

ストレス耐性植物の種子中含有元素組成の特性に関する研究

1. オオムギ網斑病抵抗性および感受性品種

村本 茂樹

Research on the characteristics of element concentration in seed of resistant plants
for some kinds of stress

1. Resistant and susceptible barley varieties to Net blotch disease

Shigeki Muramoto

キーワード：オオムギ網斑病抵抗性、含有元素、悪環境耐性植物

1. 緒言

オオムギ網斑病は糸状菌の一種 (*Pyrenophora teres* Drechs.) によってオオムギの葉身、葉鞘等に網目状の病斑を生じ、子実の豊熟低下による減収が生じる病害であるが、豊熟後期の活性低下によるものと認識され重要視されていなかった。しかし、佐藤、武田 (1992) によると、ビール麦では醸造品質であるエキス成分が低下する病害であり、近年、北海道、鹿児島県等のビール小麦栽培地域でオオムギ網斑病の局所的な激発が見られると報告されている。発病の原因は連作や水質の汚濁化が考えられ、その防除法には種子消毒および殺菌剤の茎葉撒布などがあるが、環境汚染にもつながるために抵抗性品種の検索、開発が切望されている。オオムギ網斑病に対する抵抗性品種の検索と幼苗検定法の検討がなされたオオムギ (佐藤、武田1992) の、5,102品種について発病程度を褐点から枯死に至る病斑指数による10

段階評価 (Tekauz 1985) で抵抗性評価が行われた。その結果、オオムギ網斑病の抵抗性品種および感受性品種が明らかにされ選別された。網斑病抵抗性を持つオオムギでは、生育初期に比べ成長段階が進むに従い抵抗性が増大する傾向がある。

これは表皮細胞の物理的強度の増大や生体内成分の変化と関連すると考えられると報告されている。(Khan and Boyd 1970, Tekauz 1986)。しかし、幼苗期の抵抗性で評価した本方法は、病原菌接種時の宿主は2葉期と若く、胚乳の貯蔵養分に依存していると考えられ、施肥量の影響は少ないと思われる報告されている。すなわち、幼苗期における抵抗性は種子貯蔵物質に大きく依存し、栄養塩類以外の無機元素が抵抗性に何らかの関係をすることも推察される。そこで、本研究はこれら網斑病抵抗性が明らかに異なる抵抗性オオムギおよび感受性オオムギの種子中の含有元素に着目し、オオムギ網斑病に対する抵抗性品種と感受性品種の間の微量無機元素の含有濃度お

よび元素組成の差異特性を解析し興味ある結果を得たので報告する。

2. 試料採取および分析方法

2. 1 材料及び方法

研究対象としたオオムギ試料は、岡山大学資源生物科学研究所大麦系統保存施設に貯蔵されていたもののうち、佐藤、武田 (1992) によってTekauz病斑指数に基づき10段階評価されたものを対象とした。網状斑病抵抗性オオムギおよび感受性オオムギの種子を各20粒を主要元素および微量元素分析に使用した。供試したオオムギ網斑病の抵抗性品種および感受性品種をそれぞれTable 1, Table 2に示した。

2. 2 分析方法

供試オオムギは0.1M-HNO₃で洗浄し、熱風乾燥器中で60℃、48時間乾燥後、乾燥重量を測定した。乾燥試料を混酸HNO₃-HClO₄ (4:1) を用い有機物を湿式灰化後、0.1N-HCl溶液で一定容とし、グラフアイト炭素炉原子吸光分析装置で主要元素を測定した。極微量元素については濃縮操作を行い各3回の測定を行った。測定元素はCa, Mg, K, Na, Si, Zn, Al, Fe, Mn, Cu, Mo, Cr, Ni, Co, Vの16元素である。分析結果から各試料中の元素含有濃度を明らかにするとともに抵抗性および感受性オオムギについて品種群間の含有濃度の有意差検定を行った。

3. 結果と考察

3. 1 オオムギ網斑病に対する抵抗性品種および感受性品種の種子中主要元素の含有濃度比較

オオムギ網斑病の抵抗性および感受性オオムギの各含有元素濃度の平均値をFig. 1, Fig. 2にそれぞれ示した。オオムギ網斑病抵抗性と評価された10品種の乾燥重量の範囲は1粒当たり37.3~48.9 mgであり、平均値は44.1±4.95 mgであった。また含有元素組成の濃度順位は、K>Mg>Ca>Si>Na>Zn>Al>Fe>Mn>Cu>Mo>Pb>Ni>Cr>Cd>Co>Vであった。Mo以下の7元素は極微量であった。各品種間の元素濃度変動は少なく、いずれも20%以内であった。これに対し、感受性品種の10品種の乾燥重量は1粒当たり28.1~49.1 mgの範囲であり、平均41.5±6.59 mgであった。含有元素に対する平均濃度

Table 1. Characteristics of varieties of net blotch resistant barley.

Accession No.	Variety name	Origin	Heading	Colm length (cm)	1000 kernel weight (g)	Disease rating [*]
OUI1011	C.155-39	India	Late	94	46	1
OUI1636	Chazvin 2	Iran	Late	75	40	1
OUT462	Turkey 485	Turkey	Early	88	43	1
OUE133	Ethiopia 399(C19589)	Ethiopia	Medium	102	46	1
OUE446	Ethiopia 439(C19631)	Ethiopia	Early	111	47	1
OUE501	Ethiopia 604(C19825)	Ethiopia	Medium	114	43	1
OUE570	Mota 5	Ethiopia	Early	124	44	1
OUE580	Adi Abun 3	Ethiopia	Medium	97	47	1
OUE799	Ethiopia 599(C19820)	Ethiopia	Medium	106	48	1
OUE879	Adi Abun 1	Ethiopia	Early	86	47	1
OUA626	Hadostreng	Poland	Late	105	42	1

(*): Evaluated by Tekauz methods, 1985)

Table 2. Characteristics of varieties of netblotch susceptible barley.

Accession No.	Variety name	Origin	Heading	Colm length (cm)	1000 kernel weight (g)	Disease rating [*]
C061	Violaceum 1	Mongolia	Late	101	42	10
C011	4790-10	China	Late	130	52	10
I007	Patan	India	Early	76	32	10
I034	Shahr-kord 2	Iran	Early	65	46	10
J053	Shirochinko 2	Japan	Medium	76	25	10
J243	Akagi Nijo	Japan	Early	91	43	10
J834	Hatsukaze	Japan	Medium	92	46	10
J855	KoA	Japan	Medium	126	43	10
N029	Trisuli Bazar 6	Nepal	Medium	123	28	10
N685	Noll	Nepal	Early	107	31	10

(*): Evaluated by Tekauz methods (1985)

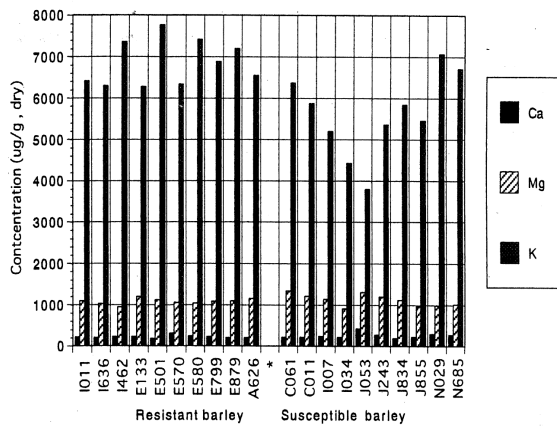


Fig.1. The concentration of Ca, Mg, K in the resistant and susceptible barley for the net blotch disease.

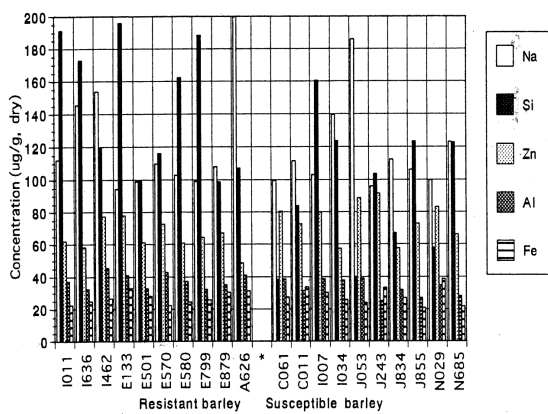


Fig.2. The concentration of Na, Si, Zn, Al, Fe in the resistant and susceptible barley for the net blotch disease.

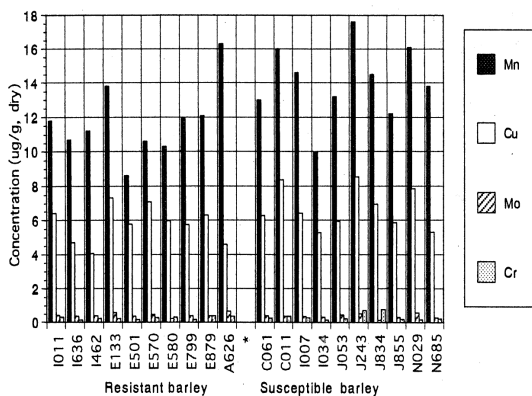


Fig.3. The concentration of Mn, Cu, Mo, Cr in the resistant and susceptible barley for the net blotch disease.

の順位は、 $K > Mg > Ca > Na > Si > Zn > Al > Fe > Mn > Cu > Mo > Cr > Ni > Pb > Co > Cd > V$ であった。元素濃度変動は抵抗性品種オオムギに比べて感受性オオムギはCa, Si元素がやや大きいものの約30%以内であった。抵抗性オオムギの含有元素の平均濃度は $Ca > Si > Na > Zn$ の順であった。これに対し、感受性品種オオムギでは $Ca > Na > Si > Zn$ であり、Si元素の濃度減少が認められた。また抵抗性品種の方が感受性品種オオムギに比べ高濃度を示した元素はK, Na, Si, Al, Moであった。これに対し感受性オオムギではCa, Mg, Zn, Fe, Mn, Cu, Cr, Ni, Co, Pb, Cd, V等の極微量元素の含有濃度が抵抗性オオムギに比べて高い傾向が見られた。

3. 1 抵抗性オオムギと感受性オオムギの含有元素濃度の品種間差異

オオムギ網斑病に対する抵抗性オオムギおよび感受性オオムギの各10品種の含有元素濃度の品種間差異について、Student's t-testによる統計解析の結果をTable 3に示した。抵抗性品種オオムギと感受性品種オオムギとを比較して、含有濃度に有意差が認められ元素は、Si, Al, Zn, Mn, Co, Cdであった。特に抵抗性品種オオムギでは感受性品種オオムギに比べ、K, SiおよびAlの含有濃度が有意に高い興味ある結果が示された。

通常、種子中に含有する無機元素は茎葉および根組織に比較して低濃度である。そのために種子中の含有濃度の差異は植物体全体ではさらにその差異が大きいと推測される。抵抗性品種オオムギのSiの濃度範囲は98.8~195.7 mg/gであり、平均 145.1 ± 40.5 mg/gであった。これに対し感受性品種のSiの濃度範囲は40.1~150.6 mg/gであり、平均 91.28 ± 39.4 mg/gであった。すなわち抵抗性品種オオムギの種子は感受性品種のそれに比べてSiは約3.6倍の有意に高い含有濃度が認められた ($p < 0.05$)。Siは代謝的には

植物体中では機能していないと考えられている元素であるが、イネ科植物はじめ芋類の主要な体構成元素である。特に植物体表皮の物理的な堅牢性を担う元素であり、病原菌や真菌類、害虫に対する耐性を植物にもたらし、成長や収穫に有効であると認められている元素である (L. H. P. Jones and K. A. Handreck 1967, Yamaji et al. 2007, Ma et al. 2007)。ケイ素は植物において、ケイ酸や固体のケイ酸として存在する (Wu et al. 2006)。この2種のケイ素の植物中の存在比は、植物の種類や成長段階あるいは栽培土壌の条件によっても異なると考えられるが、穀芋類やイネ科牧草では乾燥重量の3~4%ある

はそれ以上と考えられる。一般に穀芋類の種子は葉や茎に比較してケイ酸の含有率は低いが、(K. A. Hanreck and L.H.P Jones 1968) 品種間でその濃度は異なる。因みに繊維成分の多いオートコムギ等の穀粒には、繊維成分の少ない穀粒の方により豊富に珪酸を含有する傾向にある。

また、AIの濃度をオオムギ網斑病の抵抗性品種と感受性品種について比較すると、抵抗性オオムギではAIの含有濃度範囲は32.5~45.4 $\mu\text{g/g}$ であり、平均 $37.65 \pm 4.68 \mu\text{g/g}$ であった。これに対し感受性オオムギでは25.0~39.0 $\mu\text{g/g}$ の濃度範囲であり、平均 $33.21 \pm 5.4 \mu\text{g/g}$ であった。すなわち抵抗性品種オオムギの種子は感受性品種に比べて約12%であるが、有意に高濃度を示した ($p < 0.1$)。

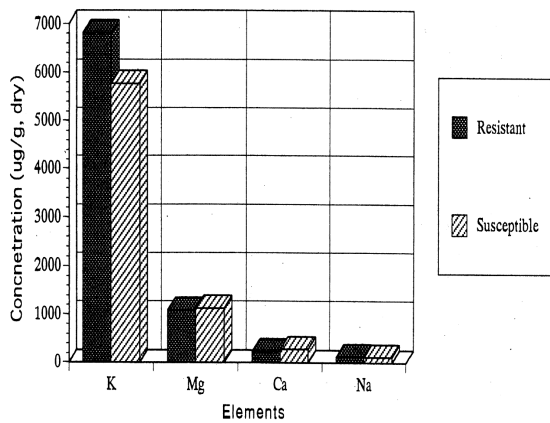


Fig. 4-1. Comparison of the concentration among the resistant and susceptible barley for the net blotch disease.

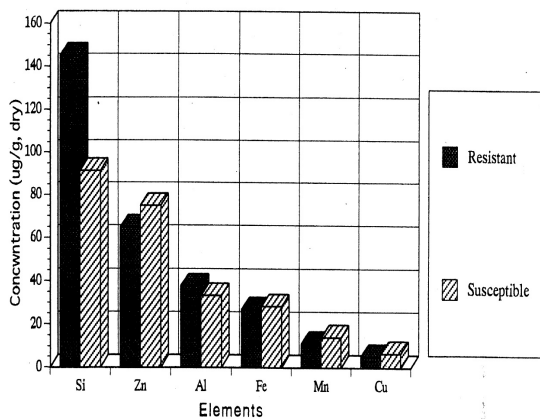


Fig. 4-2. Comparison of the concentration of some elements among the resistant and susceptible barley for the net blotch disease.

Table 3. Mean value of the concentration of elements in the resistant and susceptible barley for the net blotch disease.

Element	($\mu\text{g/g}$ in dry matter)	
	Resistant barley	Susceptible barley
K	6,810 \pm 676 **	5,770 \pm 1010
Mg	1,090 \pm 71	1,130 \pm 148
Ca	235 \pm 35.4	275 \pm 74.0
Na	122 \pm 33.7	118 \pm 26.9
Si	145 \pm 40.5	91.3 \pm 39.5
Zn	65.0 \pm 9.04	75.1 \pm 11.9 *
Al	37.7 \pm 4.68 *	33.2 \pm 5.36
Fe	26.9 \pm 3.16	28.2 \pm 5.12
Mn	11.1 \pm 2.10	14.1 \pm 2.18 **
Cu	5.19 \pm 1.01	6.62 \pm 1.20
Mo	0.42 \pm 0.13	0.36 \pm 0.13
Cr	0.26 \pm 0.01	0.33 \pm 0.22
Ni	0.089 \pm 0.051	0.16 \pm 0.17
Pb	0.084 \pm 0.058	0.183 \pm 0.113
Co	0.003 \pm 0.003	0.014 \pm 0.026 *
V	0.011 \pm 0.001	0.006 \pm 0.008
Cd	0.020 \pm 0.010	0.044 \pm 0.022 **
Dry weight (mg/1 grain)	44.10 \pm 4.94	41.15 \pm 6.59

** : $p < 0.05$, * : $p < 0.1$

一般に土壌圏におけるアルミニウムの存在量は大きい、植物および動物組織中の濃度は低い。リンゴや桃の果肉ではAl 2~4 $\mu\text{g/g}$ であるが、果皮はやや濃度が高い (E.G.Zook and J.Lehmann 1965)。また植物や動物および微生物に対してアルミニウムがなんらかの機能代謝に関与している証拠は得られていないが、オートムギやライムギでは生長に対して刺激的效果がある。しかし、オオムギにはその効果がないと報告されている (Hackett C. 1965)。さらに、アルミニウム単独での影響よりもケイ酸との化合物あるいはカルシウムとの化合物の形成による影響があり、その大半は植物表皮に集積する傾向があると報告されている (Matsumoto et al. 1976, Ma et al. 1997)。このことから適当な濃度範囲のAlの沈着は表皮の堅牢化に起因する抵抗性の増大と推測される。一方、抵抗性オオムギでは感受性オオムギに対し、高濃度のケイ素含有量の有為差が認められ、オオムギ網斑病原菌に対する抵抗性が高いことも示唆された。

また、主要元素の1つである種子中のK含有濃度が抵抗性品種オオムギに有為に高濃度であった ($p < 0.05$)。これは塩類耐性の大麦はK吸収が増大する傾向にあると報告されている (Sopandje et al. 1993) ことから耐塩性とは直接的には関係ないが、植物のストレス耐性獲得品種の特性元素として注目される。大麦の植物体中のK/Na比は耐塩性植物など大きな値を示す傾向があるが、この関係を大麦網斑病の抵抗性品種と感受性品種に当てはめてみると、抵抗性オオムギではK/Naモル比は約32.6であり、感受性オオムギでは約28.7である。すなわち抵抗性オオムギ中のK/Na比がおよそ12%高い結果を示した。Naの変動の大きい環境に対しては、Kの吸収により生理的安定を保っていると考えられているが (Rozema 1976)、オオムギについては、K/Naの選択能はKの希薄な溶液中では大きい、Na, Kがともに高濃度ではその選択能は塩生植物の

みに認められると報告されている (Epstein 1969)。一方、感受性品種オオムギの方が抗性品種に比べ種子中濃度が有為に高い元素は、Zn ($P < 0.10$), Mn ($P < 0.05$), Co ($P < 0.05$), Cd ($P < 0.01$) であった。

また抵抗性品種の原産地はアフリカのエチオピアを中心に、トルコなどの乾燥地あるいは高冷地が多く、耐病性のみならず耐寒性も備えている可能性も推測される。特にオオムギ網斑病抵抗性品種の多くはEthiopia原産であることから地質の影響も無視できないと考えられる。Ethiopiaの天然の地質および水質は炭酸、重炭酸が豊富である特徴があり、微量元素等の吸収がやや抑制される地理的条件にあるといえる。分析結果からもオオムギ網斑病抵抗性品種は感受性品種に比べて微量元素の含有量が少ない特性が認められた。すなわち種子系統保存地域の地質、水質も種子成分および抵抗性に大きく影響すると推察される (Muramoto et al. 1989, 1991)。その詳細の検討は今後の研究に譲りたい。

摘 要

糸状菌の一種 (*Pyrenophoras teres* Drechs.) によって大麦の葉身、葉鞘等に網目状の病斑を生じるオオムギ網斑病 (Net blotch Disease) による被害の発生は、特にビール麦に深刻な打撃をあたえる。そこで岡山大学資源生物科学研究所大麦研究センターが保有する大麦5、102品種の中から、オオムギ網斑病に対する幼苗期の抵抗性で評価された抵抗性オオムギ品種の検索と病斑指数10段階評価がなされた品種について、感受性品種と抵抗性品種の種子中の含有元素濃度の差異に着目して検討を行った。その結果、オオムギ網斑病抵抗性品種と感受性品種の種子中に含有する数元素には顕著な差異が認められた。すなわち、網斑病抵抗性オオムギの含有元素は、 $\text{K} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{Si} > \text{Na} > \text{Zn} > \text{Al} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{Mo} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Cd} > \text{Co} > \text{V}$ の順であるのに対し

て、感受性オオムギは、 $K > Mg > Ca > Na > Si > Zn > Al > Fe > Mn > Cu > Mo > Cr > Ni > Pb > Co > Cd > V$ の順であった。すなわち抵抗性品種は感受性品種に比べてK, Na, Si, Al, Moが高濃度に含有されており、逆に感受性品種では抵抗性品種に比べCa, Mg, Zn, Fe, Mn, Cu, Cr, Ni, Co, Pb, Cd, Vの濃度等の微量元素濃度が高い結果を示した。特に抵抗性オオムギのSi濃度は感受性コムギの約3.6倍であった。種子中のSi濃度は葉や茎等に比べて低濃度ではあるが、表皮組織の物理的堅牢性を担う元素であり、病原菌、糸状菌等に対する耐性をもたらすし、網斑病に対しても抵抗性を示すものと推察される。また、網斑病抵抗性オオムギの多くの品種がEthiopia原産であり、この地域は炭酸や重炭酸の豊富な水質を有し、比較的微量金属の吸収が抑制される地理的条件にある等の要因も関係していると推測される。

文 献

- 佐藤和広・武田和義：大麦網斑病における幼苗検定法の確立と抵抗性品種の検索。岡大資生研報1：75-90 (1992).
- Tekauz, A.: A numerical scale to classify to *Pyrenophora teres*. Can. J. Plant Pathol., 7: 181-183 (1985).
- Khan, T. N. and W. J. R. Boyd: Genetics of host resistance to net blotch in barley. Barley Genetics II: 484-492 (1970).
- Tekauz, A.: Effect of plant age and position on the reaction of barley to *Pyrenophora teres*. Can. J. Plant Pathology, 8: 380-386 (1986).
- Jones, L. H. P. and Handreck, K. A. Advan. Agron., 19: 107 (1967).
- Handreck, K. A. and Jones, L. H. P.: Plant Soil 29: 449 (1968)
- Zook, E. G. and Lehmann, J.: J. Assoc. Off. Agr. Chem. 48: 850 (1965)
- Hackett, C.: Ecological aspects of the nutrition of *Deschampsia flexuosa*. II: The effect of Al, Ca, Fe, K, Mn, N, P, and pH on the growth of seedlings and established plants. F. Ecol. 53: 315-333 (1965).
- Matsumoto, H., Hirasawa, F., Morimura, S. and Takahashi, E.: Location of aluminum in tea leaves. Plant Cell Physiol., 17: 890-885 (1976).
- Sopandje, D., Takeda, K., Moritsugu, M. and Kawasaki, T.: Selection for high salt tolerant cultivars in barley. Bu. J. Res. Inst. Bioresour. Okayama Univ. 1: 113-129 (1993)
- Rozema, J.: An ecophysiological study of the response to salt of four halophytic and glycophytic *Fucus* species. Flora, 165: 197-209 (1976).
- Epstein, E. Mineral metabolism of halophytes. In Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants - Brit. Eco. Soc. Symp., 9: 345-355 (1969).
- Muramoto, S., Oki, Y., Nishizaki, H., Aoyama, I.: Variation in some element contents of water hyacinth due to cadmium or nickel treatment with or without surface active agents. J. Environ. Sci. Health A24: 925-934 (1989).
- 村本茂樹、八木正一、沖陽子：耐塩限界濃度におけるホテイアオイ中の14種類の元素含有量の変化。農学研究、62: 283-291 (1991).
- Ma, J. F., Zheng, S. J., Li, S. F., and Matsumoto, H.: A rapid hydroponic screening system for aluminum tolerance in barley. Plant Soil 191: 171-176 (1997).
- Muraka, K., Ma, J. F., Yamaji, N., Ueno, D., Nomoto, K. and Iwashita, T.: A specific transporter for iron (III)-phytosiderophore in barley roots. Plant J. 46: 563-572 (2006)
- Wu, Q. S., Wan, X. Y., Su, N., Chang, Z. J., Wang, J. K., Lei, C. L., Zhang, X., Jiang, L., Ma, J. F. and Wan, J. M.: Genetic dissection of silicon uptake ability in rice (*Oryza sativa* L.). Plant Sci. 171: 441-448 (2006).
- Yamaji, N. and Ma, J. F.: Spatial distribution and temporal variation of the rice silicon transporter Lsil. Plant Physiol. 143: 1306-1313 (2007)

Ma,J.F.,Yamaji,N.,Mitani,M.,Tamai,K,Konishi,S.,Fujiwar
a,T.,Katsuhara,M. and Yano,M.:An efflux transporter of
silicon in rice .Nature, 448: 209 -211 (2007)

Abstract

The occurrence of damage due to Net blotch Disease of barley especially gives a serious blow to beer wheat. Then, it paid attention to the difference of the concentration of the elements in the seed of a susceptible varieties and resistant varieties which resisted foxtail kind evaluated by the resistance of the seedling period to the net blotch disease was evaluated among 5,102 barley varieties.

The resistant variety was high contained K, Na, Si, Al, and Mo compared with those of the susceptible varieties, and the concentration of Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, Cu, Cr, Ni, Co, Pb, Cd, and the concentration of V was high in the susceptible varieties compared with resistant varieties. Also, Si concentration of the resistant barley for the net blotch disease was about 3.6 times compared with the susceptible barley. It is an element that bears physical solidity of the epidermal tissues, and guessed the tolerance to the bacillus and mold, etc. is brought, and resistance is shown to the net blotch disease, but the concentration of Si in the seed is low compared with the leaf and the stalk.

Keywords : Resistant barley for net blotch disease, Elements concentration, Resistant plants for severe environment