タマネギ (*Allium cepa* L.) 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

臼木一英*・室 崇人

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター大規模畑作研究領域
082-0081 北海道河西郡芽室町

Effect of Immersion in Phosphate Solution and Contact with Superphosphate on the Germination and Sprouting of Onions (*Allium cepa* L.)

Kazuei Usuki* and Takato Muro

Large-scale Farming Research Division, Hokkaido Agricultural Research Center, NARO, Memuro, Kasai, Hokkaido 082-0081

Abstract

We studied the germination and sprouting of onion seeds that had been immersed in a phosphorus solution from 0 to 5.0%. In cases of localized fertilization, we hypothesized that the phosphoric acid concentration in the soil would prevent or impede germination. Furthermore, we investigated the impact of fertilization with superphosphate on the emergence of onions. Fertilizing treatment with phosphorus of 4.66 g per pot decreased the emergence rate compared with no fertilization of 7 days after seeding, but afterwards it had no negative effect. The results suggest that the effects on germination and rooting of onion seeds immersed in a phosphorus solution are limited to just after germination. Therefore, even if seeds come into contact with superphosphate with localized fertilization, the effects on the emergence of onion decline over time. When superphosphate was locally applied, at a rate of 50 to 200 kg phosphate content per ha, the emergence rate 10 days after sowing was not affected.

Key Words : local fertilization, rooting, salt injury

キーワード : 発根, 局所施肥, 濃度障害

緒 言

効果的なリン酸施肥のために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). また、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). 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, 2000). 著者らもポット試験で、播種した種子の下方 0 から 4 cm の間に過リン酸石灰を局所施肥することで初期生育が促進されること、圃場でも直播栽培において根の位置と施肥位置を一致させるように播種溝の下方 2 から 4 cm に過リン酸石灰を局所施肥することで初期生育が促進されることを報告した (臼木ら, 2015, 2016).

肌肥施肥もしくは接触施肥において、小麦では窒素、リン酸、カリ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). 著者らは、タマネギの直播栽培において、タマネギ種子直下への過リン酸石灰局所施肥は出芽に影響しないことを報告した (臼木ら, 2015). しかし、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ことから、リン酸肥料と種子が接触し、もしくは混合した場合にリン酸肥料が出芽に及ぼす影響についても検討すべき課題である. 特に局所施肥の場合、施肥位置の土壌 EC 値は発芽障害が懸念される $0.27 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ を超える可能性がある. そこで、タマネギ種子のリン酸溶液の吸収が発芽や出芽、生育に及ぼす影響を調査した. さらに、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を検討した.

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（試験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（CM-30R、東亜ディーケーケー（株））、pHはpHメーター（D-51、（株）堀場製作所）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試験1および試験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日目に茎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発芽および初期生育に及ぼす影響（試験2）

出芽試験には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圃場から採取した土壌（褐色火山性土・埴土）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1479であった（第1表）。有効態リン酸はトルオグ法、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（CM-30R）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、試験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℃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を播種粒数で除した値、出芽率は10日目に発芽し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。

3. リン酸肥料との接触が発芽に及ぼす影響（試験3）

試験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 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））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当たりリン酸成分量で 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あたりに 0.072 g となる。辻ら（2013）の方法による施肥幅は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（CM-30R）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を播種粒数で除した値、出芽率は10日目に発芽し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。

4. 統計処理

データはExcel統計2012 for Windows（R）（（株）社会情報サービス）のTukey-Kramerの多重検定によりその有意性を検定した。

結 果

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（試験1）

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

第1表 供した土壌の養分特性

pH (H_2O)	全窒素 (%)	硝酸態 窒素 ($\text{mg} \cdot 100\text{ g}^{-1}$)	アンモニア 態窒素 ($\text{mg} \cdot 100\text{ g}^{-1}$)	有効態 リン酸 ($\text{mg} \cdot 100\text{ g}^{-1}$)	交換性 カリ ($\text{mg} \cdot 100\text{ g}^{-1}$)	交換性 苦土 ($\text{mg} \cdot 100\text{ g}^{-1}$)	交換性 石灰 ($\text{mg} \cdot 100\text{ g}^{-1}$)	塩基 飽和度 (%)	リン酸 吸収 係数	CEC ($\text{me} \cdot 100\text{ g}^{-1}$)
5.7	0.4	30	0.8	21.7	74.2	52.8	312.2	61	1479	25.1

第1図 種子のリン酸溶液への浸漬が発芽に及ぼす影響
Tukey-Kramerの多重検定により異なる英文字間に有意差(5%)があることを示す
垂線は標準誤差 (n=6)

第2図 種子のリン酸溶液への浸漬が根長に及ぼす影響
Tukey-Kramerの多重検定により異なる英文字間に有意差(5%)があることを示す
垂線は標準誤差 (n=6)

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2図)。また、5.0%P区は蒸留水区と比べても有意に短かった。

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(試験2)

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3図)。播種後7日目の出芽率は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から31mgとなり、対照区との間には有意差が認められなかった(第4図)。

3. リン酸肥料との接触が出芽に及ぼす影響(試験3)

播種後3日目の出芽は全区で認められなかった(第5図)。播種後7日目には出芽は認められたが、4.66g区の出芽率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。試験に供した土壌全量と肥料を混合した場合のEC値は、1.17g区では $0.06\text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ 、2.33g区では $0.12\text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ 、4.66g区では $0.26\text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ であった。

第3図 種子のリン酸溶液への浸漬が出芽に及ぼす影響
Tukey-Kramerの多重検定により異なる英文字間に有意差(5%)があることを示す
垂線は標準誤差 (n=3)

第4図 種子のリン酸溶液への浸漬が初期生育に及ぼす影響
垂線は標準誤差 (n=3)

第5図 リン酸施肥量が出芽に及ぼす影響
Tukey-Kramerの多重検定により異なる英文字間に有意差(5%)があることを示す
垂線は標準誤差 (n=3)

考 察

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。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、試験 1 および試験 2 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 $0.27 S \cdot m^{-1}$ 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 $2.79 S \cdot m^{-1}$ は、試験 1 や試験 2 における 1.0% 溶液の EC 値 $2.73 S \cdot m^{-1}$ に相当し、発芽障害が懸念される濃度であり、試験 1 において 1.0% 溶液へ浸漬した種子の発芽への影響が認められた (第 1 図)。発芽時のタマネギ種子は、重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。

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前報では、播種後 14 日目の出芽率には有意差は認められなかった (臼木ら, 2015)。一方、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した (Baweja・Bates, 1971)。タマネギを用いた試験 1 および試験 2 の結果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。試験 3 の土壌 EC 値は施肥量が最も多い 4.66 g 区でも $0.26 S \cdot m^{-1}$ であり、発芽障害の目安とされる $0.27 S \cdot m^{-1}$ をわずかであるが下回っているにもかかわらずに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、試験 1 に用いた 1.0% 溶液に相当すると思われる。そのため試験 3 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 5 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、シロイヌナズナの発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。植物種が異なるタマネギにおいても吸収したリン酸の代謝過程で生じるピロリン酸は、発芽に影響を及ぼしている可能性が考えられる。

以上より、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根の成長に及ぼす影響は、発芽直後に限られると考えられた。試験 3 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当たる。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。前報では、リン酸成分量 10 a 当たり 10 kg の過リン酸石灰を播種溝の下方 2 から 4 cm に局所施肥し、リン酸吸収を改善することで、生育が促進されることが明らかした (臼木ら, 2016)。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促進や球肥大向上にできる技術であると考えられた。

摘 要

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、リン酸成分量で 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。

引用文献

- 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.
- Ferjani, A., S. Segami, G. Horiguchi, Y. Muto, M. Maeshima and H. Tsukaya. 2011. Keep an eye on PPi: The vacuolar-

- type H⁺-pyrophosphatase regulates postgerminative development in *Arabidopsis*. *The Plant Cell*. 23: 2895–2908.
- 藤沼善亮・木下 彰・橋田茂和. 1970. 塩類濃度. p.45–50. 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.
- 北海道立総合研究機構. 2012. 土壌・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.
- 堀口 毅. 1984. IV. 代謝. p.72–107. 松田敬一郎編著. 作物栄養・肥科学. 文永堂出版. 東京.
- 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.
- 加藤秀正・本島俊明・岡 紀邦. 1985. 土壌溶液論的にみたリン酸の上限. *土肥誌*. 56: 285–291.
- Miller, M. H., T. E. Bates, D. Singh and A. S. Baweja. 1971. Response of corn to small amounts of fertilizer placed with the seed: I. Greenhouse studies. *Agron. J.* 63: 365–368.
- 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.
- 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.
- 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. 2000. The effect of starter fertilizers on the growth and nitrogen use efficiency of onion and lettuce. *Soil Use and Management* 16: 42–48.
- 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.
- 辻 博之・臼木一英・竹中 眞・室 崇人. 2013. 直播タマネギの収量に及ぼす局所施肥とリン酸肥沃度の影響. *根の研究会報*. 22: 84.
- 臼木一英・室 崇人・辻 博之・竹中 眞. 2015. 黒ボク土におけるリン酸の施肥位置と施肥量が直播タマネギ (*Allium cepa* L.) の生育に及ぼす影響. *園学研*. 14: 157–161.
- 臼木一英・室 崇人・辻 博之・竹中 眞. 2016. 黒ボク土圃場のタマネギ (*Allium cepa* 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. *園学研*. 15: 241–246.
- 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稻の初期生育促進. *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.
- 吉田 滯・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.