水温が水稻品種の無機成分の吸収並びに窒素 及び炭水化物代謝に及ぼす影響*

馬場 赴・高橋 保夫・岩田 岩保

(農林省農業技術研究所)

Nutrients absorption by rice varieties and nitrogen-and carbohydrate-metabolism
in the plant as affected by water temperature

I. BABA, Y. TAKAHASHI and I. IWATA

(National Institute of Agricultural Sciences)

1. 緒 言

暖地に於ける高水温は水稻の秋落の発生を助長し、寒地に於ける低水温は水稻の冷害及び稲熱病の発生を多くすることは周知の事実である。これら水温の高低に伴う障害及び病害の発生は水温の高低による水稻の無機成分の吸収並びに体内代謝の異常による処が多いと考えられる。著者等は既に水温が適温（約 30℃）より高低すると水稻の無機成分の吸収、殊に加里の吸収が顕著に減退すること⁽²⁾及び水温が水稻体内の窒素代謝にも影響を及ぼすこと⁽³⁾を認めた。然し水温の無機成分の吸収に及ぼす影響には品種間差異が考えられ、又水温が体内の窒素代謝に影響するばかりでなく、炭水化物代謝にも影響を及ぼすことが推測される。これらの諸点を明かにするために水耕培養した水稻について研究を行つた。本研究に当り激励と指導を頂いた盛永博士、林武氏に深甚なる謝意を表する。

2. 実験方法

硝子室内で水耕培養した水稻につき、適温区、高温区、低温区の別を設けた。適温区及び高温区は水耕容器を恒温水槽に入れ水温を夫々 30° ± 1°C, 37° ± 1°C に保ち、低温区は水耕容器を掛流しの水道水につけて 20° ± 1°C に保つた。水耕液は既報⁽²⁾と同じで容器の大きさに応じて 1 週 2 ～ 3 回取代えた。

3. 実験結果

第一実験

耐冷性の強いといわれる陸羽 132 号とその弱いといわれる亀尾を昭和 27 年 3 月 5 日硝子室内で播種育苗し、4 月 12 日 500 匁入りの円筒形硝子瓶に 1 本植にして移植した。尚水耕液に珪酸を加用しなかつた。5 月 23 日以後高温区、適温区、低温区の別を設けた。1 区 3 瓶。6 月 17 日採取時の生育調査の結果は第 1 表の如くである。同表の如く両品種共に高温区及低温区は適温区に較べて地

上部乾物重が 1%水準の有意差を以て小さかつた。尚低水温による乾物重の減少程度は陸羽 132 号が亀尾に較べて顕著に少なかつた。地上部含水率は低水温によつて減少を示した。

Table 1. Effect of the water temperature on the plant growth of the rice variety (1st Exp.)

Variety	Plot	Top length cm	No. of shoots	Dry weight			Moisture content of top %
				Top g	Same as the left %	Root g	
Rikuu 132	HT	56.0	9.3	2.30	60.8	0.28	78.1
	OT	67.1	5.7	3.78	100.0	0.38	80.0
	LT	56.5	7.3	2.99	79.1	0.33	75.1
Kame-noo	HT	57.0	5.3	2.10	64.2	0.31	79.0
	OT	78.1	4.7	3.27	100.0	0.38	78.1
	LT	63.8	4.3	2.14	65.4	0.36	74.5

Notes: HT...37°±1°C, OT...30°±1°C, LT...20°±1°C

5 月 23 日温度処理開始時の材料及び 6 月 17 日採取時の材料の地上部を分析した。6 月 17 日の分析結果は第 2 表の如くである。同表の如く品種の如何に拘らず水温による窒素含量の差は少なかつたが、加里含量は低水温で低下し、含量上の K₂O/N は適温より水温が高低すると減少した。磷酸含量は水温の低いほど減少したが、石灰含量は高水温で高くなつた。鉄含量は陸羽 132 号では高温区、低温区共に適温区より高かつたが、亀尾では温度の低いほど高かつた。可溶性窒素含量及び可溶性窒素 / 蛋白態窒素は適温より水温が高低すると概して増大した。

又、水温の如何に拘らず陸羽 132 号は亀尾に較べて窒素、磷酸、可溶性窒素の含量及び可溶性窒素 / 蛋白態窒素が小であつた。

各無機成分につき、6 月 17 日の地上部含有量から 5 月 23 日の地上部含有量を差引いて 25 日間に於ける含有量の増加を求め、之を同期間に於ける各無機成分の吸収量

* 昭和 30 年 4 月 3 日総会において発表

Table 2. Changes in the contents of nutrients and nitrogen fractions in the top as affected by water temperature (Ist Exp.)

Variety	Plot	Content of nutrients expressed as percentage of dry weight							Ratio	
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	FeO	Soluble—N	Protein—N	$\frac{K_2O}{N}$	$\frac{Soluble-N}{Protein-N}$
Rikuu-132	HT	3.06	0.320	1.82	0.274	0.0338	1.034	2.03	0.595	0.509
	OT	2.93	0.236	1.80	0.236	0.0307	0.607	2.32	0.614	0.262
	LT	2.94	0.220	1.61	0.235	0.0335	0.800	2.14	0.548	0.374
Kame-noo	HT	3.38	0.324	1.77	0.278	0.0265	1.220	2.16	0.524	0.565
	OT	3.33	0.258	1.87	0.221	0.0308	0.978	2.35	0.561	0.416
	LT	3.01	0.244	1.49	0.235	0.0327	0.964	2.05	0.495	0.470

Table 3. Nutrients absorption and absorption ratio as affected by water temperature (Ist Exp.)

Variety	Plot	Amounts of nutrients absorbed (mg)					Absorption ratio K ₂ O/N
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	FeO	
Rikuu-132	HT	41.2	5.18	25.2	3.74	0.503	0.612
	OT	80.9	6.74	50.9	6.33	0.892	0.629
	LT	59.0	4.42	31.7	4.48	0.729	0.537
Kame-noo	HT	38.1	4.66	17.6	3.44	0.225	0.462
	OT	76.3	6.16	42.0	4.79	0.668	0.550
	LT	32.5	2.94	13.0	2.63	0.357	0.400

Notes: Absorption interval...V, 23~VI, 17 (25 days)

とするとその値は第3表の如くである。第3表の如く両品種の何れに於ても窒素、磷酸、加里、石灰及び鉄の吸収量は、高温区、低温区が適温区に較べて1%水準の有意差を以て少なかった。又、陸羽132号は亀尾に較べて窒素、磷酸の吸収量は5%水準の有意差を以て、加里、石灰及び鉄の吸収量は1%水準の有意差を以て夫々多かつた。

第3表の数値から水温が適温より高低した場合に於ける各成分の吸収量及び K₂O/N の減少率を求めると第1図の如くである。同図から適温より水温の高くなつた場合に於ける各成分の吸収減少率には品種間差異が少ないが、適温より水温の低下した場合に於ける各成分の吸収減少率及び K₂O/N の減少率は陸

羽132号が亀尾に較べて顯著に小さいことが注目される。

又適温より水温の高くなつた場合に於ける各無機成分の吸収減少率は陸羽132号では K₂O>N>FeO>CaO>P₂O₅ の順序、亀尾では FeO>K₂O>N>CaO>P₂O₅ で FeO を除くと両品種共凡そ傾向を同じくしている。又適温より水温の低下した場合に於ける吸収減少率は陸羽132号では K₂O>P₂O₅>CaO, N>FeO の順序、亀尾では K₂O>N>P₂O₅>FeO, CaO で両品種ともに傾向を略同じくしている。

第二実験

第一実験と同じ品種を用い、昭和29年3月10日硝子室内で播種し、砂耕培養した苗を4月21日5万分の1反ワグネルポットに4本植に移植し水耕培養を行つた。尚本実験では水耕液に珪酸を加用した。6月8日以後適温区と低温区の別を設け6月12日までの4日間(96時間)に於ける無機成分及び水の吸収量を水耕液を分析して求

Notes: Rate of reduction in nutrient absorption = $100 \times [\text{Amounts absorbed (A.a.) of OT plot} - \text{A.a. of HT plot or LT plot}] / \text{A.a. of OT plot}$; Rate of reduction in K₂O/N ratio = $100 \times [\text{K}_2\text{O/N ratio of OT plot} - \text{K}_2\text{O/N ratio of HT plot or LT plot}] / \text{K}_2\text{O/N ratio of OT plot}$

Fig. 1. Varietal differences in the reduction of nutrients-absorption and of K₂O/N ratio caused by supraoptimal or low water temperature (Ist Exp.)

Table 4. Absorption of nutrients and water and absorption ratio as affected by water temperature (2nd Exp.)

Variety	Plot	Amounts absorbed					Absorption ratio	
		NH ₃ -N mg	P ₂ O ₅ mg	K ₂ O mg	SiO ₂ mg	H ₂ O cc	K ₂ O/N	SiO ₂ /N
Rikuu-132	OT	68.2	21.3	31.9	99.8	548	0.467	1.464
	LT	71.4	15.9	28.0	64.5	340	0.392	0.903
Kamenoo	OT	62.8	21.7	32.5	91.6	495	0.518	1.458
	LT	62.4	17.6	19.5	53.0	276	0.313	0.850

Notes: (1) OT...30°±1°C, LT...20°±1°C

(2) Absorption interval...VI, 8~VI, 12 (96hrs)

めた。1区3鉢。

その結果は第4表の如く両品種の何れに於ても窒素の吸収量には差がなかつたが、低温区は適温区に較べて陸羽132号では加里の吸収量は5%水準の有意差を以て、磷酸、珪酸、水の吸収量は1%水準の有意差を以て夫々少なく、亀尾では磷酸、加里、珪酸及び水の吸収量は1%水準の有意差を以て何れも少なくなかつた。又両品種の何れに於ても吸収量上のK₂O/N及びSiO₂/Nは低温区が適温区に較べて小さかつた。

第4表の数値から水温が適温より低下した場合に於ける各無機成分及び水の吸収減少率及び吸収量上のK₂O/N及びSiO₂/Nの減少率を求めると第2図の如く陸羽132号は亀尾に較べて窒素、加里、珪酸の各成分及び水の吸収減少率及びK₂O/N及びSiO₂/Nの減少率が小さかつた。殊に陸羽132号は亀尾に較べて加里の吸収減少率の小さいことが注目される。低温による吸収減少率は陸羽132号ではH₂O>SiO₂>P₂O₅>K₂O>NH₃-Nの順序、亀尾ではH₂O>SiO₂>K₂O>P₂O₅>NH₃-Nの順序で両品種共に吸収減少の順序は略同じである。

第三実験

水稻農林22号を用い、水温が水稻体内の窒素及び炭

Notes: See notes in Fig. 1

Fig. 2. Varietal differences in the reduction of nutrients-and water-absorption and of absorption ratio caused by low water temperature (3rd Exp.)

水化物の代謝及び葉身表皮細胞の珪質化に及ぼす影響を調べた。昭和28年3月10日播種し養成した苗を4月24日5万分の1反ワグネルポットに移植し、6月3日以後適温区、低温区、高温区の別を設け、6月15日抜取つて窒素及び炭水化物の各フラクションを分析した。1区3鉢。

その結果は第5表の如く温度による乾物重の差が少なくなつたにも拘らず窒素及び炭水化物のフラクションには顕著な差が認められた。同表から水温が適温より高低するとアンモニア態、アミド態、可溶性の各窒素含量は何れも増大し、逆に蛋白態窒素含量は減少した。その結果可溶性窒素/蛋白態窒素は水温の高低によつて顕著に増大した。

又還元糖、非還元糖の含量は水温が適温より高低すると何れも増加したが、澱粉含量は温度の低下によつて増大した。酸加水分解多糖類の含量には差が少なくなつた。

6月15日抜取時に完全に展開した最上位の葉(第1葉)より下4枚の葉につき葉身の中央部の切片を採取し、石炭酸で染色して顕微鏡の一定視野(80倍)内に於ける珪質化表皮細胞数を測定した。その結果は第6表の如く適温より水温が高低すると珪質化表皮細胞数が顕著に減少すること、殊に高温での減少の著しいことが認められた。

Table 5. Dry weight of the top and content of nitrogen-and carbohydrate-fraction per unit dry matter as affected by water temperature (3rd Exp.)

Plot	Dry Wt. of the top g	NH ₃ -N %	Amide-N %	Soluble-N %	Protein-N %	Total-N %	Soluble-N/protein-N	reducing sugar %	Non reducing sugar %	Starch %	Acid hydrolyzable polysaccharides %	Total carbohydrate %
HT	6.00	0.020	0.180	0.761	2.155	2.916	0.353	2.720	2.205	1.071	16.12	22.12
OT	6.33	0.017	0.175	0.630	2.363	2.993	0.267	1.887	1.761	1.373	16.49	21.51
LT	6.14	0.029	0.226	0.749	1.982	2.731	0.378	2.203	3.229	6.612	16.09	28.13

Notes: HT.....37°±1°C, OT.....30°±1°C, LT.....20°±1°C

Table 6. Number of silicated motor cells per unit area of leaf blade (3rd Exp.)

Plot	The upper-most leaf	The 2nd leaf	The 3rd leaf	The 4th leaf	Average
HT	0	7.0	6.0	24.0	9.3
OT	35.0	161.0	129.7	136.7	115.6
LT	25.0	72.3	87.0	55.3	59.9

4. 考 察

第一実験で高水温による無機成分の吸収の減少の順序は FeO を除くと両品種共に $\text{K}_2\text{O} > \text{N} > \text{CaO} > \text{P}_2\text{O}_5$ で、前報⁽²⁾と傾向を略同じくしている。低水温による無機成分の吸収の変化を第一、第二実験を通じてみると、加里珪酸は窒素（アンモニア）や石灰に較べて吸収の減少が大きく、且つ高温の場合と異つて磷酸の吸収減少の大きいことが認められる。この事実は前報⁽²⁾及び高橋・柳沢等⁽¹¹⁾の結果と傾向を同じくしている。

以上の事実は木村⁽⁶⁾によると冷害や冷水灌漑によつて葉の珪酸や加里の含量が低下すること及び岡島・高城⁽⁸⁾によると低水温で加里の吸収の低下することとも符節を同じくしている。

又低水温で吸水の阻害が著しかつたが、この事実は著者等の既往の成績（未発表）及び高橋・柳沢等⁽¹¹⁾の結果とも一致している。第1表の如く低水温で地上部含水率が低下したのも低水温による吸水の顕著な減少と関係があると考えられる。

又陸羽 132 号は亀尾に較べて低水温による地上部乾物重の減少程度、水及び無機成分の吸収減少率及び $\text{K}_2\text{O}/\text{N}$ 、 SiO_2/N の減少率が小さかつたが、これらの事実は前者が後者に較べて耐冷性の大きいことに何らかの関係があるように推測される。然し一般的に品種の耐冷性がこのような低温による吸収力の減退に対する抵抗性と密接な関係があるのかどうかは今後の研究にまたなければならぬ。

水温が適温より高いと各態の非蛋白態窒素含量が増加し蛋白態窒素含量が減少し、可溶性窒素 / 蛋白態窒素が顕著に大となつたが、このことは高水温によつて蛋白合成が阻害されることを示している。水温が適温より低い場合にも第一実験の陸羽 132 号、第三実験では非蛋白態窒素含量が増加し、蛋白態窒素含量が減少し、第一実験の亀尾でも可溶性窒素含量の増加は見られなかつたが蛋白態窒素含量は減少し、可溶性窒素 / 蛋白態窒素は大となつた。従つて低温によつても蛋白合成が阻害されたと考えられる。尚著者等の既往⁽³⁾の実験では適温（28.5°

～32°C）に較べて低水温（24～25.5°C）では各態の非蛋白態窒素含量が稍少く、可溶性窒素 / 蛋白態窒素は適温と低水温との間に差がなかつた事実を照合すると、低水温が窒素代謝に及ぼす影響は品種、低温の程度及びその他の条件である程度変化するものと推測される。

陸羽 132 号が亀尾に較べて低水温での可溶性窒素含量が小さく、養分吸収上の SiO_2/N の大きいことは前者が後者に較べて低温下での稲熱病抵抗性が大きいことと関係があると思われる。

鈴木^{(9),(10)}は水温が低い葉の表皮細胞の珪質化の低下すること、橋岡⁽⁶⁾は水温の高い場合にも葉の表皮細胞の珪質化が顕著に低下することを報告している。本研究でも同様の事実が確認された。而して水温が適温より低い場合ばかりでなく、適温より高い場合にも吸収や蒸散作用が顕著に減退すること^{(2),(4)}、根から吸われた珪酸の体内の上昇移行には蒸散作用が密接な関係をもつこと⁽¹⁾等を併せ考えると、水温の高低による葉の表皮細胞の珪質化の低下に対しては、水温の高低による珪酸の吸収の減退と共に、吸われた珪酸の上昇移行の減退も有力な原因となつているものと推測される。

水温が適温より高低した場合に還元糖及び非還元糖の含量が増大したが、澱粉及び全炭水化物の含量は低温のときに大きかつた。この事実は Nightingale⁽⁷⁾ がトマトについて気温が 21°C より高い 35°C 及び低い 13°C で還元糖及び非還元糖の含量が増大し、澱粉＋デキストリン及び全炭水化物の含量は温度の低いほど大きかつたことと傾向を同じくしている。低温での澱粉及び炭水化物の含量の増大は呼吸作用の低下と、低温による生長の抑制とによるのであろう。又高温による澱粉含量の減少は呼吸作用の亢進によるのであろう。

5. 摘 要

(1) 水耕法を用いて水温が水稻の無機成分の吸収に及ぼす品種間差異並びに水温が水稻体内の窒素代謝、炭水化物代謝及び葉身の表皮細胞の珪質化に及ぼす影響を調べた。

(2) 品種の如何に拘らず水温が適温（30°C）より高くても（37°C）低くても（20°C）無機成分の吸収殊に加里の吸収が減少した。低水温では吸水が著しく減退し、地上部含水率が低下した。

(3) 耐冷性の大きい陸羽 132 号はその小さい亀尾に較べて水温の低下による乾物重の減少程度並びに無機成分及び水の吸収の減少率が小さかつた。

(4) 水温が適温より高低すると地上部のアンモニア態窒素、アミド態窒素及び可溶性窒素の含量が増大し、

蛋白態窒素の含量が減少した。

(5) 温度の如何に拘らず陸羽 132 号は亀尾に較べて地上部の可溶性窒素含量及び可溶性窒素 / 蛋白態窒素が小であつた。

(6) 水温が適温より高低すると地上部の還元糖及び非還元糖の含量が増大した。澱粉及び炭水化物の含量は水温の低いときに大きかつた。

(7) 水温が適温より高低すると葉の表皮細胞の珪質化が顕著に低下した。

6. 引用文献

- (1) 馬場起：水稻の窒素及び珪酸の栄養生理に関する研究 I 珪酸の体内移行及び葉身表皮細胞蓄積と蒸散作用との関係 日作紀 (印刷中)
- (2) 馬場起・高橋保夫・岩田岩保：水稻の胡麻葉枯病罹病に関する栄養生理的研究 III 水温が無機成分の吸収に及ぼす影響 日作紀 21 (3~4): 233~234, 1953
- (3) " " IV 硫化水素が窒素代謝に及ぼす影響 日作紀 21 (3~4): 235~236, 1953

- (4) " 昼夜の水温が水稻の生育に及ぼす影響 農業気象 10 (1~2): 1~3, 1953
- (5) Hashioka, Y. Studies on the mechanism of prevalence of the rice blast disease in the tropics. Taiwan Agr. Res. Inst. Technical Bull. 8: 1~237, 1950
- (6) 木村次郎：東北地方に於ける冷害水稻葉の肥料養分の吸収状況, 東北大農研彙報 1(1): 2~12, 1949
- (7) Nightingale, G. Effect of temperature on metabolism in tomato. Bot. Gaz. 95: 35~58 1933
- (8) 岡島秀二・高城高一：加里代謝に及ぼす灌漑水温の影響 東北大農研彙報 3(3): 135~153, 1951
- (6) 鈴木橋雄：土壤の低温に基く稲熱病に対する稲の感受性とその解剖学的並に生理学的特性との関係 東京農林専学術報告 4: 1~12, 1949
- (10) " : 土壤の低温に基く稲熱病に対する稲穂頸の感受性とその解剖学的特性との関係 植病報 15 (2): 72~78, 1951
- (11) 高橋治助・柳沢宗男・河野通佳：作物の養分吸収に関する研究 (第 2 報) 温度変化の水稻幼植物の吸収に及ぼす影響 土肥雑 22(4): 350, 1952

Résumé

In order to find out the relationship of water temperature with the nutrition and metabolism of the rice plant, some water culture experiments were carried out: in the first and second experiments amounts of nutrients were measured with a definite interval and in the third experiment nitrogen and carbohydrate constituents in the top and the silicification of epidermal cells of leaf blade were determined under different water temperature. Results of experiments are as follows:

(1) Regardless of the variety higher (37°C) or lower (20°C) water temperature than optimum (30°C) reduced the absorption of nutrients, especially that of potassium. The low temperature reduced the absorption of water remarkably, resulting in the decrease in the moisture content of the top.

(2) Decrease in dry weight of the top and reduction in the absorption of nutrients and water due to low water temperature were less remarkable with Rikuu-132, a variety resistant to cool-weather, than with kamenoo, one susceptible to cool-weather.

(3) The water temperature higher or lower than optimum increased the percentage content of NH_3 -N, amide-N and soluble-N and decreased that of protein-N, resulting in a marked increase in soluble-N/protein-N ratio.

(4) Regardless of the water temperature the percentage content of soluble-N and soluble-N/protein-N ratio were lower with Rikuu-132 than with kamenoo.

(5) The percentage content of reducing and non-reducing sugars in the top was decreased by high and low water temperatures whereas that of starch was increased by decreasing water temperature.

(6) The water temperature higher and lower than optimum conspicuously reduced the silicification of epidermal cells of leaf blade.