

作物の塩害に関する研究 (VII)

第7報 小麦の塩害と金属代謝

太田勝一*・小合龍夫**・笹井一男**

Studies on the salt injury on the crops (VII)

Relation between the metallic elements metabolism of wheat
and the salt injury.

Katsuichi ŌTA, Tatsuo OGŌ and Kazuo SASAI

The authors studied the relation between the metallic elements metabolism of wheat and the salt injury, having used a local variety, "Nōrin 52", and determined by emission-spectro-analysis the content of the following 10 metallic elements in the tops of plants: Fe, B, Si, P, Mn, Mg, Ca, Cu, Na, and K. Especially the Na contents in all the leaves, all the internodes and the ear were determined separately. The results were summarized as follows:

1) The great increase of Na content was observed in the tops of plants grown in the nutrient solutions containing NaCl, but the increase of K content was slight and the others tended to decrease as far as this experiment goes.

2) In regard to the Na-distribution in the tops of plants, it was found that the Na content was the greatest in the stem, next in amount in the leaves and least in the ear. The content was nearly equal in the all internodes, but it was larger in both the upper and lower leaves than in the intermediate leaves.

3) As far as this experiment is concerned, the so-called "salt injury" seems to be caused by both the combined effects produced by high concentrations of all salts and the secondary and tertiary effects that originate from combinations of different salts.

緒 言

筆者等は先に作物に対する塩類の影響について水稻及び小麦を供試し、それ等の塩類と発芽、伸育との関係及び出穂、稔実との関係、或は塩分濃度と吸水との関係、或は炭水化物代謝との関係、或は酵素との関係、或は発根との関係等について研究成績を報告した。

その結果何れも比較的高濃度の塩分は常に悪影響があり、すべての生理現象を悪化せしめる事実を知った。茲に於て筆者等は更に起因の一つと考えられる NaCl の吸収、蓄積と他要素との関係について実験を行い、極めて概略の結果を得たのでここに報告する。

尚本実験を行うに当り、本学部畔柳鎮、石川達芳の両氏に多大の援助を得た。記して謝意を表する。

實 験 方 法

1) 金属元素の消長

小麦農林52号を用い、12月5日^{1/5} Wagner-pot に播種し、試験区を塩分濃度 (NaCl%) の 0%, 0.5%, 1.5% の3区に分けた。3月19日それ等の地上部を採取し、分析に供した。当時の

* 岐阜大学農学部作物学研究室 ** 岡山大学農学部作物学第一研究室

葉数は何れも9枚で、草丈は0%区：46.2cm内外、0.5%区：42.0cm内外、1.5%区：23.6 cm内外であつた。

2) Na 元素の体内分布

小麦農林52号を10月18日 1/2^方 Wagner-pot に播種し、11月13日に至つて、1.5 NaCl%区及び標準区の2試験区を設けた。1)と同様 3月19日葉は葉位別に、茎は節位別に採取して分析に供した。

尚何れも砂耕栽培とし、温室内で生育せしめた。用いた培養液の処方は次の如くである。

A 液	B 液
K ₂ HPO ₄18 g	Ca (NO ₃) ₂ 9 g
(NH ₄) ₂ SO ₄ 9 g	蒸溜水.....2.4 l
MgSO ₄24 g	
蒸溜水2.4 l	

上記原液 A, B を 50 cc 宛, 1 l の水道水に稀釈した。

分析は何れも発光分光分析に従つた。電源は交流 100 V, フォイスナー型島津火花発生装置を使用した。電極には純炭素棒を用い、その一端に予め灰化せしめておいた試料を充填した。火花スペクトルは島津水晶分光写真機 Q-F 60型で撮影した。尚スリットは0.05 mm, 露出時間は2分間とし、各試料共、露出前30秒間の予備放電を行つた。乾板は富士分光写真用乾板(プロセス), 現像はF-D-31液にて 20°C, 7分間であつた。

試料内の各元素濃度は乾板をスリット 0.1mm×5mm の Galvanometer に依り、その黒色部を通過した光の強さを以つて示した。此の Galvoscale 上の読みは試料内の当該元素濃度と或る函数関係にある事が認められているのであるが、直接その濃度を決定するには本装置の誤差更正を必要とし、現在尚正確を期し難い点が認められるので、特に Galvoscale 上の読みを以つて記載した。従つて此の結果は他元素間の数値には何等の関係を持たない事、即ち他元素間では数値の大小が直接濃度の大小に相当し得ない事も特に附記しておく。

尚本実験により求められた元素名及びその波長は次の如くである。

元 素 名	波 長
Fe	2395.6 Å
B	2497.7 "
Si	2516.1 "
P	2535.6 "
Mn	2605.7 "
Mg	2936.5 "
Ca	3179.3 "
Cu	3247.5 "
Na	3302.3 "
K	3440.4 "

實 験 結 果

1) 金属元素の消長

結果は第1表、第1図の如くである。之に拠れば NaCl の添加量の増加に伴い、急激に体内の Na 量は増加し、K を除く他の元素は逆に何れも減少の傾向が認められる。然してその減少の度は一般に処理の事実が大きかつた。又 K は甚だ不明確であるが、やゝ増大の傾向がある。

Table 1 Relation between the metallic elements and the kinds of treatment test (Galvanometer value).

Elements	Plot (NaCl %)		
	0%	0.5%	1.5%
Fe	8.5	21.7	27.0
B	8.2	28.4	34.2
Si	1.8	10.5	13.2
P	6.2	10.2	25.2
Mn	28.2	30.6	30.5
Mg	16.4	28.5	29.7
Ca	3.0	4.8	4.5
Cu	8.2	9.4	16.9
Na	11.4	1.4	0.5
K	9.2	9.8	7.3

2) Na 元素の体内分布
 茎, 葉, 穂各部位に於ける体内 Na の分布は第2表, 第2図

Table 2-1 Relation between the Na element and the part of wheat plant (Galvanometer value)

Leaf		Stem	
Top leaf	0.50	Top internode	0.43
2nd leaf from top	0.75	2nd internode from top	0.48
3rd "	1.00	3rd "	0.40
4th "	0.85	4th "	0.55
Lower leaves	0.70	5th "	0.50

Fig. 2 Relation between the Na element and the part of wheat plant (Galvanometer value)

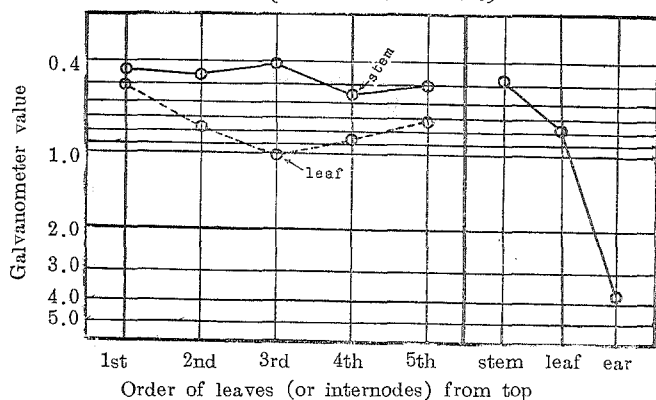
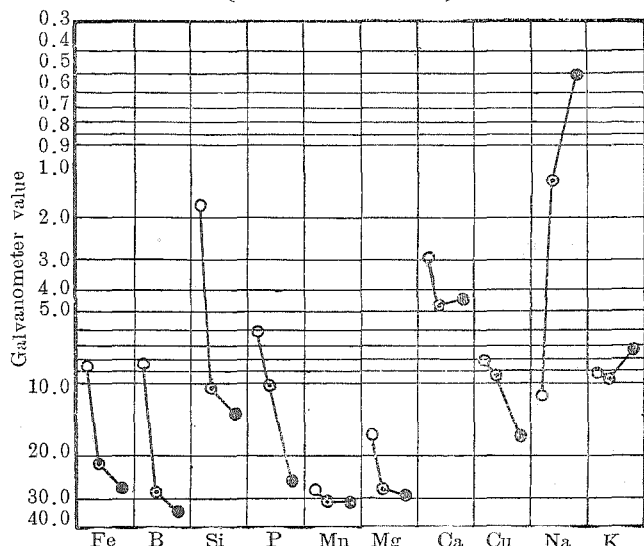


Fig. 1 Relation between the metallic elements and the kinds of treatment test (Galvanometer value)



Notes: ○ 0%-plot; ◐ 0.5%-plot; ● 1.5%-plot.

Table 2-2 Mean value for above table

Leaf	Stem	Ear
0.66	0.47	3.80

に示す如く, その量極めて多く, 特に茎部は葉部に比し多く, 穂は最も少かつた. 尚茎部の節間間の差は殆んど認められず, ほゞ一様であつた. 又葉に於ては止葉に多く, 漸次下位葉に少くなり, 更に下位葉では再び漸増の傾向が認められた.

考 察

Na が作物の生育に必要であるか否かは現今尚明にされていないが, 少なくともそれが作物の代謝生理に関係し, 或は K の機能を代行し, 或は磷酸を有効化し, 或は耐旱性を増し, 或は Alkaline としての働きをする

等その growth 及び differentiation に良結果を与える事実は既に多く認められた所である。即ち Volk (1945) は棉、燕麦、小麦、甜菜、Vetch, Austrian Winter Pea 等で最高収量を得るためには絶対的に必要な事を認め、Russell (1945) も小麦に於ては明に良結果が得られると報告した。又 Miller (1938) は K 欠乏の土壤では Na の添加が土壤内の K を有効化して生育を助長し、又海水中に含まれる他の塩類の害作用に対して解毒の効果のある事実を認めている。

又 Cl の機能についても明でなく、唯だ土壤の有効要素含量を変化させる事等が起因となつて作物体に影響を与えるのであろうと推察せられているに過ぎず、従つて NaCl の作物体に及ぼす生理機構については尚不明の点が多い。併し之が毒性については既に幾多の報告があり、筆者等 (1951~1953) は比較的高濃度に栽培した水稻、小麦に悪影響のある事を認め、Eaton (1942) は玉蜀黍、トマト、小麦等で、又 Hayward (1941) はトマトで、同様の事実を認めているが、然し何れもその原因については理論的推察に終り、害機構の解明は今尚困難とされている。茲に於て筆者等は吸収された元素量を追跡する事に依つて何等かの端緒が得られるのではないかと推察し、此の実験を行つた。即ち与えた NaCl 濃度の増加に伴い地上部の Na 含量が急激に増加し、K 含量は僅かに増大したが、他の元素 (Fe, B, Si, P, Mn, Mg, Ca, Cu) はすべて減少した事実を認め、此の現象が一応生体の適応の方向に向けられていると推察し、更に濃度の増加に随い、生理現象の不良となる理由として、上記各元素間の適応作用力の行き過ぎから、或る必要元素の不足を来すのみならず、次第に Na, Cl の害作用が増し、之等の不均衡から来る多くの要因も加わつて、枯死するものであろうと推定する事が出来た。之が事実は Wallace (1951) が無機元素の毒性に関して、その現われる type の 1 つとして取り上げ、特に Na イオンの過剰は K の過剰が Mg, Ca 欠乏を来すと同様に Ca 欠乏の現象を生ずると述べ、Niklewski (1911) は Ca, Mg を含む細胞が K 又は Na 単液に浸されると水の場合に比し、拡散が大となる事を認め、三井 (1953) も同様、根圏培地の塩類に依り、根中の Ca は置換排出せられ、Ca の減少を来すと述べた結果と一致する所である。又 Wallace (1951) は Na, Cl の如き元素は必要元素に属し得ないが、それ等の特に高濃度の場合に植生が影響されると述べており、本結果の比較的低濃度に於ける個体に、Na 含量が異常に高い事実と生育の遅延の少い事実を裏付けるものである。又 Wadleigh & Bower (1950) も Red Kidney Bean を用い、アルカリ土壤に生育した場合には、土壤の Exchangeable Na % の増加に伴い、Ca の有効度が減退する事を認め、同様事実は Ratner (1944), Richard (1947) 等に依つても認められている。

然して Wallace (1951), Wadleigh (1950) 等は Na の増加に伴う植物生育様相の変化も全く Ca 欠乏の現象と同一であると述べているが、筆者等は高濃度に於ける之等害的因子の複合性を推察するが故に未だ Ca 欠乏のみの現象としては観察していない。

更に又 Bower & Wadleigh (1948) は土壤中に Exchangeable Na % が増大すれば、地上部の Na 含量が増大し、Mg 含量を減少せしめると述べているが、此の事実も本実験と一致する。更に同氏等 (1950) は土壤中の K 量が一定であつても、土壤中の Na が増せば、根部の K 含量が著しく減じ、茎部では逆に増大し、葉部も茎部に較べて稍々少いが増加する事実等から、根部に於ける Na の集積は葉部に於ける之等イオンの共存、集積に関係して、K を部分的に移行する事を報告し、又 Lowes 等 (1884) は土壤に Na_2SO_4 を加えると、可溶性の K が増す事を認めている。本実験に於ては根部の測定は行わなかつたので K の減少事実は認めなかつたが、地上部では多少斯る傾向を認める事が出来た。又 Wadleigh & Bower (1950) は NaCl を培養液に添加すると、根部の Na 量は増大するが、同時に多量の Ca を与えると Na の吸収が制

限されて K 含量が増加し、一方添加 Ca 量が比較的少ない場合 (約 0.125me/l) には、Gauch (1940) も認めた如く、茎、葉の Mg 含量が異常に多くなると述べているが、本結果では Mg の増大の事実は認められず、之等観点からするならば、Ca が比較的多い場合に一致したものであろう。従つて上述した如く、Wallace, Wadleigh 等の示した Na の増大に伴う Ca 欠乏が現われるとするならば、更に Mg の害も加えられて来る事になる。

次に本実験に於ける P の減少は、所謂 P と Cl イオン等の水の親和性から引き起される Boas effect を認める事実となり、三井 (1953) が水耕の場合に示した稀薄塩類溶液と磷酸の有効化の問題である所謂ドナン膜平衡の事実は認められない結果となり、濃度の増大と共に、イオン作用圏の変動が起つたものと思われる。

又 B は海水中に多く含まれ、之が体内に於ける増大、毒性については充分推察し得る所であるが、Cl の高濃度との関係が大きく作用するのか、又 K/Ca-ratio の regulator の役割を果たすためか明かでないが、減少の事实在認められる。

然るに之等元素間では古くから Antagonismus, Synergismus 等として種々取上げられ、本実験に関する二三のものを上げると、前者では Na vs. Ca, Na vs. K, Na vs. Sr, Na vs. Ba, Na vs. NH_4 , K vs. Ca, Mg vs. Ca, Fe vs. Mn 等、後者では Ca vs. B, Cu vs. Fe, Mg vs. PO_4 , $\text{NO}_3\text{-N}$ vs. K 等が示されており、之等関係から上述した事実も個々に解決し得る場合もあり、その他の Fe, Cu, Mn 等は二次、三次的に関係するとも考えられるが尚明かでない。

更に Bear 等は作物体内の Cation の量について述べ、個々の Cation の間には量的に極めて大きな変異があるが、体内の Total cation は略々一定であるとしている。本実験の結果も前述した如く、Na 含量の著しい増加に対して、他の Cation の大部分が減少し、Total cation の変化を少なくする様に伺われたのも上述した生育限界内に於ける適応反応と考えられるものではなからうか。然るに同氏等 (1949) は多量の Cation を含む植物は多量の金属 Anion を含んでいる傾向があり、Total Cation/Total Anion-ratio は培養液の種類、気候条件等々の外的因子に左右される事なく一定である事をも認め、之に反して三井 (1953) は塩素を作用せしめた場合、水稻体内の Anion 量は Cation 量に比して多い事実を認め、その何れかは尚明かでない。更に下瀬 (1953) も生育限界内では、乾物%として約 6% の Cl を測定し、Cl 含量の極めて多い事実を認めており、この事実に近い事は筆者等の過去の結果から総括しても推定されるが、一方 Si, P 等の Anion の減少の事実も認められる所であり、又体内全窒素量には NaCl の添加の影響が少ない事実 (未発表)、更に又 K の僅かに増大の事実等から、生育限界内では生育の事実とイオンの均衡から Anion/Cation-ratio は一定値をもたらすであらうと推察するものである。

上述した如く、イオン吸収に関する多くの研究者の結果と本実験の結果とは多くの一致する所を有しているが、個々の関係が各々塩害の起因となるかは尚疑う所であり、之等の複合作用から生ずる異常吸収、蓄積として考える所の多くが含まれ、塩害は之等の適応作用力の極限に生ずるものと推察する。

更に Na イオンの体内分布に見られる如く、極めて多量の Na は各部位に認められるが、特に穂に比較的少いのは Na が粒構成に与らないためか、移行がさまたげられていると推察し、茎葉の差は他の何れの元素にも見られる関係であり、特に茎に集積する場合があるが如き事実と推察する事が出来る、又既に枯死状態にあつた下位葉の Na 含量と大した差がなかつた上位葉に害徴を見なかつた事実は、下瀬 (1953) が枯死個体で Cl 量として 8~10% の極めて多い事実を認め、Hoagland (1948) が地上部が枯死すると phloem をも通じて Na が上昇する事を述べているの

で、枯死が Na の多量に起因すると云う事実は認められない所であるかも知れないが、然し Na 含量の急激な増加が枯死直前後の何れに生じたかは尚疑問として残される所であり、根圏培地の Na と根の活力との関係等から、Na の高濃度に於ける直接的害作用も尚起因の一つとして考えられ、更に又高濃度に於ける全塩類の存在に起因する複雑な関係の外に、出口等 (1953) が認めた如き、Ca, Mg, Fe, Mn 等の欠乏に由来する細胞 pH の低下、又先に報告した多くの現象等の二次的或は三次的に現われる害が加つて所謂塩害と云う事実が構成されて来るのではなからうか。

摘 要

小麦の塩害と金属代謝との関係について実験を行い次の結果を得た。尚分析は発光分光分析に従い、その地上部の Fe, B, Si, P, Mn, Mg, Ca, Cu, Na, K 等の含量を求め、特に Na に於ては葉位別、茎の節位別及び穂の各部に於ける含量を測定し、その分布を観察した。

1) NaCl の添加と共に、地上部 Na 量は著しく増大し、K は僅かに増大し、他の元素はすべて減少の傾向が見られた。

2) 作物体内の Na 含量の分布は茎に最も多く、葉は之に次ぎ、穂は最も少かつた。然して茎の節位別の分布には差が認められなかつたが、葉では中位葉が上位葉、下位葉に比し僅かに少かつた。

3) 本実験結果から推察すると、所謂塩害なる事実は全塩類の高濃度に於ける複合作用と、之に起因する二次、三次的の影響が綜括せられたものであろう。

主要参考文献

- 1) 出口正史, 小島五郎 (1953): 苦土の作物栄養に関する研究 (I) 日土肥雑, 23 (4): 267~272
- 2) EATON, F. M. (1942): Toxicity and accumulation of chloride and sulfate salt in plants J. Agr. Res. 357~
- 3) HAYWARD, H. E. and E. M. LONG, (1941): Anatomical and physiological responses of the tomato to varying concentrations of sodium chloride, sodium sulphate and nutrient solutions. Bot. Gazz. 102 (3): 437~462
- 4) HOAGLAND, D. R. (1948) Lecture on the inorganic nutrition of plant.
- 5) 岩城, 太田, 赤松, 加戸 (1951): 作物の塩害に関する研究 (第一報) 岡山農專論文集
- 6) 岩城, 太田 (1951): 同上 (二報) 日作紀. 21 (1~2)
- 7) 岩城, 太田, 小合 (1952): 同上 (第三報) 岡山大学農学部学術報告 1
- 8) 岩城, 太田, 小合 (1953): 同上 (第四報) 日作紀. 22 (1~2): 13~14
- 9) 太田, 小合, (1953): 同上 (第五報) 日作紀. 22 (1~2): 77~78
- 10) 太田, 小合 (1953): 同上 (第六報) 日作紀.
- 11) MILLER, E. C. (1938): Plant physiology
- 12) 三井進午, 木内知義 (1953): 作物の養分吸収に関する動的的研究 (VI) 日土肥雑, 23 (3): 178~182
- 13) WADLEIGH, C. H. and C. A. BOWER (1950): The influence of calcium ion activity in water cultures on the intake of cation by bean plants Plant physiol., 25 (1): 1~12
- 14) WALLACE, A. and F. E. BEAR (1949): Influence of potassium and boron on nutrient element balance in and grown of ranger alfalfa Plant physiol. 24 (4)
- 15) WALLACE, T. (1951): The diagnosis of mineral deficiencies in plants.