

# リン酸が欠如した黒ボク土における 石灰窒素のリン酸肥効率向上効果の可能性 ～生食用トウモロコシでの試験～

日本石灰窒素工業会 技術顧問 六本木和夫

石灰窒素と施肥リン酸の関係を明らかにしようとしたのは、和歌山県農業試験場での22年間、43作にわたる石灰窒素連用試験が動機である。この試験は、黄色土の野菜畑で行い、主な試験区は石灰窒素区（石灰窒素に牛ふんオガクズ堆肥を施用）、硫安区（硫安に牛ふんオガクズ堆肥を施用）である。この長期間の試験で注目できるのは、石灰窒素区が硫安区に比べ可給態のトルオーグリン酸が直線的に増加していることである。

石灰窒素は、世に出て110年が経過し、肥効調節型肥料および農薬として一定の評価を得ている。一方、リン酸肥効に関する報告はなく、関与しないものと考えられていた。上記の和歌山県の試験から学び、リン酸が欠如した黒ボク下層土でチンゲンサイを対象に過去7年間、石灰窒素とリン酸肥効の関係を検証し、令和4年5～7月には生食用トウモロコシで試験を行ったので報告する。

## 今までの試験経過

主な試験方法は、容器に黒ボク下層土の湿潤土を13kg充填し、窒素とカリを25mg/100g、リン酸を10mg/100g施用、石灰窒素区については窒素25mgのうち10mgを石灰窒素由来の窒素とした。黒ボク下層土の可給態リン酸は1mg/100g以下、リン酸吸収係数は2000以上で、リン酸が欠如した土壤である。複数回の試験の結果、石灰窒素区は、尿素などの窒素肥料を施用した対照区に比べ、平均すると10%ほどチンゲンサイの生育が優った（写真1）。次に、高度化成肥料と石灰窒素入り複合肥料を用いてリン酸10mg/100g施用、窒素とカリは単肥を加用して



写真1 石灰窒素区（左）と対照区（右）の生育（チンゲンサイ）



写真2 石灰窒素入り複合区（右）と対象区（左）の生育（チンゲンサイ）

合計25mg/100gとした石灰窒素入り複合区と対照区を比較すると、石灰窒素入り複合区の生育が優った（写真2）。上記については「日本土壤肥料学会・静岡大会」で口頭発表したが、石灰窒素の施用で、なぜ、このような結果が得られたのか不明であった。

石灰窒素の主成分シアナミドは、土壤中で加水分解して尿素を経てアンモニア態窒素から硝酸態窒素となる。その際にシアナミドの誘導体であるジシアンジアミド、グアニジン、グアニルウレアが生成され、ジシアンジアミド（以下、D d）の作用により硝酸化成が徐々に進むため、肥効調節型肥料として認定されている。D d 100ppm以上の濃度では、チンゲンサイに葉害が発生することから施用濃度を50ppmとし、同肥料、同施肥条件で比較すると、D d 50ppmで10%ほどチンゲンサイの生育が優る結果が得られた（写真3）。

今までの反省として、作物体および跡地土壤の分析が不十分であったため、この点を踏まえ令和4年5～7月に生食用トウモロコシを対象に次の試験を行った。



写真3 D d 添加区（右）と対照区（左）の生育（チンゲンサイ）

# 生食用トウモロコシでの3つの試験

## 試験方法

土壌は黒ボク下層土を用い、化学性はpH6.0、可給態リン酸0.3mg/100g、リン酸吸収係数2130、無機態窒素0.8mg/100g。上面35×45cm、下面31×41cm、高さ18cmの容器に湿潤土を13kg充填した。下面は網状で、容器の土の深さは12cm、透水性は良好である。

石灰窒素リン酸肥効試験（以下、リン酸肥効試験）、資材比較試験、D d添加試験の3つを行い、試験設計は表1のとおりである。

供試作物は生食用トウモロコシ(品種：あまいコーン)、水稻育苗箱にセットできる1個体47cm<sup>2</sup>のペーパーポット(日本甜菜製糖社製)で10日間育苗、1容器に3株移植し、2連制とした。

リン酸肥効試験、資材比較試験は6月5日に移植、7月11日に調査、D d添加試験は5月27日に移植、6月27日に調査した。本試験は埼玉県北本市で行った。作物体は窒素とリン酸を調べ、跡地土壌は無機態窒素と可給態リン酸を測定した。試験の終了時期は雄穂の確認時とした。

## 試験結果

### 生体重 (表2)

リン酸肥効試験では、リン酸5mg施用(石灰窒素1区)、10mg施用(石灰窒素2区)ともに石灰窒素区>対照区と

表1 リン酸肥効試験、資材比較試験、D d添加試験の試験設計

●リン酸肥効試験(mg/100g)			
試験区	窒素	リン酸	カリ
対照1区	25	5	25
対照2区	25	10	25
石灰窒素1区	25	5	25
石灰窒素2区	25	10	25

窒素は対照区が尿素で10mg、硝酸カルシウムで15mg、石灰窒素区は石灰窒素(デンカ社製)で10mg、硝酸カルシウムで15mg施用、リン酸は過リン酸石灰、カリは硫酸カリを施用。消石灰を1容器に対照区は25g、石灰窒素区は18.5g施用。

●資材比較試験(mg/100g)			
試験区	窒素	リン酸	カリ
対照区	25	10	25
リン酸2倍区	25	20	25
石灰窒素入り複合区	25	10	25

リン酸は対照区が国産高度化成(14-14-14)で10mg、リン酸2倍区は国産高度化成および過リン酸石灰で各10mg、石灰窒素入り複合区は日の本化成(8-7-6、片倉コープアグリ社製)で10mg施用。不足分の窒素とカリは硝酸カルシウム、硫酸カリで25mgに達する量を施用、各区に苦土石灰を1容器に25g施用。

●D d添加試験(mg/100g)			
試験区	窒素	リン酸	カリ
対照1区	25	5	25
対照2区	25	10	25
D d 1区	25	5	25
D d 2区	25	10	25

窒素は硝酸カルシウム、リン酸は過リン酸石灰、カリは硫酸カリを使用、D d(関東化学社製)区は湿潤土13kg当たりD d 0.65g施用、50ppmとした。各区に苦土石灰を1容器に25g施用。

表2 生食用トウモロコシの生体重、作物体窒素・リン酸含量

### ●リン酸肥効試験

試験区	平均重量(g/個体)	重量比	作物体窒素		作物体リン酸	
			含量(%)	全吸収量(mg/3個体)	含量(%)	全吸収量(mg/3個体)
対照1区	15.5	100	2.46	159	0.21	13.7
石灰窒素1区	56.4	364	2.79	605	0.21	45.2
対照2区	38.3	100	2.27	336	0.22	31.9
石灰窒素2区	68.9	180	3.04	786	0.24	61.1

### ●資材比較試験

試験区	平均重量(g/個体)	重量比	作物体窒素		作物体リン酸	
			含量(%)	全吸収量(mg/3個体)	含量(%)	全吸収量(mg/3個体)
対照区	38.3	100	2.20	354	0.23	37.7
リン酸2倍区	78.8	206	2.39	744	0.28	88.6
石灰窒素入り複合区	51.3	134	2.07	438	0.24	50.7

### ●D d添加試験

試験区	平均重量(g/個体)	重量比	作物体窒素		作物体リン酸	
			含量(%)	全吸収量(mg/3個体)	含量(%)	全吸収量(mg/3個体)
対照1区	33.7	100	2.27	298	0.28	36.8
D d 1区	53.9	160	2.50	545	0.31	67.3
対照2区	64.3	100	2.71	679	0.39	98.0
D d 2区	87.9	137	2.89	964	0.44	146.1



写真4 リン酸5mgにおける石灰窒素区(右)と対照区(左)の生育(トウモロコシ)



写真7 リン酸5mgにおけるD d添加区(左)と対照区(右)の生育(トウモロコシ)



写真5 リン酸10mgにおける石灰窒素区(右)と対照区(左)の生育(トウモロコシ)



写真8 リン酸10mgにおけるD d添加区(左)と対照区(右)の生育(トウモロコシ)



写真6 石灰窒素入り複合区(左)と対照区(右)の生育(トウモロコシ)

なり、特にリン酸5mg施用の石灰窒素1区と対照区の差は顕著であった(写真4、5)。

資材比較試験では、リン酸2倍区>石灰窒素入り複合区>対照区となり、石灰窒素入り複合区は対照区に比べ約34%の増加となった(写真6)。

D d添加試験では、リン酸5mg施用(D d 1区)、10mg施用(D d 2区)ともにD d区>対照区となり、リン酸肥効試験と同様にリン酸5mg施用で生体重の差が大きかった(写真7、8)。

#### 作物体養分および養分吸収量(表2)

リン酸肥効試験では、窒素含量は2.5~3.0%となり、石灰窒素区はリン酸5mg施用、10mg施用ともに対照区に比べ高くなった。リン酸含量は0.21~0.24%となり、リン酸10mg施用の石灰窒素2区で高くなった。3株合計の吸収量は、生体重の差を反映しており、窒素、リン酸の吸収量ともにリン酸5mg施用の石灰窒素1区が対照1区に比べ3.5倍前後、リン酸10mg施用の石灰窒素2区が対照

2区に比べ2.0倍前後多くなった。

資材比較試験では、窒素含量2.1~2.4%、リン酸含量0.24~0.28%で、リン酸20mg施用のリン酸2倍区が対照区、石灰窒素入り複合区に比べ窒素、リン酸ともに高くなった。3株合計の吸収量をみると、リン酸2倍区は対照区に比べ窒素2.1倍、リン酸2.4倍、石灰窒素入り複合区は対照区に比べ窒素1.24倍、リン酸1.34倍となった。

D d添加試験では、窒素含量2.3~2.9%、リン酸含量0.28~0.44%で、リン酸10mg施用の対照2区、D d 2区で高くなった。3株合計の窒素、リン酸の吸収量は、生体重の差を反映しており、リン酸5mg施用、10mg施用ともにD d区で多く、D d 1区は対照1区の1.8倍、D d 2区は対照2区の1.5倍となった。

6月27日調査のD d添加試験、7月11日調査のリン酸肥効試験および資材比較試験を比べると、D d添加試験で生体重、作物体の窒素、リン酸含量ともに優っている。この原因は明らかでないが、リン酸肥効試験、資材比較試験では、生育期の6月下旬~7月上旬の10日間、熊谷地方気象台の平均最高気温は37.5℃で、この間、十分なかん水を行ったが高温や乾燥害の影響が避けられなかったと推察している。

#### 試験終了時の無機態窒素含量と可給態リン酸含量(表3)

リン酸肥効試験では、無機態窒素が12~20mg/100g、可給態リン酸が0.2~0.3mg/100gで、リン酸5mg施用の対照1区、石灰窒素1区で無機態窒素含量が高くなった。

表3 跡地土壌の無機態窒素含量と可給態リン酸含量

●リン酸肥効試験

試験区	無機態窒素 (mg/100g 乾土)	可給態リン酸 (mg/100g 乾土)
対照1区	20.4	0.3
石灰窒素1区	17.6	0.2
対照2区	11.7	0.3
石灰窒素2区	12.8	0.3

●資材比較試験

試験区	無機態窒素 (mg/100g 乾土)	可給態リン酸 (mg/100g 乾土)
対照区	15.5	0.3
リン酸2倍区	8.5	0.7
石灰窒素入り複合区	5.0	0.2

●D d 添加試験

試験区	無機態窒素 (mg/100g 乾土)	可給態リン酸 (mg/100g 乾土)
対照1区	7.6	0.7
D d 1区	8.6	0.6
対照2区	7.2	0.8
D d 2区	10.9	1.0

資材比較試験では、無機態窒素が5～16mg/100g、可給態リン酸が0.2～0.7mgとなり、リン酸2倍区の可給態リン酸が0.7mg/100gと多かったが、リン酸増肥による顕著な増加量はみられなかった。

D d 添加試験では、無機態窒素が7～11mg/100g、可給態リン酸が0.6～1.0mg/100gとなり、D d 2区で無機態窒素含量、可給態リン酸含量がやや多くなった。

### 石灰窒素のリン酸肥効促進効果

リン酸肥効試験では、石灰窒素1区、2区ともに対照区に比べ生育量が優った。石灰窒素由来の窒素は、肥効が持続するため生育量の差は窒素と考えがちだが、跡地土壌の無機態窒素をみると、各区ともに12mg/100g以上で、必要な窒素は十分にある。また、カリも同量施用しているためカリの影響ではない。

跡地土壌の可給態リン酸は、各区ともに0.2～0.3mgで、リン酸が制限因子となり生育に影響したものと判断できる。供試した黒ボク下層土のリン酸吸収係数は2000以上で、リン酸を5mg/100g、10mg/100g施用してもリン酸の欠如を改善できなかったと考える。ただし、一定量の石灰窒素があると生育量が増加しており、可給態リン酸含量の増加に結びつかなくても、石灰窒素はリン酸肥効を促進する効果はあるものと推察する。

資材比較試験に用いた石灰窒素入り複合肥料（8-7-6）の窒素含量は8%で、石灰窒素由来の窒素は1%である。本試験では、リン酸を10mg/100gとするため、1容器当たり石灰窒素入り複合区を18.6g施用しており、

この中に含まれる石灰窒素量は0.93gである。

リン酸肥効試験では、石灰窒素6.5gを施用しており、石灰窒素入り複合区の石灰窒素量は石灰窒素区の14%である。使用した肥料が異なるため単純に比較できないが、石灰窒素入り複合区の生育量は石灰窒素2区の75%である。石灰窒素入り複合肥料は、石灰窒素とリン酸が接触した状態であり、個別に石灰窒素とリン酸を施肥しないため、少ない石灰窒素量で一定したリン酸肥効の可能性があったと考える。リン酸2倍区は、作物体窒素、跡地土壌の可給態リン酸含量が高く、リン酸を2倍量施用したためリン酸肥効が高まり、生育量の増加になった。

石灰窒素の主成分シアナミドの一部は、D dのほかグアニジン、グアニルウレアに変換するが、本試験ではD dに絞って検証し、D d 0.65g添加の50ppmで一定の効果がみられる。D d 0.65gに相当する窒素量は3.5mg/100gで、対照区よりも多く窒素を加えたことになる。跡地土壌の無機態窒素含量をみると、D d区9～11mg/100g、対照区7～8mg/100gとD d区で含量が高くなっているが、対照区の水準でも窒素不足に陥る含量ではないと考える。ただし、この点については、無機態窒素を3.5mg/100g減肥した試験区を設定して検証する必要がある。

牛ふんオガクズ堆肥と石灰窒素を組み合わせた和歌山県の試験は、22年間にわたる長大なもので、石灰窒素施用により土壌pHが上昇し、牛ふんオガクズ堆肥由来のリン酸と石灰窒素由来のカルシウムが結びつき、可給態リン酸が増加したと考察している。当初、黒ボク下層土を用いて石灰窒素とリン酸を組み合わせる施用すれば、単年度でも可給態リン酸が増加すると考えたが、否定的な結果であった。ただし、リン酸を同量施用しても石灰窒素、石灰窒素入り複合肥料でチンゲンサイの生育量が優り、さらに石灰窒素の主成分シアナミドの誘導体であるD dでも一定の生育量の増加がみられる。チンゲンサイと生食用トウモロコシの試験区を比較すると、トウモロコシで明らかな差がみられ、トウモロコシはリン酸不足に対する耐性が低いと推察する。

本試験は、リン酸が欠如した黒ボク下層土という特殊な土壌、土量13kgの容器内で行っており、これが農耕地土壌にすぐに当てはまることは想定していない。リン酸は貴重な資源であり、本試験が施肥リン酸の利用率向上に結びつく端緒になればと思っている。

引用文献

橋本真穂・林恭宏・久田紀夫・森下年起：細粒黄色土普通畑における土壌改良資材の長期連用効果，和歌山農林水産機関研報，2，15～28（2014）