

## イネ幼植物における無機養分吸収速度の生態種(型)間変異

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
著者	一井, 眞比古 津村, 英男
巻/号	58巻1号
掲載ページ	p. 7-12
発行年月	1989年3月

## イネ幼植物における無機養分吸収速度の 生態種 (型) 間変異

一井 眞比古・津村 英男

(香川大学農学部)

昭和63年3月18日受理

**要旨** : 水稲32品種および陸稲19品種からなる日本型51品種ならびにインド型水稲25品種の計76品種のイネ (*Oryza sativa* L.) を水耕培養し、それらの25日苗における無機養分吸収能力、とりわけ  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、PおよびKの吸収速度 ( $\text{mg} \cdot \text{dry wt g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) における日本型 (日本型水稲) とインド型 (インド型水稲) との差および水稲 (日本型) と陸稲 (日本型) との差、ならびに養分要素間の関係について検討した。結果の概要は以下のとおりである。

1) 日本型よりインド型の  $\text{NH}_4\text{-N}$  およびP吸収速度が有意に速く、Kでは逆に日本型がインド型より有意に速く、 $\text{NO}_3\text{-N}$  では両生態種の吸収速度はほぼ同じであった。2) 陸稲は水稲よりいずれの要素における吸収速度も遅く、特に  $\text{NO}_3\text{-N}$  およびKにおいて両生態型間の差は顕著であった。また吸収したN量 ( $\text{NH}_4\text{-N}$  と  $\text{NO}_3\text{-N}$  の和) に占める  $\text{NH}_4\text{-N}$  量の割合である  $\text{NH}_4\text{-N}$  依存率 (%) が水稲より陸稲において大きかった。なお供試品種のすべてを込みにした  $\text{NH}_4\text{-N}$  依存率は約70%であった。3) 吸収速度は  $\text{N} > \text{K} > \text{P}$  の順であり、この関係は生態種、生態型に拘らず同じであった。4) 生態種や生態型の相違によって形質間相関の様相が異なった。インド型では乾物重とK吸収速度との相関、ならびに  $\text{NH}_4\text{-N}$  および  $\text{NO}_3\text{-N}$  吸収速度とP吸収速度との相関がそれぞれ有意でかつ正であったが、日本型ではそれらの相関は有意でなかった。一方水稲では根数と  $\text{NH}_4\text{-N}$  吸収速度の相関が有意でかつ負であったが、陸稲では有意でなかった。5) 生態種や生態型に拘らず、 $\text{NO}_3\text{-N}$  吸収速度はKのそれと有意でかつ正の相関を示した。6) 以上の結果は、イネにおける無機代謝機能が生態種や生態型によって分化していることを示唆している。

**キーワード** : アンモニア態窒素, イネ, カリウム, 硝酸態窒素, 養分吸収。

**Comparison of the Nutrient Uptake in Ecospecies and Ecotypes of Rice Seedlings**: Masahiko ICHII and Hideo TSUMURA (*Faculty of Agriculture, Kagawa University, Miki, Kagawa 761-07, Japan*)

**Abstract** : The experiment was conducted to evaluate the difference in nutrient uptake of different ecospecies and ecotypes of rice plant. Fifty one *japonica* cultivars composed of 32 lowland and 19 upland cultivars, and 25 *indica* lowland cultivars were used. The uptakes of ammonium-N ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), nitrate-N ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), phosphorus and potassium (in nutrient  $\text{mg} \cdot \text{dry wt g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) were determined by using 25-day-old seedlings. The result revealed that: (1) Ammonium-N and phosphorus uptakes were higher in *indica* compared with *japonica*. On the other hand potassium uptake was higher in *japonica* than in *indica*. There is no difference between the two ecospecies in nitrate-N uptake. (2) Lowland rice showed higher uptake than upland rice in four nutrients, especially in nitrate-N and potassium. (3) Nutrient uptake was in the order of: nitrogen, potassium, phosphorus. This order of uptake was consistent on ecospecies and ecotypes. (4) Correlations between dry weight and potassium uptake, and between ammonium-N and nitrate-N uptake, phosphorus uptake were not significant in *japonica*, but positive and significant in *indica*. Correlation between root number and ammonium-N uptake was not significant in upland rice, but negative and significant in lowland rice. (5) Nitrate-N uptake showed a positive and significant correlation to potassium uptake regardless of ecospecies and ecotypes. (6) It can be concluded that inorganic assimilation of rice plant depends on the ecospecies and ecotypes.

**Key words** : Ammonium-N, Nitrate-N, Nutrient uptake, Potassium, Rice.

作物はその種類によって固有の養分吸収能力を持ち、たとえば主要養分要素である窒素 (以下Nと略記) に着目しても、アンモニア態窒素 (以下  $\text{NH}_4\text{-N}$  と略記) をおもなN源として吸収する好アンモニア性作物や硝酸態窒素 (以下  $\text{NO}_3\text{-N}$  と略記) をおもなN源として吸収する好硝酸性作物がある。好アンモニア性作物としてイネが、好硝酸性作物としてライムギやソバがあげられ、それらの特性は種固有のものとして知られている。このような無機養分吸収能力

の種間変異に関する報告は多い<sup>15,17,18)</sup>が、種内変異、たとえば生態種間および生態型間変異に関する報告はほとんど見当たらない。栽培イネである *Oryza sativa* L. には日本型およびインド型と呼ばれる生態種が、また水稲および陸稲と呼ばれる生態型があることはよく知られている。しかしながら、それらの生態種や生態型がどのような養分吸収能力を持っているかは明らかにされていない。養分吸収能力における種内変異の大きさ、ならびに生態種間および

生態型間の関係を明らかにすることは、養分吸収能力の遺伝的改良や生態型の分化および適応性を考える上からも重要である。

イネの高収性について田中<sup>17)</sup>は養分吸収量の多い品種が一般的に多収であるとの考えを示し、高収性水稻品種の窒素吸収量は普通品種より圧倒的に多いとの報告<sup>2)</sup>もある。これらの事実は、養分吸収能力が高収性に大きく寄与しうる特性であること、ならびに高収性品種の育成にとっても養分吸収能力が注目すべき特性であることを示唆している。

以上のような観点から、主要な養分要素である  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、リン（以下Pと略記）およびカリウム（以下Kと略記）の養分吸収能力に着目し、それらの生態種間および生態型変異を幼苗イネを用いて明らかにしようとしたのが本研究の主な目的である。なお本研究では、養分吸収能力を養分吸収量より適切な指標であると考えられている<sup>12)</sup> 養分吸収速度で評価した。

### 材料と方法

イネ (*Oryza sativa* L.) 76 品種を供試したが、それらは水稻 32 品種および陸稲 19 品種からなる日本型 51 品種、ならびにインド型水稻 25 品種からなっていた。供試品種の種子をシャーレに播種し、30°C で発芽させ、播種後 5 日目に水 (pH 5.0) を入れた試験管 (直径 18 mm) に 1 個体ずつ移植し、直ちに人工気象器 (20°C, 8000 lux, 7:00-19:00; 明, 19:00-7:00; 暗) に移し、培養した。10 日目からは同器内で水耕液 (木村氏B液<sup>19)</sup>、濃度は 1/2 C (1 C が基準濃度)、pH 5.0) で培養し、5 日毎に水耕液を交換した。25 日目には、水耕液交換後 12 時間目に形態的特性を調べるために植物体を抜き取り、さらに養分吸収速度を求めるために試験管内の水耕液を採取した。なお水および水耕液の pH 調整は交換時のみに行い、培養液への通気ならびに根部への遮光も行わなかった。また 25 日目の水耕液 (30 ml/試験管) 交換は午前 11 時とし、1 品種当り 10 個体を供した。

養分を吸収させた後の水耕液中の  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、P および K 残存量を試験管ごとに測定し、初期値と残存量との差を吸収した養分量とし、それを吸収時間および幼苗乾物重で除した吸収速度 ( $\text{mg} \cdot \text{dry wt g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) を個体別に求めた。 $\text{NH}_4\text{-N}$  の定量には、ネスラー試薬で発色させ 420 nm の吸光度を測るネスラー法を用いた。 $\text{NO}_3\text{-N}$  の定量には、水

耕液の 220 および 270 nm の吸光度を測り、両者の差から求める紫外線吸光度法を用いた。P の定量には、モリブデン酸アンモニウムで発色させ 440 nm の吸光度を測るバナドモリブデン酸法を用いた。K の定量には炎光法を用いた。養分吸収試験終了時に幼苗イネの草丈、根長、根数および乾物重を個体別に測った。

以上のようにして調査した特性値をもとにし、生態種間および生態型間の比較を行った。具体的には、日本型水稻群とインド型水稻群との比較から日本型とインド型との違いを、日本型水稻群と日本型陸稲群との比較から水稻と陸稲との違いを、それぞれ検討した。

### 結果および考察

養分吸収量は養分要素および品種によって異なり、供試品種のすべてを込みにすると  $\text{NH}_4\text{-N}$  では 12 時間のあいだに 0.093 mg を、 $\text{NO}_3\text{-N}$  では 0.046 mg を、P では 0.018 mg を、K では 0.081 mg をそれぞれ吸収した。なお培養器内に最初に含まれていた養分量に対する吸収した養分量の比で吸収量を表すと、おおよそ  $\text{NH}_4\text{-N}$  では 60%、 $\text{NO}_3\text{-N}$  では 25%、P では 20%、K では 25% であった。一方水耕液 pH は水耕液交換時に pH 5.0 に調整したが、12 時間後には pH 4.0 前後まで低下していた。同様な現象は平井ら<sup>3)</sup> によっても観察されており、また水耕液 pH は N、P、K 吸収にあまり影響しないとの報告<sup>8)</sup> からすれば、本実験における N、P、K 吸収は順調に行われたものと考えられる。そこで各養分要素における吸収速度を求めたところ、その品種間変異は大きく、たとえば  $\text{NH}_4\text{-N}$  では 11 から 42 ( $\times 10^{-2} \text{mg} \cdot \text{dry wt g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) まで、 $\text{NO}_3\text{-N}$  では 5 から 17 ( $\times 10^{-2} \text{mg} \cdot \text{dry wt g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) まで、P では 1 から 10 ( $\times 10^{-2} \text{mg} \cdot \text{dry wt g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) まで、K では 6 から 35 ( $\times 10^{-2} \text{mg} \cdot \text{dry wt g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) まで変異した。これらの変異幅は形態形質の変異幅より顕著に大きかった。

日本型水稻群、日本型陸稲群およびインド型水稻群における形態的特性ならびに養分吸収特性を示したのが第 1 表である。なお吸収した N ( $\text{NH}_4\text{-N}$  と  $\text{NO}_3\text{-N}$  の和) 量にしめる  $\text{NH}_4\text{-N}$  量の比率を  $\text{NH}_4\text{-N}$  依存率として併せて示した。この比率は  $\text{NH}_4\text{-N}$  と  $\text{NO}_3\text{-N}$  が共存する場合にいずれの形態の N をより好んで吸収するかを示すものである。日本型とインド型とを比べてみると、形態形質である

Table 1. Morphological features and nutrient uptake in 25-day-old seedlings.

		Seedling height (cm)	Root length (cm)	Root number	Dry weight (mg)	Uptake <sup>1)</sup>				NH <sub>4</sub> -N ratio <sup>2)</sup> (%)
						NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	P	K	
<i>japonica</i>	lowland	20.3ab	12.8a	10.9a	35.2ab	21.4b	10.2a	3.52b	22.5a	67.5b
	upland	19.4b	11.2a	9.6a	29.6b	17.8c	7.0b	2.87c	13.4c	71.8a
<i>indica</i>	lowland	21.8a	12.6a	12.4a	40.3a	25.6a	11.7a	6.27a	18.6b	68.2b

1)  $\times 10^{-2} \text{mg} \cdot \text{dry wt g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ . The plants were exposed for 12 hrs after placing the roots in solution.

2)  $(\text{NH}_4\text{-N uptake} / (\text{NH}_4\text{-N uptake} + \text{NO}_3\text{-N uptake})) \times 100$ .

Means followed by the same letter do not differ at 5% level.

草丈、根長、根数では両者の差は認められなかった。乾物重ではインド型が日本型より大きい傾向を示すものの、その差は有意でなかった。NH<sub>4</sub>-N およびPの吸収速度においてはインド型が日本型より有意に大きかったが、Kでは逆に日本型がインド型より有意に大きかった。NO<sub>3</sub>-N では両者の差は認められなかった。NH<sub>4</sub>-N の吸収速度が日本型よりインド型で速いのは、根におけるアンモニアの同化に関連するグルタミン酸デハイドロゲナーゼ活性が日本型よりインド型で高い<sup>5)</sup> ことと関連するかも知れない。一方両生態種における NO<sub>3</sub>-N 吸収速度がほぼ同じであったことは、硝酸の同化に関する硝酸還元酵素の活性がインド型と日本型とで大きく異なることを伺わせる。Pの吸収速度においてインド型は日本型の約1.8倍であり、他の養分要素における両型間の差に比べても顕著であった。さらにインド型のK吸収速度は日本型の約1.2倍であった。Pは細胞の増殖、光合成および呼吸などに関与し、Kは呼吸および各種酵素の活性化などに関与していると一般に考えられているが、未だ不明な点も多く、両養分要素における生態種間の差を生態種固有の能力に基づくとは断言できない。しかしながら、NH<sub>4</sub>-N、PおよびK吸収速度が両生態種間で異なったこと、ならびに両生態種のN吸収能力に差があり<sup>7)</sup>、かつインド型が日本型より優れている<sup>14)</sup> との報告を併せ考えると、両生態種間で無機代謝機能に関する分化が起っていると推察される。なおNH<sub>4</sub>-N 依存率は両生態種とも約68% であり、両生態種間の差は認められなかった。Taら<sup>13)</sup> は、日本型よりインド型のNH<sub>4</sub>-N 依存率が高いと述べているが、彼らの結果はごく小数の品種を用いた実験から得られたものであり、多くの品種から得られた本実験の結果を否定するものでないと考えられる。

水稻と陸稲とを比較すると、両者の根長および根

数はほぼ同じであった。水稻の乾物重は陸稲より有意に大きくなかったが、水稻の草丈は陸稲に比べ有意に大きかった。NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、PおよびKいずれの吸収速度においても陸稲は水稻より顕著に低く、NH<sub>4</sub>-N およびPでは水稻の80-85% であり、NO<sub>3</sub>-N およびKでは60-70% であった。また長谷川<sup>11)</sup> も水耕栽培した陸稲の養分吸収力および水分吸収力が水稻のそれらより小さいことを認めた。さらに酸素要求度が水稻より大きい陸稲<sup>9)</sup> を水耕栽培すると、体内酸素量の不足によって生理的活力が低下し、それが陸稲の養分吸収速度に影響したとも考えられる。これらのことから、養分吸収能力に関する陸稲と水稻との差は大きく、特に水耕栽培下では両生態型の差異がより大きくなるものと思われる。一方、養分吸収速度における水稻と陸稲との差は統計的に有意であったが、両生態型間の差が最も大きい

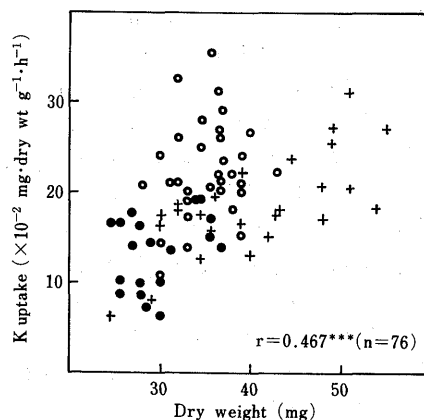


Fig.1. Relationship between dry weight and K uptake in 25-day-old seedlings.

○ : *japonica* lowland,  $r=0.185$  (NS).

● : *japonica* upland,  $r=0.284$  (NS).

+ : *indica* lowland,  $r=0.706$ \*\*\*.

\*\*\* : Significant at 0.1% level.

NS : Non significant.

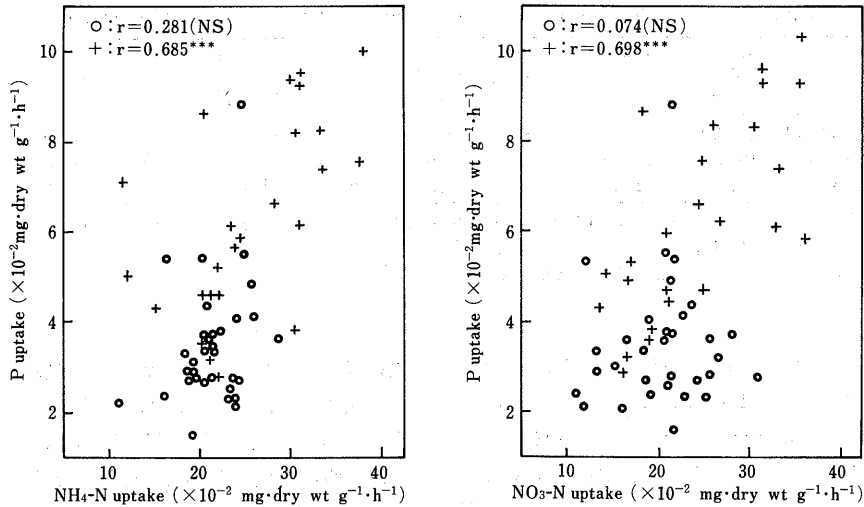


Fig.2. Relationship between  $\text{NH}_4\text{-N}$  uptake and  $\text{NO}_3\text{-N}$  uptake, and P uptake in 25-day-old seedlings.

- : *japonica* lowland.
- + : *indica* lowland.
- \*\*\* : Significant at 0.1% level.
- NS : Non significant.

Kにおいてさえ両者の分布は不連続なものでなかった。小野<sup>10)</sup>も述べているように両生態型間の差異は明確でないと考えられるが、無機代謝機能に関する分化が両生態型のあいだで起こっていることを本実験の結果は示唆している。なお  $\text{NH}_4\text{-N}$  依存率において陸稲が水稲より有意に高かったことは興味深い現象である。これは両生態型間の差が  $\text{NH}_4\text{-N}$  より  $\text{NO}_3\text{-N}$  において大きかったことによるが、Kにおける両生態型間の差が  $\text{NO}_3\text{-N}$  における差と似かよっていることと関連するかも知れない。

吸収速度における養分要素間の関係は生態種、生態型に拘らず  $\text{N} > \text{K} > \text{P}$  であった。このような養分要素間関係は幼苗イネの養分要素含有率<sup>10)</sup>とよく一致し、吸収速度は含有率を充分反映しうることを示している。 $\text{NO}_3\text{-N}$  より  $\text{NH}_4\text{-N}$  の吸収速度が生態種、生態型に拘らず2倍以上速かった。これは  $\text{NH}_4\text{-N}$  および  $\text{NO}_3\text{-N}$  を含む水耕液でイネを栽培すると、前者を後者より多く吸収すること<sup>11,14)</sup>、ならびに陸稲でも  $\text{NO}_3\text{-N}$  より  $\text{NH}_4\text{-N}$  下での生育が優れていること<sup>6)</sup>、と密接に関連すると考えられる。

平井ら<sup>3)</sup>は水稲の乾物生産とK吸収量との密接な関係を認め、津野<sup>20)</sup>も甘藷で同様の結果を得ている。そこで乾物重とK吸収速度との関係を示したの

が第1図である。供試品種のすべてを込みにした場合、両者のあいだに有意な正の相関 ( $r=0.467***$ ) が認められ、乾物生産とK吸収との密接な関係を示唆しているようである。しかしながら、インド型では両者のあいだに有意な正の相関 ( $r=0.706***$ ) が認められたが、日本型の水稲や陸稲では相関は有意でなかった (水稲:  $r=0.185$  (NS), 陸稲:  $r=0.284$  (NS))。図から明らかなように、インド型ではK吸収速度の増大に伴って乾物重も増加しているが、日本型ではそのような傾向は認められなかった。それゆえ、少なくとも日本型の初期生育過程においてK吸収能力と乾物生産とは独立であると考えられる。ただ生態種によって両者の相関が大きく異なったことは、生態種の特性を考えるうえで興味深い。第2図に示すように  $\text{NH}_4\text{-N}$  および  $\text{NO}_3\text{-N}$  とPとの相関関係の程度が生態種によって異なっていた。インド型では有意で正の相関 ( $\text{NH}_4\text{-N} : \text{P} = 0.685***$ ,  $\text{NO}_3\text{-N} : \text{P} = 0.698***$ ) が認められたが、日本型では有意でなかった ( $\text{NH}_4\text{-N} : \text{P} = 0.281$  (NS);  $\text{NO}_3\text{-N} : \text{P} = 0.074$  (NS))。さらに水稲と陸稲とで形質間相関が大きく異なっていることもある。根数と  $\text{NH}_4\text{-N}$  吸収速度との関係を示したのが第3図である。水稲では両者の相関は有意でかつ負であった ( $r=-0.848***$ ) が、陸稲では

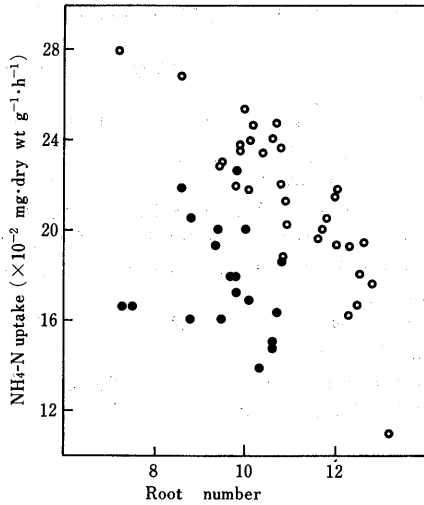


Fig.3. Relationship between root number and  $\text{NH}_4\text{-N}$  uptake in 25-day-old seedlings.  
 ○ : *japonica* lowland  $r = -0.848^{***}$ .  
 ● : *japonica* upland  $r = -0.191$  (NS).  
 \*\*\* : Significant at 0.1% level.  
 NS : Non significant.

有意でなかった ( $r = -0.191$  (NS)), 生態種間および生態型間で形質間相関が顕著に異なる例を述べたが, 生態種や生態型が土壤環境への適応の結果でもあることを考えると, これらの事実は生態種や生態型の分化を考察するうえで重要な知見となるであろう。

養分要素間の関係のうち, 一定の傾向が認められるのは  $\text{NO}_3\text{-N}$  と K との関係である。両者の相関関係を示したのが第 4 図である。供試品種のすべてを込みにした場合, 両者の関係はきわめて密接で, その相関係数も有意でかつ正であった ( $r = 0.568^{***}$ )。このような関係は日本型水稻群 ( $r = 0.416^*$ ), 日本型陸稲群 ( $r = 0.568^*$ ) およびインド型水稻群 ( $r = 0.606^{**}$ ) のいずれにおいても認められた。このような  $\text{NO}_3\text{-N}$  および K 吸収能力の平行的発現はイネが本来的に持っている特性であることを示唆している。なお  $\text{NO}_3\text{-N}$  と K との関係は, K が  $\text{NO}_3\text{-N}$  の吸収を促進するという事実<sup>9)</sup>によっても裏付けられている。また図中におけるこれら 3 群の分布をみると, 日本型水稻群とインド型群の分布は相互に重なり合っていたが, 日本陸稲群の分布は他の 2 群と異なっていた。このような日本型陸稲群の特異性は, 日本陸稲群における  $\text{NO}_3\text{-N}$  および K の吸収速度が他の 2 群のそれらより顕著に小さいこ

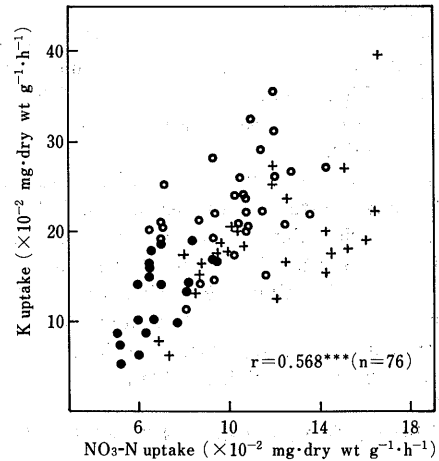


Fig.4. Relationship between  $\text{NO}_3\text{-N}$  uptake and K uptake in 25-day-old seedlings.  
 ○ : *japonica* lowland,  $r = 0.416^*$ .  
 ● : *japonica* upland,  $r = 0.568^*$ .  
 + : *indica* lowland,  $r = 0.606^*$ .  
 \*, \*\*\* : Significant at 5 and 0.1% level, respectively.

とを示した第 1 表の結果からも推察されるであろう。

## 引用文献

1. 長谷川新一 1962. 水稻の畑栽培に関する研究. 農事試験報 1: 109—156.
2. 樋口太重・吉野喬 1986. 高収性水稻の窒素吸収特性について. 土肥誌 57: 134—141.
3. 平井源一・高橋誠・田中修・那須裕 1985. 大気湿度が水稻の生育ならびに生理に及ぼす影響. 日作紀 54: 141—145.
4. 星川清親 1980. 食用作物. 養賢堂, 東京. 174.
5. Hou, C.L. and K.L.Lai 1983. Root physiology of *japonica* and *indica* rice (*Oryza sativa* L.). 2. Nitrogen uptake and the enzyme activities of nitrogen metabolism. J. Agric. Assoc. China N. S. 124: 10—18.
6. 小林茂久平 1955. 窒素の形態と陸稲生育及び硝酸化成抑制の影響. 農及園 30: 1347—1348.
7. Lai, K.L. and C.R.Hou 1983. Root physiology of japonica and indica rice (*Oryza sativa* L.). 1. Growth features of excised root and embryo cultures. J. Agric. Assoc. China N. S. 124: 1—9.
8. 森次益三・河崎利夫 1980. 作物生産ならびに無機養分吸収に及ぼす培養液の pH 影響. 土肥誌 51: 374—384.
9. 日本土壤肥料学会編 1986. 植物生産性の生理生化学. 博友社, 東京. 75.
10. 小野敏忠 1973. 日本陸稲品種の来歴について. 育雑

- 23:206-211.
11. Sasakawa, H. and Y. Yamamoto 1987. Comparison of the uptake of nitrate and ammonium by rice seedlings. *Plant Physiol.* 62: 665-669.
  12. 鈴木保宏・諸岡稔 1986. F<sub>1</sub> 水稻の窒素吸収. *土肥誌* 57: 149-154.
  13. Ta, T.C., M. Tsutsumi and K. Kurihara 1981. Comparative study on the response of *indica* and *japonica* rice plants to ammonium and nitrate nitrogen. *Soil Sci. Plant Nutr.* 27: 83-92.
  14. Ta, T.C. and K. Ohira 1982. Comparison of the uptake and assimilation of ammonium and nitrate in *indica* and *japonica* rice plants using the tracer <sup>15</sup>N method. *Soil Sci. Plant Nutr.* 28: 79-90.
  15. 田中明・但野利秋・石川和子 1973. 塩基適応性の作物種間差 (予報) - 比較植物栄養に関する研究一. *土肥誌* 44: 269-272.
  16. 田中明 1982. 作物比較栄養生理. 学会出版センター, 東京. 142.
  17. 田中明 1985. 作物種間の養分の吸収量および収穫指数の比較. *土肥誌* 56: 212-219.
  18. 但野利夫・田中明 1976. アンモニア態および硝酸態窒素適応性の作物種間差. 第1報 生育初期におけるアンモニア態および硝酸態窒素の選択吸収能と生育反応 - 比較植物栄養に関する研究一. *土肥誌* 47: 321-328.
  19. 戸刈義次他編 1979. 作物試験法. 農業技術協会, 東京. 163-166.
  20. 津野幸人・藤瀬一馬 1965. 甘藷の乾物生産に関する作物学的研究. *農技研報* D13: 1-131.