

トウモロコシ中の 硝酸態窒素の現地簡易検定法

農林水産省 草地試験場

杉原 進

1 はじめに

我が国の飼料用トウモロコシの作付面積の推移をみると、昭和59年から昭和63年の5年間に北海道では減少したが、東北以南では増大し、特に関東以南では牧草の栽培面積の減少を尻目に作付面積は増大している。昭和59年の作付面積を100とすると、昭和63年には、関東東山、九州ではそれぞれ119、118となり、これらの地域ではトウモロコシが飼料用作物の生産量（生体収量）に占める割合はそれぞれ38%、21%で、全国の15%と比べると明らかに高く、トウモロコシが重要な飼料作物の一つになっている。トウモロコシの作付面積の増加の理由として、①転換畑へのトウモロコシの導入、②牧草と比べてトウモロコシは乾物収量、TDNなどの栄養収量の高いこと、③関東以南ではイタリアンライグラスなどと組み合わせることにより、耕地の高度利用並びに自給飼料の生産増強が図られること、④トウモロコシの吸肥力の強さが家畜ふん尿の耕地還元を前提とした飼料作物の集約栽培に適していること、⑤機械化作業システムが確立していることなどが挙げられる。このような背景のもとで、トウモロコシの生産は今後とも増大することが見込まれている。しかし、最近ではトウモロコシが家畜ふん尿など、窒素成分の多量施用下で栽培され、収穫物中の硝酸態窒素（以下NO₃-Nと記述）の高い例が散見されるようになった。NO₃-N濃度が0.2%（乾物当たり）を超える飼料を継続的に給与すると牛は急性の硝酸塩中毒、いわゆる『ボックリ病』に罹る恐れが大きいといわれており、また、これより低い濃度であってもNO₃-N濃度の比較的高い飼料を長期間与えると乳量や増体量の低下、早・流産などを

含む繁殖障害、関節炎など、慢性の硝酸塩中毒に罹病する可能性が心配されている。このような急性・慢性の『硝酸塩障害』から牛の健康を守るためには、収穫時期の近付いたトウモロコシ体中のNO₃-N濃度を把握し、その結果をもとに収穫時期や収穫法に工夫を加え、NO₃-N濃度の低いトウモロコシを収穫することが大切である。

ここでは、筆者らが開発したトウモロコシ体中のNO₃-Nを現地で簡易に検定する方法並びに検定結果の評価法を紹介する。

2 NO₃-Nの簡易検定法

(1) 簡易検定法の概要と長所

作物体中のNO₃-Nを比較的簡易に検出あるいは測定する方法には硝酸電極法¹⁾、Brayのスポットテスト¹⁾、メルコクェント試験紙法等²⁾がある。しかしながら、農家が上述の方法を用いてトウモロコシなど飼料作物中のNO₃-Nをチェックしているという話はあまり聞いたことがない。その理由の一つには、トウモロコシでは硬い稈から測定に供試する汁液を採取するのに困難さや煩雑さがあるためではないかと考えられる。そこで本検定法では、汁液を採取する方式をやめ、立毛中のトウモロコシの稈を縦割りし、その断面にNO₃-N発色試薬を直接噴霧してNO₃-Nを赤い色の発色で検出することにした。この方法の良い点は、①現場で簡便・迅速に行えること、②稈の断面のNO₃-Nの存在部位が肉眼で分かること、③各節での発色の具合によって収穫法に対する工夫ができることである。

(2) NO₃-Nの検出方法と発色試薬

① 検定対象部位

収穫期に近付いたトウモロコシ各部位のNO₃-N

は表1に示すように、そのほとんどが稗中に存在するため、検定対象部位を稗に絞った。また、(1)で述べたように、NO₃-N 検定用試料の調製の手間を省くため、搾汁などの操作を行わず立毛中のトウモロコシの稗の縦断面に存在するNO₃-Nを直接検定することとした。

② NO₃-Nの検出法

NO₃-Nの検出は硝酸イオン(NO₃⁻)を亜鉛で還元し、生成した亜硝酸イオン(NO₂⁻)とスルファニルアミドをクエン酸酸性下で反応させてジアゾ化合物を作り、これとN-(1-ナフチル)-エチレンジアミンとのカップリング反応で生じる赤色の発色を用いた。

③ 発色試薬の調製と保存

発色試薬の処方表を表2に示した。試薬は発色主剤と還元剤の2種類である。発色主剤はBrayのスポットテスト法の検定試薬に準じたものであるが、一部試薬の安全性を考慮し、別の試薬と取替えて調製した。還元剤は200メッシュ以下の微細な亜

表1 トウモロコシ各部位の生体液中のNO₃-N濃度^{a)}

部位/月日	8/21	9/1	9/12
葉身	0	0	0 ppm
中肋	88	5	0
葉鞘	39	0	2
雌穂	25	6	13
着雌穂節 ^{b)}	118	40	0 ppm
節位6 ^{c)}	446	346	159
5	683	681	360
4	904	692	685
3	1,087	572	1,106
2	1,097	1,098	1,060

播種：1989年4月26日。

a) 生体液を浸出して分析。 b) 第8～9節位に相当。

c) 地際から節位。第1節位は切断のため測定の対象外。

表2 NO₃-N発色試薬の処方^{a)}

発色主剤(試薬A) ^{b)}	クエン酸	40 g
右の4種類の試薬を 100mlの純水に溶解 する	硫酸マンガン	12 g
	スルファニルアミド	0.5 g
	N-(1-ナフチル) エチレンジアミン	0.3 g
	還元剤(試薬B) ^{c)}	亜鉛粉末(200メッシュ以下)1g に純水を30mlの割合で加えて懸濁させる

a) 特級試薬を使用することが望ましい。

b) 冷蔵庫に保存のこと。

c) 使用直前に調製すること。

鉛粉末を水に懸濁させたものであり、使用直前に調製する。表中の処方に従って調製した発色主剤は硫酸マンガンのため極めて薄いピンクに着色しているが、室温に放置すると日がつたにつれて次第に黒ずんで劣化してくる。しかし、冷蔵庫(5～7℃)に保存すると1か月を経過しても吸収スペクトルにはほとんど変化は見られず、3か月経過後、吸収スペクトルに極めてわずかな変化が見られたに過ぎない。したがって、発色主剤は冷蔵庫に保存すれば1～2か月は使用できる。

(3) 簡易検定法の実施と濃度の測定

① トウモロコシ体中のNO₃-Nの発色

調査しようとする圃場から、平均的な生育をしているトウモロコシを選び出し、雌穂を取除いた後ナイフで縦割りする(写真1, 2)。この断面に発色主剤を約10～20 cmの距離から噴霧する。続いて水に懸濁させた還元剤を同様に噴霧する(写真3)。発色試薬の噴霧量は必要最小限度とする。NO₃-Nがあれば赤色に発色する(写真4)。

これらの操作には発色試薬を微粒子として吹きつけることのできるスプレーを用いる。化粧品用の小型スプレーを使用するとよい。

② 濃度の決定

赤色の発色を③で述べる方法で作成した濃度標準と比較対照して決定する。ここで得られた濃度は発色部位のトウモロコシ汁液の濃度であり、発色部位の[水分%/乾物%]比の値を乗じると乾物当たりの濃度に換算できる。

③ 濃度標準の作成の一例

ソルガム(P931)の稗を縦割りした後、純水に浸漬し、硝酸イオンなどの可溶成分を十分に除去して凍結乾燥した。これを15 mmの長さに切断し、0～1,500 ppmのNO₃-Nを含んだ水溶液に浸漬し、数時間5～7℃の冷蔵庫に放置した。これを取り出し、表面の余分な水溶液を除き①に従って発色し、濃度標準とした。この発色では700 ppmを超えると色差計で見る限り明度に大差が見られなくなるが、1,000 ppmを超えると発色が黒ずんでくるので、肉眼による濃度差は識別できる。

なお、上記発色試薬(スプレー付き)並びに濃度標準(0, 20, 500, 1,200 ppm)は近いうちに市販される予定と聞いている。



写真1

写真2

写真3

写真4

写真1~4: トウモロコシ体中のNO₃-Nの現地における検定

④ NO₃-N 濃度の測定例

表3にはトウモロコシの発色を行い、濃度標準を参照して読み取ったNO₃-N濃度と発色部位の汁液のイオンクロマトグラフィーによる精密分析の結果を示した。精密分析の結果と比較的よく一致していることが分かる。ただし、後述するように、本検定法では断面のNO₃-Nを精密に測定できることは必ずしも重要ではなく、500 ppmと1,200 ppmの違いが現場で分かればよい。

3 検定結果の収穫法への適用

(1) 検定結果の評価の考え方

表3の結果は発色部位における汁液中のNO₃-N濃度を示している。しかし、この数値のみから収穫時期、収穫法を明らかにすることはできない。そこで、検定結果を評価するための基準を次のよ

表3 トウモロコシ稈中のNO₃-N濃度の
現地測定値と精密分析値の例 (1990)

節位 ^{a)}	G4589		XL67	
	現地測定値	精密分析値	現地測定値	精密分析値
9	20 ^{b)}	17 ^{c)}	0 ^{b)}	6 ppm
8	50	88	20	16
7	200	124	50	23
6	500	388	100	119
5	700	823	200	162
4	1,000	1,060	300	400
3	1,200	1,175	500	338
2	1,200	1,235	1,000	888
1	1,200	1,245	1,100	1,111

a) 地際からの節位。 b) 現地測定値。 c) 精密分析値。
(窒素を成分で30kg・10a施用(緩効性窒素を使用))。

うに検討した。ふん尿を多量施用した圃場ではトウモロコシとイネ科牧草をほぼ同一条件で栽培するとトウモロコシは牧草に比べ、収穫物のNO₃-N濃度は低いのが普通である。最近では家畜ふん尿などの多用によって、イネ科牧草中のNO₃-N濃度が高まる傾向にあるので、NO₃-N濃度の低いトウモロコシを収穫し、家畜に給与する自給飼料中のNO₃-Nをトータルとして低減させることが重要である。そこで、トウモロコシ体中のNO₃-N濃度を牛の硝酸塩中毒が心配される0.2%(乾物当たり)の半分の0.1%に抑えることを目標にし、検定結果の評価を行うこととした。

(2) モデル値を用いた検定結果の評価

検定結果の評価を行うためには、濃度のほかにトウモロコシの個体重、節位別稈重、水分などの数値あるいは試算のための前提が必要である。そこで、NO₃-N濃度の定量が行われる可能性の強い乳熟後期並びに黄熟期のトウモロコシの部位別モデル値を、少々乱暴であるが、中生種に属する3品種のトウモロコシの生育調査結果から求め、表4に示した。表中の節の数は2から始まっているが、これは地上部から約7cmの高さにある第1節は圃場に刈り残すことを前提としたためである。このようなモデル値は本検定法を実施する地域でそれぞれに合ったものを用意するのがよい。

(3) NO₃-N濃度0.1%のトウモロコシ

窒素の多施用によって、乳熟期から黄熟期に稈の上位節までNO₃-Nの存在による赤色の発色が見

表4 体中のNO₃-N濃度が0.1%のトウモロコシを収穫するための試算

稈の節位	乳熟後期					黄熟期				
	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
生体重 g	70	70	65	55	45	85	75	75	70	60
乾物重 g	8	9	9	9	8	12	10	11	10	10
水分 g	62	61	56	46	37	73	65	64	60	50
程中のNO ₃ -N ppm	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
程中のNO ₃ -N mg	74	73	67	55	44	88	78	77	72	60
程中のNO ₃ -Nの累計 mg	74	147	214	269	-	88	166	243	315	375

試算の主な前提：生体重、水分等の数値は乳熟後期、黄熟期のトウモロコシの調査結果をもとにして得たモデル値である。1個体の乾物重はそれぞれ240g、320gと仮定した。乾物の0.1%に相当するNO₃-Nはそれぞれ240mg、320mgであり、乳熟後期以降はこれらのすべてが程中に存在するものとする。

られる場合には、稈下部の強い発色の見られる部位の濃度は1,200 ppm 前後(乾物当たり約10,000 ppm)で、この値を大きく上回る例はほとんどないことが表1, 3から分かる。このことから、この時期の程中のNO₃-Nの最も高い濃度は1,200 ppm程度と推定できる。

そこで、体中のNO₃-Nが0.1%程度に落ち着くためには1,200 ppmの濃度を持つ強い赤色の発色が何節まであってよいかをモデル値をもとに試算し、表4に示した。これによれば、乳熟後期では4.5節、黄熟期で5節がそれに当たる。しかし、程中のNO₃-Nは当該節の上位節から全くなくなるわけではないので、それより下位節で見積もる必要がある。程中のNO₃-N濃度は表1に示されるように、上位節に向かって一旦低下すると急激に減少するので、それらの分は1,200 ppmの濃度を持った一節分に相当すると仮定した。すると、1,200 ppm程度の発色が乳熟後期で3.5節、黄熟期では4節までであれば体中のNO₃-Nが0.1%のトウモロコ

シを収穫することができると試算された。したがって、1,200 ppmに相当する発色がそれより上位節に及ぶ場合は体中のNO₃-Nが0.1%を超える恐れが大きいと予測される。2の(3)の④で本検定法では厳密な濃度が分からなくても、500 ppmと1,200

ppmの違いが分かればよいといったのは以上の理由による。

(4) NO₃-Nの少ないトウモロコシの収穫

上の(3)では稈下部の汁液中に1,200 ppm程度のNO₃-Nが存在していても、黄熟期ならそれが4節以内(第1節は刈り残すことを前提としている)であれば、NO₃-N濃度が0.1%以下のトウモロコシを収穫できることを試算した。このことは、稈下部のNO₃-Nが1,200 ppmと高くても、その存在する範囲を狭めればNO₃-N濃度の低いトウモロコシを収穫できることを示している。すなわち、表4の黄熟期の場合でみると、NO₃-N濃度の高い第2節目を圃場に刈り残し、一節分高刈りすると乾物重は3.8%の減収となるが、NO₃-Nは25%減らすことができる。同様に第3節まで刈り残すと乾物重は6.9%の減収となるが、NO₃-Nは56%減らすことができる。なお、第4節以上に1,200 ppm程度のNO₃-Nを含む汁液を持つ場合であっても収穫時期を延期することにより、NO₃-Nの低いトウ



写真5 乳熟後期

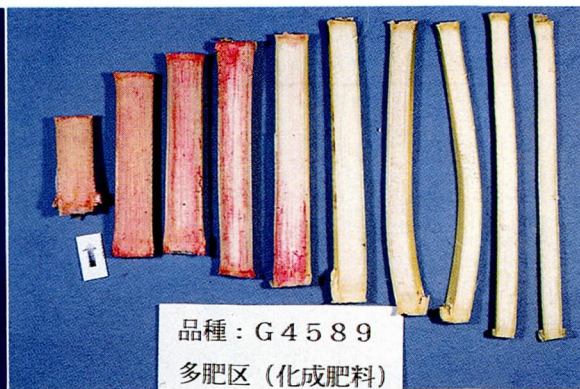


写真6 黄熟期

写真5~6：乳熟後期から黄熟期におけるNO₃-Nの減少