

1. 研究大課題名 : 植物のアルミニウムストレス耐性機構  
 研究中課題名 : III. 酸性土壌アルミニウムストレス下における大麦  
 種子根と冠根の異なった応答機構
2. 研究機関 : 農林水産省九州農業試験場育種工学研究室
3. 研究者 : 斎藤 彰
4. 研究協力者 : 正岡 淑邦 (農林水産省九州農業試験場生産環境部)  
 佐藤 和広 (岡山大学資源生物科学研究所大麦・野生  
 植物資源研究センター)

Bredan Scott (Wagga Wagga Agriculture Research  
Institute, NSW Australia)

5. 研究期間 : 平成7年度~平成11年度
6. 要約

大麦の根を種子根と冠根に区別して、酸性土壌における各々の酸性・アルミニウムストレス応答としての発根能と伸長能を指標として、アルミニウム耐性品種と感受性品種間の応答の差を解析した。その結果、アルミニウム耐性2品種 Dayton, Brindabella と感受性2品種 Kearney, Skiff の葉身発芽能はアルミニウムストレスで同様に抑制された。しかし、耐性品種の伸長能の阻害度は感受性品種に比べ小さかった。また種子根の発根能はストレスに影響されず、その伸長能は従来報告と同様に耐性品種は感受性品種に比べ阻害度が小さかった。一方冠根について、耐性品種はストレスによりその発根能が抑制され、感受性品種では抑制されずむしろ促進されていた。また伸長能については耐性2品種は異なった応答を示し、Brindabella では促進され、Dayton では抑制されていた。感受性2品種の冠根は、発根初期には促進されるが後期には抑制された。以上より Brindabella の冠根のアルミニウムストレス応答は Dayton とは異なるアルミニウムストレス耐性遺伝子発現が推定された。

#### 7. 研究目的

世界的に農耕地の多くが酸性土壌であることから、アルミニウム毒の作用機構や植物のアルミニウム耐性機構解明が研究されている。特に海外では小麦や大麦が酸性土壌に弱いためそれらは、非常に古くからの重要課題である。一方アジア諸国の主要作物のイネは酸性土壌に強く、畑作の一部の野菜やテンサイなどに対する酸性土壌問題は石灰による中和で解決していると考えられている。しかし、一般に土壌の酸性は石灰(Lime)施用で中和されるが、Limeの施用面積・コスト高や地表層(Topsoil 15 cm)より深いところ(Subsoil)は中和できないことから今日でも重要な研究課題である。これまで酸性土壌を用いて特に Topsoil における発根初期の種子根生育(伸長)阻害と根滲出有機酸によるアルミニウム解毒機構について長年多くの研究が蓄積し<sup>1)</sup>、その伸長阻害度で耐性品種の育種選抜が行われている<sup>2)</sup>。しかし発根後期の種子根や冠根や地上部の生育阻害については種子根の生育不全に起因した二次的現象とされ研究は少ない。本研究では大麦の北米のアルミニウム耐性品種 Dayton とオーストラリアの耐性品種 Brindabella, 感受性2品種 Kearney (北米) Skiff (オーストラリア)とオーストラリア酸性土壌(褐色ポドソル性土壌)を用いて発根後期の大麦の根を解析

する。またその形態や発根の違いから、種子胚由来種子根 (Seminal roots)と出芽後の茎由来の冠根 (Crown roots)に区別し、それらの発根能と伸長能を指標としてアルミニウム耐性品種と感受性品種間の応答の差を解析する。また従来研究が少ない葉についても同様に酸性・アルミニウムストレス応答を発芽能と伸長能を指標に解析することを目的とした。

## 8. 材料と方法

### 大麦品種：

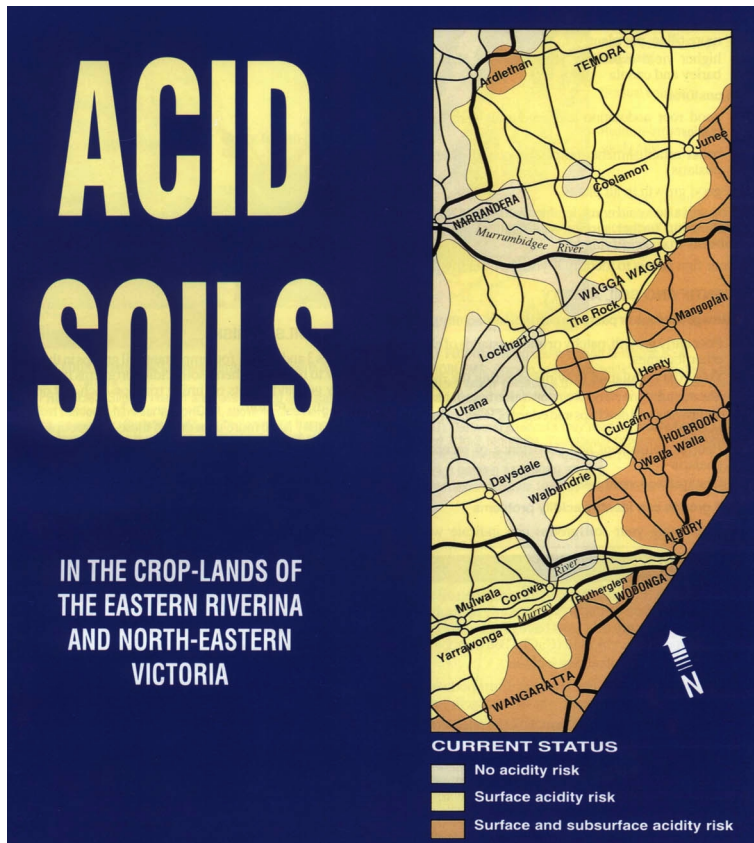
Dayton (CI9517) と Kearney (CI7580)は各々アルミニウム耐性品種と感受性品種と評価され<sup>3)</sup>、それらは米国農務省のコアコレクションから分譲された。また Brindabella はオーストラリア Wagga Wagga 農業研究所で育成されたアルミニウム耐性品種であり、また Skiff はオーストラリアで育成され病害抵抗性品種ではあるがアルミニウム感受性である。各品種 6 種子を 1 ポット 1 区として 25 °C の温室で生育させた。

### 土壌：

Wagga Wagga 農業研究所南部 Binnaway 地区の土壌 (Fig. 1) は pH<sub>Ca</sub> が 3.98 であり強酸性土である (Fig. 1)。この土壌は多くの塩が溶脱した不毛土壌であることから、ポット当たり風乾重 761g に 適切な肥料 (81.4 mg  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 101 mg  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 40.78 mg KCl, 9.32 mg  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 7.5 mg  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0.1 mg  $\text{Na}_2\text{MoO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 1.9 mg  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 57 mg  $\text{NH}_4\text{CO}_3$ )を施用した。土壌の pH 測定法は、土壌重量の 5 倍量の 10 mM  $\text{CaCl}_2$  を加え良く攪拌し 5 分静置後 pH メーターで測定した。塩溶液で土壌に電気的に吸着していた水素イオンが測定できるため、蒸留水を用いた場合に比べ約 0.7 低い値を示した。なおわが国では塩化カリウムが用いられるが、この場合は pH は約 1.0 低い値を示す。

### ポット栽培：

大麦種子は播種前日に 1%次亜塩素酸で消毒し、一晚曝気して水中に置いた。6 種子をポットに播種し、水をスプレーして水分含量を 11.6%に保持した。播種後 25 °C 温室で 5, 10, 15, 25 日間生育させた (Fig. 2)。経時的に大麦をサンプリングし、土壌を水流で取り除いたのちエタノール固定した。



Slight Yellow:  
No acidity risk

Yellow :  
Surface acidity risk

Dark Yellow :  
Surface and sub-  
surface acidity risk

Fig. 1 Regional Soil Map around Wagga Wagga Agricultural Institute



Fig. 2 Pot soil experiment with an Australian acid soil

実体顕微鏡観察：

経時的に栽培された後、ポットから土壌の入ったプラスチックバッグごと6つの植物体を取り出し、根を損傷しないようにバッグ中の土壌とともに水槽につけた。根のついた植物を洗浄後エタノール保存後、根に付着した土壌は超音波洗浄装置で完全に取り除いた。実体顕微鏡下でピンセットとナイフを用いて種子根と冠根の根の基底部を確認した<sup>4)</sup> (Fig. 3)。

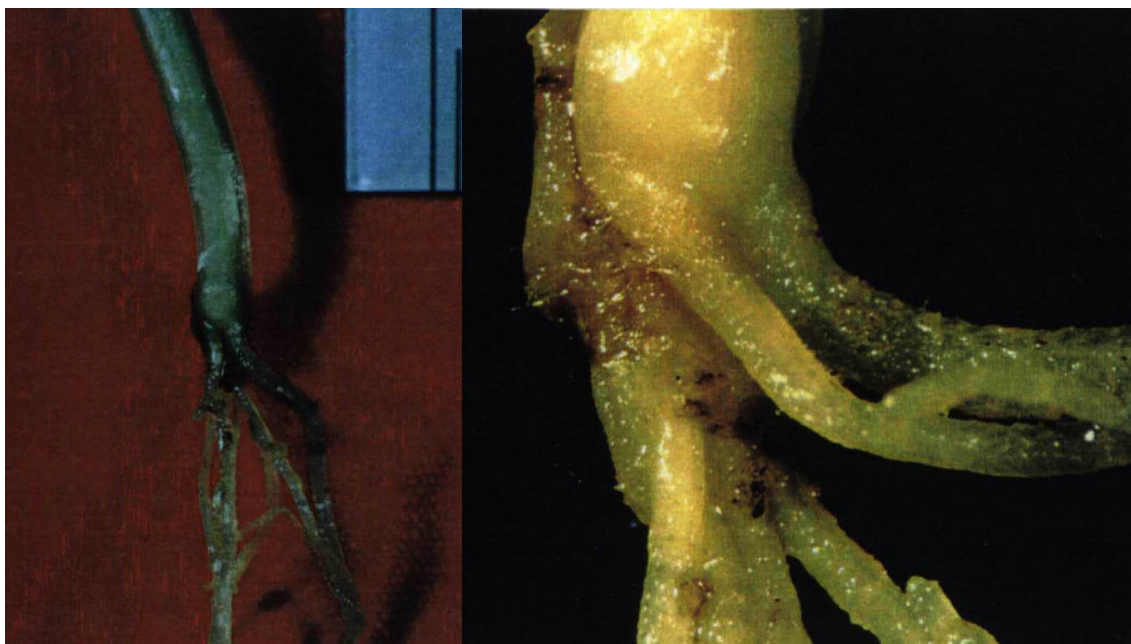


Fig. 3. Figures of seminal roots and crown roots in barley

中性土壌と比較した、酸性土壌に対する応答評価：

調査した大麦の幼芽 (shoot)、種子根、冠根に関して、その本数と長さは個々に測定し、総本数、総全長として合計した。伸長した shoot と根の総本数は各々発芽能、発根能と定義した。一方、shoot と根の総全長 / 総本数の値は各々伸長能と定義した。酸性土壌で生育した6つの植物個体に関するこれら形態的計数は中性土壌における値と統計的に比較検討した。

## 9. 結果

全般的生育：

酸性土壌では、アルミニウム過剰毒とそれに付随するリン酸、カルシウム、マグネシウム、モリブデン欠乏に加えて、マンガン過剰毒や、ホウ素欠乏も植物の生長を阻害することが良く知られている<sup>5)</sup>。土壌にはそれら肥料が施用されていることから、ホウ素欠乏やモリブデン欠乏の特徴的症狀は観察されなかった。しかし、酸性土壌で生育された発生初期では、アルミニウム感受性品種である Kearney, Skiff の第一葉先端部に褐色の斑点と局部的クロロシスの症狀が観察され、それは中性土壌では見られなかった。前者症狀はマンガン過剰症で、後者はカルシウム欠乏症狀と考えられた。

葉の酸性土壌栽培による生育応答：

播種後 10 日間、供試した 4 品種の葉の枚数は酸性土壌に影響されなかった。しかし、その後 10 日目から 25 日目の間、それらの葉の枚数は  $t$  - 検定 1% 有為水準で酸性土壌により阻害されていた (Fig. 1)。この結果は、酸性土壌における第 3 葉から第 7 葉の出芽阻害は本研究で検討している 4 品種のアルミニウム感受性と無関係であることを意味していた。

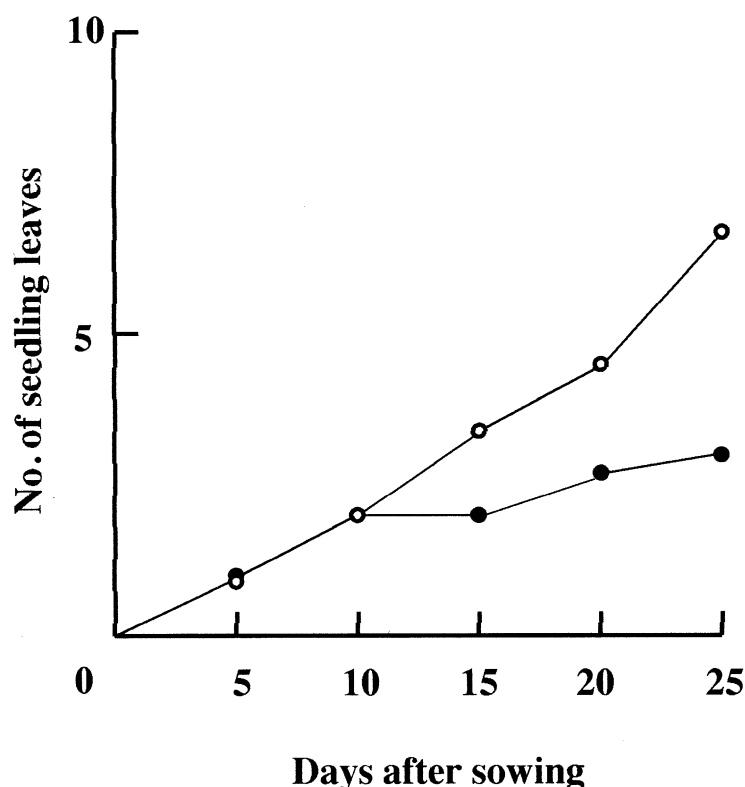


Fig. 4 Numbers of seedling leaves of Brindabella grown in acid soil (closed circles), or neutral soil (open squares). Values were indicated as average of 6 samples.

以上のように 4 品種においては酸性土壌で葉の出芽枚数が抑制されているため、本研究では葉の全長 / 葉の総枚数をを葉の伸長能と定義した。すなわち、播種後酸性土壌で 15 日間生育させたアルミニウム耐性品種、Brindabella の伸長能は中性土壌で生育した場合と差がなかった (Fig. 5)。しかし、その 15 日目以降、酸性土壌で生育した Brindabella の伸長能は中性土壌の場合より低い値を示した。また、酸性土壌と中性土壌で見られた Dayton の葉の伸長能はアルミニウム耐性品種 Brindabell と同様であった (data not shown)。一方、酸性土壌で 5 日目から 25 日目まで生育したアルミニウム感受性の 2 品種 Kearney と Skiff の葉の伸長能は中性土壌の 64.3-78% と阻害された (Fig. 5 点線)。

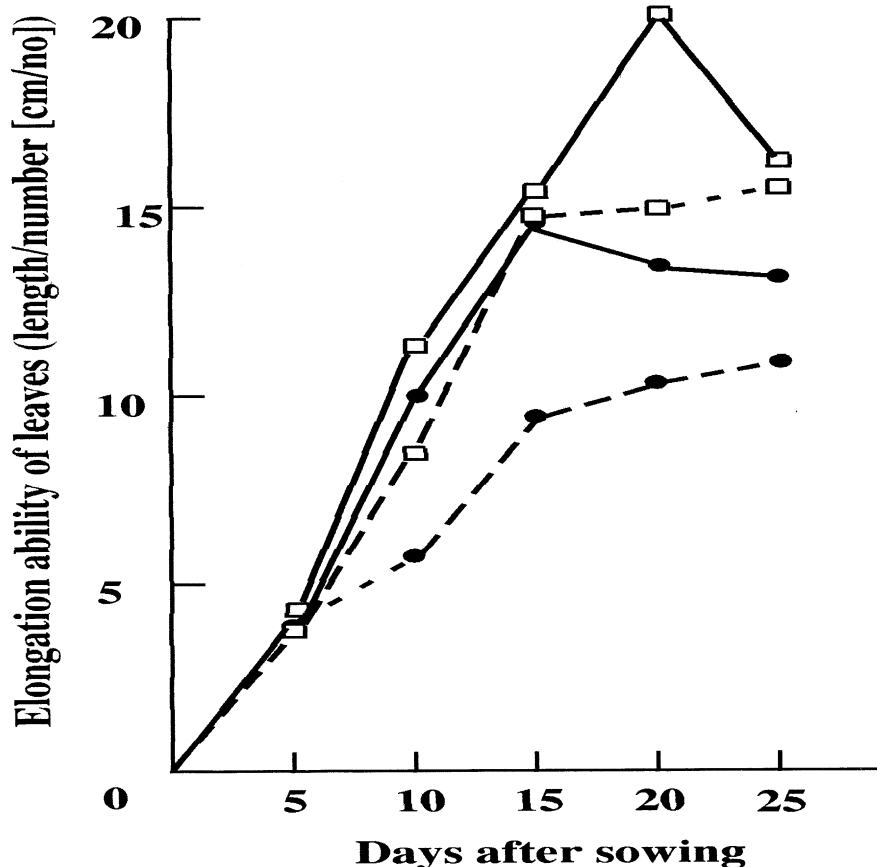


Fig. 5 Elongation abilities of seedling leaves of Brindabella (bold line), and Skiff (hatched line) grown in acid (closed circle), or neutral (open square). Values were indicated as average of 6 samples.

種子根の酸性土壌栽培による生育応答：

播種後 5 日目まで、供試した 4 品種では酸性土壌、中性土壌とも 5 本十分に発根した (data not shown)。それら 4 品種の種子根の本数は、酸性土壌と中性土壌で生育した場合で差がなく、あとの 20 日間 5-6 本であった。そのため、種子根の全長が伸長能として示し、酸性土壌と中性土壌に対する応答を比較している (Fig. 6)。すなわち、5 日目以降種子根の発根は止まり、酸性土壌で生育した Brindabella の種子根の全長 (伸長能) は中性土壌栽培に比べ阻害されず、促進されていた (実線)。酸性土壌栽培により種子根の伸長能が中性土壌栽培に比べ促進されることは Dayton でも見られた (data not shown)。反対に、播種後 25 日間アルミニウム感受性の 2 品種 Kearney と Skiff の種子根は酸性土壌で栽培すると伸長が非常に妨げられ、それぞれ中性土壌栽培の場合の 36.4%-66.8%, 32.6%-71.9%であった (点線)。

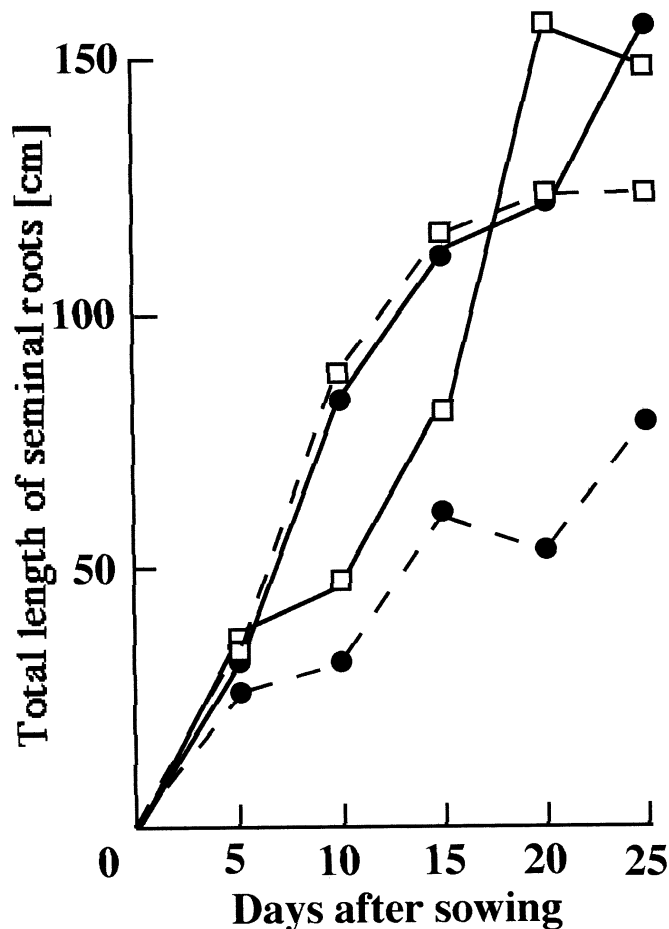


Fig. 6 Total length of seminal roots in Brindabella (bold line), and Skiff (dotted line) grown in acid (closed circle), or Neutral (open square). Values were indicated as average of 6 samples.

#### 冠根の酸性土壌栽培による生育応答：

播種後5日目、いくつかの植物体は冠根があり、いくつかはなかった(Table 1, a 列と b 列)。すなわち、酸性土壌栽培した Dayton 以外の Brindabella, Kearney, Skiff は冠根を出根した (Table 1, b 列)。一方中性土壌栽培では、Brindabella 以外の Dayton, Kearney, Skiff は冠根は出根していなかった。供試した6つの種子のうち冠根の出現率は4品種の発育時期で異なっていた。4品種について冠根出現率を比べると2つのタイプに分けられた。すなわち第1のタイプでは、いわゆる酸性/アルミニウム耐性品種 Brindabella と Dayton を酸性土壌栽培すると冠根出現率は全栽培期間にわたって中性土壌栽培の場合より低かった。第2のタイプでは逆に、酸性/アルミニウム感受性品種 Kearney, Skiff を酸性土壌栽培すると、その出現率は中性土壌栽培の場合と同等以上であった。すなわち、酸性/アルミニウム耐性品種の6種子の内いくつかは酸性条件で冠根の出根が抑制され、感受性品種では抑制ではなく促進されていた。冠根が出根しているものと出根していないものを含めると (Table 1, C 列)、冠根の伸長能は酸性土壌栽培と中性土壌栽培との間で多くの場合統計的な差が見られなかった。

Table 1 Developmental changes of crown root number in barley grown in acid soil (closed circle) and neutral soil (open square). a: numbers of not emerged crown roots, b: numbers of emerged crown roots, c: elongation ability of crown roots (total length /a+b)

		Acid soil Tolerant varieties				Acid soil Sensitive varieties			
		Brindabella		Dayton		Skiff		Kearney	
		Acid	Neutral	Acid	Neutral	Acid	Neutral	Acid	Neutral
5d	a	5.	4.	6.	6.	4.	6.	5.	6.
	b	1.	2.	0.	0.	2.	0.	1.	0.
	c	0.4	1.5	0.	0.	0.6	0.	0.1	0.
10d	a	3.	2.	5.	6.	0.	6.	0.	2.
	b	3.	4.	1.	0.	6.	0.	5.	4.
	c	4.7	1.6	1.5	0.	4.2	0.	4.2	0.4
15d	a	3.	1.	5.	0.	1.	1.	0.	0.
	b	3.	5.	1.	6.	5.	5.	6.	6.
	c	7.9	3.3	0.1	4.2	5.	2.2	6.6	4.6
20d	a	2.	0.	1.	0.	0.	0.	0.	0.
	b	4.	6.	5.	6.	6.	6.	6.	4.
	c	12.4	7.3	6.8	10.6	2.8	10.1	2.9	8.3
25d	a	2.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	b	4.	6.	6.	6.	6.	6.	6.	6.
	c	8.1	11.3	7.1	13.1	5.8	6.3	4.5	9.2

そのため、出根している冠根の本数とその長さについて、酸性土壌栽培と中性土壌栽培における伸長能を比較した(Fig. 7)。酸性土壌では、Brindabella の出根している冠根の伸長能は中性土壌栽培より高かった(実線)。Table 1で示したように、アルミニウム耐性であるBrindabella の冠根の出根は酸性土壌で抑制されているが、その全長は中性土壌の場合と差がなかった。一方酸性土壌で栽培されたアルミニウム耐性品種 Dayton の冠根の出根した本数とその全長は中性土壌栽培の場合に比べ抑制されていた(点線)。言い替えれば、Dayton の出根頻度は Brindabella のように酸性土壌栽培で抑制されているが、出根した冠根の伸長能は酸性土壌に阻害され、このことは、Brindabella と非常に異なった応答であることを示した。



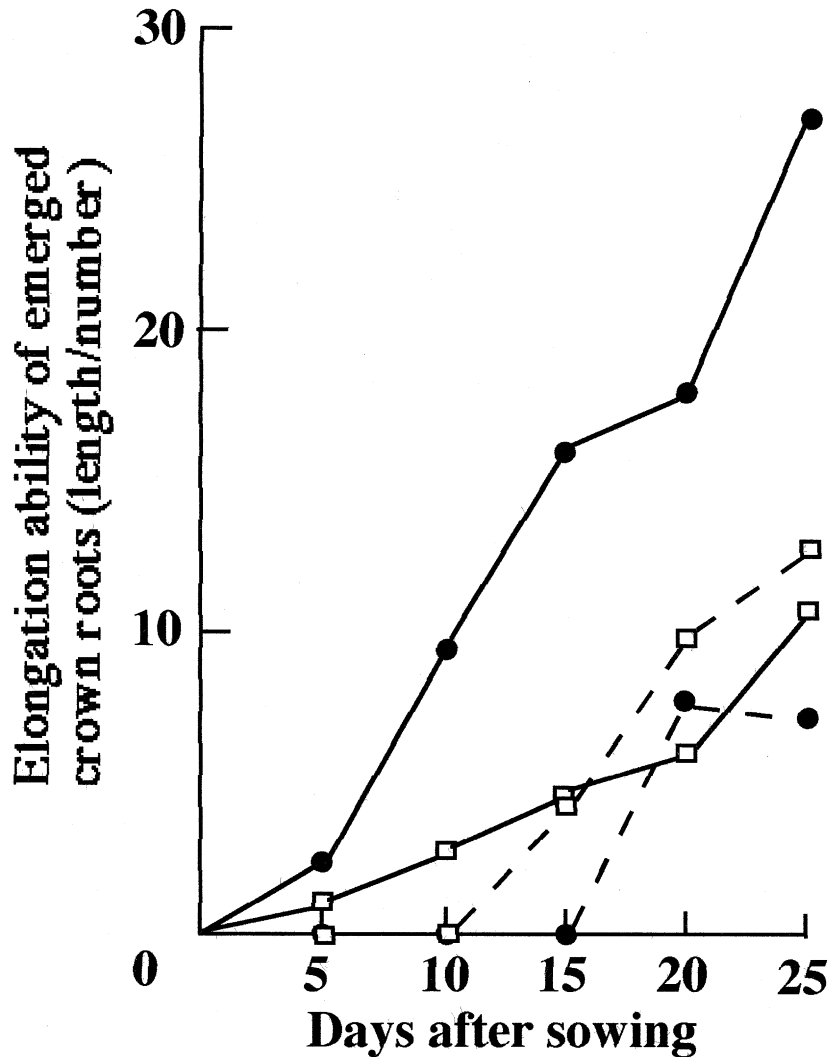


Fig. 7 Elongation ability of emerged crown roots in Brindabella (bold line), and Dayton (dash line) grown in acid (closed circle) and neutral soil (open square). Values were indicated as average of 6 samples.

酸性土壌栽培により、いわゆるアルミニウム耐性 2 品種の冠根は異なった応答をするが (Fig. 7)、アルミニウム感受性 2 品種、Kearney (点線) と Skiff (実線) の冠根は同様な応答を示した (Fig. 8)。すなわち、播種後 15 日間、酸性土壌栽培のそれらアルミニウム感受性 2 品種の冠根の出根頻度は中性土壌栽培の場合に比べて高かった (Table 1; b 列)。同時にその期間、酸性土壌栽培時に発根した冠根の全長 (closed circle) は中性土壌栽培時の全長 (open square) と同等かより長かった。すなわち、酸性土壌での伸長能は中性土壌の場合以上であった。一方その傾向は播種 15 日以後は逆転し、中性土壌栽培に比べ酸性土壌栽培での伸長能は阻害されていた。言い替えると、酸性土壌栽培によるアルミニウム感受性の 2 品種、Kearney と Skiff の冠根の応答は、播種後 15 日を境に変化し、初期にはその出根、伸長能とも促進され、後期には伸長能は阻害された。

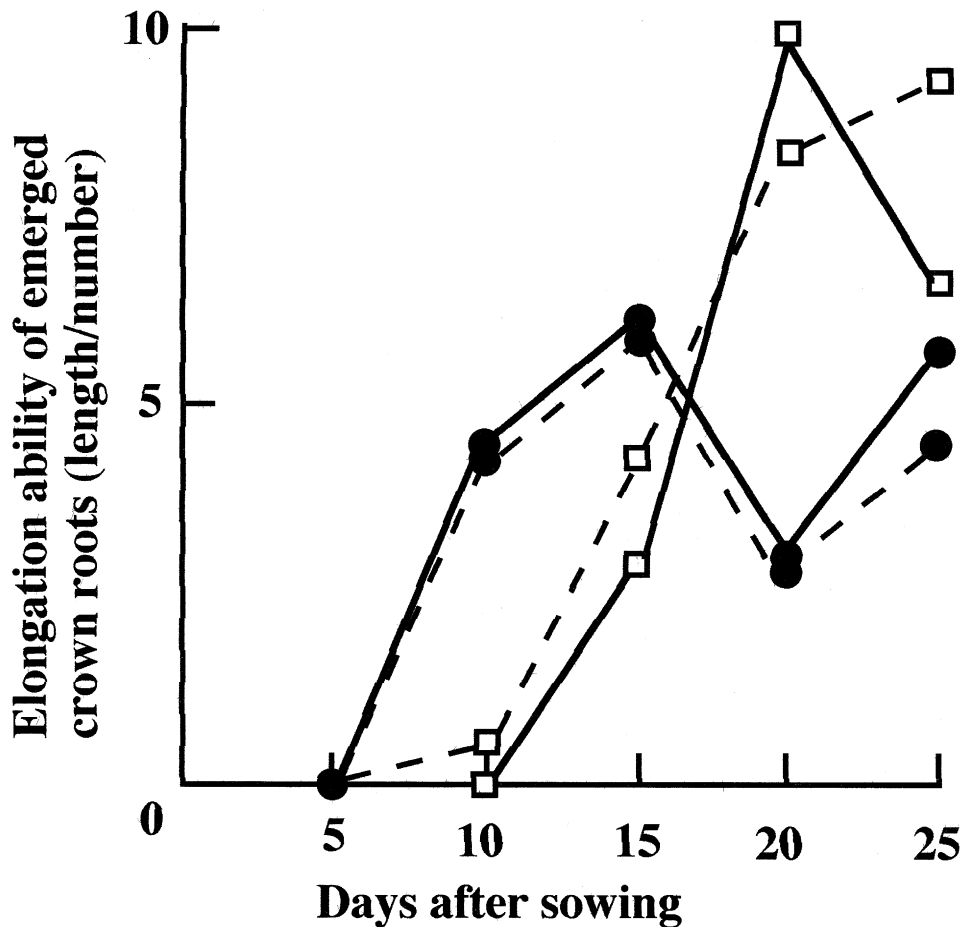


Fig. 8 Elongation ability of emerged crown roots in Skiff (bold line), and Kearney (dot line) grown in acid soil (closed circle) and neutral soil (open square). Values were indicated as average of 6 samples.

## 10. 考察

植物の根の形態形成については、種子胚由来の種子根，幼芽基底部から出根する冠根とそれら根からさらに細い根がでる側根が観察できる。根系を構成する根の種類や本数は植物により異なり，イネ科の中でもイネは種子根が1本であるが，大麦では5-6本である。また種子根が初期に出根し，その最大本数に到達する時期に冠根が出根する。一般的に，冠根に比べ種子根には側根が多いことが知られているが，種子根，冠根，側根の生理的機能についての研究は非常に少ない。それら形態的，発生的に異なる3種の根の生理機能の相互関係については，根の補償生長(compensatory growth)現象が見られ，それは茎葉部に比べて顕著である<sup>6)</sup>。大麦の根系については，その一部が低温，乾燥に晒されると，その部分での生長が抑制され，より好適な環境にある他の根の生長が促進され，側根の数，長さ，直径などが増加することが報告されている<sup>7)</sup>。本研究において，酸性土壌ストレスに应答する根系を種子根と冠根で個別に，またその应答(生長反応)については個々の植物について本数と伸長能を詳細に解析したが，このような解析は過去に例がない。

酸性土壌はその酸性度により，特にアルミニウム毒性が左右されることから，本研

究では強酸性度を示すオーストラリア土壌を用いた。酸性土壌で特徴的な欠乏症については肥料施用で補うことができたが、研究対象であるアルミニウム以外のマンガン過剰症を抑制することはできなかった。しかし、マンガン過剰症は葉や根の生育障害の報告がないことから、酸性土壌における主な障害は酸性/アルミニウムによると考えられた。また、オーストラリア酸性土壌と北米酸性土壌の特性についての比較解析は行っていないが、前者で育種されたアルミニウム耐性品種 Brindabella の持つ耐性応答機構は、後方で育成された Dayton と異なる可能性が推察された。

酸性土壌栽培における葉の生長については、その収穫期に耐性の程度で育種選抜されている。本研究では、酸性土壌栽培するとすでに播種後 5 日目から 25 日目の栽培初期に耐性 2 品種は同様に感受性 2 品種より伸長能が高い値を示した(Fig. 2)。酸性土壌栽培した感受性品種における葉の生長障害は、これまで根系障害の 2 次的結果であるとしてその研究に乏しかった。本研究の結果からは、葉の伸長能は種子根の出根能とは相関がなく、酸性土壌栽培による葉の伸長能障害は種子根の伸長能障害と高い相関があることが明らかになった。

酸性土壌栽培における種子根の生長障害については、非常に古くから研究されていて<sup>8)</sup>、酸性の水耕栽培実験によりイオン化したアルミニウムが種子根の伸長障害の主要因であることが知られている<sup>9)</sup>。本研究では、酸性土壌栽培はアルミニウム耐性 2 品種の出根能に影響を与えず、また Dayton の伸長能にはほとんど影響がないが、Brindabella の伸長能を播種後 5 日目から 15 日目まで促進していた。このことから、酸性土壌栽培に対する種子根の応答について Brindabella と Dayton は異なると結論した。

中性土壌栽培における冠根を出根する個体頻度については、供した 4 品種は非常に異なっていた。すなわち、播種後 5 日目から 33.3%の植物体は冠根を出根し、20 日目で 100%に達する Brindabella、10 日目まで 0%で 15 日目に急に 100%になる Dayton、5 日目あるいは 10 日目まで 0%でその後 10 日間で 100%に達する Dayton、Kearney が観察され、大きい品種間差が予想された。しかし、酸性土壌栽培においてアルミニウム耐性 2 品種の冠根を出根する個体の頻度は 2 品種で同様に中性土壌栽培に比べ抑制され、一方アルミニウム感受性 2 品種では同様に促進されていた。一品種内の個体間で中性土壌栽培すると冠根の出根に関して差があることは、その形質を司る遺伝子(群)が遺伝的に固定していないことが考えられる。しかし、酸性土壌栽培で冠根の出根がする応答する機構はアルミニウム耐性機構に伴って選抜されていると推定した。

さらに、アルミニウム耐性 2 品種が酸性土壌栽培で出根した根の伸長能についてはその 2 品種で大きく異なり、Brindabella では酸性土壌で伸長能が促進され、逆に Dayton では障害された。このことは、Brindabella の冠根の伸長応答遺伝子(群)は Dayton のものと本質的に異なることを示唆した。一方アルミニウム感受性の 2 品種の冠根伸長応答は生育時期により異なるが、それに対応する遺伝子(群)は同様であると結論した。

以上を下記の中性土壌栽培に比較した酸性土壌栽培応答表にまとめると、アルミニウム耐性 2 品種 Brindabella と Dayton、アルミニウム感受性 2 品種 Skiff と Kearney のアルミニウ

△耐性機構に関連する，アルミニウム感受性機構に関連する特徴的応答は

- 1) Brindabella：葉の伸長能，種子根の出根能は酸性土壤栽培ストレスに影響されないが，種子根の伸長能は促進され，また冠根を出根する種子の頻度は酸性土壤栽培ストレスに阻害されるが，その出根した冠根の伸長能は促進された。
- 2) Dayton：葉の伸長能，種子根の出根能と伸長能は酸性土壤栽培ストレスに影響されない。
- 3) Skiff：種子根の伸長能，栽培後期の冠根の伸長能が阻害される。
- 4) Kearney：種子根の伸長能，栽培後期の冠根の伸長能が阻害される。
- 5) Brindabella と Dayton の比較： Brindabella では種子根と冠根の伸長能が促進されるのに対して，Dayton では種子根の伸長能は影響されず，冠根の伸長能は阻害される。

### 1 1 . 今後の展開

酸性土壤栽培によって、大麦の葉，種子根，冠根，それぞれの出芽（根）や伸長能が応答する様式が明かになった。これらの応答は遺伝子の発現調節の結果であることは明かであるが，生理・生化学的に解析を進める一方で，品種間差が見られる応答については遺伝子の解析が関与する遺伝子の数や，染色体上の位置を知る上で有効である。また本研究では強酸性土壤としてオーストラリアの褐色土壤を用いたが，植物防疫規制の厳しいオーストラリアでの遺伝子連鎖分析は困難である。今後は，わが国のオーストラリアに似た土壤特性と言われる長崎県諫早地域の強酸性土壤を用いて本研究を追試し，連鎖分析を展開する。

一方，種子根と冠根の生理・生化学的解析については，イネ科の中でもイネは種子根は1本で大麦は5，6本であり，一般的生育（種子根と冠根が共存する生育期）では後者は窒素源をアンモニア体で前者は硝酸体で接取することが知られており，進化的にも興味ある問題である。今後は窒素代謝から種子根と冠根の生理・生化学的解析を進める予定である。

### 1 2 . 参考文献

1. Kochian L.V.: Ann Rev. Plant Mol. Biol. 46, 237-260, 1995
2. Tice K.R. et al., Plant Physiol. 100, 309-318, 1992
3. Foy C.D. et al., Agronomy J. 57, 413-417, 1965
4. Troughton A.: The roots of temperate cereals. C. A. B. 1962
5. Marschner H.: Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, 1985
6. 森田茂紀，阿部淳編：根の辞典，朝倉書店 1998
7. Crossett R. N. et al., Plant Soil 42, 673-683, 1978
8. Burgess P.S. et al., Rhode Island Agri Exp. Sta Bull. 194, 1923
9. MacLean A. A. et al., Can J. Soil Sci. 46, 147-153 1966

### 1 3 . 研究業績

#### 1 3 1 原著論文

- 1 . A. Saito, Y. Masaoka, J.S. Moroni, B. Scott, B. Read and K. Sato: Compensatory growth of crown roots in the Al-tolerant barley variety, Brindabella grown in the

Australian acid soil submitted

1 3 2. 総説 なし

1 3 3. 国際学会発表

1 . A. Saito, Y. Masaoka and K. Sato (1998) Developmental tolerance of acid/aluminium for barley, 1998 National soil acidification conference 15-17, Australia

2 . A. Saito, Y. Masaoka and K. Sato (1999) Differential responses of seminal and crown roots among barley cultivars (*Hordeum vulgare*) under acid and acid/aluminium stress in hydroponics. Plant and Animal genome VII, San Diego, CA

1 3 4. 国内学会発表

1 . 斎藤彰, 正岡淑邦, 小林紘一, 永井尚生, 荒川祐介, 宮崎力, 羽鳥聡: 植物細胞におけるアルミニウムの作用・機能解明.

第7回東京大学原子力研究総合センターシンポジウム(1998)東京

1 3 5. 新聞など なし

1 3 6. 特許 なし

1 4 . 英訳

(1) Research Title : Tolerance Mechanisms for Aluminium stress in Plant  
Research sub-title : III. Differential mechanisms of barley seminal and crown roots corresponding to aluminium stress in acid soil

(2) Research organization : Labo. of Plant Biotech. Kyushu National Agricultural Experiment Station (KNAES)

(3) Researcher : Akira Saito

(4) Co-researchers : Yoshikuni Masaoka (KNAES)  
Kazuhiro Sato (Okayama Univ.)  
Brendan Scott (Wagga Wagga Agriculture Research Institute, NSW Australia)

(5) Research periods : 1995-1999

(6) Abstract

Under a condition of acid soil lower than pHwater 5.5, aluminium (Al) in the soil is ionized to be one of the most serious growth-limiting factors to impair most of cereal growth. Although the elongation of either the seminal roots or total roots (seminal and crown roots) in the cereal has been analyzed on the response to the Al toxicity in lots of previous studies, it was unknown about the root numbers and the differential responses among the seminal roots and crown ones. In this study with low-power microscopic observation, we compared the developmental morphology of growing barley (*Hordeum vulgare* L) shoots and two kinds of the roots for 25 days after the sowing in pots with the

Australian acid soil (pH<sub>CaCl2</sub> 4.15) and the neutralized one by lime incorporation (pH<sub>CaCl2</sub> 6.15). In the acid soil and the neutralized one, the responses of the shoots and the each root system (seminal and crown roots) among two Al-tolerant varieties (Brindabella and Dayton) and two Al-sensitive varieties (Skiff and Kearney) were characterized on the bases of the emergence ability defined by the total numbers and the elongation ability by the total length/total number. The emergence ability of the shoots in both Al-tolerant and Al-sensitive varieties were depressed by the acid soil, while the elongation ability in the Al-tolerant varieties was less inhibited than that in the Al-sensitive varieties. On the other hand, the ability of emergence in the seminal roots among all barley varieties tested was almost less susceptible to the acid soil. As similar as reported in the previous comparative studies on the seminal roots between Dayton and Kearney, the elongation ability of the seminal roots in Al-tolerant Brindabella were less inhibited than that in Al-sensitive Skiff. It was noteworthy that the elongation ability of the crown roots in Brindabella grown in acid soil was promoted as compared with those grown in the neutralized one. Because this activation in the crown roots was accompanied with the inhibitions in the elongation ability of seminal roots and in the emergence of crown roots by acid soil, it might serve as compensatory growth in the acid soil. Additionally, the activation of the elongation ability in the crown roots was observed in Al-tolerant var. Brindabella, but in Al-tolerant var. Dayton and Al-sensitive varieties, Skiff and Kearney. We suggest that one of Al tolerant mechanisms in Brindabella could be different from that in Dayton, especially as for the compensatory response of elongation ability in the crown roots.