

材料および方法

1. 供した圃場のリン酸肥沃度と施肥方法、供試品種

土壌統群名については農業環境技術研究所土壌情報閲覧システム土壌図閲覧（2009）を参照した。

タマネギの品種，施肥量は第2-12表に示した。直下施肥の方法は本章第1節の方法に従った。全層施肥に加えて総量が第2-12表のリン酸成分量になるように組み合わせ直下施肥で成分量 $6.6 \sim 10.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 施用した。芽室研究拠点では播種条の下方 $2 \sim 4 \text{ cm}$ の間にリン酸肥料として過リン酸石灰，A，BおよびCでは重過りん酸石灰を用いた。対照として慣行区の施肥は，芽室研究拠点では硫酸アンモニウム（くみあい硫安，新ケミカル商事（株）：以下，硫安），過リン酸石灰，硫酸カリウム（くみあい硫酸加里，ホクレン肥料（株）：以下，硫酸カリ）を組み合わせ全層施肥した。なお，対照の窒素，リン酸，カリウムの施肥量は第2-13表に示した土壌および供試品種，栽培方法に準じて設定した。ほ場AとBでは農家慣行に従い化成肥料（くみあいウレアホルム入り硫加磷安 S260UF，くみあい肥料（株）：以下，S260UF）を，Cでは S121 を全層施肥した。加えて A，B，C では，重過りん酸石灰を全層施肥した。減肥＋直下区は，芽室研究拠点では硫安，過リン酸石灰，硫酸カリを組み合わせ，A と B では S260UF，C では S121 を

第2-12表 供試品種, 施肥量, 播種日および収穫調査日

年度	ほ場名	品種	窒素 (N)	施肥量 ($g\ m^{-2}$)		播種日	収穫調査日
				リン酸 (P_2O_5)	カリウム (K_2O)		
2013	芽室研究拠点	北もみじ2000 ^y	15.0	30.0	21.0 (10.0)	4月23日	10月3日
2015	A	パワーウルフ ^x	12.0	50.4	33.2 (6.6)	4月19日	9月24日
	B	オホーツク222 ^z	12.0	46.1	26.1 (10.1)	4月23日	9月18日
	C	パワーウルフ	10.0	47.5	30.1 (10.1)	4月30日	9月24日

^z 芽室研究拠点の減肥施肥量は慣行の70%, Aは農家慣行の66%, Bは57%, Cは63%

^y (株) 七宝

^x (株) タキイ種苗

直下施肥と組み合わせて全層施用した。

試験区は3反復とした。株間10 cm, 条間30 cm, 4条蒔きとして, それぞれのほ場の播種日と収穫調査日を第2-12表に示した。

2. 統計処理

得られたデータは, 一元配置分散分析によりその有意性を検定した。

結果および考察

実験は有効態リン酸含量が479 mg・kg⁻¹, リン酸吸収係数が1610である芽室研究拠点ならびに有効態リン酸含量が67~438 mg・kg⁻¹, リン酸吸収係数が1590~1800である北海道十勝地方の農家ほ場(タマネギ初作地) A, BおよびCで実施した(第2-13表)。

局所施肥は, 作物による利用率が高いため減肥栽培が可能でコスト削減も図られるという利点もある(高橋, 2001)。そこで, 直下施肥を行うことで見かけの作物によるリン酸利用率が高まり, 生育が促進されることから減肥栽培について検討した結果, 規格内収量はいずれのほ場においてもリン酸施用量を慣行施肥から3割減じても減収しなかった(第2-14表)。また, りん

第2-13表 各ほ場の土壌の種類、前作、リン酸吸収係数、施肥前土壌の有効態リン酸含量

ほ場名	土壌の種類	前作	リン酸吸収係数 ^z	有効態リン酸含量 ^y mg kg ⁻¹
	土壌統群名 ^x			
芽室研究拠点	淡色黒ボク土	タマネギ	1610	479
A	淡色黒ボク土	小豆	1590	438
B	表層腐植質多湿黒ボク土	小麦	1700	270
C	表層腐植質黒ボク土	テンサイ	1800	67

^z 芽室研究拠点は2012年、北海道十勝地方の農家ほ場AおよびB、Cは2014年の値

^y 施肥前の土壌の値

^x 農業環境技術研究所土壌情報閲覧システム（農耕地土壌分類第2次案改訂版に準拠）による

第2-14表 減肥+直下施肥が球重および規格内収量に及ぼす影響

年度	ほ場名	品種	施肥	りん茎重 (g/個)	規格内収量 ^z (kg m ⁻²)
2013	芽室研究拠点	きたもみじ2000	慣行	167.8	4.7
			減肥+直下	173.5	4.5
ns ^y					
2015	A	パワーウルフ	農家慣行	175.8	4.8
			減肥+直下	200.2	5.3
ns					
B	オホーツク222		農家慣行	210.3	6.4
			減肥+直下	237.9	6.3
ns					
C	パワーウルフ		農家慣行	207.2	6.4
			減肥+直下	256.9	7.3
ns					

^z 規格内収量は総収量のうち2Sサイズを除いたSサイズから2Lサイズまでの総計

^y 一元配置分散分析によりns：有意差なし(n=3)

茎重も有意差が認められないことから減肥と直下施肥の組み合わせは直播栽培における施肥量削減に有利であると判断された。局所施肥は、作物による利用率が高いため減肥栽培が可能でコスト削減も図られるという利点もある（高橋，2001）。そこで，直下施肥を行うことで見かけの作物によるリン酸利用率が高まり，生育が促進されることから減肥栽培について検討した結果，規格内収量はいずれのほ場においてもリン酸施用量を慣行施肥から3割減じても減収しなかった（第2-14表）。また，りん茎重も有意差が認められないことから減肥と直下施肥の組み合わせは直播栽培における施肥量削減に有利であると判断された。

タマネギの移植栽培の場合には，有効態リン酸が600 mg・kg⁻¹乾土程度は必要で1100 mg・kg⁻¹乾土までは多いほど収量が増加傾向にあることが知られている（大西・田中，2012）。そのために有効態リン酸が低いほ場では，直播栽培においても農家慣行のリン酸施用量が多くなる傾向にある。本技術は有効態リン酸の多少に関わらず，減肥しても減収することなく4.5 kg m⁻²以上の収量を確保できた（第2-14表）。これらのことから，直下施肥を行うことで初期生育が促進され，基肥のリ

ン酸施用量を減じてても直下施肥を組み合わせた場合には収量が安定していると判断された。

第 4 節 . 本章の総合考察

リン酸吸収係数が高い火山性土壌のほ場においてリン酸肥料を局所施肥する効果的な方法を開発するために施肥位置の検討を行い、播種したコート種子の直下 2 ~ 4 cm に過リン酸石灰を施用する直下施肥が直播タマネギの生育を促進することを明らかにした。有効態リン酸が $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 乾土以下の火山性土の圃場において、肥料を全層施肥した場合に比べて、施用リン酸の $1/3$ を種子直下に局所施肥し、リン酸吸収を改善することで、第 2 葉から 3 葉の抽出が速まり、生育が促進されることが明らかになった。その結果、生育期間を通じて葉数展開が速まり、草丈や乾物重が増加するため、球肥大が助長され、加工用に適した直径 8 cm 以上（L 大および 2L）の個体割合が高まると考えられた。また、寒地の畑作地帯における土壌診断基準において有効態リン酸が $100 \sim 300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ の範囲内では、リン酸肥沃度によらず直下施肥とリン酸減肥の組み合わせは、全層施肥と比べて収量性に違いが生じないと考えられた。

以上，要するに，肥料を全層施肥した場合に比べて，施用リン酸の $1/3$ から $1/4$ を直下施肥し，リン酸吸収を改善することで作物によるリン酸利用率が高まり 3割程度の減肥が可能となることが明らかになった．このように直下施肥は，リン酸施肥を減肥する場合において局所施肥によりリン酸吸収効率を向上させて収量の安定化を図る施肥法であるといえる．

第 3 章 タマネギ直播栽培における展葉数推定に用いる日 平均気温を算出する方法の検討および葉数とりん茎重との関 係説明

第 1 節 . タマネギ直播栽培における気温による展葉数推定 法の検討

材料および方法

1. 供試圃場および供試品種，栽培方法

積算温度の算出方法を検討するために全農営農・技術センター現地圃場（神奈川県茅ヶ崎市 中島字 向河内 1268，北緯 35.3，東経 139.4，標高 2.5 m）の褐色低地土圃場において 1 区 0.5×1.5 m の試験区を 4 反復分設けた。また，異なる作型における回帰式の適合度を検証するために，秋播きとした全農営農・技術センター現地圃場とは日平均気温の推移が大きく異なる春播きを行った農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター（北海道札幌市豊平区羊ヶ丘 1，北緯 43.0，東経 141.4，標高 81.3 m，以下，北海道農業研究センター）と同センター芽室研究拠点の火山性土圃場において 1 区 0.5×1.5 m の試験区を 3 反復分設けた。

タマネギは，‘もみじ3号’（（株）七宝）のコート種子をすべての圃場において供試した．全農営農・技術センター現地圃場における施肥は，2015年9月25日に基肥，3月29日に追肥を施用した．基肥の全層施肥は，窒素，リン酸およびカリウムを基肥としてそれぞれ分量で10，30，10 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 施用した．また，直下施肥は，第2章第1節に従い，窒素とカリウムを各10 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ，リン酸20 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ を2015年9月25日に全層施肥するとともに播種時にリン酸の直下施肥を行った．全層施肥に用いた肥料は，化成肥料（くみあい複合燐加安42号，ジェイカムアグリ（株））および過リン酸石灰を混合して施用した．直下施肥に用いた肥料は，過リン酸石灰を施用した．なお，全層施肥では，肥料散布後にロータリー耕を行うことによって0 cmから20 cmの層を攪拌した．播種は，クリーンシーダ APS-40Cを用いて行った．全農営農・技術センター現地圃場の播種は，秋播きのために台風遭遇を避けた10月8日と10月15日，10月21日に行った．なお，10月21日の播種の施肥方法は，全層施肥と直下施肥を組み合わせた処理のみとした．追肥は，リン酸およびカリウムが3 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ となるように上記の化成肥料を手で表層施肥した．北海道農

業研究センターにおける施肥は，2016年4月6日に基肥を全層施肥，芽室研究拠点では，2016年4月19日に基肥を全層施肥した．北海道農業研究センターにおける基肥は，窒素を $15\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ，リン酸を $10\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ を施用した．用いた肥料は硫黄被覆尿素（SCU（M）），サンアグロ（株））を全層施肥した．直下施肥に用いた肥料は，過リン酸石灰を施用した．芽室研究拠点における基肥は，窒素，リン酸およびカリウムをそれぞれ15，45， $15\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 施用した．肥料はS131を全層施肥した．加えて，上記の方法を用いて過リン酸石灰を直下施肥した．なお，北海道農業研究センターおよび芽室研究拠点においても全層への肥料散布後は，ロータリー耕を行うことによって0～20 cmの層を攪拌した．北海道農業研究センターにおける播種はクリーンシーダ APS-40Cを用いて，春播きのために融雪後の2016年4月7日，芽室研究拠点は2016年4月20日に行った．

2. 葉数調査

展葉数の調査は，子葉を除き最初の本葉を第1葉として展開した葉数を数えた．全農営農・技術センター現地圃場の調査は，2015年11月16日を初回として4日から26日間ごと，各処理10株を選び調査した．なお

， 調 査 途 中 で 枯 死 し た 株 や 抽 苔 し た 株 が 出 た の で 最 終 的 に は 6 株 か ら 10 株 の 平 均 値 を 用 い た 。 北 海 道 農 業 研 究 セ ン タ ー の 調 査 は ， 2016 年 5 月 16 日 お よ び 6 月 14 日 ， 7 月 23 日 ， 芽 室 研 究 拠 点 の 調 査 は ， 2016 年 5 月 16 日 ， 6 月 14 日 ， 7 月 23 日 ， 8 月 24 日 に 10 株 を 選 び 調 査 し た 。

3. 気 温

全 農 営 農 ・ 技 術 セ ン タ ー 現 地 圃 場 に お け る 日 平 均 気 温 お よ び 日 最 低 気 温 ， 日 最 高 気 温 は ， ア メ ダ ス (辻 堂) の デ ー タ を 利 用 し た 。 ま た ， 北 海 道 農 業 研 究 セ ン タ ー お よ び 芽 室 研 究 拠 点 に お け る 日 平 均 気 温 お よ び 日 最 低 気 温 ， 日 最 高 気 温 は ， そ れ ぞ れ の 敷 地 内 設 置 さ れ た 気 象 観 測 露 場 の デ ー タ を 利 用 し た 。

4. 温 度 の 算 定 方 法 と 適 合 度

三 角 法 は ， 当 日 の 最 低 気 温 か ら 翌 日 の 最 低 気 温 ま で を 1 日 と し て 2 つ の 最 低 気 温 と 最 高 気 温 を 結 ぶ 2 直 線 と 発 育 限 界 で あ る 基 準 温 度 に 囲 ま れ た 部 分 を 求 積 す る こ と に よ っ て 得 ら れ る 値 を 用 い る 方 法 で あ る (坂 神 ・ 是 永 ， 1981) 。 こ の 三 角 法 を 用 い た 積 算 温 度 の 算 出 は ， 展 葉 の 下 限 温 度 を 示 す 基 準 温 度 を Brewster (2008) の 報 告 に 従 い 3.5℃ も し く は Lancaster ら (1996) の 報 告 に

従い 5.0℃として算出した有効温度を積算した（以下，三角法（3.5℃），三角法（5.0℃）と表記）．なお，発育限界の上限温度は設定しなかった．平均気温法は，基準温度 3.5℃（Brewster, 2008），基準温度 5.0℃（Lancasterら, 1996）および基準温度 0℃としてそのアメダスまたは気象観測露場の日平均気温との差を積算した（以下，平均気温法（3.5℃），平均気温法（5.0℃），平均気温法（0℃）と表記）．求めた回帰式の適合度は，それぞれの回帰式から推定した展葉数と実測値の間の決定係数（ R^2 ）を用いて検証した．なお，積算温度は，展葉数が概ね 1.0 であった調査初日（全農営農・技術センター現地圃場 11 月 16 日もくしは 11 月 20 日，北海道農業研究センターおよび芽室研究拠点 5 月 16 日）を 0.0℃・日として積算した．回帰式を用いて求めた葉数の推定値と実測値との間の適合度は，決定係数および予測推定誤差である RMSE（Lancasterら, 1996）により検証した．推定のための回帰式の差の検定は，共分散分析により行った．

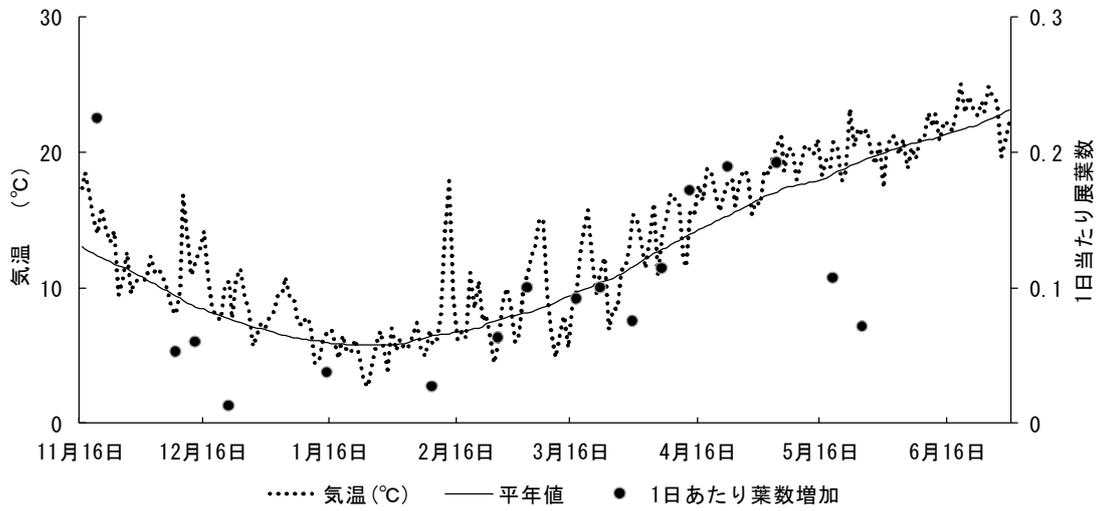
結果および考察

1. 秋播き直播タマネギの葉数と日平均気温との関

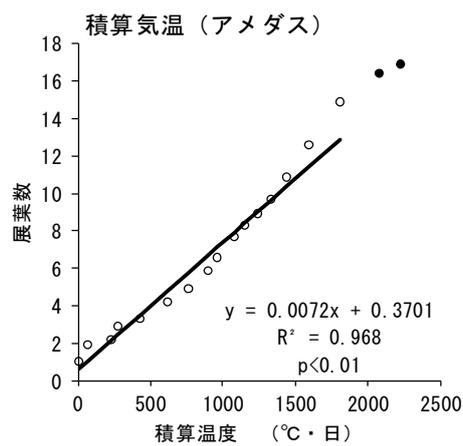
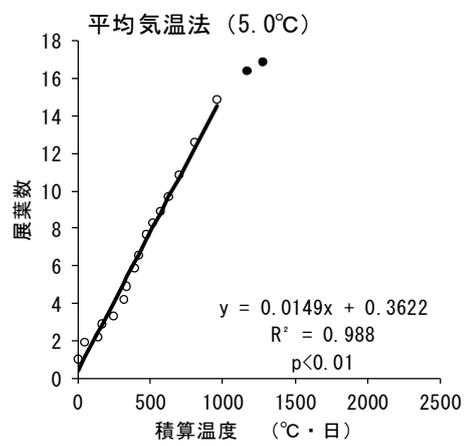
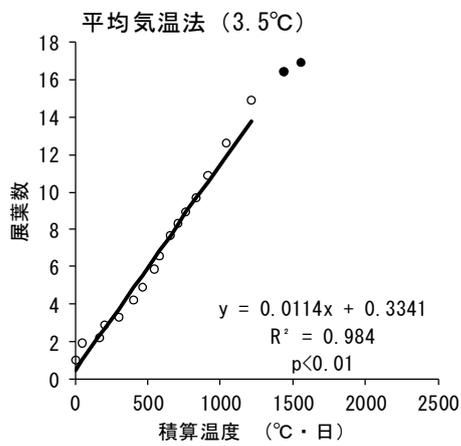
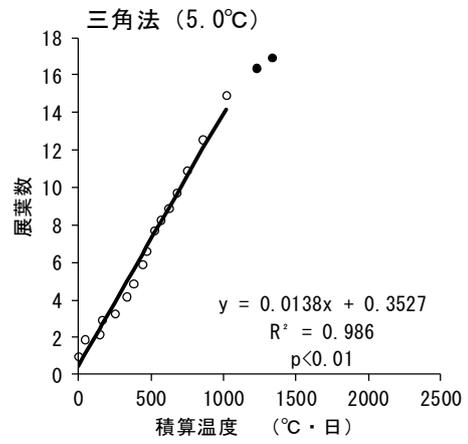
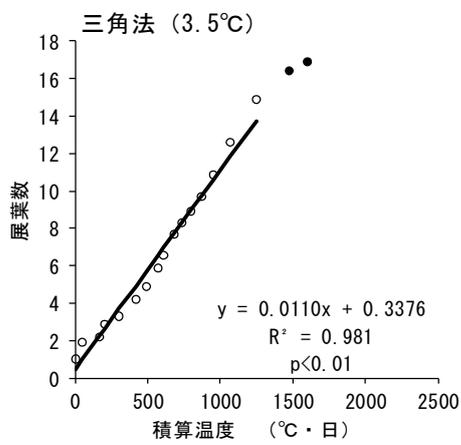
係

アメダス（辻堂）における日平均気温の推移は，短期的には平年値を大きく上回る日が出現したが，1月下旬を最低としてその後を上昇する推移を示した（第3-1図）．1日当たりの展葉数は，12月から2月には1日当たり0.1枚以下であったが，気温の変化に伴い3月以降には最大0.2枚程度まで上昇した（第3-1図）．しかし，1日当たりの展葉数は，肥大が始まったと推定される5月中旬以降には再び0.1枚以下に低下した（第3-1図）．日平均気温が 5.0°C 以下に低下した日は，播種日の10月8日から最後の調査日の5月25日までの間に7日，そのうち 3.5°C 以下に低下したのは2日のみであった（第3-1図）．

積算温度と葉数との回帰式の決定係数は， $0.968 \sim 0.988$ の有意（ $p < 0.01$ ）な値を示した（第3-2図）．各回帰式の決定係数に及ぼす積算温度の算定方法の影響は，10月8日播種の全層施肥では展葉の基準温度を 0°C とした平均気温法（ 0°C ）の決定係数が 0.968 となり，三角法や平均気温法の $0.981 \sim 0.988$ を下回った（第3-2図）．なお，基準温度を 5.0°C とした三角法や平均気温法の決定係数は， 3.5°C とした場合よりもわずかに上



第3-1図 アメダス(辻堂)の日平均気温と平年値, 全農営農・技術センター現地圃場におけるタマネギの一日あたり展葉数



第3-2図 全層施肥における積算温度とタマネギの展葉数との関係

○は第1葉から肥大開始まで，●は肥大開始以降を示す

回帰式および決定係数の算出は第1葉から肥大開始までの値を用いた

回った。りん茎の肥大開始である播種後 208 日目の展葉数は 14.9 枚であったのに対して、三角法 (3.5℃) の推定値は 14.0 枚、三角法 (5.0℃) は 14.4 枚、平均気温法 (3.5℃) は 13.5 枚、平均気温法 (5.0℃) は 14.0 枚、平均気温法 (0℃) は 13.4 枚であった。

青葉 (1951) は、タマネギの摘葉によるりん茎肥大に及ぼす影響を調査し、栄養成長期の展葉数とりん茎重との間には正の相関があることを明らかにした。また、Lancaster ら (1996) は、りん片の肥厚が開始された後の葉数が肥厚開始までの生育期間の長さに伴い減少することを明らかにした。これらの報告は、りん茎の肥大開始までの生育が倒伏までの葉数に影響を及ぼすこと、さらに、葉数の多少がりん茎重に影響を及ぼすことを示し、葉数を推定することは、生育やりん茎重の良否を考えるうえで有効な指標となると考えられる。末貞ら (2018) は、タマネギの直播栽培において葉数と積算温度との間に有意な相関が認められたことから倒伏時に一定の葉数へ到達するための播種日の推定が積算温度を用いてできると考え、移植栽培と同じ展葉数を確保する播種日の推定を行った。しかし、末貞ら (2018) の報告では出芽前の展葉が見られない時期も同じ回帰式で

推定している。一方、播種から出芽までに有効積算地温（基準温度 1.4°C ）は $219^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ であることが報告されている（Bierhuizen・Wagenvoort, 1974; Wagenvoort・Bierhuizen, 1977）。これらの報告の地温や積算温度は、葉数が積算温度に比例して直線的に増加するとされる 3.5°C から 23.0°C （Brewster, 2008）の日平均気温や日々の積算温度とは異なると考えられる。そのため播種から出芽もしくは第1葉が展葉するまでと第1葉の展葉以降では異なる回帰式を適用すべきである。なお、末貞ら（2018）の回帰式では傾きが 0.0071 であるのに対して、本報告では用いた品種に違いがあるが、傾きが $0.0072\sim 0.0149$ のやや上向きの回帰式となった（第3-2図）。いずれの積算温度の算出方法による回帰式を用いても決定係数は高く、第1葉以降の展葉数は基準温度を設定した積算温度に強く依存すると考えられた（第3-2図）。また、日平均気温が基準温度を下回る日が少ない栽培条件では、積算温度の算出方法の違いは小さいと考えられた。また、全層施肥と直下施肥の違いが回帰式の傾きと切片に及ぼす影響について共分散分析を用いて検討した結果、傾きと切片は、全層施肥と直下施肥の間に差が認められなかった（データ省略）。従っ

て、実測値と全層施肥の場合における回帰式から推定した展葉数との間の決定係数および予測推定誤差である RMSE を比較した（第 3-1 表）。展葉数の実測値と推定値との間の決定係数はいずれの回帰式でも 0.965 ($p < 0.01$) 以上を示した。これらの結果が示すように、リン酸直下施肥を行った場合でも回帰式の傾きと切片は、全層施肥との間に差が認められなかった。なお、第 2 章第 1 節において、土壌の可給態リン酸含量が低い圃場でリン酸直下施肥を行う場合には出芽後の展葉が早まり、2～3 葉期の葉数は、0.4～0.7 枚多くなったが、本実験では葉数の差は、0～0.1 枚しか生じていなかった。全層施肥のデータを用いて作成した回帰式によって推定した葉数と直下施肥を行った場合の葉数の実測値との間の決定係数は高く ($p < 0.01$)、RMSE は、0.128～0.183 と差がわずかであり、リン酸直下施肥は、出芽から第 1 葉が展葉するまでは影響が大きいですが、第 1 葉からりん茎肥大までの生育期間中の展葉と積算温度との関係に影響を及ぼさないと考えられた。

播種時期の違いが回帰式の適合度に及ぼす影響を検討するために全農営農・技術センター現地圃場における 10 月 8 日播種の全層施肥におけるデータから算

第3-1表 積算気温算出方法の違いが直下施肥を行ったタマネギの葉数の実測値と予測値との間の決定係数およびRMSEに及ぼす影響

	10/8直下施肥				
	三角法 (3.5°C)	三角法 (5.0°C)	平均気温法 (3.5°C)	平均気温法 (5.0°C)	平均気温法 (0°C)
決定係数 (R ²)	0.977	0.982	0.980	0.984	0.965
RMSE	0.150	0.131	0.141	0.128	0.183

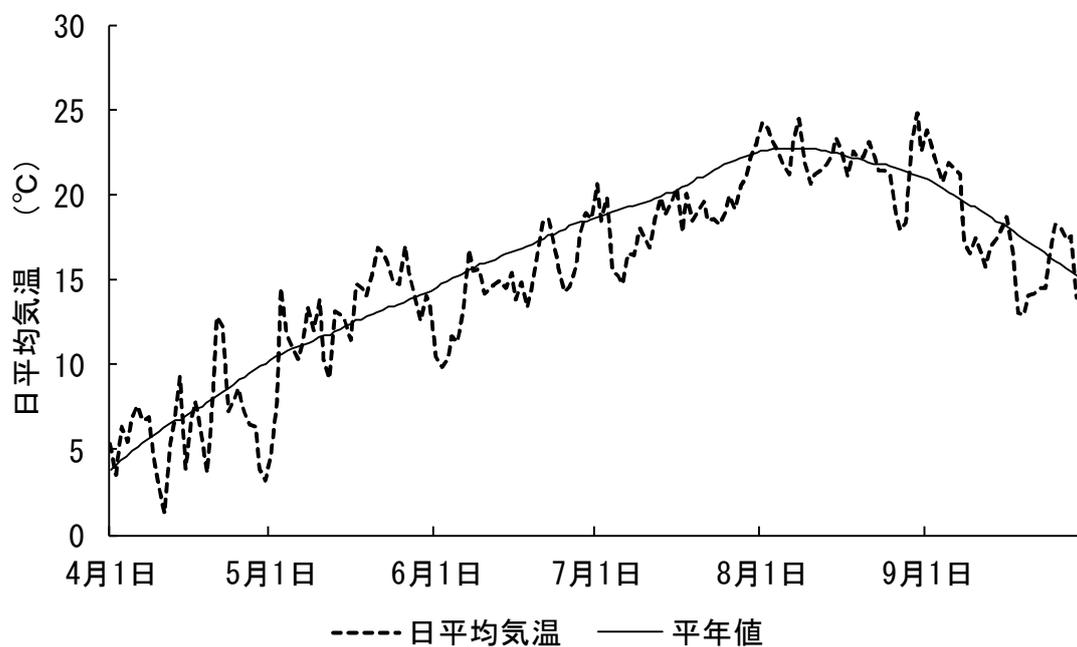
出した回帰式を用い，10月15日播種のデータを入力して得られた推定値と実測値との間の決定係数を比較した．その結果，全層施肥の10月15日播種における葉数の実測値と推定値との間の決定係数はいずれの回帰式でも平均気温法（ 0°C ）の値を上回った（第3-2表）．RMSEは，平均気温法（ 5.0°C ）が最も小さかった．直下施肥の10月15日および21日播種における葉数の実測値と推定値との間の決定係数はいずれの回帰式でも日平均気温法（ 0°C ）の値を上回った．RMSEは，10月15日および10月21日播種では平均気温法（ 5.0°C ）が最も小さかった．

北海道農業研究センターおよび芽室研究拠点の生育期間の日平均気温は，8月上旬に向けて上昇し，芽室研究拠点で日々の振れ幅が大きかった（第3-3図）．北海道農業研究センターでは，播種日の4月7日から最後の調査日7月23日までの間に日平均気温が 5.0°C 以下に低下した日は6日，そのうち 3.5°C 以下に低下したのは2日のみであった（第3-3図）．芽室研究拠点では，播種日の4月21日から最後の調査日の8月24日までの間に日平均気温が 5.0°C 以下に低下した日は4日，そのうち 3.5°C 以下に低下したのは2日のみであった（第

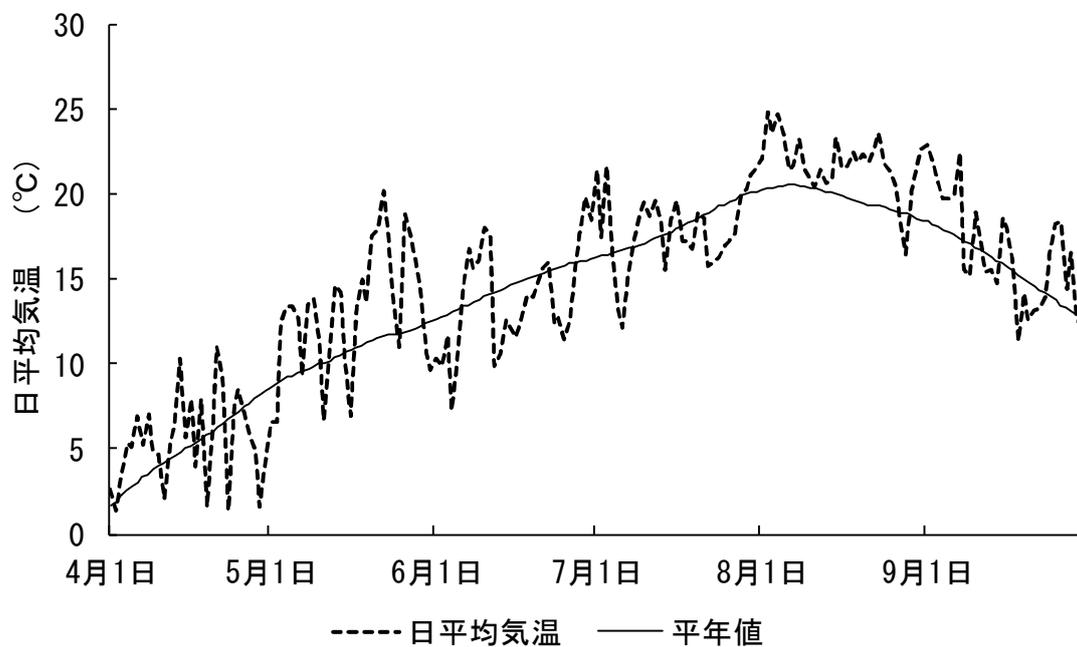
第3-2表 積算気温算出方法の違いが播種日の異なるタマネギの葉数の実測値と予測値との間の決定係数およびRMSEに及ぼす影響

	10/15全層施肥						10/15直下施肥						10/21直下施肥					
	三角法		平均気温法		平均気温法		三角法		平均気温法		平均気温法		三角法		平均気温法		平均気温法	
	(3.5℃)	(5.0℃)	(3.5℃)	(5.0℃)	(0℃)	(0℃)	(3.5℃)	(5.0℃)	(3.5℃)	(5.0℃)	(0℃)	(0℃)	(3.5℃)	(5.0℃)	(3.5℃)	(5.0℃)	(0℃)	(0℃)
決定係数 (R^2)	0.978	0.986	0.982	0.990	0.961	0.961	0.972	0.980	0.976	0.984	0.956	0.956	0.964	0.974	0.968	0.980	0.942	0.942
RMSE	0.223	0.199	0.137	0.109	0.248	0.248	0.245	0.223	0.235	0.220	0.267	0.267	0.308	0.271	0.293	0.139	0.139	0.349

北海道農業研究センター



芽室研究拠点



第 3-3 図 北海道農業研究センターおよび芽室研究拠点の気象観測露場の日平均気温と平年値

3-3 図)。北海道農業研究センターでは，実測値と推定値との間の決定係数は，平均気温法（0℃）と比べて，三角法や平均気温法（3.5℃および5.0℃）が上回り，三角法（5.0℃）と平均気温法（5.0℃）がより大きかった（第3-3表）。一方，RMSEは，三角法（3.5℃）が最も小さかった。全農営農・技術センター現地圃場とは作型が異なる北海道農業研究センターおよび芽室研究拠点では，推定値と実測値との間に認められた決定係数は，いずれの回帰式でも0.996（ $p < 0.01$ ）以上を示した（第3-2表）。RMSEは，北海道農業研究センターおよび芽室研究拠点では三角法（3.5℃）が最も小さかった。北海道農業研究センターと比べて芽室研究拠点のRMSEが大きい値を示したが，2016年は8月に相次いで4つの台風が北海道に上陸もしくは接近した（広田，2017）。芽室研究拠点のRMSEは，タマネギが冠水の被害にあったことによって影響された可能性がある。以上のことから，推定精度は，秋播き直播栽培では播種日が異なる場合においても施肥方法に関わらず平均気温法（5.0℃）において決定係数が高く，RMSEも小さいことが示唆された。また，春播き直播栽培である北海道農業研究センターおよび芽室研究拠点では，平均気温法（5.0℃

第3-3表 積算気温算出方法の違いが北海道農業研究センターおよび芽室研究拠点におけるタマネギの葉数の実測値と予測値との間の決定係数およびRMSEに及ぼす影響

	北海道農業研究センター				芽室研究拠点			
	三角法 (3.5°C)	平均気温法 (3.5°C)	平均気温法 (5.0°C)	平均気温法 (0°C)	三角法 (3.5°C)	平均気温法 (3.5°C)	平均気温法 (5.0°C)	平均気温法 (0°C)
決定係数 (R ²)	0.998	0.999	0.998	0.999	0.998	0.997	0.998	0.997
RMSE	0.222	0.438	0.223	0.578	1.004	1.530	1.073	1.261

）において決定係数が高い（第 3-3 表）。芽室研究拠点では RMSE が大きい傾向にあるが，播種日や作型の違いがあっても安定的に展葉数の推定精度が高い回帰式は，平均気温法（ 5.0°C ）であると判断できた。

Lancaster ら（1996）は，出芽から肥大までの間に基準温度 5.0°C とした積算温度 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 当たりには 1.02 枚の葉が展開することを明らかにした。全層施肥における平均気温法（ 5.0°C ）の回帰式の係数から算出した積算温度 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 当たりの展葉は，1.49 枚であり，Lancaster ら（1996）が示した値よりも大きい。さらに他品種や他地域での検討を必要とするが，タマネギ品種‘もみじ 3 号’は，概ね積算温度 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ （基準温度 5.0°C ）当たりに約 1.5 枚の展葉が認められると考えられた。

10 月 8 日播種の全層施肥では，りん茎の肥大開始である播種後 208 日目の展葉数が実測で 14.9 枚であったのに対して平均気温法（ 5.0°C ）では 14.0 枚を示し，概ね葉数を推定できた。日平均気温の平年値を用い，求められる葉数に必要な積算温度を算出することで移植栽培と同等の葉数を確保できる播種日が推定可能となる。このように本報告で示した積算温度 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ （基準温

度 5.0℃) 当たりに約 1.5 枚の展葉が認められる回帰式の利用は、多様な気象条件下や地域でタマネギの直播栽培する際に、播種期決定への活用の他、品種の早晩性の評価(室ら, 2017)や収量性の判断への利用が期待できる。また、Brewsterら(1977)は、タマネギの秋播き栽培で越冬時の植物体の大きさが抽苔や越冬率に影響を及ぼすことを明らかにしている。山崎・田中(2005)は、同じ *Allium* 属のネギの花芽分化が可能な生育量の指標として葉数もしくは分化葉数を用いることが適切であるとしている。これらの報告のように花芽分化を回避しつつ生産を成立させる生育量が存在すると考えられる。緑植物春化型のタマネギやネギの栄養成長から生殖成長への生育相転換の生育量の指標としては、葉鞘径(安藤ら, 2002; 本間ら, 1999; 白岩ら, 2005; 宍戸・斉藤, 1976)や葉齢(Brewster, 1983, 1985; 伊藤, 1956a, b)の報告がある。タマネギにおいても、花芽分化に必要なとなる生育量に相当する葉数を明らかにした上で、当該葉数に到達する期間を積算温度から推定することにより、抽苔を避けるための播種日が算定可能となる可能性がある。

第 2 節 . 積算気温により推定した葉数と実測値との関係および肥大始めの葉数とりん茎重との関係説明

材料および方法

第 2 章 第 1 節において使用した‘オホーツク 222’のデータを用いて，2012 年度は 7 月 3 日，2013 度は 6 月 24 日に調査した葉数を初期値として，本章第 1 節で‘もみじ 3 号’を供して算出した回帰式に当てはめて適合度を検証した．また，リン酸肥沃度の異なる条件における葉数とりん茎重との関係を解析するために，第 2 章 第 2 節において使用した‘オホーツク 222’のデータを用いて，2014 年は 6 月 16 日，2016 年は 6 月 26 日，2017 年は 6 月 21 日に調査した葉数を初期値として本章第 1 節で算出した回帰式に当てはめて肥大始めの葉数を推定した．さらに，上記の 2012 年度と 2013 度および 2014 年，2016 年，2017 年の推定した葉数と収穫したりん茎重との関係を解析した．用いた気象データは，アメダス（芽室）のデータを利用した．旬の気象データは，各月を上旬・中旬・下旬に分け，月上旬は 1 日から 10 日まで，中旬は 11 日から 20 日まで，下旬は 21

日から月の末日までとした各旬について行った。

結果および考察

実験年の気象条件は、日平均気温では2013年が5月上旬まで平年値を下回る傾向にあった（第3-4表）。加藤（1964）は、葉の成長が10℃以下ではほとんど行われず、17～25℃において優れることを明らかにしている。なお、2013年は、5月上旬まで10℃を下回っていた。降水量の合計は、2012年5月上旬および2014年8月中旬、2016年6月中旬と8月中旬、8月下旬、2017年9月中旬に平年値を大きく上回り100mmを超えていた（第3-5表）。特に2016年8月には北海道地方に年間で2個、再上陸も含めて3個の台風が上陸し、これは観測史上で初めてで、8月下旬の降水量の合計が282.5mmと冠水被害をもたらして収量が低かった（第2-10表）。日照時間は、やや少ない期間も存在したが、いずれも概ね平年並みであった（第3-6表）。

推定した葉数と実測した葉数の間には決定係数 $R^2 = 0.998^{**}$ 、RMSE=0.136の関係が認められ、肥大始めの葉数を日平均気温から推定できた（第3-4図）。本章第1節において‘もみじ3号’のデータを用いて算出した

第3-4 芽室研究拠点における試験期間の日平均気温(°C)

	2012年	2013年	2014年	2016年	2017年	平年値
4月上旬	-0.1	4.1	3.0	4.9	5.0	3.0
4月中旬	3.3	4.1	4.1	5.7	5.8	5.1
4月下旬	9.9	6.1	10.4	6.2	6.4	7.3
5月上旬	11.3	6.1	11.2	11.4	12.8	9.5
5月中旬	10.0	7.9	13.0	12.5	11.3	10.8
5月下旬	12.2	14.0	12.7	15.6	14.8	11.9
6月上旬	14.2	15.1	17.1	13.1	12.5	13.2
6月中旬	11.9	16.3	15.5	13.0	14.0	14.8
6月下旬	16.7	14.9	17.6	15.4	16.7	15.9
7月上旬	18.6	21.0	17.5	17.5	22.3	16.6
7月中旬	18.4	18.9	20.5	18.1	21.5	17.9
7月下旬	21.3	19.1	20.6	18.3	20.8	19.6
8月上旬	18.7	20.3	21.4	22.9	19.3	20.7
8月中旬	20.7	21.8	19.7	21.7	16.9	19.9
8月下旬	22.6	18.6	18.6	20.9	19.6	19.1
9月上旬	20.9	17.5	18.4	19.6	17.4	17.8
9月中旬	<u>22.2</u>	17.5	14.1	15.4	15.3	15.9
9月下旬	15.5	13.6	13.2	15.1	13.4	13.6

アンダーラインは平年値と5°C以上の差がある

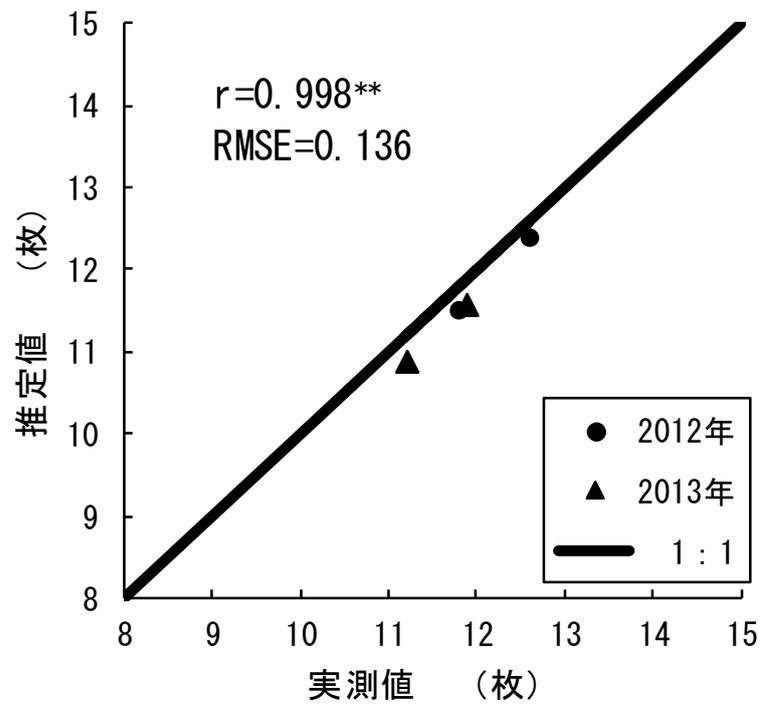
第3-5表 芽室研究拠点における試験期間の降水量の合計(mm)

	2012年	2013年	2014年	2016年	2017年	平年値
4月上旬	51.5	57.5	49.0	9.5	0.5	16.0
4月中旬	7.5	14.5	0.0	16.5	51.5	21.0
4月下旬	14.5	20.0	0.0	27.5	8.0	24.0
5月上旬	<u>165.5</u>	30.5	1.5	1.5	7.5	25.9
5月中旬	24.0	22.0	28.5	43.5	31.5	28.5
5月下旬	11.0	4.0	5.5	18.5	26.5	27.7
6月上旬	8.0	1.0	22.5	43.0	77.0	25.9
6月中旬	49.5	23.0	59.5	104.0	18.0	25.8
6月下旬	5.0	23.5	4.0	46.5	64.5	25.1
7月上旬	40.5	13.0	31.0	43.0	11.5	33.4
7月中旬	39.5	0.5	13.0	32.5	34.0	46.6
7月下旬	0.0	60.5	52.0	59.0	39.0	21.2
8月上旬	66.5	15.5	78.0	17.0	4.0	48.4
8月中旬	24.5	10.0	115.0	119.0	11.0	49.7
8月下旬	7.0	59.5	21.5	<u>282.5</u>	25.0	58.7
9月上旬	45.5	27.0	28.5	94.5	7.0	51.6
9月中旬	4.0	93.5	84.0	22.5	<u>172.5</u>	51.6
9月下旬	24.5	27.5	5.0	20.5	11.0	44.3

アンダーラインは平年値と100mm以上の差がある

第3-6表 芽室研究拠点における試験期間の日照時間(時間)

	2012年	2013年	2014年	2016年	2017年	平年値
4月上旬	67.5	61.4	65.5	57.4	84.4	65.4
4月中旬	36.8	64.9	103.5	58.1	78.6	59.9
4月下旬	50.1	53.1	102.3	61.9	65.8	64.4
5月上旬	33.6	61.8	60.3	75.1	97.7	64.5
5月中旬	58.1	22.1	69.2	86.2	48.7	58.5
5月下旬	62.5	67.2	67.9	92.6	49.3	62.6
6月上旬	52.6	72.7	65.4	57.6	37.7	51.0
6月中旬	24.8	16.7	5.8	14.9	65.1	48.2
6月下旬	82.8	45.9	48.1	43.2	56.8	52.8
7月上旬	38.5	55.5	37.6	60.1	87.6	40.3
7月中旬	53.7	57.2	42.0	25.5	53.7	35.8
7月下旬	66.8	16.3	64.4	5.3	53.8	42.0
8月上旬	9.8	33.7	45.1	71.4	24.3	45.7
8月中旬	43.2	25.0	31.8	29.3	15.2	36.8
8月下旬	72.1	35.0	71.9	25.5	48.0	49.4
9月上旬	43.5	29.0	30.8	28.4	61.3	44.5
9月中旬	43.5	54.4	43.4	40.3	33.9	45.6
9月下旬	19.8	53.7	74.0	51.4	54.3	50.9



第3-4図 展葉数の実測値と推定値との関係

**は $p < 0.01$ で有意であることを示す

積算温度と展葉数の回帰式であるが，‘オホーツク 222’でも展葉数を積算温度から推定可能であると考えられた．このことから肥大始めの展葉数を計数していない 2014 年，2016 年，2017 年について回帰式を用いて葉数を推定した（第 3-5 図）．台風被害にあった 2016 年は葉数が 10 枚程度にとどまり，処理間差が少なくなったが，約 10.0 枚から 12.5 枚まで葉数の増加に伴いりん茎重が増大した（決定係数 $R^2 = 0.643^{***}$ ）．タマネギのりん茎の肥大には，葉面積の多少が関与し，形成初期の影響が大きい（加藤，1965）．第 2 章第 1 節において，リン酸の直下施肥では肥大開始が早まることで肥大に適した気温の期間が長くなり，りん茎重が重くなった（第 2-3 表，第 2-4 表）．一方，本節では，肥大に適した期間だけでなくリン酸の直下施肥を行うことで，肥大始めの展葉数の増加が結果的に生葉数の増大をもたらし，りん茎重が重くなったと推察された．

以上の結果から寒地の直播したタマネギのりん茎重は，肥大始めの展葉数が多い処理ほど重くなる傾向にあり，リン酸の直下施肥によって助長されることが明らかになった．

第 3 節 . 本章の総合考察

タマネギの葉数は，りん茎重の大きさに関わり，収量を構成する重要な要素である．そこで，タマネギの葉数を積算温度から推定することを目的として，三角法などの積算温度の計算方法を比較した．さらに，播種日や作型の違いおよびリン酸の全層施肥と直下施肥の条件下において回帰式の適合度を検証した．その結果，基準温度を 3.5°C もしくは 5.0°C とした三角法や平均気温法を用いた場合の推定精度は，基準温度を 0°C とした日平均気温の積算値を用いた場合を上回った．基準温度を設定した場合，決定係数は，基準温度 3.5°C とした場合より 5.0°C とした回帰式で高かった．従って基準温度を 5.0°C とした平均気温法と三角法の回帰式は決定係数が高く，RMSE も小さいことが明らかとなった．また，作型を異にする場合には，基準温度を 5.0°C とした平均気温法の精度が高かった．以上のことから播種日や作型を異にしても安定的に推定精度が高い回帰式は，基準温度を 5.0°C とした平均気温法であると判断できた．タマネギは，品種‘もみじ 3 号’を用いた場合に，回帰式の係数により基準温度 5.0°C とした積算温度 $100^{\circ}\text{C} \cdot \text{日}$ 当たり約 1.5 枚の展葉が認められ

ることが示唆された。上記の回帰式を用いて推定した
‘オホーツク 222’の肥大始めの展葉数と収穫期のりん
茎重との間には有意な正の相関が認められ、品種に
よらず積算気温から展葉数が推定可能であり、展葉数
が1枚増えることで約45.8g増加することが示された
。寒地の直播したタマネギのりん茎重は、肥大始めの
展葉数が多い処理ほど重くなる傾向にあり、リン酸の
直下施肥はそのことを助長することが明らかになった
。

第 4 章 リン酸直下施肥と組合せた窒素・カリウム肥料の 施用方法が春播き直播タマネギの生育・収量に及ぼす影響

第 1 節 . リン酸直下施肥と組合せた窒素・カリウム肥料の 施用時期が春播き直播タマネギの生育・収量に及ぼす影響

材料および方法

1. 栽培概要および試験区

芽室研究拠点の淡色黒ボク土圃場において実験を行った。タマネギは、‘オホーツク 222’のコート種子を試した。試験区はリン酸の施肥方法（全層施肥と直下施肥）と窒素・カリウムの施用時期（播種前施肥と第 2 葉期施肥）を組合せた 4 区を設けた。全層施肥はリン酸を全層に施肥する全層区、直下施肥はリン酸を局所施肥する直下区、播種前施肥は窒素・カリウムを播種直前に施肥する播種前施肥区、2 葉期施肥は窒素・カリウムを播種後約 50 日目（おおよそ 2 葉期）に施肥する 2 葉期施肥区とした。リン酸は、北海道施肥ガイド（北海道農政部，2002）に基づいた春播き移植タマネギの標準施用量のうち、リン酸が低い場合の施肥対応に従い、全層区では $30 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ を全層施肥し、直下区では $20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ の

全層施肥と併せ，種子の下方 2～4 cm に $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ を局所施肥した．いずれも重過リン酸石灰を用いた．窒素は，西田ら（2005）の報告に準じて播種前施肥区および2葉期施肥区ともに，施用量が $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ となるように調整した．カリウムは窒素と同量となるように，BBNKを播種前施肥区では播種前日に全層施肥，2葉期施肥区では2014年6月17日（播種後53日目）および2015年6月18日（播種後55日目）に表面施肥した．全層区は，肥料散布後にロータリー耕を行うことによって耕土の0～15 cmの層を攪拌した．直下区は，全層施肥後にロータリー耕を行うことによって耕土の0～15 cmの層を攪拌し，播種と同時に上記のリン酸局所施肥を行った．

播種は，クリーンシーダ APS-40C を用い，株間 10 cm，畝間 27 cm の 4 条播きとして 2014 年 4 月 25 日および 2015 年 4 月 24 日に行った．

生育調査は，2014年5月26日および2015年6月6日に苗立ち率を計測し，2014年6月16日および2015年6月19日に試験区当たり畝長 2 m の 2 畝を対象として草丈，葉数，地上部乾物重を測定した．草丈は，茎盤基部から最も長い葉の先端までの長さとした．葉数

は、最初の本葉を第1葉として展開した葉数を数えた。地上部乾物重は、莖盤基部から上部とした。調査株のうち中庸な5株について、細断・生重測定後に強制通風乾燥機を用いて80℃で7～10日間乾燥して乾物量を測定し、乾物率を算出した。2014年8月4日および2015年8月10日にサンプリングを行い、肥大始めの乾物重を測定した後に粉碎して、窒素含有率を乾式燃焼法（日高，1997）、リン酸含有率およびカリウム含有率を硝酸－過塩素酸－硫酸法で湿式灰化後にそれぞれバナドモリブデン酸法（岡部，1975）、原子吸光法（後藤，1990）によって測定した。

倒伏日数は、8月15日以降に毎日、試験区当たり畝長2mの2畝を調査株として80%の株に倒伏が認められた日を目視で確認して播種日からの日数を算出した。根切りは2014年8月28日および2015年9月11日に行い、収量、りん茎重（生重）および乾物率の調査は、風乾後の2014年9月8日および2015年9月21日以降に行った。収穫株率は、規格内球数と規格外球数の合計を播種粒数で除した値とした。倒伏期の葉数は、試験区当たり畝長2mの2畝の株を調査し、最初の本葉を第1葉として倒伏までに展開した葉数とした。りん茎重は

， 総重量を規格内球数と規格外球数の合計により除した値を算出した。

試験区は，2014年には1区4.8×8.0 m，2015年には1区4.8×6.0 mの区を4反復設けた。なお，試験に供した圃場の土壌養分特性は第4-1表に示した。気象データは，北海道農業研究センター芽室研究拠点内に設置された，気象観測露場における2014年4～9月および2015年4～9月の日平均気温データを利用した（第4-1図）。

2. 統計処理

得られたデータは，三元配置分散分析，共分散分析，Tukey-Kramerの多重検定によりその有意性を検定した。

結果および考察

1. 生育，養分吸収および収量に及ぼす施肥法の違いの影響

苗立ち率は，いずれの処理区においても79%以上を示して有意差が認められなかった（第4-2表）。生育初期の葉数，草丈および乾物重は，リン酸直下施肥により有意に増加し，特に2015年は顕著であった。しかし，

第4-1表 土壌の養分特性

年次	pH (H ₂ O)	全窒素 (%)	アンモニア態窒素 (mg・100g ⁻¹)	硝酸態窒素 (mg・100g ⁻¹)	有効態リン酸 (mg・100g ⁻¹)	交換性カリウム (mg・100g ⁻¹)	リン酸吸収係数
2014	5.8	0.22	0.49	1.29	4.5	21.6	1568
2015	6.0	0.24	0.81	0.81	9.4	29.8	1695

施肥前に表層から15 cmの深さまで土壌を検土杖によってサンプリングした

pH (H₂O) はガラス電極法 (北海道立総合研究機構, 2012) により求めた

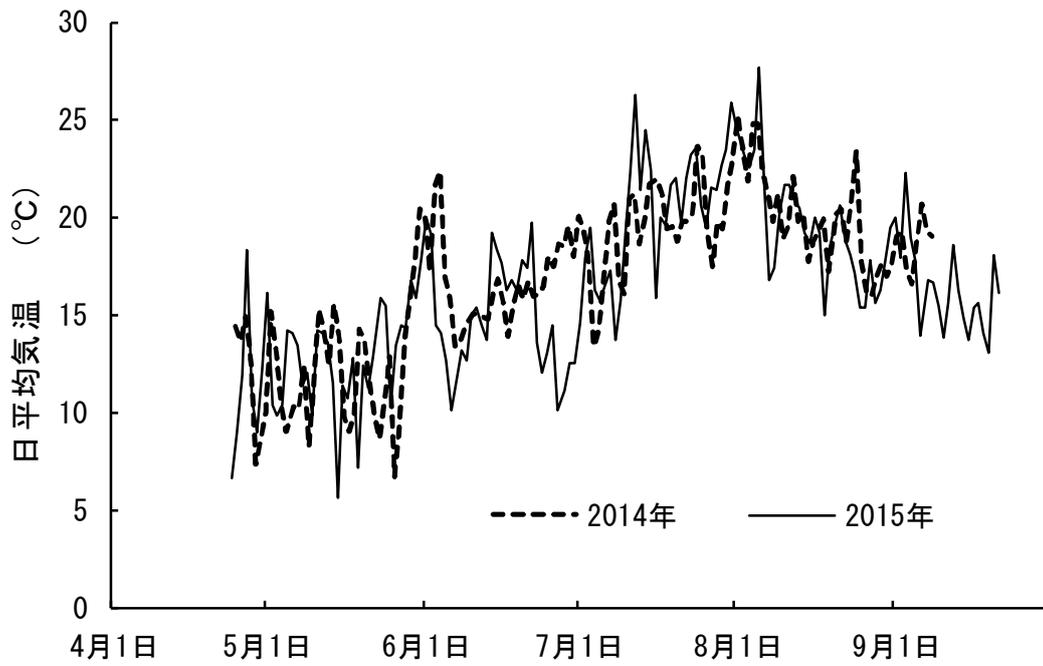
全窒素は乾式燃烧法 (日高, 1997), 硝酸態窒素およびアンモニア態窒素はハーパー法 (日高, 1997) により

試料液を得た後に硫酸ヒドラジウム還元法 (日本工業規格, 2016) を用いて定量した

有効態リン酸はトルオグ法 (北海道立総合研究機構, 2012), リン酸吸収係数はSPAD簡便法 (北海道立総

合研究機構, 2012) により測定した

交換性カリウムはシヨレーンベルガー法 (北海道立総合研究機構, 2012) により求めた



第 4-1 図 北海道農業研究センター芽室研究拠点における 2014 年と 2015 年の日平均気温

第4-2表 生育初期（6月）の苗立ち率，葉数，草丈，地上部乾物重

試験区		苗立ち率	葉数 ^z	草丈 ^y	地上部乾物重
リン酸	窒素・カリウム	(%)		(cm)	(mg/株)
2014年					
全層	播種前施肥	83.8 a ^x	2.0 a	16.3 ab	42.3 b
	2葉期施肥	81.3 a	2.0 a	15.6 b	38.1 b
直下	播種前施肥	81.6 a	2.2 a	18.1 a	65.0 a
	2葉期施肥	80.0 a	2.2 a	17.8 a	64.0 a
2015年					
全層	播種前施肥	83.1 a	1.4 b	16.4 b	33.6 b
	2葉期施肥	83.1 a	1.6 b	16.9 b	43.1 b
直下	播種前施肥	83.1 a	2.2 a	19.7 a	97.7 a
	2葉期施肥	79.3 a	2.1 a	19.6 a	85.0 a
三元配置 ^w	窒素・カリウム (A)	ns	ns	ns	ns
分散分析	リン酸 (B)	ns	***	***	***
	年次 (C)	ns	***	**	***
	(A) × (B)	ns	ns	ns	ns
	(A) × (C)	ns	ns	ns	ns
	(B) × (C)	ns	***	ns	***
	(A) × (B) × (C)	ns	ns	ns	*

^z 最初の本葉を第1葉として展開した葉の枚数（調査株数=30~37/区）

^y 茎盤基部から最も長い葉の先端までの長さ（調査株数=30~37/区）

^x 異なるアルファベット間にはTukey-Kramerの多重比較検定により5%水準で年度内に有意差があることを示す

^w 三元配置分散分析により***, **および*は、それぞれ0.1, 1および5%水準で有意差があること、nsは有意差がないことを示す

調査は2014年6月16日および2015年6月19日に行った

窒素・カリウムの施用時期による影響は認められなかった（第4-2表）。リン酸直下施肥は、発芽直後からリン酸を効率よく吸収、利用でき、初期生育を促進可能であることが再確認できた（第4-2表）。

肥大始めの地上部の窒素およびリン酸の含有率は、リン酸直下施肥によって減少したが（第4-3表）、カリウム含有率は、リン酸直下施肥の影響が認められなかった。窒素、リン酸、カリウムの含有率は、窒素・カリウムの施用時期の影響が認められなかった（第4-3表）。肥大始めの乾物率は、窒素・カリウムの2葉期区において高まる傾向にあったが、リン酸の施肥位置による差は小さかった（第4-4表）。肥大始めの乾物重は、リン酸直下施肥を行うことで増大し、窒素・カリウムの播種前施肥の場合に2葉期施肥よりも大きくなった（第4-4表）。窒素吸収量とリン酸吸収量は、リン酸直下施肥することで増加し、窒素・カリウムの播種前施肥で多くなった（第4-4表）。一方、カリウムの吸収量は、リン酸直下施肥で増加する傾向にあったが、窒素・カリウムの施肥時期の違いについて、分散分析では有意差が認められなかった（第4-4表）。

播種から倒伏までの日数は、直下区でやや早まった

第4-3表 肥大始め（8月）の地上部の窒素含有率，リン酸含有率，カリウム含有率

試験区		含有率		
		窒素 (%)	リン酸 (%)	カリウム (%)
リン酸	窒素・カリウム			
2014年				
全層	播種前施肥	2.57 a ^z	0.27 a	1.65 a
	2葉期施肥	2.44 a	0.28 a	1.27 a
直下	播種前施肥	2.36 a	0.26 a	1.37 a
	2葉期施肥	2.27 a	0.27 a	1.71 a
2015年				
全層	播種前施肥	2.51 ab	0.29 a	1.54 a
	2葉期施肥	2.59 a	0.29 a	1.70 a
直下	播種前施肥	2.30 b	0.27 ab	1.80 a
	2葉期施肥	2.44 ab	0.26 b	2.01 a
三元配置 ^y	窒素・カリウム (A)	ns	ns	ns
分散分析	リン酸 (B)	**	***	ns
	年次 (C)	ns	*	*
	(A) × (B)	ns	ns	ns
	(A) × (C)	ns	ns	ns
	(B) × (C)	ns	ns	ns
	(A) × (B) × (C)	ns	ns	ns

^z 異なるアルファベット間にはTukey-Kramerの多重比較検定により5%水準で年度内に有意差があることを示す

^y 三元配置分散分析により***, **および*は、それぞれ0.1, 1および5%水準で有意差があること，nsは有意差がないことを示す

調査は2014年8月4日および2015年8月10日に行った

第4-4表 肥大始め（8月）の地上部乾物重、地上部の窒素吸収量、リン酸吸収量、カリウム吸収量

リン酸	地上部			吸収量							
	試験区		乾物率 ^z (%)	窒素		カリウム (mg/株)					
	窒素・カリウム	乾物重 (g/株)		(mg/株)	リン酸 (mg/株)						
全層	播種前施肥	14.0	b ^y	9.2	b	36.1	ab	3.8	ab	22.9	a
	2葉期施肥	10.4	c	9.5	ab	25.1	c	2.9	b	13.0	b
直下	播種前施肥	17.4	a	9.3	b	41.0	a	4.5	a	23.5	a
	2葉期施肥	12.8	bc	9.8	a	29.2	bc	3.4	b	22.1	a
2014年											
全層	播種前施肥	10.1	b	8.2	b	25.1	ab	2.9	ab	15.4	ab
	2葉期施肥	8.4	b	8.6	ab	21.6	b	2.4	b	14.1	b
直下	播種前施肥	13.9	a	8.4	ab	32.0	a	3.8	a	25.0	a
	2葉期施肥	10.5	ab	8.8	a	25.7	ab	2.7	b	21.5	ab
2015年											
三元配置 ^x	窒素・カリウム (A)	**	**	**	*	**	*	**	*	**	ns
分散分析	リン酸 (B)	**	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	年次 (C)	**	*	*	*	*	*	*	*	*	ns
	(A) × (B)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	(A) × (C)	ns	ns	ns	*	*	*	ns	ns	*	*
	(B) × (C)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	(A) × (B) × (C)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*

^z 乾物率の測定は、調査株のうち中庸な5株を選び測定した

^y 異なるアルファベット間にはTukey-Kramerの多重比較検定により5%水準で年度内に有意差があることを示す

^x 三元配置分散分析により***, **および*は、それぞれ0.1, 1および5%水準で有意差があること, nsは有意差がないことを示す

調査は2014年8月4日および2015年8月10日に行った

が，第 2 章第 1 節の結果とは異なり，倒伏期の葉数に有意差は生じなかった（第 4-5 表）．室ら（2014）は，リン酸直下施肥の効果は，‘北もみじ 2000’ではりん茎重が増大したが，より早生の‘オホーツク 222’や‘ウルフ’では有意差が認められないとした．一般にタマネギのりん茎が肥大を継続するためには，15～20℃程度が適している（執行，2007）．本実験の肥大始めから収穫までの日平均気温は，両年とも 20℃以上の日数が 8 月 15 日以前に 4 日，それ以降は 1，2 日あった（第 4-1 図）．日平均気温 15℃以下の日数は，2014 年が 0 日，2015 年が 4 日あった．本実験の生育期間は，その多くの期間が‘オホーツク 222’の肥大継続に適した日平均気温であったと判断できた．寒地の春播き直播栽培では，生育期間の短い早生の品種は，肥大に適した気温の継続期間が十分であり，肥大期間の延長により全層施肥でも生育を確保していると考えられる．リン酸直下施肥の影響は，肥大に適した気温の継続期間，品種の早晩性および土壌肥沃度の効果を受け，倒伏期の葉数増加およびりん茎重の増大に結びつかない場合があると判断された．

倒伏日数はリン酸直下施肥で 3，4 日早まる場合があ

第4-5表 倒伏日数、倒伏期の葉数、りん茎重、規格内収量

りん酸	試験区		倒伏日数 ^z	葉数 ^y	りん茎重 ^x (g/株)	乾物率 ^w (%)	規格内収量 ^v (g・m ⁻²)
	窒素・カリウム						
	2014年						
全層	播種前施肥		120 a ^u	13.4 a	194.0 a	8.6 a	4748 a
	2葉期施肥		121 a	12.6 ab	158.9 a	8.8 a	4413 a
	播種前施肥		119 a	13.4 a	199.3 a	9.0 a	4174 a
	2葉期施肥		118 a	12.2 b	170.6 a	8.9 a	3985 a
	2015年						
全層	播種前施肥		132 a	13.0 b	226.1 ab	9.8 a	5610 ab
	2葉期施肥		132 a	12.5 b	182.9 b	9.6 a	4958 ab
	播種前施肥		128 a	13.6 a	236.7 a	9.7 a	6000 a
	2葉期施肥		132 a	13.1 ab	200.2 b	9.2 a	4625 b
三元配置 ^t	窒素・カリウム (A)		ns	** ** *	** ** *	ns	** *
分散分析	りん酸 (B)		*	ns	ns	ns	ns
	年次 (C)		** ** *	ns	** ** *	** *	** ** *
	(A) × (B)		ns	ns	ns	ns	ns
	(A) × (C)		ns	ns	ns	ns	ns
	(B) × (C)		ns	** *	ns	*	ns
(A) × (B) × (C)		ns	ns	ns	ns	ns	

^z 試験区当たり畝長2 mの2畝を調査株として播種日から80%の株に倒伏が認められた日までの日数

^y 子葉を除き最初の本葉を第1葉として倒伏までに展葉した枚数

^x りん茎重は総重量を規格内球数と規格外球数の合計により除した値

^w 球の乾物率は、収穫球のうち無作為に5球を選び測定した

^v 規格内収量は総収量のうち2Sサイズを除いたS~2Lサイズまでの総計

^u 異なるアルファベット間にはTukey-Kramerの多重比較検定により5%水準で年度内に有意差があることを示す

^t 三元配置分散分析により** ** *, * ** および*は、それぞれ0.1, 1および5%水準で有意差があること、nsは有意差がないことを示す

った（第4-5表）。しかし，窒素・カリウムの施用時期の違いは認められなかった。収穫株率に処理間差は認められなかった（データ省略）。倒伏期の葉数は，リン酸の施用方法の違いにより有意差が認められなかったが，窒素・カリウムの播種前施肥によって2葉期施肥よりも増加する傾向にあった（第4-5表）。りん茎重は，葉数と同様にリン酸直下施肥による有意差は認められなかったが，窒素・カリウムの播種前施肥によって増大した（第4-5表）。収穫球の乾物率は，2014年に比べて2015年が高かったが，両年ともに，処理間差は認められなかった（第4-5表）。規格内収量は，りん茎重が小さかった2014年に比べて2015年が多かった（第4-5表）。なお，リン酸直下施肥の影響は認められなかったが，2015年には窒素・カリウムの播種前施肥によって増収した（第4-5表）。

窒素・カリウムの施用時期の違いがりん茎重に及ぼす影響について，特に調査項目間の相関係数の中で着目したのは，肥大始めの窒素吸収量であり，窒素・カリウムの施用時期が関与した（第4-4表）。そこで，肥大始めの窒素吸収量に及ぼす生育初期や肥大始めの地上部乾物重との関係，リン酸直下施肥と組合せた窒素・カ

リウムの施用時期の影響について検討した。生育初期（第4-2表）の地上部乾物重は、リン酸直下施肥の影響を受けたが、窒素・カリウムの施用時期の影響は、認められなかった（第4-2表）。しかし、肥大始めの地上部乾物重は、リン酸直下施肥のみならず窒素・カリウムの播種前施肥と組み合わせることでさらに増大した（第4-4表）。また、肥大始めの窒素吸収量は、窒素・カリウムを播種前施肥することで高まり、このことが倒伏期の葉数を増やし、りん茎重を増大させる方向に作用したと考えられた（第4-4表、第4-5表、第4-6表）。青葉（1951）は、タマネギの摘葉による影響を調査し、栄養成長期の展葉数とりん茎重との間には正の相関があることを明らかにした。この報告のように、肥大初めの葉数について調査が必要であると考えられたので、本章第2節では肥大初めの葉数と葉面積について調査を行った。

2葉期（播種後約55日）までの窒素・カリウムの施用は、葉数を通じて肥大始めの生育に影響を及ぼす可能性がある。本実験では、窒素・カリウムの播種前施肥によって倒伏日数に差は生じなかったが、播種前施肥は肥大始めの生育を促進して倒伏期の葉数に影響を及ぼすこと、窒素・カリウムの播種前施肥によって増収す

る可能性が示唆された。

2. 生育関連形質および養分吸収量と葉数ならびに 収量の相関

実験年次により有意差が認められなかった場合もあるが，肥大始めの窒素吸収量と倒伏期の葉数およびりん茎重，倒伏期の葉数とりん茎重は，両年ともに， $r=0.80$ 以上の相関係数が得られた（第4-6表）。また，規格内収量と各調査項目との相関係数は，実験年次により異なり，2014年は収量と苗立ち率や収穫株率との間に有意な相関係数が認められたのに対して2015年は，りん茎重との間に有意な相関係数が認められた（第4-6表）。これ以外の項目の間に両年に共通して有意な相関係数が認められたのは，生育初期の葉数と草丈および乾物重，生育初期の草丈と乾物重，肥大始めの乾物重と窒素およびリン酸の吸収量，肥大始めの窒素吸収量とリン酸吸収量，肥大始めのリン酸吸収量とりん茎重であった（第4-6表）。第3章第2節で肥大始めの葉数とりん茎重の間には有意な相関が認められ，葉数の増加に伴いりん茎重が増大した（第3-5図）。これらの結果から肥大始めの窒素およびリン酸の吸収量を増やすことは，肥大始めの葉数を増大させ，倒伏期の葉数の増加に

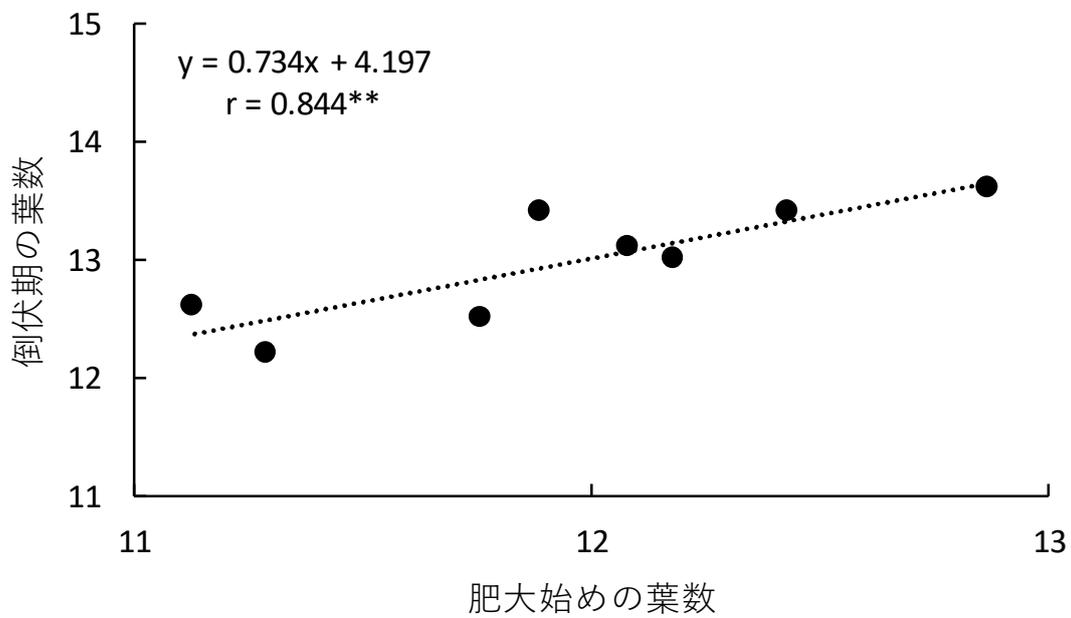
第4-6表 各形質間の相関関係

2014														
	生育初期 苗立ち率 (%)	生育初期 葉数	生育初期 草丈 (cm)	生育初期 乾物重 (mg/株)	生育初期 乾物重 (g/株)	生育初期 乾物重 (g/株)	生育初期 窒素 (g/株)	生育初期 リン酸 (g/株)	生育初期 カリウム (g/株)	倒伏期 倒伏日数	倒伏期 葉数	収穫期 収穫率 (%)	収穫期 りん茎重 (g)	収穫期 収量 (g・m ⁻²)
生育初期 苗立ち率 (%)	1.00													
生育初期 葉数	-0.73	1.00												
生育初期 草丈 (cm)	0.97** z	0.97** z	1.00											
生育初期 乾物重 (mg/株)	-0.57	0.98***	0.99***	1.00										
生育初期 乾物重 (g/株)	-0.69	0.89	0.76	0.65	1.00									
肥大始め 乾物重 (g/株)	-0.04	0.49	0.60	0.46	0.97**	1.00								
肥大始め 窒素 (g/株)	0.20	0.03	0.63	0.71	0.59	1.00***	1.00							
肥大始め リン酸 (g/株)	0.08	0.59	0.76	0.66	0.81	0.80	0.81	1.00						
肥大始め カリウム (g/株)	0.56	-0.87*	-0.94**	-0.95**	-0.54	-0.38	-0.49	-0.75	1.00					
倒伏期 倒伏日数	0.61	-0.06	0.02	-0.13	0.67	0.81	0.72	0.40	0.23	1.00				
倒伏期 葉数	0.93**	-0.92*	-0.81	-0.88*	-0.40	-0.16	-0.33	-0.24	0.74	0.34	1.00			
収穫期 収穫率 (%)	0.35	0.37	0.51	0.36	0.92*	0.98***	0.94**	0.83	-0.32	-0.01	0.84	1.00		
収穫期 りん茎重 (g)	0.98***	-0.81	-0.70	-0.81	-0.14	0.11	-0.06	-0.11	0.72	0.95**	0.60	0.24	1.00	
収穫期 収量 (g・m ⁻²)														
2015														
	生育初期 苗立ち率 (%)	生育初期 葉数	生育初期 草丈 (cm)	生育初期 乾物重 (mg/株)	生育初期 乾物重 (g/株)	生育初期 乾物重 (g/株)	生育初期 窒素 (g/株)	生育初期 リン酸 (g/株)	生育初期 カリウム (g/株)	倒伏期 倒伏日数	倒伏期 葉数	収穫期 収穫率 (%)	収穫期 りん茎重 (g)	収穫期 収量 (g・m ⁻²)
生育初期 苗立ち率 (%)	1.00													
生育初期 葉数	-0.52	1.00												
生育初期 草丈 (cm)	-0.56	1.00***	1.00											
生育初期 乾物重 (mg/株)	-0.43	0.99***	0.99***	1.00										
生育初期 乾物重 (g/株)	0.07	0.71	0.70	0.79	1.00									
肥大始め 乾物重 (g/株)	0.06	0.70	0.70	0.78	1.00***	1.00								
肥大始め 窒素 (g/株)	0.28	0.55	0.55	0.64	0.98***	0.98***	1.00							
肥大始め リン酸 (g/株)	-0.32	0.94**	0.94**	0.97**	0.90*	0.90*	0.79	1.00						
肥大始め カリウム (g/株)	-0.15	-0.75	-0.73	-0.82	-0.95**	-0.94**	-0.93**	-0.88*	1.00					
倒伏期 倒伏日数	-0.03	0.68	0.70	0.75	0.98***	0.99***	0.94**	0.89*	-0.87*	1.00				
倒伏期 葉数	0.77	-0.50	-0.55	-0.46	-0.35	-0.37	-0.20	-0.53	0.11	-0.50	1.00			
収穫期 収穫率 (%)	0.31	0.24	0.26	0.33	0.83	0.84	0.89*	0.56	-0.66	-0.34	0.87*	1.00		
収穫期 りん茎重 (g)	0.72	0.01	0.00	0.12	0.69	0.70	0.83	0.32	0.18	0.66	0.87*	0.87*	1.00	
収穫期 収量 (g・m ⁻²)														

も寄与することが推察された（第4-2図）。

一般にタマネギが倒伏までに展開する普通葉は，その葉身が光合成器官として機能するソースであるとともに，葉鞘部が収量を構成するシンクとしての役割を果たすことから，増収に直結すると考えられる。また，肥大始めの窒素吸収量が多いほど葉数は多くなる傾向が認められた（第4-6表）。このことから窒素・カリウムの基肥施用は，肥大始めの窒素吸収量の増加を通じて倒伏期における葉数を増加させ，りん茎重の増大に寄与するものと推察された。第2章第1節では，リン酸直下施肥により，倒伏日数が早まり体内養分の転流期間が長くなることでりん茎重増加に結びつくことを示唆し，本節でも両年とも，肥大始めのリン酸吸収量とりん茎重の間には高い相関が認められた（第4-6表）。リン酸直下施肥がりん茎重に及ぼす影響は窒素・カリウムの施用条件の違いに比べると小さいが，リン酸直下施肥は，窒素・カリウムの播種前施肥と組み合わせることで，肥大始めの窒素吸収量やリン酸吸収量を増大させるのみならず収穫期の葉数やりん茎重を増加させることが明らかになった（第4-5表）。

3. 個体ごとの倒伏期の葉数とりん茎重の相関

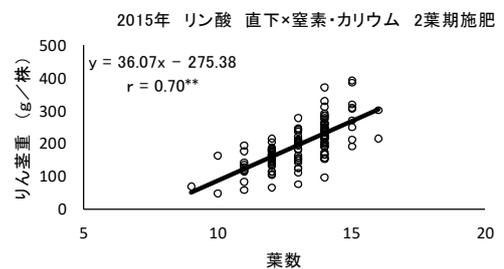
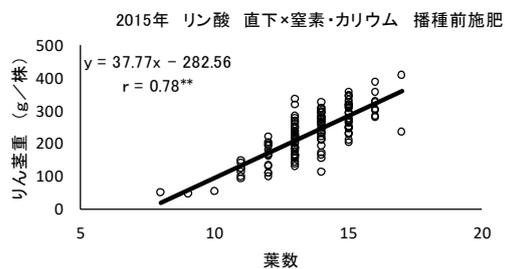
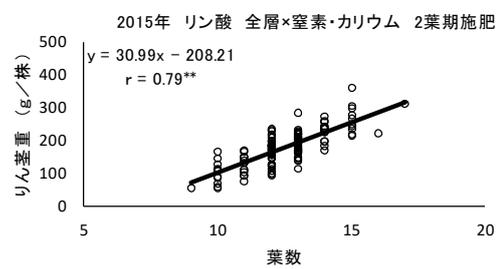
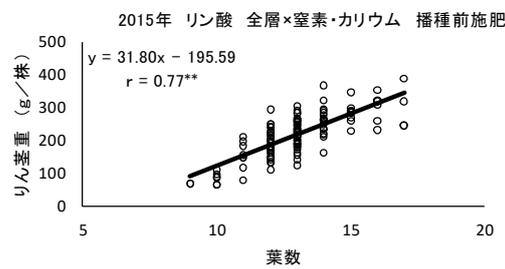
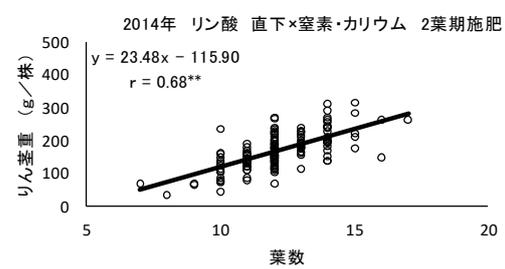
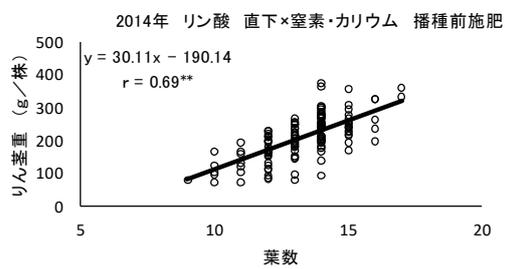
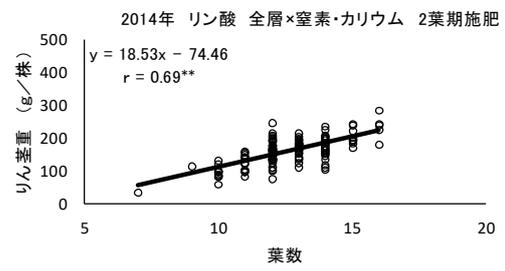
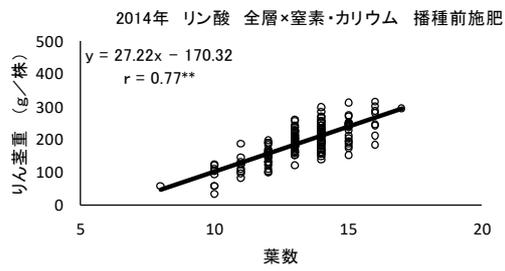


第 4-2 図 肥大始めの葉数と倒伏期の葉数との関係
 ** は、 1%水準で有意差があることを示す (n=8)

倒伏期の葉数と個体ごとのりん茎重には，有意な正の相関が認められた（第4-3図）．両者の関係を共分散分析により検定した結果，窒素・カリウムの播種前施肥区は，リン酸の施用方法に関わらず，2014年には2葉期施肥区に比べて傾きおよび切片が，2015年も傾きが有意に大きくなった．

個体ごとに調査した倒伏期の葉数に及ぼすリン酸直下施肥と組合せた窒素・カリウム施肥時期の影響を検討した．葉数の増加は，りん茎重の増加に結びつく可能性があり，倒伏期の葉数とりん茎重との関係性は，リン酸施用方法の違いに比べて窒素・カリウムの施肥時期によって，大きく影響された．窒素・カリウムの播種前施肥は，2葉期施肥に比べて回帰式の傾きを高めたことは，窒素・カリウムの播種前施肥が葉1枚当たりのりん茎重を増大したことを意味する（第4-3図）．これは播種前施肥の窒素・カリウムの施用によって肥大始めの窒素吸収量を向上させ，そのことが倒伏期の葉数の増加とともに，葉鞘の肥大を促進し，りん茎重の増大に寄与すると推察された（第4-3図）．

Stone（1998）は，リン酸アンモニウムやリン酸カリウムの溶液をスターター肥料として種子下25 mmに灌



第 4-3 図 倒伏期の葉数とりん茎重に及ぼす施肥条件の影響

**は、1%水準で有意差があることを示す (n=122~159)

注することで，土壤リン酸やカリウムの肥沃度の影響を排除することができるとした．また，タマネギの播種時に種子の水平方向 3 cm 横かつ垂直方向 0 から 6 cm 下にリン酸アンモニウム溶液をスターター肥料として注入することで，窒素肥効率が改善することが報告されている (Stone, 2000a)．これらの知見は，播種前施肥の窒素やカリウムの施用，リン酸直下施肥が肥大始めの窒素吸収量を向上させた本実験の結果を支持している．これまでリン酸直下施肥条件において，播種前施肥の肥料成分の収量への寄与程度は不明であったが，本実験からリン酸直下施肥を行った条件下では，第 2 葉期までに施用された窒素・カリウムが肥大始めの窒素やリン酸吸収を促進し，りん茎重の増大に寄与することが明らかとなった．以上の結果から，寒地で収量が安定している春播き性の早生系統を用いた直播タマネギにおいて，リン酸直下施肥を行った条件下では収量に関与するシンクやソースの増大は，生育の早い時期の栄養成長状態によって決定されていると考えられた．

第 2 節．タマネギ直播栽培における窒素・リン酸・カリウム成分の直下施用が初期生育・収量に及ぼす影

材料および方法

1. 施肥処理の方法および供試品種，栽培方法

芽室研究拠点の火山性土圃場において2017年度は1区4.2 m×10.0 m，2018年度は1区3.0 m×10.0 mの試験区を3反復分設けた。品種‘オホーツク222’のコート種子を供して試験した。試験区はリン酸の施肥方法（全層施肥と直下施肥）と窒素・カリウムの施用時期（播種前全層施肥と直下施肥，第2葉期施肥）を組合せた3区を設けた（第4-7表）。全層区は，窒素とカリウムを $10\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ，リン酸を $30\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 全層施肥とした。なお，全層区のリン酸は，北海道施肥ガイド（北海道農政部，2002）に基づいた春播き移植タマネギの標準施用量のうち，リン酸が低い場合の施肥対応に従い重過リン酸石灰を全層施肥した。窒素は，西田ら（2005）の報告に準じて収穫までの施用量がトータルで $10\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ となるようにした。全層区のカリウムは窒素と同量となるように，BBNKを播種前日に全層施肥した。直下表面区は，窒素とカリウムを $2\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ とリン酸 $20\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ を直下施肥するとともに，窒素とカリウムを播種時に4 g

第4-7表 処理区の施肥成分量

処理	窒素 ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	リン酸 ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	カリウム ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)
全層区	10 (全層施肥)	30 (全層施肥)	10 (全層施肥)
直下表面区	2 (直下施肥)	20 (直下施肥)	2 (直下施肥)
	4 (表面施肥)		4 (表面施肥)
	4 (表面追肥)		4 (表面追肥)
直下追肥区	2 (直下施肥)	20 (直下施肥)	2 (直下施肥)
	8 (表面追肥)		8 (表面追肥)

・ m^{-2} 表面施肥，加えて 3 葉期に $4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 表面追肥した（トータルで窒素とカリウムは $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ，リン酸は $20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ）．直下追肥区は，窒素とカリウムを $2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ とリン酸 $20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ を直下施肥するとともに，窒素とカリウムを 3 葉期に $8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 表面追肥した（トータルで窒素とカリウムは $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ，リン酸は $20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ）とした．なお，追肥には BBNK を用いた．直下表面区と直下追肥区は，リン酸を全層施肥の約 3 割減じて種子の下方 2～4 cm に直下施肥した．リン酸は，いずれも区も重過リン酸石灰を用いた．直下表面区は，全層区のカリウムは窒素と同量となるように，BBNK を播種と同時に直下施肥するとともに，播種時および 2017 年 6 月 27 日（播種後 61 日目）もしくは 2018 年 7 月 2 日（播種後 69 日目）に表面施肥した．直下追肥区は，全層区のカリウムは窒素と同量となるように，BBNK を播種と同時に直下施肥するとともに，2017 年 6 月 27 日もしくは 2018 年 7 月 2 日に表面施肥した．

全層区は，肥料散布後にロータリー耕を行うことによって耕土の 0～15 cm の層を攪拌した．直下表面区と直下追肥区は，播種前にロータリー耕を行い，播種と同時に上記の直下施肥を行った．播種は，第 2 章第 1 節

に従った。2017年度は4月27日、2018年度は4月24日に行った。なお、試験に供した圃場の土壌養分特性は第4-8表に示した。

2017年度は6月28日（播種後62日目）、2018年度は6月21日（播種後58日目）に子葉を除き最初の本葉を第1葉として展開した葉数を計数した。地上部乾物重は、莖盤基部から上部とした。調査株を細断・生重測定後に強制通風乾燥機を用いて80℃で7～10日間乾燥して乾物量を測定し、乾物率を算出した。サンプリングは、反復ごとに2mを2畝ずつ行った。2017年8月2日（播種後97日目）と2018年8月9日（播種後107日目）にサンプリングを行い、子葉を除き最初の本葉を第1葉として展開した肥大始めの葉数、緑色部が50%以上残る葉を生葉数として計数すると同時にその葉面積を測定した。2017年は生育中庸な5株を2018年は10～12株を選び本章第1節と同じ方法で乾物重を測定した。その後粉砕して、窒素含有率を乾式燃焼法（日高，1997）で、リン酸含有率およびカリウム含有率を硝酸－過塩素酸－硫酸法で湿式灰化後にそれぞれバナドモリブデン酸法（岡部，1975）、原子吸光法（後藤，1990）によって測定した。

第4-8表 土壌の養分特性

年次	pH (H ₂ O)	全窒素 (%)	アモンニア態窒素 (mg・100g ⁻¹)	硝酸態窒素 (mg・100g ⁻¹)	有効態リン酸 (mg・100g ⁻¹)	交換性カリウム (mg・100g ⁻¹)	リン酸吸収係数
2017	5.6	0.22	0.91	1.24	6.4	26.4	1831
2018	6.0	0.21	0.53	0.87	16.8	27.8	1756

施肥前に表層から15 cmの深さまで土壌を検土杖によってサンプリングした

pH (H₂O) はガラス電極法 (北海道立総合研究機構, 2012) により求めた

全窒素は乾式燃焼法 (日高, 1997), 硝酸態窒素およびアモンニア態窒素はハーパー法 (日高, 1997) により
試料液を得た後に硫酸ヒドラジウム還元法 (日本工業規格, 2016) を用いて定量した

有効態リン酸はトルオグ法 (北海道立総合研究機構, 2012), リン酸吸収係数はSPAD簡便法 (北海道立総
合研究機構, 2012) により測定した

交換性カリウムはショーレンベルガー法 (北海道立総合研究機構, 2012) により求めた

倒伏日数は、両年とも8月15日以降に毎日、試験区当たり畝長2mの2畝を調査株として80%の株に倒伏が認められた日を目視で確認して播種日からの日数を算出した。2017年9月11日および2018年9月14日に根切りを行い、2017年9月20日および2018年9月20日に圃場から収穫したのち風乾し、収穫10日目以降にりん茎重および規格サイズを調査した。収穫株率は、規格内球数と規格外球数の合計を播種粒数で除した値とした。倒伏期の葉数は、試験区当たり畝長2mの2畝の株を調査し、最初の本葉を第1葉として倒伏までに展開した葉数とした。りん茎重は、総重量を規格内球数と規格外球数の合計により除した値を算出した。

2. 統計処理

得られたデータは、一元配置分散分析によりその有意性を検定した。

結果および考察

りん茎重は肥大期間中の総受光量と高い相関があり (Brewster, 2008; Mondalら, 1986), りん茎肥大開始期の葉面積を確保することが重要である (岩田ら, 1959, 加藤, 1964)。第3章第2節において、リン酸の直下

施肥を行うことで肥大始めの展葉数が増えるにともない、りん茎重が重くなることが示唆された。また、本章第1節において、リン酸直下施肥は、窒素・カリウムの播種前施肥と組み合わせることで、肥大始めの窒素吸収量やリン酸吸収量を増大させるのみならず収穫期の葉数やりん茎重を増加させることを明らかにした(第4-5表)。そこで、本章第2節では、リン酸に加えて窒素とカリウムの直下施肥が肥大始めの葉面積や総展葉数と収量との関係に及ぼす影響を調査した。

窒素、リン酸、カリウムの直下施肥を行ったときの苗立率は、施肥法の違いにより影響されなかった(第4-9表)。初期生育は、草丈、葉数および地上部乾物重がリン酸の直下施肥を行った処理区で多くなった(第4-9表)。この結果から初期生育を促進したのは、リン酸の直下施肥の効果が大きく、リン酸に加えて窒素とカリウムの直下施肥は、初期生育には影響を及ぼさないと考えられた。肥大始めの展葉数、生葉数および葉面積は、有意差が認められなかったが、直下表面区において最も大きくなった(第4-10表)。乾物重は生葉数と葉面積の結果を反映して直下表面区が最も大きく、次いで直下追肥区、全層区の順となった。この結果は、2018年

第4-9表 生育初期（6月）の苗立ち率，葉数，草丈，地上部乾物重

試験区	苗立ち率 (%)	葉数 ^z	草丈 ^y (cm)	地上部乾物重 (mg/株)
2017年				
全層区	95.0	2.0 b ^x	15.8 b	67.5 b
直下表面区	83.3	3.1 a	19.7 a	217.4 a
直下追肥区	93.3	3.1 a	20.6 a	197.6 a
2018年				
全層区	89.2	1.8 b	15.0 b	38.9 b
直下表面区	97.5	2.3 a	18.4 a	80.9 a
直下追肥区	90.0	2.3 a	19.2 a	91.9 a
二元配置 施肥処理 (A)	ns	***	***	***
分散分析 ^w 年次 (B)	ns	***	ns	***
(A) × (B)	*	ns	ns	**

^z 最初の本葉を第1葉として展開した葉の枚数（調査株数=30~40/区）

^y 茎盤基部から最も長い葉の先端までの長さ（調査株数=30~40/区）

^x 異なるアルファベット間にはTukey-Kramerの多重比較検定により5%水準で年度内に有意差があることを示す

^w 二元配置分散分析により***，**および*は，それぞれ0.1，1および5%水準で有意差があること，nsは有意差がないことを示す

調査は2017年6月28日および2018年6月21日に行った

第4-10表 肥大始め（8月）の葉数，生葉数，葉面積，地上部乾物重

試験区	葉数	生葉数	葉面積 (cm ²)	地上部乾物重 ^z (mg/株)	
2017年					
全層区	10.6	8.8	784.1 b ^y	4.5	
直下表面区	12.3	10.2	1314.1 a	9.2	
直下追肥区	11.3	9.1	939.0 ab	6.9	
2018年					
全層区	10.7	6.3	479.1 b	4.2	
直下表面区	12.3	7.8	701.0 a	10.6	
直下追肥区	11.1	7.5	675.9 a	7.6	
二元配置	施肥処理 (A)	ns	**	***	**
分散分析 ^x	年次 (B)	ns	***	***	ns
	(A) × (B)	ns	ns	*	ns

^z 乾物重の測定は，調査株のうち中庸な5株を選び測定した

^y 異なるアルファベット間にはTukey-Kramerの多重比較検定により5%水準で年度内に有意差があることを示す

^x 二元配置分散分析により***，**および*は，それぞれ0.1，1および5%水準で有意差があること，nsは有意差がないことを示す

調査は2017年8月2日および2018年8月9日に行った

の乾物重において直下表面区に比べて窒素とカリウムの施用量が半分の直下追肥区と間に有意差が認められ、2017年においても有意差は認められないが、少なくなる傾向にあることから、リン酸の直下施肥よりも播種時の窒素とカリウムの表面施肥が生育促進に大きく寄与し、肥大始めの乾物重に影響を及ぼしていたことを示唆している。加藤（1963）は、肥大の良否を左右する要因が同化量であり、葉面積と同化能との積で表されるとした。この報告は本章第1節において2葉期までの窒素とカリウムの施肥とリン酸の直下施肥との組合せにより展葉数の増加を導き、増収した結果を支持している。すなわち2葉期までの窒素とカリウムの施肥は、初期生育の促進効果は小さいが、肥大始めの生葉数と葉面積の増大を通じてりん茎肥大の良否につながるということが明らかとなった。

肥大始めの養分含量は、交互作用が認められ、2018年は施肥処理間に有意差が認められなかったが、2017年は窒素含量、リン酸含量、カリウム含量とも全層施肥が多くなった（第4-11表）。一方、肥大始めの養分吸収量は、乾物重の影響を受けて施肥処理間に有意差が認められた（第4-11表）。2017年は有意差が認められな

第4-11表 肥大始め（8月）の窒素、リン酸、カリウムの含量および吸収量

試験区	含量 (%)			吸収量 (mg/株)		
	窒素	リン酸	カリウム	窒素	リン酸	カリウム
	2017年					
全層区	3.07 a ^z	0.30 a	2.62 a	136.2 a	13.7 a	117.0 a
直下表面区	2.63 b	0.24 ab	2.44 b	240.9 a	22.6 a	222.7 a
直下追肥区	2.46 b	0.23 b	2.30 b	166.3 a	15.7 a	157.3 a
2018年						
全層区	1.91 a	0.25 a	1.47 a	81.3 a	10.2 a	62.3 a
直下表面区	2.42 a	0.28 a	1.70 a	256.5 b	29.2 b	179.9 b
直下追肥区	2.39 a	0.26 a	1.80 a	183.2 ab	19.9 ab	141.5 ab
二元配置 施肥処理 (A)	ns	ns	ns	***	**	*
分散分析 ^y 年次 (B)	***	ns	***	ns	ns	ns
(A) × (B)	***	*	**	ns	ns	ns

^z 異なるアルファベット間にはTukey-Kramerの多重比較検定により5%水準で年度内に有意差があることを示す

^y 二元配置分散分析により***, **および*は、それぞれ0.1, 1および5%水準で有意差があること, nsは有意差がないことを示す

調査は2017年8月2日および2018年8月9日に行った

ったが，2018年は直下施肥により全層施肥よりも多くなり，窒素吸収量，リン酸吸収量，カリウム吸収量ともに，直下表面区が最も多くなった．本章第1節では，肥大始めの窒素とカリウムの吸収量の増大が倒伏期の葉数を増やし，りん茎重の増大につながることを明らかにした．このことから窒素やカリウムの直下施肥は茎葉重の増加を通じて窒素，リン酸，カリウムの吸収量を増やすと考えられた．

倒伏日は，リン酸の直下施肥により早まり，直下表面区に次いで直下追肥区，最も遅かったのが全層区であった（第4-12表）．倒伏時の展葉数は，有意差が認められなかったが，基肥の窒素とカリウムが少なかった直下追肥区が最も少なくなった（第4-12表）．収穫時のりん茎重は，全層区に比べて直下表面区で有意に大きくなった（第4-12表）．一方，2017年は，生育が良かったリン酸の直下施肥においてタネバエ・タマネギバエの被害が多くなり，収穫株率は直下表面区で最も減少した（第4-12表）．その影響により，2017年では収穫株率が収量に影響し，直下区および直下表面区では対照区と同等の収量を得たが，直下追肥区は有意に減収した．このことから，直下施肥を用いた直播栽培ではタ

第4-12表 倒伏日数、倒伏期の葉数、りん茎重、規格内収量

試験区	倒伏日数 ^z	葉数 ^y	りん茎重 ^x (g/株)	収穫株率 ^w (%)	規格内収量 ^v (g・m ⁻²)
全層区	129 b ^u	12.1 a	161.6 b	90.8	5626 a
直下表面区	123 a	12.7 a	243.8 a	55.8	5020 ab
直下追肥区	126 ab	11.9 a	170.7 ab	67.5	4261 b
2018年					
全層区	131 a	8.8 b	49.6 b	68.3	597 b
直下表面区	130 a	11.0 a	128.7 a	70.0	3459 a
直下追肥区	130 a	10.8 a	118.0 a	55.0	2147 ab
二元配置	施肥処理 (A)	**	***	ns	**
分散分析 ^t	年次 (B)	***	***	ns	***
	(A) × (B)	*	ns	ns	**

^z 試験区当たり畝長2 mの2 畝を調査株として播種日から80%の株に倒伏が認められた日までの日数

^y 子葉を除き最初の本葉を第1葉として倒伏までに展葉した枚数

^x りん茎重は総数量を規格内球数と規格外球数の合計により除した値

^w 収穫株率は規格内球数と規格外球数の総計を葉種粒数で除した値

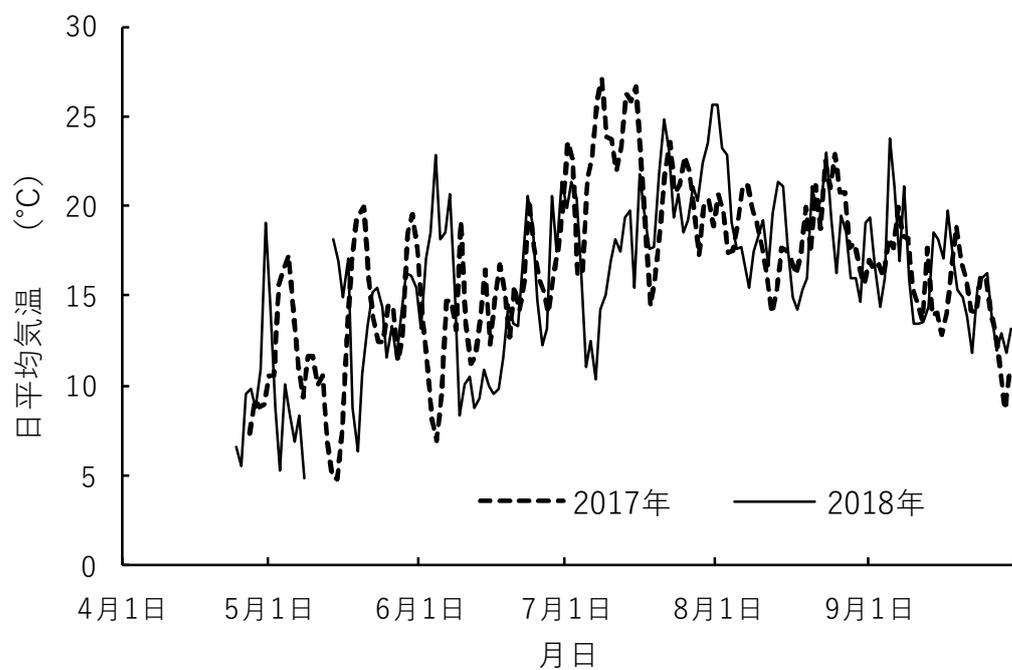
^v 規格内収量は総収量のうち2Sサイズを除いたS~2Lサイズまでの総計

^u 異なるアルファベット間にはTukey-Kramerの多重比較検定により5%水準で年度内に有意差があることを示す

^t 二元配置分散分析により***, **および*は、それぞれ0.1, 1および5%水準で有意差があること、nsは有意差がないことを示す

ネバエ・タマネギバエの防除により増収する可能性が考えられた。2018年は、カルチ除草の際に傷つけたために枯死する株が認められ、収穫株率は直下追肥区で最も減少した（第4-12表）。また、2018年では、6月中旬には日平均気温が10℃を下回り、7月上旬には日平均気温が10℃付近まで低下する日が継続して生育停滞を招いた（第4-4図）このことが全層区のりん茎重の著しい減少をもたらしたと考えられた（第4-12表）。一方、2017年に比べて低収ながらも窒素、リン酸、カリウムの直下施肥を行うことでりん茎重が増大した（第4-12表）。

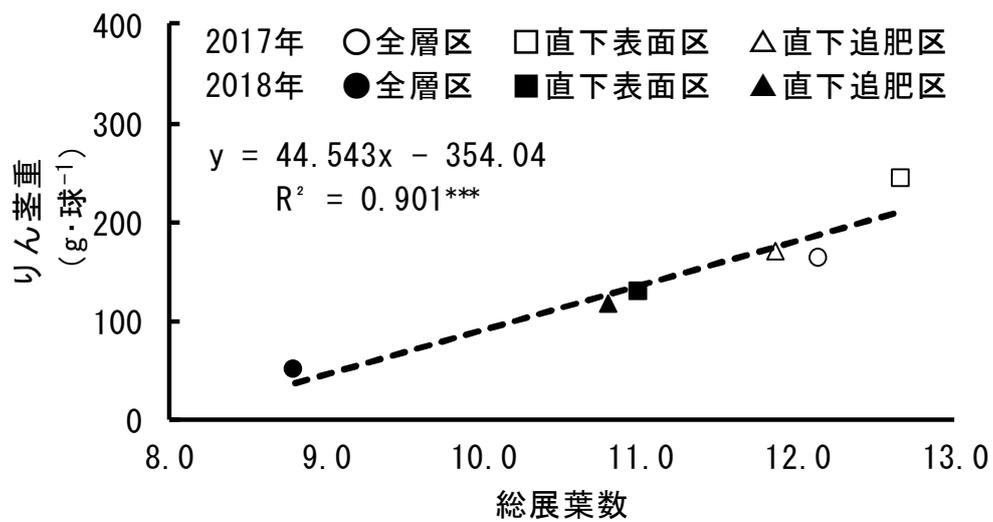
タマネギの肥大には日長と温度が大きく関与し、りん茎肥大には限界日長以上の長日条件が必要である（Brewster, 2008; Heath, 1945; 加藤, 1963, 1964）。りん茎肥大に適する気温は15～20℃程度であり（執行, 2007）、7℃以下では肥大が停止する（川崎, 2007）。また、Lancasterら（1996）は、肥大開始に限界日長と有効積算気温の2要因が関与することを明らかにした。その実験に供した品種は、日長が13.5時間を越えなければ肥大が開始されないが、限界日長を超えていても基準温度を5℃とした有効積算気温が579℃・日を超え



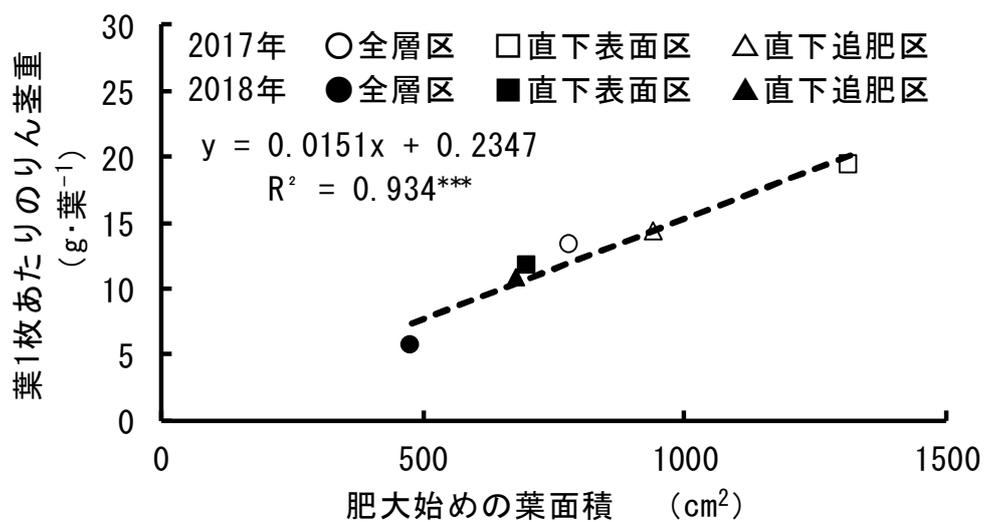
第 4-4 図 北海道農業研究センター芽室研究拠点における 2017 年と 2018 年の日平均気温

なければ肥大が起こらない。第2章第1節において検討したようにリン酸直下施肥を行うことで生育が促進される。一方、本章第1節では、リン酸直下施肥は窒素とカリウムの播種前施肥と組合せることで収穫期の葉数やりん茎重を増加させることを明らかにした。倒伏期の葉数の決定やりん茎肥大には必要とされる限界日長や有効積算温度に達した時点での生育量が関与することを示唆している。肥大開始に必要と考えられる13.5時間には4月17日に達し、Lancasterら(1996)が示した基準温度を5℃とした有効積算気温が579℃・日を超えるのは、2017年は7月2日、2018年は7月6日であった。従って寒地における春播き直播栽培では、肥大開始は日長よりも有効積算温度によって決定され、その時期は7月上旬であり、その時点の生育状態がタマネギの肥大程度に関与すると考えられた。

窒素とカリウムの直下施肥を行うことで総展葉数が多くなり(第4-12表)、総展葉数が多いほどりん茎重が重くなった(第4-5図)。また、窒素、リン酸、カリウムの直下施肥を行うことで肥大始めの葉面積が大きくなり(第4-10表)、葉面積が大きいほど葉1枚当たりのりん茎重が重くなる(第4-6図)。このことから、1枚



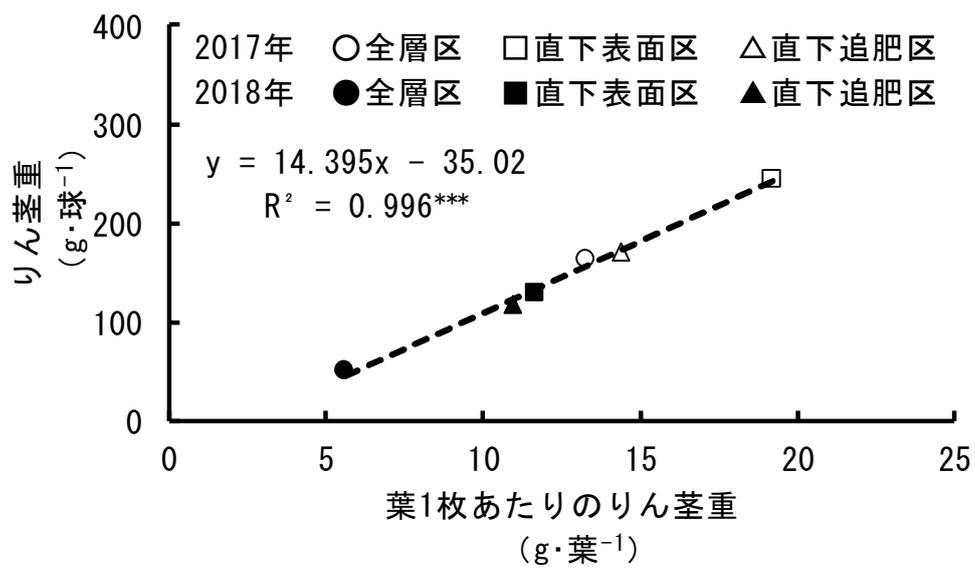
第 4-5 図 肥大始めの葉数と収穫時のりん茎重との関係
 ***は、0.1%水準で有意差があることを示す (n=6)



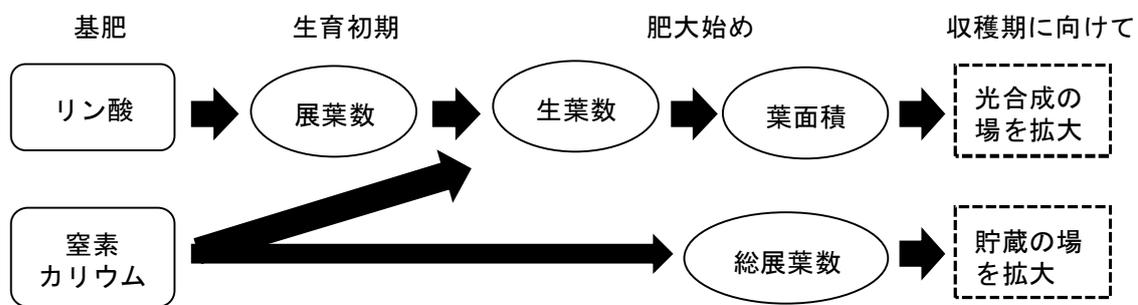
第 4-6 図 肥大始めの葉面積と収穫時の葉 1 枚あたりのりん茎重との関係
 ***は、 0.1%水準で有意差があることを示す (n=6)

当たりのりん茎重の増大は，りん茎重を増やすことにつながる（第 4-7 図）．以上より，成分量を $2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ とした窒素とカリウムの直下施肥は，肥大始めの葉面積増大につながるということが明らかになった．また，窒素，リン酸，カリウムの直下施肥と組合せた窒素とカリの基肥時の表面施肥は，リン酸を 3 割減らしても全層施肥と同等の収量が得られた．

これらの結果から，りん茎重の増大には，肥大始めの生葉数の確保と倒伏時の総展葉数の増加の両方が必要であり，肥大始めの葉面積は収穫期に向けてソースとなる光合成の場を拡大する事につながり，生葉数の増加は，りん茎重の増大に寄与する．また，総展葉数の増加はシンクとなるりん茎を構成する貯蔵の場である肥厚葉の増加につながり，総展葉数の一部を構成する肥厚葉の増加は，りん茎重の増大に寄与する．これらの要件を満たすために，窒素，リン酸，カリウムの直下施肥と播種時の窒素とカリウムの表面施用の組合せは，寒地において直播したタマネギの増収を図るための方策として有効であると考えられた（第 4-8 図）．



第 4-7 図 収穫時の葉 1 枚あたりのりん茎重と収穫時のりん茎重との関係
 * * * は、 0.1%水準で有意差があることを示す (n=6)



第 4-8 図 タマネギの生育関連形質と収量構成要素への肥料成分の関わり

第 3 節 . 本章の総合考察

リン酸直下施肥と組合せた窒素・カリウム施肥条件が、直播タマネギのりん茎重に及ぼす影響を調査した。加えて、タマネギは生育に伴い葉を展開しながら乾物重が増加することから、生育期間に展開する葉数に及ぼす施肥の影響および葉数と収量との関連性を解明するために、生育初期の草丈などの生育関連形質ならびに肥大始めの養分吸収が倒伏期の葉数に及ぼす影響を検討した。その結果、これまでリン酸直下施肥条件において、第 2 葉期までに施用された窒素とカリウムは、リン酸吸収を高めるとともに、肥大始めの窒素吸収を促進して倒伏期の葉数と葉 1 枚当たりのりん茎重を増加させることが明らかになった。また、供した‘オホーツク 222’の増収にリン酸直下施肥のみでは不十分と判断されたが、リン酸直下施肥と第 2 葉期までの窒素・カリウムの施用の組合せは、肥大始めの窒素やリン酸吸収を促進し、りん茎重の増大に寄与すると考えられた。なお、りん茎重の増大には、肥大始めの生葉数（ソース）の確保と総展葉数（シンク）の増加の両方が必要と判断できた。さらに、肥大始めの生葉数の確保には基肥の窒素、リン酸とカリウムの施用が

， 総 展 葉 数 の 増 加 に は 基 肥 の 窒 素 ， カ リ ウ ム の 施 用 が 寄 与 す る こ と が 明 ら か に な っ た ． 以 上 の こ と か ら 寒 地 に お い て 直 播 し た タ マ ネ ギ の 増 収 を 図 る た め の 方 策 と し て ， 窒 素 ， リ ン 酸 ， カ リ ウ ム の 直 下 施 肥 と 窒 素 ， カ リ ウ ム の 播 種 時 の 表 面 施 肥 ， 2 葉 期 の 窒 素 ， カ リ ウ ム の 追 肥 の 組 合 せ は ， 有 効 で あ る と 判 断 で き た ．

第 5 章 総 括

タマネギの消費や流通の動向，生産体制の変化，国際化対応などの状況を踏まえ，タマネギの直播栽培が見直されているが，安定的に収量を確保する上で施肥に関わる課題については不明確な点が多く，導入し得る技術の基盤となる科学的知見が乏しい．本研究は，タマネギの栽培生理上きわめて重要となる肥料要素であるリン酸のみならず窒素とカリウムが収量の構成要素に働きかける機作を調査して，新しい栽培体系を確立する目的で行った．特に直播栽培において収穫までに展開される葉数に着目して，収量を構成する要素について施肥方法との関係を明らかにすることを目指した．なお，いずれの研究もその成果を実際の生産現場へ導入することを目的として，構築した技術が実践され得る圃場に近い条件において遂行した一連の研究を取りまとめたものである．

まず，本研究で示された主な結果は次のようにまとめられる．従前のタマネギの施肥管理技術に関連する先行研究では，作物の生理生態学的な特性に着目した詳細な解析がほとんどなされないままに，施肥法や施

肥量，肥料成分の違いが収量に及ぼす影響を比較する事例研究が多かったが，本研究の遂行によりこれらの施肥管理技術導入の基盤となる園芸学的な知見を示すことができた．すなわち，生育初期の葉数や地上部乾物重は，リン酸の施肥位置が種子に近づくにつれて大きくなり，過リン酸石灰の 0～4 cm 施用は初期生育を促進する．このことから，根系の近傍への過リン酸石灰施肥が生育を促進するために有効な手段であると考えられた．また，局所施肥した肥料から溶出されるリン酸溶液の吸収が発芽やタマネギの出芽，生育に及ぼす影響は，発芽直後に限定されることが明らかになった．

次に，リン酸吸収係数が高い火山性土壌のほ場において播種したコート種子の直下 2～4 cm に過リン酸石灰を施用する直下施肥は，直播タマネギの生育を促進することを明らかにした．また，有効態リン酸が $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 乾土以下の火山性土の圃場において，施用リン酸の $1/3$ を種子直下に局所施肥し，リン酸吸収を改善することで，第 2 葉から 3 葉の抽出が速まり，肥料を全層施肥した場合に比べて，生育が促進される．以上のことから施用リン酸の $1/3$ から $1/4$ を直下施肥し，リン酸吸収を改善することでリン酸利用率が高まり肥料

を全層施肥した場合に比べて、3割程度のリン酸の減肥が可能となることが明らかになった。

さらに、タマネギの葉数は、りん茎重の大きさに関わり、収量を構成する重要な要素であることから、葉数を積算温度から推定することを目的として、三角法などの積算温度の計算方法を比較した。また、播種日や作型の違いおよびリン酸の全層施肥と直下施肥の条件下において回帰式の適合度を検証した。その結果、播種日や作型を異にしても安定的に推定精度が高い回帰式は、基準温度を 5.0°C とした平均気温法であると判断できた。品種‘もみじ3号’を用いた場合に、タマネギは、回帰式の係数から基準温度 5.0°C とした積算温度 100°C ・日当たりに約 1.5 枚の展葉が認められることが示唆された。その回帰式を用いて推定した品種‘オホーツク222’の肥大始めの展葉数と収穫期のりん茎重との間には有意な正の相関が認められ、品種によらず積算気温から展葉数が推定可能であり、展葉数が 1 枚増えることでりん茎重が約 45.8g 増加することが示された。寒地における直播栽培のタマネギのりん茎重は、肥大始めの生葉数が多い処理ほど大きくなる傾向にあり、リ

ン酸の直下施肥が生葉数の増加を通じてりん茎重の増大を助長することが明らかになった。

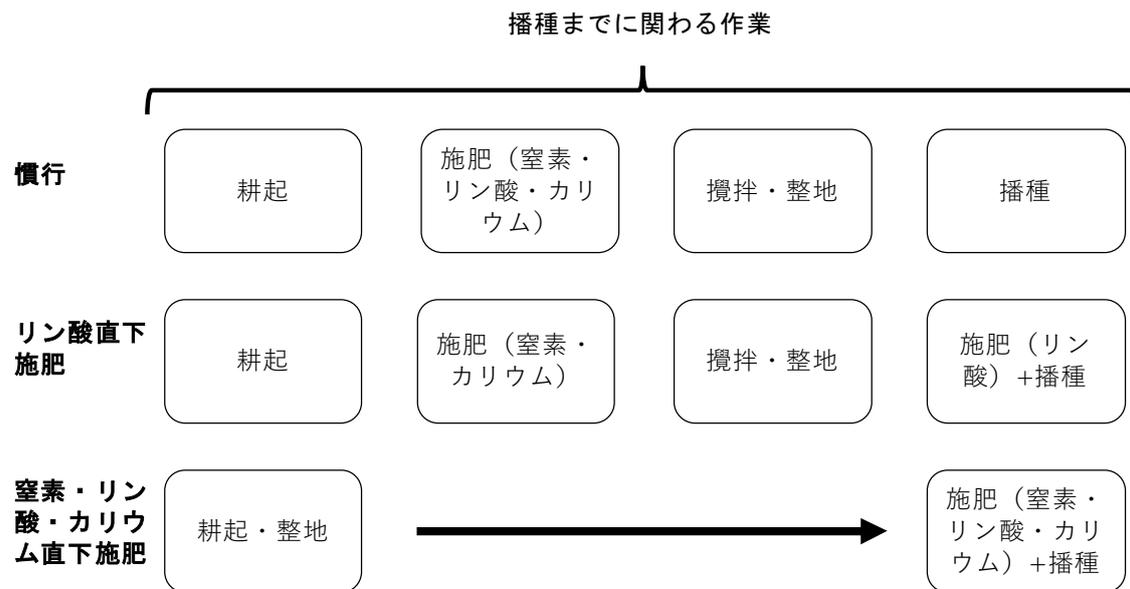
以上の説明に基づき、リン酸直下施肥と組合せた窒素・カリウム施肥条件が、直播タマネギのりん茎重に及ぼす影響を調査した。加えて、タマネギは生育に伴い葉を展開しながら乾物重が増加することから、生育期間に展開する葉数に及ぼす施肥の影響および葉数と収量との関連性を検討した。その結果、これまでリン酸直下施肥条件において、第2葉期までに施用された窒素とカリウムは、リン酸吸収を高めるとともに、肥大始めの窒素吸収を促進して倒伏期の葉数と葉1枚当たりのりん茎重を増加させることが明らかになった。また、供した‘オホーツク222’の増収にリン酸直下施肥のみでは不十分と判断されたが、リン酸直下施肥と第2葉期までの窒素・カリウムの施用の組合せは、肥大始めの窒素やリン酸吸収を促進し、りん茎重の増大に寄与することで増収に導くことができると考えられた。なお、りん茎重の増大には、肥大始めの生葉数（ソース）の確保と総展葉数（シンク）の増加の両方が必要と判断できた。肥大始めの生葉数の確保には基肥の窒素、リン酸とカ

リウムの施用が，総展葉数の増加には基肥の窒素，カリウムの施用が寄与することが明らかになった．

本研究では，寒地の畑作地帯に導入直播したタマネギの増収を図るための方策として，窒素，リン酸，カリウムの直下施肥と窒素，カリウムの播種時の表面施肥，2葉期の窒素，カリウムの追肥の組合せは，有効であると判断できた．以上のように，実用的に有用となる施肥管理技術導入の基礎となる知見が明らかになったので，総括では，これらの結果をもとに，本研究で得られた知見がタマネギ直播栽培の構築にどのように資するかについて論じることとする．

日本農業の課題として特筆すべきは急激な農家人口の減少への対応であると考えられる．1次産業人口が多い北海道においても水田地帯では1990年から2010年には1990年の農家戸数が39%に減少，畑作地帯では2006年からの10年間で13%減少し，2020年にはさらに300戸減少すると予想される（村上，2018）．このように北海道では農家経営戸数の減少や経営規模の拡大，担い手の高齢化や人手不足により，タマネギの栽培における省力技術が求められている．次に，輸入について概観すれば，2010年以降のタマネギの輸入額は140億

円以上で推移し，国産品と輸入品の卸売価格は，年平均では拮抗するようになりつつある．国内外の状況が変化しつつある現在において，タマネギの栽培体系は，新しい技術導入がなされる必要がある．直播栽培と移植栽培との作業体系の違いは，圃場の準備である耕起作業から播種，その後の初期生育の確保までである．直播栽培においては育苗に関わる資材が不要となることで低コスト化が図られているが，リン酸の直下施肥により更なるコスト削減が図られ，これに加えて施肥と播種作業を同時に行うことで省力化が可能となる（第5-1図）．タマネギ直播栽培の耕起と播種作業を同時に行うことで作業時間の短縮が図られ，他作物の播種や収穫作業との競合が回避できる．特に寒地においては気温の上昇に伴い各種作物の作業が同時に始まるので春作業の競合を避けるためには作業工程の簡略化が重要となる．本研究では施肥体系がりん茎の肥大に及ぼす影響について明らかにしたが，その中でも窒素，リン酸，カリウムの直下施肥の知見をタマネギの直播栽培に応用することで新しい栽培体系の確立ができた．この直下施肥技術の導入によって期待される効果は，タマネギの直播栽培におけるリン酸減肥により低コスト化



第 5-1 図 直下施肥を用いた作業体系

が図られて生産者の経営安定に貢献，低リン酸の圃場でも直播栽培が可能となり，国内の作付面積の増加を導き，タマネギの国内産シェアの拡大に寄与することである．慣行の栽培体系では播種前に施肥とその攪拌の作業を必要とするが，本研究で提案した窒素，リン酸，カリウムの直下施肥の体系化された知見を応用し，追肥技術と組み合わせることで基肥散布にかかる労力が省けることから省力化につながり，輪作を行う上で経営体における他作物との作業競合を避けることが可能となる．リン酸肥沃度が低い圃場においても減収することなく減肥が可能となることが明らかになったので，この技術の導入可能な経営体や地域は，リン酸肥沃度が低い圃場のタマネギ生産者，または，タマネギ直播の拡大を目指す地域で，北海道内を含めて全国に及ぶ．寒地以外においても直播したタマネギの生産性を向上させるためには，本研究が明らかにした施肥管理技術が有する生理上の機序を活用し，それを更に深化させて，生産性向上に対応させることで，新しい栽培技術の開発に資することができると考えられた．

摘要

タマネギの消費や流通の動向，生産体制の変化，国際化対応などの状況を踏まえ，タマネギの直播栽培が見直されているが，安定的に収量を確保する上で施肥に関わる課題については不明確な点が多く，導入し得る技術の基盤となる科学的知見が乏しい．本研究は，タマネギの栽培生理上きわめて重要な元素であるリン酸のみならず，窒素とカリウムが収量の構成要素に働きかける機作を調査し，新しい栽培体系を確立する目的で行った．特に直播栽培において収穫までに展開される葉数に着目し，収量を構成する要素について施肥方法との関係を明らかにすることを目指した．なお，いずれの研究もその成果を実際の生産現場へ導入することを目的として，構築した技術が実践され得る圃場に近い条件において遂行した一連の研究を取りまとめたものである．

従前のタマネギの施肥管理技術に関連する先行研究では，作物の生理生態学的な特性に着目した詳細な解析がほとんどなされないままに，施肥法や施肥量，肥料成分の違いが収量に及ぼす影響を比較する事例研究

が多かったが，本研究の遂行によりこれらの施肥管理技術導入の基盤となる園芸学的な知見を示すことができた．すなわち，生育初期の葉数や地上部乾物重は，リン酸の施肥位置が種子に近づくにつれて大きくなり，根系の近傍への過リン酸石灰施肥が有効な手段であると考えられた．また，局所施肥した肥料から溶出されるリン酸溶液の吸収が発芽やタマネギの出芽，生育に及ぼす影響は，発芽直後に限定されることが明らかになった．

次に，リン酸吸収係数が高い火山性土壌の圃場において播種したコート種子の直下2～4 cmに過リン酸石灰を施用する直下施肥は，直播タマネギの生育を促進することを明らかにした．さらに，施用リン酸の1/3から1/4を直下施肥し，リン酸吸収を改善することで作物によるリン酸利用率が高まり，肥料を全層施肥した場合に比べて3割程度のリン酸の減肥が可能となることが明らかになった．

タマネギの展葉数は，りん茎重の大きさに関わることから，葉数を積算温度から推定することを目的として算出方法を比較した．また，播種日や作型の違いおよびリン酸の全層施肥と直下施肥の条件下において回

帰式の適合度を検証した。その結果，安定的に推定精度が高い回帰式は，基準温度を 5.0°C とした平均気温法であると判断できた。その回帰式を用いて推定した肥大始めの展葉数と収穫期のりん茎重との間には有意な正の相関が認められ，品種によらず積算気温から展葉数が推定可能であることが示された。また，寒地における直播栽培のタマネギのりん茎重は，肥大始めの生葉数が多い処理ほど重くなる傾向にあり，リン酸直下施肥が生葉数の増加を通じてりん茎重の増大を助長することが明らかになった。

以上の説明に基づき，生育期間に展開する葉数に及ぼす施肥の影響および葉数と収量との関連性を検討した。リン酸直下施肥条件において，第2葉期までに施用された窒素とカリウムは，リン酸吸収を高めるとともに，肥大始めの窒素吸収を促進して倒伏期の葉数と葉1枚当たりのりん茎重を増加させることが明らかになった。直播したタマネギの増収にはリン酸直下施肥のみでは不十分と判断されたが，リン酸直下施肥と第2葉期までの窒素・カリウムの施用の組合せは，肥大始めの窒素やリン酸吸収を促進し，りん茎重の増大に寄与することで増収に導くことができると考えられ

た．なお，りん茎重の増大には，肥大始めの生葉数の確保と総展葉数の増加の両方が必要と判断でき，肥大始めの生葉数の確保には基肥の窒素，リン酸とカリウムの施用が，総展葉数の増加には基肥の窒素，カリウムの施用が寄与することが明らかになった．

本研究では，寒地の畑作地帯に導入直播したタマネギの増収を図るための新たな方策として，窒素，リン酸，カリウムの直下施肥と窒素，カリウムの播種時の表面施肥，2葉期の窒素，カリウムの追肥の組合せを提案し，この方法が有効であると判断できた．実用的な施肥管理技術導入の基礎となる知見が明らかになったことから，今日の技術的課題へのアプローチについても論考した．日本農業の課題として特筆すべきは，急激な農家人口の減少への対応した新しい省力化された技術導入である．直播栽培においては育苗に関わる資材が不要となることで低コスト化が図られているが，リン酸の直下施肥により更なるコスト削減が図られ，これに加えて施肥と播種作業を同時に行うことで省力化が可能となる．本研究で明らかにした窒素，リン酸，カリウムの直下施肥の体系化された知見をタマネギの直播栽培に応用することで，日本農業の課題に

対応した新しい栽培体系の確立ができる。寒地以外においても直播したタマネギの生産性を向上させるためには、本研究が明らかにした施肥管理技術が有する生理上の機序を活用することで、さらなる新しい栽培技術の開発に資することができると考えている。

謝 辞

本論文を取りまとめるにあたり，弘前大学大学院農学研究科教授前田智雄博士には，終始懇切丁寧な御指導，御校閲を賜った．ここに記して深甚なる感謝の意を表す．また，農研機構九州沖縄農業研究センター山崎篤博士には本研究のテーマを与えていただき，研究を進める過程においては懇切丁寧な御指導を賜ったことに厚く御礼申し上げる．また，山形大学農学部教授西澤隆博士，岩手大学大学院農学研究科准教授立澤文見博士，弘前大学大学院農学研究科准教授本多和茂博士には多くのご助言と御校閲の労を賜った．ここに厚く御礼申し上げる．

また，農研機構北海道農業研究センターの辻博之博士，室崇人氏（現東北農業研究センター），竹中眞博士（現中央農業研究センター），JA全農の末貞辰朗氏，東野裕広氏，川城英夫博士，森田直彦氏，森永靖武氏においては，研究遂行上のご協力と有益なご助言を頂いた．ここに記して感謝の意を表する．

本研究に係るさまざまな作業や実験は，北海道農業研究センターの技術専門職員の皆様や非常勤職員の皆様による多方面の御協力なしには遂行することはできなかった．ここに厚く感謝の意を表する．

引用文献

- Allen R. G., Pereira L. S., Raes D. and Smith M. 1998.
Crop evapotranspiration - Guidelines for
computing crop water requirements. FAO irrigation
and drainage paper 56. FAO. Rome. < [http://
www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm](http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm) > .
- 安藤利夫・甲田暢男・大越一雄． 2002． 初夏どりネギ
栽培における晩抽性品種の花芽分化， 抽苔特性．
千葉農総研研報． 1: 13-23.
- 青葉 高． 1951． 玉葱の葉数及び摘葉と球重との関
係． 山形県立農林専門学校研究報告． 4: 27-34.
- Baweja, A. S. and T. E. Bates. 1971. Responses of corn
to small amounts of fertilizer placed with the
seed: IV. Comparison of dry liquid forms. Agron.
J. 63: 376 - 380.
- Bierhuizen, J. F. and W. A. Wagenvoort. 1974. Some
aspects of seed germination in vegetables. 1. The
determination and application of heat sums and
minimum temperature for germination. Sci. Hortic.
2: 213-219.

- Brewster J.L. 1983. Effect of photoperiod, nitrogen nutrition and temperature on inflorescence initiation and development in onion (*Allium cepa* L.). Ann. Bot. 51: 429 – 440.
- Brewster, J. L. 1985. The influence of seedling size and carbohydrate status and of photon flux density during vernalization on inflorescence initiation in onion (*Allium cepa* L.). Ann. Bot. 55. 403-414.
- Brewster J.L. 2008. 6. Agronomy and crop production. Onions and other vegetable alliums, 2nd edition. p.251-307. CABI, Oxfordshire.
- Brewster J.L. Bhat K. K. K. and Nye P. H. 1975. The possibility of predicting solute uptake and plant growth response from independently measured soil and plant characteristics. III. The growth and uptake of onion in a soil fertilizer to different initial levels of phosphate and comparisons with model predictions. Plant and soil. 42: 197 – 226.
- Brewster, J. L., P. J. Salter and R. J. Darby. 1977. Analysis of The Growth and Yield of Overwintered Onions. J. Hort. Sci. 52: 335-346.

Costigan P. A., D. J. Greenwood and T. Mcburney.

1983. Variation in yield between two similar sandy loam soils. I. description of soils and measurement of yield differences. J. Soil Sci. 34: 621 – 637.

Dahlgren R. A., M. Saigusa and F. C. Ugolini. 2004.

The nature, properties and management of volcanic soils. Adv. Agron. 82: 113-181.

Ferjani, A., S. Segami, G. Horiguchi, Y. Muto, M.

Maeshima and H. Tsukaya. 2011. Keep an eye on P₁Pi: The vacuolar-type H⁺-pyrophosphatase regulates postgerminative development in Arabidopsis. The Plant Cell. 23: 2895 – 2908.

藤島 廣二・小林 茂典. 2008. II 業務・加工用野菜のニーズと品質・規格. タマネギ. p. 61 – 67. 業務・加工用野菜 – 売れる品質・規格と産地事例 – . 農山漁村文化協会. 東京.

藤沼 善亮・木下 彰・橋田 茂和. 1970. 塩類濃度.

p45 – 50. 土壤養分分析法委員会編. 肥沃度測定のための土壤養分分析法. 養賢堂. 東京.

藤原 俊六郎. 1985. 施肥の原理と施肥技術. 原理, 施肥技術の成り立ち. 農業技術体系. 土壤施肥編

6, 49. 農文協. 東京.

Gertsson U. and I. Bjorklund. 2002. Strategies for
determining optimum nitrogen supply to onions.
Acta Hort. 571: 181 – 185

後藤重義. 1990. 原子吸光法. p. 134 – 142. 植物栄
養実験法. 博友社. 東京.

Greenwood D. J., T. J. Cleaver, M. K. Turner, J. Hunt,
K. B. Niendorf and S. M. H. Loquens. 1980a.
Comparison of the effect of potassium fertilizer on
the yield, potassium content and quality of 22
different vegetable and agricultural crops. J.
Agric. Sci. Camb. 95: 441 – 456.

Greenwood D. J., T. J. Cleaver, M. K. Turner, J. Hunt,
K. B. Niendorf and S. M. H. Loquens. 1980b.
Comparison of the effect of phosphate fertilizer on
the yield, phosphate content and quality of 22
different vegetable and agricultural crops. J.
Agric. Sci. Camb. 95: 457 – 469.

Greenwood D. J., T. J. Cleaver, M. K. Turner, J. Hunt,
K. B. Niendorf and S. M. Loquens. 1980c.
Comparison of the effect of nitrogen fertilizer on

the yield, nitrogen content and quality of 21
different vegetable and agricultural crops. J.
Agric. Sci. Camb. 95: 471 - 485.

Heath, O. V. S. 1945. Formative effects of
environmental factors as exemplified in the
development of the onion plant. Nature. 155: 623 -
626.

日高 伸 . 1997. 第 V 章 土 壤 化 学 9. 窒 素 . p. 231 -
255. 土 壤 環 境 分 析 法 . 博 友 社 . 東 京 .

広 田 知 良 . 2017. 2016 年 の 北 海 道 に お け る 台 風 に よ る
農 業 被 害 . 農 業 お よ び 園 芸 . 92: 804.

北 海 道 農 政 部 . 2002. 北 海 道 施 肥 ガ イ ド . p. 127. 北
海 道 農 政 部 道 産 食 品 安 全 室 . 北 海 道 .

北 海 道 立 総 合 研 究 機 構 農 業 研 究 本 部 . 2015. 北 海 道 施
肥 ガ イ ド 2015. p. 113. 北 海 道 農 政 部 .

北 海 道 立 総 合 研 究 機 構 . 2012. 土 壤 ・ 作 物 栄 養 診 断 の
た め の 分 析 法 2012. p. 74 - 75. 北 海 道 立 総 合 研 究
機 構 農 業 研 究 本 部 .

本 間 利 光 ・ 江 村 学 ・ 船 越 昭 夫 . 1999. 新 潟 県 に お け
る 秋 ま き ね ぎ の 花 芽 分 化 と 抽 苔 に つ い て . 新 潟 農
総 研 報 . 1: 13 - 23.

- 堀口 毅 . 1984. IV . 代謝 . p. 72 - 107. 松田敬一郎編
著 . 作物栄養・肥料学 . 文永堂出版 . 東京 .
- 池上隆雄 . 1949. 玉葱の直播と移植によって生ずる根
群の相違に就いて . 園学雑 . 18: 101 - 110 .
- 入江美穂 . 1997. 第2章品目別野菜生産の実態と考察
2. 品目別分析 (4) たまねぎ . p. 112 - 136. 独
立行政法人農畜産業振興機構編 . 野菜の生産・流
通と野菜制度の機能 , 農林統計出版 . 東京 .
- 伊藤 潔 . 1956 a. 玉葱の抽苔に関する研究 (第1報)
分球と花芽分化の関連性について . 園学雑 . 25:
187 - 193 .
- 伊藤 潔 . 1956 b. 玉葱の抽苔に関する研究 (第2
報) 花芽分化温度について . 園学雑 . 25: 243 -
246 .
- 伊藤豊彰・井上博道・三枝正彦 . 2000. 耕起法と窒素
肥料が全量基肥・接触施肥におけるデントコーン
の出芽に及ぼす影響 . 土肥誌 . 71: 187 - 193 .
- 岩間誠造・濱島直巳 . 1951. 高冷地に於けるタマネギ
の春播栽培 . 農業および園芸 . 26: 246 - 248 .
- 岩田正利・森田 勇・本多藤雄 . 1959. 窒素供給期間
の差異がタマネギの生育・収量に及ぼす影響 . 園

学 雑 . 28: 241 - 246 .

加藤 秀正・本島 俊明・岡 紀邦 . 1985 . 土 壤 溶 液 論 的
に み た リ ン 酸 の 上 限 . 土 肥 誌 . 56 : 285 - 291 .

加藤 徹 . 1963 . タ マ ネ ギ 球 の 形 成 肥 大 お よ び 休 眠 に
関 する 生 理 学 的 研 究 (第 3 報) 球 の 形 成 肥 大 に 及
ぼ す 環 境 要 因 の 影 響 . 園 学 雑 . 33 : 53 - 61 .

加藤 徹 . 1964 . タ マ ネ ギ 球 の 形 成 肥 大 お よ び 休 眠 に
関 する 生 理 学 的 研 究 (第 4 報) 葉 お よ び 根 の 役 割
に つ い て . 園 学 雑 . 34 : 127 - 133 .

加藤 徹 . 1965 . タ マ ネ ギ の 球 の 形 成 肥 大 お よ び 休 眠
に 関 する 生 理 学 的 研 究 (第 4 報) 葉 お よ び 根 の 役
割 に つ い て . 園 学 雑 . 34 : 127 - 133 .

川 口 桂 三 郎 . 1977 . 土 壤 学 概 論 . 18 日 本 の 耕 地 土 壤 の
概 要 . p191 - 208 . 養 賢 堂 . 東 京 .

川 崎 重 治 . 2007 . 秋 冬 ど り (11 ~ 3 月) 栽 培 各 作 型
で の 基 本 技 術 と 生 理 . p . 167 - 184 . 農 業 技 術 体 系
野 菜 編 8 - 2 タ マ ネ ギ . 農 文 協 . 東 京 .

小 林 茂 典 . 2012 . 野 菜 の 用 途 別 需 要 の 動 向 と 対 応 課 題 .
農 林 水 産 政 策 研 究 所 レ ビ ュ ー . 48 : 2 - 3 .

工 藤 馨 . 1996 . 富 士 山 北 麓 地 域 に お け る 春 播 き タ マ
ネ ギ 栽 培 の 可 能 性 の 検 討 . 明 治 大 学 農 研 報 . 109 :

13 - 21.

栗原 淳 . 1984. 肥料成分の土壌中での挙動 .

p1071. 植物栄養土壌肥料大辞典 . 養賢堂 . 東京 .

草野 秀 . 1982. 野菜栽培土壌の診断基準 . 土肥誌 .

53: 60 - 68.

Lancaster, J. E., C. M. Triggs, J. M. De Ruiter and P.

W. Gandar. 1996. Bulbing in onions: Photoperiod and temperature requirements and prediction of bulb size and maturity. *Ann. Bot.* 78. 423-430.

Miller M. H., T. E. Bates, D. Singh, and A. S. Baweja.

1971, Response of core to small amounts of fertilizer placed with the seed: I. Greenhouse studies. *Agron. Jour.* 63: 365-368.

水落 勁美 . 1985. 元肥 - 追肥の仕組み方をめぐって .

p54-59. 農業技術体系土壌肥料編 6-1 施肥の原理と施肥技術 (1). 農文協 . 東京 .

Mondal, M. F., J. L. Brewster, G. E. L. Morris and H.

A. Bulter. 1986. Bulb development in onion (*Allium cepa* L.) I. Effects of plant density and sowing date in field conditions. *Ann. Bot.* 58: 187

村上則幸． 2018． 進化する北海道の農業現場での ICT 利用． 農業． 1638: 45－52．

村山 徹・宮沢佳恵． 2013． 定植前リン酸苗施用によるネギの生育促進． 土肥誌． 84: 455－461．

室 崇人． 2012． 加工・業務用タマネギの品種開発． 農林水産技術研究ジャーナル． 35: 27－31．

室 崇人・臼木一英・嘉見大助・杉山慶太． 2017． タマネギ品種における早晩性と展葉数の関係． 園学研． 16（別 1）: 147．

室 崇人・臼木一英・辻 博之． 2014． タマネギ直播栽培で見られた生育・収量の解析． 北海道園芸研究談話会報． 47: 74－75．

中山敏文・山本平三・松尾良満・甲斐田健史． 2001． 畑作地帯におけるタマネギの直播き栽培技術の確立． 第 1 報 播種時期が生育， 収量に及ぼす影響． 九州農研． 63: 162．

中山敏文・山本平三・石橋哲也・中島正明． 2002． 畑作地帯におけるタマネギの直播き栽培技術の確立． 第 2 報 播種密度と施肥量が生育， 収量に及ぼす影響． 九州農研． 64: 158．

日本工業規格． 2016． 硫酸ヒドロジウム還元法． p．

176－178． JIS K 0102 工業排水試験法． 日本規格協会． 東京．

西田忠志・柳田大介・野田智昭． 2005． たまねぎ極早生品種の窒素施肥反応． 北海道園芸研究談話会報． 38： 32－33．

農業環境技術研究所土壤情報閲覧システム 2009． 土壤図閲覧．

農林水産省． 2017． 青果物卸売市場調査報告． <

http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/seika_orosi/>．

岡部達雄． 1975． りん． p． 69－73． 栄養診断のための栽培植物分析測定法． 養賢堂． 東京．

岡崎智哉． 2011． 十勝の農耕地におけるリン酸の利用と蓄積の実態． ペドロジスト． 55： 89-92．

小野寺政行・板垣英裕・古館明洋・木谷裕也・日笠祐治． 2014． 移植タマネギにおける葉面散布およびポット内施肥を用いたリン酸減肥技術． 土肥誌． 85： 245－249．

大西忠男・田中静幸． 2012． 保肥・保水力のある畑で． 追肥で太らせる． p． 30-31． タマネギの作業便利

- 帳 . 農文協 . 東京 .
- 坂神泰輔・是永龍二 . 1981 . 有効積算温度の簡易な新
算出法 “三角法” について . 応動昆 . 25 : 52-54 .
- 執行正義 . 2007 . 第6章 鱗茎類 . p . 123 - 148 . 金浜
耕基編 . 野菜園芸学 . 文永堂出版 . 東京 .
- 白井康裕・鳥超昌隆・大波正寿・柳田大介・大平純
一・成松 靖 . 2013 . 生産費データを用いた技術
評価プロセス . 農業経営研究 . 156 . 65 - 70 .
- 白岩裕隆・鹿島美彦・井上 浩・坂井章浩・田辺賢
二 . 2005 . 初夏どりネギ栽培における花芽分化時
期の液肥が植物体の窒素レベル , 抽苔および収量
に及ぼす影響 . 園学研 . 4 : 411-415 .
- 宍戸良洋・斎藤 隆 . 1976 . タマネギの花芽形成に関
する研究 (第2報) 花芽形成における低温感応に
対する苗の性状の影響 . 園学雑 . 45 : 160-167 .
- 相馬 暁・岩淵晴郎・多賀辰義 . 1983 . 窒素・りん酸
肥沃度に対応したタマネギの窒素施肥法 . 北海道
立農試集報 . 50 : 1-12 .
- Sleight D. M., D. H. Sander and G. A. Peterson. 1984 .
Effect of Fertilizer Phosphorus Placement on the
Availability of Phosphorus. Soil. Sci. Soc. AM.

J. 48: 336 - 340.

Stone D. A. 1998. The effect of 'starter' fertilizer on the growth and yield of drilled vegetable crop in soil nutrient status. J. Hort. Sci. Biotech. 73, 441 - 451

Stone, D. A. 2000a. The effect of starter fertilizers on the growth and nitrogen use efficiency of onion and lettuce. Soil Use and Management. 16: 42 - 48.

Stone, D. A. 2000b. Nitrogen requirement of wide-spaced row crop in the presence of starter fertilizer. use efficiency of onion and lettuce. Soil Use and Management. 16: 258 - 292.

末貞辰朗・白木一英・室 崇人・東野裕広・川城英夫・森田直彦・森永靖武．2018．播種時期とリン酸の播種条下への局所施肥が温暖地の秋播きタマネギ直播栽培の収量性に及ぼす影響．園学研．17: 49 - 54．

鈴木達彦・藤沼善亮・塚田豊昭．1966．異なる位置に施した肥料の小麦に対する効果－火山灰畑における施肥技術の解析（第1報）．土肥誌．37: 218 - 222．

Suzuki, H., S. Obayashi and H. Luo. 1989. Effect of solution on the priming of several vegetable seeds. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 58: 131-138.

高橋正輝. 2001. 環境保全的な局所施肥法. 環境保全と新しい施肥法. p188-205. 養賢堂. 東京.

寺沢四郎. 1981. 乾燥地帯における土壌の物理性と水収支. 土壌の物理性. 43: 48-53.

Wagenvoort, W. A. and J. F. Bierhuizen. 1977. Some aspects of seed germination in vegetables. II. The effect of temperature fluctuation, depth of sowing, seed size and cultivar, on heat sum and minimum temperature for germination. Sci. Hortic. 6: 259-270.

渡邊和洋・森谷 茂・渡邊好昭・藤井國博. 1997. 定植前重点施用によるリン酸施用量の削減. 土肥誌. 68: 622-628.

渡邊和洋・村山 徹・新野孝男. 2002. 定植前リン酸施用による初期生育促進機構の解析. I. 定植前リン酸施用により N, Ca, Mg, S の吸収が促進される. 日作紀. 71 (別 1) : 58-59.

Watanabe K., T. Murayama, T. Niino, T. Nitta and M.

Nanjyo. 2005. Reduction of Phosphatic and Potash Fertilizer in Sweet Corn Production by Pre-transplanting Application of Potassium Phosphate to Plug Seedlings. Plant Prod. Sci. 8: 608 - 616.

渡邊 和洋・新野孝男・村山 徹・南条正巳． 2007． 移植前リン酸苗施用による水稲の初期生育促進． 日作紀． 76: 181-188．

渡邊 和洋・新野孝男・村山 徹・南条正巳． 2011． 定植前重点施用がキャベツとトウモロコシの初期生育の乾物生産， 光合成， 根の活性および養分吸収に及ぼす影響． 日作紀． 80: 391 - 402．

山崎 篤・田中和夫． 2005． ネギの抽だい及ぼす窒素の影響． 園学研． 4: 51-54．

柳田 大介・大波正寿・杉山 裕． 2012． タマネギ直播栽培における品種の適応性と栽植密度． 北海道園芸研究談話会報． 45: 56-57．

吉田 濤・三浦周行・山崎 篤． 1996． 土壌と肥料の混合の強弱がツケナの生育に及ぼす影響． 土肥誌． 67: 413 - 418．

財務省． 2017． 財務省貿易統計． <

<http://www.customs.go.jp/toukei/info/>> ．

Summary

Effect of improvement of fertilization method of phosphate and elucidation of the mechanism for the cultivation management on growing-related trait and yield of direct-seeding onion

Kazuei Usuki

Depending on change in production system and response to increase of international distribution of onions, direct-seeding cultivation method has been reviewed in accordance with the situation of consumption and distribution, however it is unclear about issues related to fertilization to ensure stable yield because of little scientific knowledge. For the purpose of establishing a new cultivation system, this study was conducted to investigate not only effect of phosphate, which is a very important nutrient for onion physiology, but also mechanism by which nitrogen and potassium affect the yield components. Focusing on the number of leaves developed before harvesting in

direct-seeding cultivation, this study was aimed to clarify the relationship between fertilization and the elements constituting the yield. This manuscript was summarized a series of researches carried out under conditions close to the commercial production field where the established techniques can be practiced the results easily to the actual production site.

Previous studies related to the fertilization management of the onion cultivation have shown that the influence of the difference in fertilization method, application amount and ingredients on yield, with little detailed analysis focused on the physiological characteristics of onion. This study showed some basic knowledge contributes to introduce these fertilization management techniques. In other words, it was revealed that the number of leaves at the early growth stage and dry matter weight increased as the fertilization position of phosphoric acid approached the roots, and it was considered that overfed calcium superphosphate application to the vicinity of the root system was an

effective method. In addition, it was suggested that the influences of the locally applied calcium superphosphate fertilizer on the emergence rate of onion seed was limited within the duration of about 10 days after sowing.

It was also revealed that fertilization, in which calcium superphosphate is applied to 2-4 cm below the seeds in a field of volcanic ash soil with high phosphate absorption coefficient, promotes the growth of direct-seeding onion. Furthermore, local fertilization with calcium superphosphate 2-4 cm below the seeds improved phosphorus uptake and the final yield of direct-seeding onions compared with broadcast fertilization. It seems that the combination of local fertilizer and phosphate reduced fertilizer does not cause any difference in yield from broadcast fertilization. In short, this method could reduce the application amount of phosphate fertilizer to 1/3 or 1/4, compared to broadcast application.

The number of leaves on an onion plant, which is an important element of the yield, is related to the bulb diameter and weight. In order to estimate the number of leaves of an onion plant based on the accumulated temperature, it was compared several calculation methods. The fitness of the estimation formula for a specific calculation method was verified by examining different variables: sowing date, cropping type, and method of phosphate fertilization (broadcast or locally applied). The results of this study indicated that the formula of the average temperature method with the base temperature set to 5.0°C is highly correlated with the effective temperature and number of leaves. The estimation formula with the highest estimation accuracy was the average temperature method with a base temperature of 5.0°C. In addition, we clarified the bulb weight of the direct-seeding onion in the cold area tended to become heavier as the number of leaves got higher at the beginning of bulbing.

Based on the above clarification, the effect of fertilization on the number of leaves developed during the growing period and the relationship between leaf number and yield were examined. Nitrogen and potassium application prior to the second leaf stage increased phosphate reabsorption and promotes nitrogen absorption in the bulb initiation stage. In addition, it leads to an increase in the number of leaves at the fall-over stage and the bulb weight per leaf. This study showed that only applying calcium superphosphate locally does not increase the yield, but that it requires combination with nitrogen and potassium application prior to the second leaf stage. This process promotes the absorption of nitrogen and phosphate at the beginning of bulbing initiation stage and contributes to an increase in bulb yield. In addition, it was found that both securing of number of the live leaves (source) at the beginning of bulbing initiation stage and the increase of total number of the leaves (sink) are required for the increase in weight of

the bulb. It was revealed that the application of nitrogen, phosphate and potassium of the base fertilizer is applied to secure the number of live leaves at the beginning of bulbing stage and the application of nitrogen and potassium of the basal fertilizer contributes to increase total numbers of the leaves.

The method developed in this study was judged effective for direct-seeding onion in the upland field of the cold region, namely, applying calcium superphosphate locally directly under the seeds combined with spreading nitrogen and potassium fertilizer prior to the second leaf stage on the surface of the ground. Since the findings of this study would reveal as the foundation for practical application of fertilization management technology, the discussion was also approached to today's technical issues in Japanese agriculture. A major issue to be addressed is the introduction of new labor-saving technologies to cope with the rapid decrease in farmer population. In

the direct seed cultivation of onions, costs are reduced by eliminating materials related to raising seedlings, but further cost reduction could be achieved by application of the phosphate fertilizer below the seeds, in addition, labor cost will be saved more if the fertilization and seeding work are performed at the same time. By applying the systematized findings of this study concerning the application of nitrogen, phosphate and potassium to the direct-seeding onions, it is possible to establish a new cultivation system corresponding to the agriculture issue of Japan. In order to improve the productivity of direct-seeding onion other than cold region, it is beneficial to further develop new cultivation techniques by utilizing the physiological mechanism possessed by this fertilization management technique revealed by this research.