

## 砂耕培養液中の窒素源の形態がエリアンサス (*Erianthus arundinaceus*) の生育に及ぼす影響

高溝正・安藤象太郎<sup>1</sup>・小林真

農研機構畜産研究部門 飼料作物研究領域, 那須塩原市, 329-2793

<sup>1</sup>国際農林水産業研究センター熱帯島嶼研究拠点, 石垣市, 907-0002

### 要 約

培養液中の窒素源の形態 ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NH}_4+\text{NO}_3$ , および  $\text{NO}_3$ ) がエリアンサス (*Erianthus arundinaceus*) の生育に及ぼす影響を調べるため, JW4 および JW630 を用いて培養液中の窒素濃度を 140ppm, pH を 5.5 とした砂耕実験を行った。両系統とも, 地上部と根の乾物重が最大になったのは窒素源として  $\text{NH}_4+\text{NO}_3$  を与えた場合であったが,  $\text{NH}_4+\text{NO}_3$  区における生育促進の程度は JW630 の方が JW4 よりも顕著であった。両系統とも,  $\text{NH}_4$  区では葉焼けが発生し, 一方  $\text{NO}_3$  区では葉色が薄くなったが, 葉および根の全窒素濃度に及ぼす窒素源の影響はみられなかった。地上部, 根ともにいずれの系統でも  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度は  $\text{NO}_3$  区,  $\text{NH}_4+\text{NO}_3$  区,  $\text{NH}_4$  区の順に高く, また JW4 の方が JW630 よりも高かった。JW4 の  $\text{NO}_3$  区の地上部  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度が最も高く 0.25% にまで達したが,  $\text{NH}_4$  区では系統や部位に係らず殆ど蓄積がみられなかった。  $\text{NH}_4+\text{NO}_3$  区の地上部の  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度は, JW4 では  $\text{NO}_3$  区の約 1/4 に, JW630 では約 1/10 に低下したが, 根ではそれぞれ約半分, 約 1/10 に減少した。以上のことから, エリアンサスの生育初期 4 か月間に最も適した窒素源は  $\text{NH}_4+\text{NO}_3$  であり,  $\text{NO}_3$  のみを与えると体内に  $\text{NO}_3\text{-N}$  を高濃度に蓄積することが明らかとなった。

キーワード: エリアンサス, *Erianthus arundinaceus*, 窒素源, 砂耕, 硝酸態窒素

### 緒 言

エリアンサス (*Erianthus arundinaceus*) はサトウキビの近縁植物で, サトウキビに深根性や耐干性等のストレス耐性に関する形質を導入するための遺伝資源として, 我が国や東南アジアにおいて調査・収集がなされている<sup>6,11,14,19</sup>。さらに, イネ科  $\text{C}_4$  植物で生産力が高いことから近年はバイオマス資源作物としても注目されており, 品種として「JES1」が最近育成された<sup>12</sup>。

バイオマス資源作物に限らず, 作物の収量を最大化するには施用する窒素源の選択が重要である。畑地に施用されたアンモニア態窒素 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) は硝酸化成菌により硝酸態窒素 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) に変換されるので, 一般に畑作物

の多くは  $\text{NO}_3\text{-N}$  を主たる窒素栄養として土壤から吸収・同化する。しかしながら, 低温時や土壤深く施肥された  $\text{NH}_4\text{-N}$  は硝酸化成の影響を受けにくいことや, 硝酸化成を抑制する成分が含まれた肥料も利用される場合があることから, 土壤中で両者が混在した状態にあることも考えられる。また, 最近の研究でエリアンサスの根の皮層には一般の畑作物ではみられない通気組織とみられる空隙が形成されているなど, ユニークな根の特性を持つことが知られている<sup>15</sup>。通気組織は一般に湛水条件や低酸素条件で形成されることが知られているが, 窒素欠乏によっても誘導される。このような観点から, 栽培化の浅いエリアンサスが如何なる窒素源を与えた場合に最も生育が良いか検討するのは意義深いことと考えられ

る。そこで本研究では、砂耕栽培により培養液中の窒素源がエリアンサスの生育および植物体の窒素成分に及ぼす影響を調べた。

### 材料および方法

実験には2つのエリアンサス栄養繁殖系統、JW4 (JP168053) および JW630 (JP173957) を供試した。JW4<sup>6)</sup> は沖縄県、JW630<sup>14)</sup> は静岡県で収集された我が国自生のエリアンサス系統であり、前者は *Ripidium kanashiroi*、後者は *Cortaderia argentia* (パンパスグラスの類) として当該文献に記録され、前者は *Erianthus* 属 (種は未同定)、後者は *Saccharum spontaneum* として農業生物資源ジーンバンクに登録されている。収集当時はエリアンサス属に関する知見が少なく、DNA解析による分類手法もなかったが、その後の Tsuruta らによる *Saccharum* 属と *Erianthus arundinaceus* の AFLP 解析の結果<sup>23)</sup> と、Amalraj らによる形態特性の比較の結果<sup>1)</sup> から、両者ともに *Erianthus arundinaceus* だと考えられる。

実験は自然光のガラス室内で行い、温度条件は外気追従としたが、夏季には日中の温度が40℃近くまで達した。培養液中の窒素源は  $\text{NH}_4$ 、 $\text{NH}_4+\text{NO}_3$ 、および  $\text{NO}_3$  の3種類とし、 $\text{NH}_4$  源として硫酸アンモニウム、 $\text{NO}_3$  源として硝酸ナトリウムを用いた<sup>22)</sup>。施用濃度は窒素として140ppm ( $\text{NH}_4+\text{NO}_3$  区では  $\text{NH}_4$  と  $\text{NO}_3$  をそれぞれ70ppm ずつ)、pHは5.5とした。2011年5月13日に石英砂を詰めた1/5000a ワグナーポットに1ポット当たり1個体の株分け苗 (草丈約10~15cm) を10cmの高さで葉を切りそろえて移植した。なお分けつ数は1~2本であった。反復数は3として5月20日まで水道水をかけ流しで与えた。

5月20日より10Lの培養液が入った1/2000a ワグナーポットから1日2回、人力による下底灌漑<sup>20)</sup> を行った。培養液は窒素の他に水1L当たり P:31, K:78, Ca:80, Mg:24, Fe:3, B:0.5, Mn:0.5, Cu:0.02, Zn:0.05, Mo:0.01mg を加えて調製した。培養液の減少した水分は10Lになるように適宜補給、pHは毎日調節し、7日ごとに培養液を更新した。8月9日に培養液を交換した後、3日後と6日後に  $\text{NH}_4+\text{NO}_3$  区の培養液中の  $\text{NO}_3$ -N 濃度と  $\text{NH}_4$ -N 濃度をそれぞれ、簡易型イオンメータとネスラー法により測定した。

7月29日に草丈を測定後、地上部 (新植地上部) を地際から3cmのところで刈り取り収穫した。8月11日には再生してきた地上部 (再生地上部) 葉身の中央部分

の SPAD (葉緑素含量の指標値) を測定し、9月3日に再生地上部と根を収穫した。7月29日に収穫した植物体と、9月3日に収穫した地上部と根を70℃で通風乾燥した。乾燥した植物体は乾物重を測定後、粉碎して分析に用いた。7月29日に収穫した植物体は植物体の全窒素含量をケルダール法によって測定し、さらに乾燥試料40mgを40mLの純水で20分間振とうした抽出液の  $\text{NO}_3$ -N をイオンクロマトグラフによって測定した。9月3日に収穫した植物体は、根のみ全窒素含量と  $\text{NO}_3$ -N を同様に測定した。

供試した株分け苗の大きさにより3ブロックを設定し、系統と窒素源の2因子の乱塊法によりデータを解析した。系統間、処理区の平均値の比較は Tukey 法 (5%, 1% レベル) で行った。

### 結 果

砂耕培養液の pH は、生育初期にはいずれの窒素源区でも作成直後の5.5から6.0近くまで上昇したが、生育が進むにつれ、 $\text{NH}_4$  区と  $\text{NH}_4+\text{NO}_3$  区では1日で4.0付近まで低下、 $\text{NO}_3$  区では6.5付近まで上昇した。

表1に、分散分析の結果を示す。草丈を除く乾物重等の形質に窒素源の処理効果が1%レベルで有意であった。また、再生地上部乾物重と SPAD では窒素源と系統間の交互作用が5%レベルでみられた。一方、体内の窒素成分については、 $\text{NO}_3$ -N 濃度について窒素源の影響が1%レベルで、また地上部の  $\text{NO}_3$ -N 濃度については系統間差も5%レベルで有意にみられたが、いずれも交互作用はみられなかった。体内の全窒素濃度については窒素源、系統ともに影響がみられなかった。

地上部の草丈は、JW4の方がJW630よりも大きかったが (表2)、乾物重については新植、再生地上部乾物重のいずれも JW630の方がJW4よりも大きかった (表3, 4)。両系統とも新植、再生地上部乾物重のいずれも  $\text{NH}_4+\text{NO}_3$  区が有意に最大となったが、 $\text{NH}_4$  区と  $\text{NO}_3$  区の間には差はみられなかった。一方、根の乾物重は、両系統とも地上部乾物重同様に  $\text{NH}_4+\text{NO}_3$  区で最も高かったが、 $\text{NH}_4$  区は  $\text{NO}_3$  区に比べて有意に低かった (表5)。 $\text{NH}_4+\text{NO}_3$  区における生育促進の程度は JW630の方が JW4 よりも大きい傾向があった。

両系統とも、 $\text{NH}_4$  区では葉焼けを生じた個体が発生したため SPAD 測定の際にはそれらを除外した。2系統のいずれにおいても  $\text{NO}_3$  区における SPAD 値は他の処理区よりも有意に低く、葉の退色がみられた (表6)。地上部と根の全窒素濃度は両系統とも、すべての区間

Table 1. Results of analysis of variance for measures of growth and N content in tissue of two *Eriarthus arundinaceus* genotypes (JW4, JW630) supplied with nitrogen in three forms (NH<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>+NO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>).

Form of variation	df	Shoot length	Shoot dry weight of first growth	Shoot dry weight of regrowth after first harvest	Root dry weight	SPAD	Total N % in shoot	Total N % in root	Total NO <sub>3</sub> -N % in shoot	Total NO <sub>3</sub> -N % in root
Genotypes	1	*	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.
N forms	2	n.s.	**	**	**	**	n.s.	n.s.	**	**
block	2	n.s.	**	n.s.	**	**	n.s.	**	n.s.	n.s.
G × N	2	n.s.	n.s.	*	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

\*  $P \leq 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ , n.s.  $P > 0.05$ 

SPAD: Soil-Plant Analyses Development (chlorophyll content of leaves)

Table 2. Effect of N form on shoot length (cm) of the first harvest of two genotypes (JW4, JW630) of *Eriarthus arundinaceus* grown in sand culture.

Genotype	Nitrogen form			Average
	NH <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	
JW4	91.3	94.0	88.7	91.3 w
JW630	88.7	81.7	80.7	83.7 x
Average	90.0	87.5	84.7	

Values followed by different letters within a column or row differ significantly ( $P \leq 0.05$ ) by Tukey's multiple comparison test.Table 3. Effect of N form on shoot dry weight (g) of the first harvest of two genotypes (JW4, JW630) of *Eriarthus arundinaceus* grown in sand culture.

Genotype	Nitrogen form			Average
	NH <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	
JW4	20.7	34.3	26.4	27.1 w
JW630	28.9	55.7	30.3	38.3 x
Average	24.8 b	45.0 a	28.4 b	

Values followed by different letters within a column or row differ significantly ( $P \leq 0.05$ ) by Tukey's multiple comparison test.Table 4. Effect of N form on dry weight (g) of shoot second harvest (regrowth after the first harvest) of two genotypes (JW4, JW630) of *Eriarthus arundinaceus*.

Genotype	Nitrogen form			Average
	NH <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	
JW4	0.70	1.48	1.33	1.17 w
JW630	1.24	3.62	1.89	2.25 x
Average	0.97 b	2.55 a	1.62 b	

Interaction between genotype and N form significant at  $P \leq 0.05$ .Values followed by different letters within a column or row differ significantly ( $P \leq 0.05$ ) by Tukey's multiple comparison test.

Table 5. Effect of N form on root dry weight (g) of two genotypes (JW4, JW630) of *Erianthus arundinaceus*.

Genotype	Nitrogen form			Average
	NH <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	
JW4	4.3	8.9	6.3	6.4 w
JW630	4.2	11.5	6.4	7.4 x
Average	4.2 c	10.2 a	6.4 b	

Values followed by different letters within a column or row differ significantly ( $P \leq 0.05$ ) by Tukey's multiple comparison test.

Table 6. Effect of N form on leaf SPAD readings (index of chlorophyll content) of two genotypes (JW4, JW630) of *Erianthus arundinaceus* (foliage regrown after the first harvest).

Genotype	Nitrogen form			Average
	NH <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	
JW4	43.2	42.2	35.6	40.4
JW630	43.7	44.9	32.6	40.4
Average	43.5 a	43.6 a	34.1 b	

Interaction between genotype and N form significant at  $P \leq 0.05$ .

Values followed by different letters within a column or row differ significantly ( $P \leq 0.05$ ) by Tukey's multiple comparison test.

Table 7. Effect of N form on NO<sub>3</sub>-N level (%) in first harvest shoots of two genotypes (JW4, JW630) of *Erianthus arundinaceus*.

Genotype	Nitrogen form			Average
	NH <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	
JW4	0.005	0.061	0.253	0.107 w
JW630	0.005	0.017	0.169	0.063 x
Average	0.005 b	0.039 b	0.211 a	

Values followed by different letters within a column or row differ significantly ( $P \leq 0.05$ ) by Tukey's multiple comparison test.

Table 8. Effect of N form on root NO<sub>3</sub>-N level (%) in two genotypes (JW4, JW630) of *Erianthus arundinaceus*.

Genotype	Nitrogen form			Average
	NH <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	
JW4	0.004	0.109	0.231	0.115
JW630	0.006	0.020	0.186	0.071
Average	0.005 b	0.065 b	0.209 a	

Values followed by different letters within a column or row differ significantly ( $P \leq 0.05$ ) by Tukey's multiple comparison test.

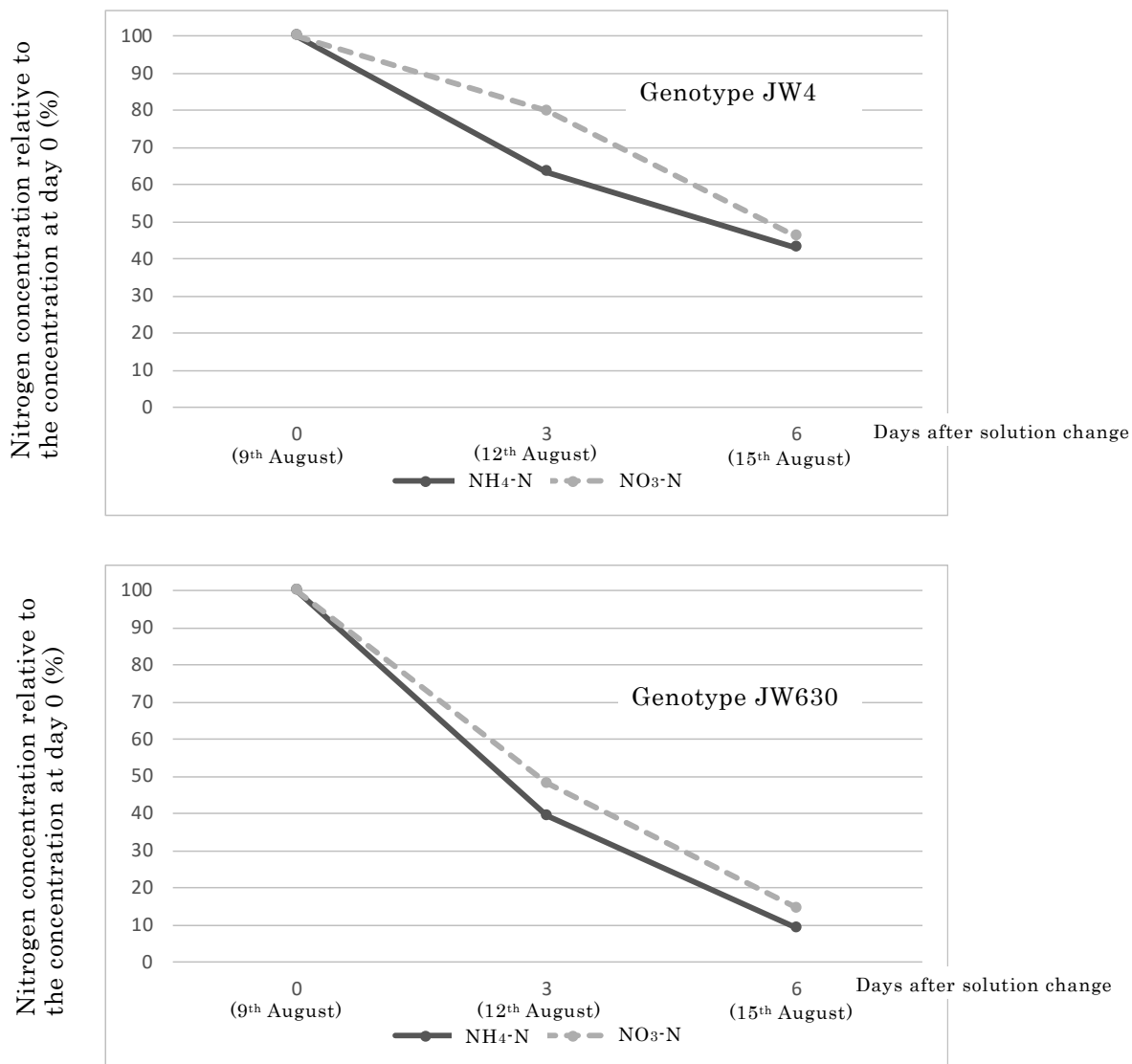


Figure 1. Change in N concentration in nutrient solution over time for two genotypes of *Erianthus arundinaceus* in a sand culture experiment. Inferred cause of diminishing N content is plant root uptake.

で有意差はみられず、それぞれ 2.15 ~ 2.30%, 1.31 ~ 1.44% の範囲の値を示した。

新植地上部、根ともにいずれの系統でも NO<sub>3</sub>-N 濃度は NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>+NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub> 区の順に高かったが (表 7, 8), NH<sub>4</sub> 区では殆ど蓄積がみられなかった。新植地上部では JW4 の方が JW630 よりも NO<sub>3</sub>-N 濃度が高く、JW4 の NO<sub>3</sub> 区の NO<sub>3</sub>-N 濃度は 0.25% に達した。NH<sub>4</sub>+NO<sub>3</sub> 区の新植地上部の濃度は、JW4 では NO<sub>3</sub> 区の約 1/4 に、JW630 では約 1/10 に減少したが、根ではそれぞれ約半分、約 1/10 に減少した。NH<sub>4</sub>+NO<sub>3</sub> 区における生育に伴う培養液中の両窒素源の吸収量を比べると、JW4 では始めに NH<sub>4</sub>-N をより多く吸収する傾向があったが、最終的には両系統とも NH<sub>4</sub>-N と NO<sub>3</sub>-N の双方がほぼ

同程度吸収されていた (図 1)。

## 考 察

本実験では新植地上部乾物重、再生地上部乾物重、および根の乾物重は窒素源として NH<sub>4</sub>-N あるいは NO<sub>3</sub>-N を単独で与えるよりも両者を併用した場合に最も大きくなった。一方、草丈に関しては窒素源の効果は有意でなかった。これは、収量 (乾物重) を構成している要素としては、草丈だけでなく茎 (分けつ) 数、葉や茎の密度、茎が中空であるか否か等様々な因子が関与しているためと思われる。

畑土壌に施用された NH<sub>4</sub>-N 肥料は硝酸化成菌の働き



により  $\text{NO}_3\text{-N}$  に変換される。従って一般に畑作物は窒素を主として  $\text{NO}_3\text{-N}$  の形態で吸収していると考えられるが、イネやチャのように  $\text{NO}_3\text{-N}$  よりも  $\text{NH}_4\text{-N}$  を与えた方が高い収量を得られる作物もある<sup>21)</sup>。また、多くの作物で窒素源として  $\text{NO}_3\text{-N}$  のみではなく  $\text{NH}_4\text{-N}$  も加えた場合に生育がよくなることも知られている<sup>3,5)</sup>。本研究における培養液中の両窒素形態の吸収についてみると、系統により若干の差はあるものの、最終的に  $\text{NH}_4\text{-N}$  と  $\text{NO}_3\text{-N}$  のいずれも同程度吸収されており、エリアンサスは両窒素形態ともほぼ同様に吸収・同化できるものと考えられる。

一方、作物の生育に及ぼす窒素源の影響は窒素源そのものではなく、窒素吸収、とりわけ  $\text{NH}_4\text{-N}$  の吸収による根圏 pH の大幅な低下が原因であるという説もある。即ち、森次ら<sup>10)</sup> は従来  $\text{NH}_4$  区での生育が不良とされていたキュウリに、培養液の pH を厳密に制御できる自動 pH 調整水耕栽培装置により低濃度の  $\text{NH}_4\text{-N}$  を間断なく与えることにより、 $\text{NH}_4$  区においても  $\text{NO}_3$  区と同様に生育させることに成功した。本研究において、 $\text{NH}_4$  区と  $\text{NH}_4+\text{NO}_3$  区における培養液の pH は前日に 5.5 に調整しても翌日の調整時には 4 付近まで低下したので、 $\text{NH}_4$  区における生育低下が  $\text{NH}_4\text{-N}$  そのものによるのではなく pH の低下による可能性も否定できない。しかしながら、同様に pH が低下した  $\text{NH}_4+\text{NO}_3$  区の生育が旺盛だったことは、 $\text{NH}_4\text{-N}$  と  $\text{NO}_3\text{-N}$  の両方を与えることによる何らかの相乗効果を示している。

即ち、 $\text{NH}_4+\text{NO}_3$  区の体内の  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度についてみると、 $\text{NO}_3$  区の半分の濃度の  $\text{NO}_3$  を施用しているにもかかわらず、地上部、根ともに大幅に低下しているので、 $\text{NH}_4$  と  $\text{NO}_3$  を併せて施用することにより、 $\text{NO}_3\text{-N}$  の同化が順調に進んだ可能性が考えられる。その傾向は JW630 でより顕著であり、 $\text{NH}_4+\text{NO}_3$  区の  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度が地上部、根のいずれにおいても JW4 の 18 ~ 28% に低下した結果、地上部乾物重が JW4 より大きくなった可能性が示唆される。再生地上部乾物重ではさらにその傾向が進み、窒素源と系統間に交互作用が生じたものと考えられる。再生地上部の SPAD 値においても同様に交互作用が認められていることがこれを裏付ける。

なお、作物に  $\text{NH}_4\text{-N}$  のみを高濃度で与えると、アンモニア障害が発生することが知られ<sup>4)</sup>、本実験の  $\text{NH}_4$  区でみられた葉焼けはアンモニア障害によるものと考えられる。また、植物によっては  $\text{NO}_3\text{-N}$  のみを与えて培地の pH が上昇したため鉄欠乏によるクロロシスが発生する事例が知られ<sup>16)</sup>、本実験の  $\text{NO}_3$  区における葉色の退色もこれを示唆する。これらのことから  $\text{NH}_4+\text{NO}_3$

区の優位性が支持される。

植物が吸収した  $\text{NO}_3\text{-N}$  は硝酸還元酵素により  $\text{NO}_2\text{-N}$  (亜硝酸) を経て最終的に  $\text{NH}_4\text{-N}$  まで還元されたのち、グルタミンやアスパラギンなどのアミノ酸を経てタンパク質に同化される。硝酸還元酵素の活性は種や系統により大きく異なることが知られ、自然状態での土壤中の  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度が植物種の分布に影響を与えることが知られている<sup>8)</sup>。本実験でみられた採集地の異なる両系統の  $\text{NO}_3\text{-N}$  に対する反応の差異も、自生地の土壤の窒素栄養状態を反映しているのかもしれない。

サトウキビ、サツマイモ、パイナップル、熱帯牧草ブラキアリア等では植物内生菌による窒素固定が知られ、窒素施肥の節約の観点から研究が進んでいる<sup>2)</sup>。できるだけ肥料を投入せずにバイオマス資源作物の収量を確保するという意義から、サトウキビに近縁のエリアンサスでも今後微生物による窒素固定について研究する必要がある。またブラキアリアでは、窒素固定のみならず根からの分泌物が土壤中の硝酸化成を抑制するという報告もある<sup>17)</sup>。今後は窒素栄養に関する有用形質を持つこれら作物の遺伝子情報をエリアンサスのゲノム育種に活用することで窒素固定と窒素栄養環境の改善が実現可能なエリアンサスの育成が望まれる。

Ishikawa ら<sup>7)</sup> は、窒素施肥量がエリアンサス系統「IJ76-349」とサトウキビの生育および体内  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度に及ぼす影響を調べた結果、窒素多施用区 ( $60\text{g}/\text{m}^2$ ) でもサトウキビは  $\text{NO}_3\text{-N}$  を高濃度に蓄積しない ( $0.01\%$ ) のに対し、エリアンサスでは  $0.3\%$  と高濃度の  $\text{NO}_3\text{-N}$  が蓄積することを見出している。また、Robinson ら<sup>13)</sup> はサトウキビ 3 遺伝子型、ワセオバナ 3 遺伝子型、サトウキビとエリアンサスの雑種第 3 世代 3 遺伝子型、およびエリアンサス (*E. procerus*, *E. arundinaceus* 2 遺伝子型) の合計 12 遺伝子型を用いた類似の実験を行い、地上部の  $\text{NO}_3\text{-N}$  の蓄積はエリアンサスのみで顕著 (約  $0.37\%$ ) であり、サトウキビが土壤中の多量の  $\text{NO}_3\text{-N}$  を吸収・蓄積しないという性質は、多施肥条件下において土壤中の  $\text{NO}_3\text{-N}$  が流出して地下水を汚染するおそれがあるので問題だとしている。この観点から、家畜糞尿を圃場に多量に還元するような栽培体系では、エリアンサスはサトウキビと異なり  $\text{NO}_3\text{-N}$  を体内に多量に貯蔵できるので、地下水汚染を防ぐ意味から望ましいと考えられる。

一方、飼料作物中の高濃度の  $\text{NO}_3\text{-N}$  は、それを摂取した家畜の健康被害につながることが知られている<sup>18)</sup>。もしエリアンサスを窒素多肥条件下で飼料利用するならば、体内の硝酸態窒素濃度が高まり過ぎないように注意が

必要である。

エリアンサスは圃場では定植後約3年間収量が増加し、以後は定常状態になる<sup>9)</sup>。また、長期間栽培した場合の窒素源の違いによる生育や収量についてはさらなる検討が必要であるものの、本研究の結果から生育初期4か月間において最も適した窒素源は $\text{NH}_4+\text{NO}_3$ であり、この知見はエリアンサスの苗生産の効率化に資する。また $\text{NO}_3$ のみを与えると体内に $\text{NO}_3\text{-N}$ を高濃度に蓄積することが明らかとなった。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、貴重な御助言、御助力を頂いた川地太兵、須永義人両上級研究員に厚くお礼申し上げます。

## 引用文献

- Amalraj, V.A. and Balasundaram, N. (2006). On the taxonomy of the members of 'Saccharum Complex', Genet. Resour. Crop Evol., 53, 35–41.
- 安藤象太郎・大脇良成・後藤匡裕・米山忠克 (2005). エンドファイテック窒素固定, 化学と生物, 43(12), 788–794.
- Cox, W.J. and Reisenauer, H.M. (1973). Growth and ion uptake by wheat supplied nitrogen as nitrate, or ammonium, or both, Plant Soil, 38, 363–380.
- Esteban, R., Ariz, I., Cruz, C. and Moran, JF. (2016). Mechanisms of ammonium toxicity and the quest for tolerance, Plant Sci., 248, 91–101.
- 池田英男・大沢孝也 (1979). 施用窒素形態とそ菜の適応性 (第1報) 水耕栽培において硝酸、アンモニウム、亜硝酸を窒素源とした果菜の生育並びに窒素同化, 園学雑, 47, 454–462.
- 伊禮信・福原誠司・寺島義文・境垣内岳雄・松岡誠・杉本明 (2008). 沖縄本島地域におけるエリアンサス属植物 (*Erianthus* spp.) の探索と収集, 植探報, 24, 47–53.
- Ishikawa, S., Ando, S., Sakaigaichi, T., Terajima, Y. and Matsuoka, M. (2009). Effects of high nitrogen application on the dry matter yield, nitrogen content and nitrate-N concentration of sugarcane, Soil Sci. Plant Nutr., 55, 485–495.
- 小山里奈 (2004). 樹木-土壌系の窒素循環 - 樹木による土壌中の窒素の吸収と同化 -, 地球環境, 9, 11–18.
- 松波寿弥・小林真・安藤象太郎・寺島義文・霍田真一・佐藤広子 (2016). 栽植密度および施肥水準がエリアンサス (*Erianthus arundinaceus* (L.) Beauv.) の乾物収量に及ぼす影響, 日草誌, 61, 224–233.
- 森次益三・河崎利夫 (1977). 自動 pH 調整水耕栽培装置の製作 - 自動制御水耕栽培装置の応用 (その1) -, 日土肥誌, 48, 243–247.
- 永富成紀・大城良計・仲宗根盛徳 (1984). 南西諸島におけるサトウキビ遺伝質の探索, 沖縄県農業試験場研究報告, 9, 1–27.
- 農林水産省食料産業局知的財産課 (2016). 農林水産省品種登録ホームページ, <http://www.hinsyu.maff.go.jp/> [2016年12月7日参照]
- Robinson, N., Brackin, R., Vinall, K., Soper, F., Holst, J., Gamage, H., Paungfoo-Lonhienne, C., Rennenberg, H., Lakshmanan, P. and Schmidt, S. (2011). Nitrate paradigm does not hold up for sugarcane, PLoS ONE, 6, e19045. doi:10.1371/journal.pone.0019045
- 生物研・放育場・照射法研 (1987). II 国内収集における現地記録表3. 雑穀・特用作物, 植探報, 昭和61年度, 90
- 関谷信人・塩津文隆・阿部淳・森田茂紀 (2015). 原料作物のエリアンサスとネピアグラスの根, 根の研究, 24, 11–22.
- Smolders, AJP., Hendriks, RJJ., Campscreur, HM., Roelofs. and JGM. (1997). Nitrate induced iron deficiency chlorosis in *Juncus acutiflorus*, Plant Soil, 196, 37–45.
- Subbarao, GV., Nakahara, K., Hurtado, MP., Ono, H., Moreta, DE., Salcedo, AF., Yoshihashi, AT., Ishikawa, T., Ishitani, M. and Ohnishi-Kameyama, M. (2009). Evidence for biological nitrification inhibition in *Brachiaria* pastures, PNAS, 106, 17302–17307.
- 須永義人 (2009). 硝酸態窒素, 粗飼料の品質評価ガイドブック (自給飼料利用研究会編), 三訂版, 日本草地畜産種子協会, 東京, 123–124.
- 田金秀一郎・杉本明・寺島義文・江川宜伸・伊敷弘俊・佐藤光徳・伊禮信・Werapon Ponragdee・Taksina Sansayawichai・Amarawan Tippayawat (2010). タイ国で収集したエリアンサス属植物遺伝資源の特性評価と分類, 国際農林水産業研究成果情報, 18,

39-40

- 20) 高橋保夫 (1956). 下底灌漑法, 作物試験法 (戸莉義次 [ほか] 編集), 農業技術協会, 東京, 180-181.
- 21) 高橋英一 (1984). 好アンモニア性と好硝酸性, 施肥農業の基礎, 養賢堂, 東京, 68-73.
- 22) 高溝正・杉山信男 (1990). 施用窒素形態がブルーベリーの生育並びに葉中窒素成分濃度に及ぼす影響, 園学雑, 58, 865-869.
- 23) Tsuruta, S., Ebina, M., Kobayashi, M., Hattori, T. and Terauchi, T. (2012). Analysis of genetic diversity in the bioenergy plant *Erianthus arundinaceus* (Poaceae: Andropogoneae) using amplified fragment length polymorphism markers, Grassl. Sci., 58, 174-177.



## Growth Response of *Erianthus arundinaceus* Grown in Sand Culture to the Form of N Supplied in Nutrient Solution

Tadashi TAKAMIZO, Shotaro ANDO<sup>1</sup> and Makoto KOBAYASHI

Division of Forage Crop Research,  
Institute of Livestock and Grassland Science, NARO,  
Nasushiobara, 329-2793 Japan

<sup>1</sup>Japan International Research Center for Agricultural Science,  
Tropical Agriculture Research Front,  
Ishigaki, 907-0002 Japan

### Summary

We investigated the effect of nitrogen (N) form ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NH}_4+\text{NO}_3$ , and  $\text{NO}_3$ ) on the growth of *Erianthus arundinaceus* in a sand culture experiment with nutrient solution containing 140 ppm N at a pH of 5.5. For the experiment, two genotypes of *E. arundinaceus*, JW4 and JW630, were obtained from the NIAS gene bank. The dry weights of shoots and roots of both genotypes were highest when N was supplied as  $\text{NH}_4+\text{NO}_3$ , but the difference in growth between plants grown with  $\text{NH}_4+\text{NO}_3$  and those with  $\text{NH}_4$  or  $\text{NO}_3$  was greater for JW630 than for JW4. Plants supplied with  $\text{NH}_4$  alone had scorched leaves and those supplied with  $\text{NO}_3$  alone had pale colored leaves, but N form did not significantly affect the total N concentration of either shoots or roots of both genotypes. The  $\text{NO}_3$ -N concentration of shoots and roots was highest in the  $\text{NO}_3$  treatment and higher in JW4 than in JW630. The  $\text{NO}_3$ -N concentration of shoots of JW4 supplied with  $\text{NO}_3$  alone was 0.25%  $\text{g}^{-1}$  dry weight, but only a trace of  $\text{NO}_3$ -N was present in shoots and roots of both genotypes when supplied with  $\text{NH}_4$  alone. The  $\text{NO}_3$ -N concentration of both shoots and roots in plants supplied with  $\text{NH}_4+\text{NO}_3$  was a fraction of that found in plants supplied with  $\text{NO}_3$  alone. In conclusion, the results suggest that the best form for supplying N to *Erianthus arundinaceus* during the initial 4 months of growth is  $\text{NH}_4+\text{NO}_3$ , and that a high level of  $\text{NO}_3$  will accumulate in plant tissue if  $\text{NO}_3$  alone is applied.

**Key words:** *Erianthus arundinaceus*, N form, sand culture, nitrate