

肥大中の馬鈴薯塊茎の曝光による萌芽に関する生理学的研究

加 藤 徹

(農学部 蔬菜研究室)

Physiological studies on the sprouting of potato tubers growing on the mother plant by the exposure treatment.

By

Toru KATO

(Laboratory of vegetable crop science, Faculty of Agriculture)

Summary

1. Effect of external conditions on the sprouting of tubers growing on mother plant.

(1) The tubers attached with mother plant are easily sprouted by the exposure treatment under the long photoperiod at high temperature, but the tubers detached with mother plant are not under the same conditions.

(2) The longer the photoperiod and the higher the temperature, the more the sprouting of tubers with mother plant is promoted.

(3) Both the pinching of mother plant and the top dressing of nitrogen fertilizer also accelerate the induction of sprouting on the developing potato tubers under the long photoperiod at high temperature.

2. The changes in various constituents of tubers are as follows.

(1) Carbohydrates and nitrogen compounds.

The changes in chemical constituents of tubers in the soil, attached with mother plant, are almost the same as those of tubers detached with mother plant in this experiment.

The exposure treatment induces the decrease in polysaccharides such as starch and the increase in soluble sugar, especially non-reducing sugar, but the nitrogen compounds are not affected.

It was clearly found that the decreases in carbohydrates and nitrogen compounds and the increase in water content are induced in the tubers attached with mother plant by the exposure treatment. These tendency is strengthened in the sprouted tubers.

It is indicated that the water content is significantly correlated with the total carbohydrates or starch.

(2) Auxin.

Auxin content in apical eyes gradually increases when the tubers are exposed to the light, but not in the tubers in the soil, attached or detached with mother plant.

It is shown that the remarkable increase in auxin of apical eyes is induced in the tubers attached with mother plant by the exposure treatment. This tendency is strengthened in the sprouted tubers.

The high auxin level depends upon both the decrease in the growth-inhibiting substances and the increase in the growth-promoting substances.

It is suggested that the auxin content in apical eyes is significantly affected by the starch accumulation.

(3) Gibberellin.

The gibberellin level in the apical eyes of tubers detached with mother plant gradually increases by the exposure treatment.

This tendency is remarkably accelerated in the tubers attached with mother plant.

It is noticeable that the gibberellin-like substances are not found in the apical eyes of tubers in the soil, detached with mother plant, in July, but the high level of gibberellin-like substances is found in August.

3. From the above-mentioned results, it may be safely concluded that the visible sprouting of developing tubers attached with mother plant is due to the increases in the physiological active water and auxin, correlated with the decrease in starch content of tubers, and that the elongation of these sprouts is promoted by the native gibberellin-like substances.

結 言

Rosa⁽²¹⁾ は馬鈴薯のある品種では肥大中、高温多湿条件に遭遇すると、まれに新塊茎が萌芽することをみとめている。更に塊茎が第1図にみられるように日光に曝されるときは一層萌芽が助長されることが知られているが、その生理的機構については全く研究されていない。ただ大熊⁽²⁰⁾ がこの性質を利用して馬鈴薯の秋作栽培における発芽促進の一つとしてすすめているに過ぎない。

筆者は馬鈴薯塊茎の休眠機構解明の足がかりとして研究を行なったので、ここにその一部を報告する。

材 料 お よ び 方 法

馬鈴薯は北海道産種薯、100~150 gr. の男爵種を供試し、4月25日に東北大学農学部実験圃場に畦間90cm, 株間90cmの間隔に植え付け、萌芽と共に1本立とした。

塊茎の肥大中は十分に中耕、除草、薬剤散布を適宜行ない、生育を順調に行なわしめた。

曝光処理：新塊茎を親株から離して、あるいは親株につけたままにして、頂芽が夫々十分に日光にあたるように向きを動かして曝光処理を行なった。

一株について大体3個ずつ日光に曝し、他の深部にある薯あるいは処理に不適當のものは除去した。

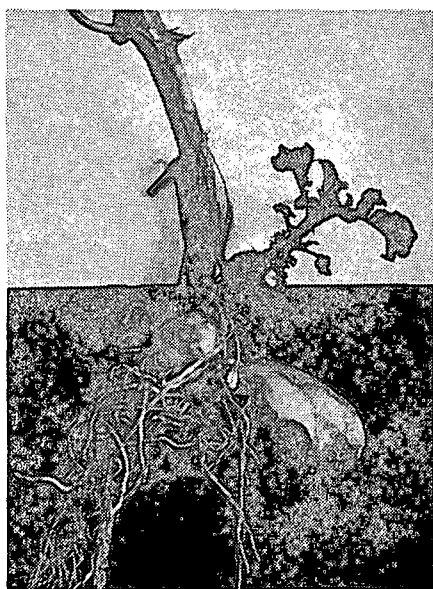


Fig. 1. Sprouting of developing tubers attached with mother plant 15 days after the exposure treatment.

分析方法:

1. 炭水化物, 窒素化合物: 塊茎全体を採取後水洗い, 乾燥を行ない, そして秤量を行ってから細切して三角フラスコに入れ, 80パーセントアルコール中に入れて加熱し, 冷却後密栓して貯蔵し, 随時分析に供した。

炭水化物は Somogyi 法で, 窒素化合物は Semi-micro Kjeldahl 法で行なった。

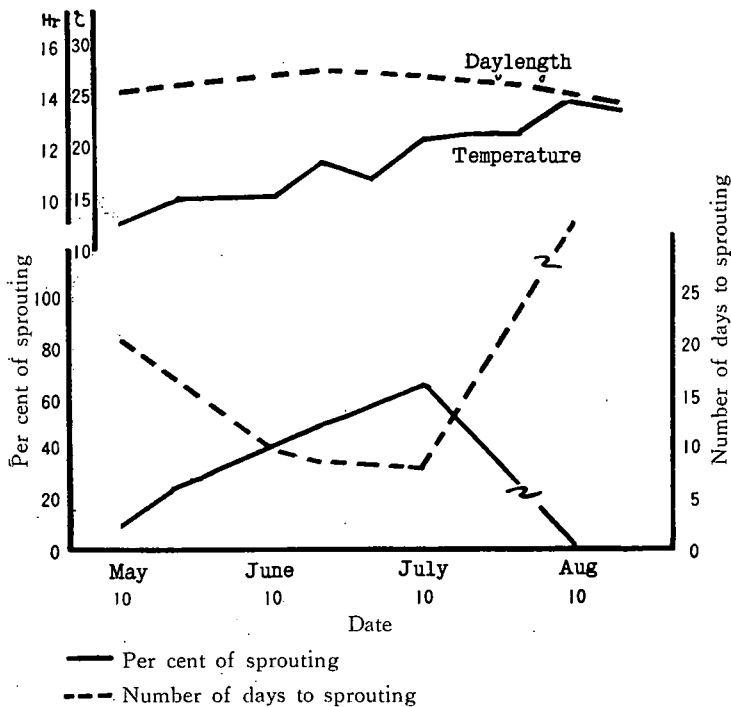
2. Auxin: 頂芽および頂芽部周囲の皮部を含めて, 10個の薯から 10 gr. を採取し, 細切後過酸化水素のないエーテルで20時間抽出し, 1958には濃縮後 0.5 cc の水を加え, 更に 1.5% の寒天ブロック (2.2 mm×2.2 mm×1.0 mm) を20個加えた。2時間後 Avena curvature test を行ない, その屈曲度を測定した。1960にはエーテル抽出物を酸性および中性フラクションに分離後酸性フラクションについて Avena straight growth test によって定量した。

3. Gibberellin; 頂芽および頂芽部周囲を含む部分を10個の薯から 10gr. を採取し, 80パーセントアルコールで室温で48時間抽出後常法⁽¹⁵⁾に従ってエーテルおよびクロロホルムフラクションに分け, 夫々について Rice seedling test を行なった。

成 績

1. 時期別曝光処理の萌芽に及ぼす影響

5月10日, 20日, 6月10日, 20日, 7月10日, 8月10日の6回にわたって夫々20株の馬鈴薯について曝光処理を行ない, 頂芽が0.5cm伸長するまでに要した日数および萌芽歩合を調査した所, 第2図にみられるような結果が得られた。



処理時期がおそくなるにつれて, 換言すれば新塊茎の肥大が進行するにつれて萌芽までに要した日数が短縮されるし, 萌芽個体数も増し, 萌芽歩合も著しく高まる。しかし殆んど地上部の枯死をしている8月10日処理区では萌芽が全くみられなかった。

以上の結果は親株の存在, それも生長をしている親株が必要なことを示している。

更に日長および温度表と対照してみると, 長日, 高温状態になると萌芽が著しく促進されると共に萌芽し易くなることが示された。

Fig. 2. Effect of time of exposure treatment on the sprouting of tubers attached with mother plant (1957).

2. 親株の摘心処理および窒素追肥の萌芽に及ぼす影響

7月4日に親株の摘心処理および窒素追肥を次のように行なった。

摘心処理：強摘心区は地際より5cmの高さで摘心し、弱摘心区は地際より15cmの高さで摘心を行なった。他に無処理区を設けた。

窒素追肥：硫酸5gを各区の株元に夫々水にとかして与えた。

以上の処理区を更に高温区と自然温度区に分け、高温区は夜間保温（ビニール）した。

その結果は第1表の通りである。

Table 1. Effect of temperature, pinching and additional supply of nitrogen fertilizer on sprouting of tubers attached with mother plant by the exposure treatment (1959).

Temperature	Pinching	Nitrogen supply	No. of treated tubers	July 30		Aug. 18.	
				No. of sprouted tubers	Per cent of sprouted tubers	No. of sprouted tubers	Per cent of sprouted tubers
High temp.	Heavy	-N	20	7	35	14	70
		+N	20	10	50	20	100
	Light	-N	20	5	25	11	55
		+N	20	8	40	15	75
	check	-N	20	4	20	7	35
		+N	20	—	—	—	—
Low temp.	Heavy	-N	20	7	25	20	100
		+N	20	7	35	20	100
	Light	-N	20	6	30	19	95
		+N	20	7	35	20	100
	check	-N	20	5	25	20	100
		+N	20	6	30	20	100

* Treatment was made in July 10.

7月30日の調査結果では、強摘心区が萌芽個体数多く、他区より著しく萌芽率が高い。

弱摘心区、無処理区の順に萌芽が少くなる傾向がみられる。

窒素追肥および高温処理は以上の傾向を一層強めるようである。

しかし8月18日の調査結果は高温区が却って自然温度区より萌芽が少なくなっている。これは高温による親株枯死の結果と考えられる。

以上の結果も親株の若返り、再生長の行なわれる株において著しい萌芽促進がみとめられる。

3. 新塊茎の体内成分に及ぼす曝光の影響

4月25日に植えた馬鈴薯を1958年は7月10日、1959年は7月18日に夫々次のように処理を行ない、20日後の7月30日、8月8日に夫々収穫をして分析に供した。

処理方法：A；親株から切り離して、そのまま土壌中においておく。B；親株から切り離して土壌表面におき、日光に曝す。C；親株につけたまま、土壌中におく、D；親株につけたまま、新薯を日光に曝したもののうち、未だ萌芽していない薯。E；前処理で萌芽した薯。

以上の処理で、D区は更に曝光すれば萌芽がみられるもので、薯は皮部が緑色となり、芽が大きくなりつつある。B区は皮部が緑褐色となり、芽も僅か生長している。しかし萌芽するような結果は得られなかった。A区とC区は皮部が黄褐色で、芽が痕跡程度である（第2表）。

処理20日後の体内成分の状況は第3表に示される。

A、C区では水分含量、炭水化物、窒素化合物組成に差異がみられない。従ってその時期には殆んど薯の肥大は完了し、親株からは同化産物が供給されていないものと思われる。

次にA区とB区とを比較すると、水分含量、全炭水化物、窒素化合物には差がないが、日光に曝されたB区はA区より澱粉等の多糖類が減少し、可溶性糖分の増加がみられる。従って日光曝露処

は糖化を促すものと考えられる。

更にB区とD区あるいはE区についてみると、D・E区は水分含量が多く、炭水化物、窒素化合物の減少がみられる。すなわち、水分含量は澱粉の消長と密接に関係している(第3図)、そして澱粉が減少して可溶性糖分が増加しているとき水分含量が多くなっている。

B区とD・E区をみると澱粉が減少し可溶性糖分がB区に多く、D・E区に少いことは一部は生育に、呼吸に消耗されたと思われるが、大部分が親株の方に転流していったものと考えられる。その傾向は窒素化合物にもみられ、不溶性窒素が著しく減少しているにもかかわらず、可溶性窒素が増加していないので親株の方へ転流していったものと思われる。

萌芽した薯では可溶性糖分、特に還元糖が多い。

Table 2. Characteristics of various treated plots.

	Treatment	Eyes	Peel
A	Tubers was placed in the soil	Trace	Yellowish brown
B	Tubers were placed on the soil, exposing them to the light	Greenish, small	Greenish brown
C	Tubers attached with mother plant in the soil	Trace	Yellowish brown
D	Tubers attached with mother plant on the soil, exposing them to the light	Unsprouted, visible	Green
E	Tubers attached with mother plant on the soil, exposing them to the light	Sprouted*	Green

* Sprouts more than 5 cm in height

4. 新塊茎の頂部 Auxin に及ぼす曝光の影響

7月10日に前述と同じ処理を行ない、7月30日に採取して、頂部 Auxin に及ぼす曝光の影響を Avena curvature test によって行ない、評価した結果、日光に曝されると、頂芽の Auxin が増加して来る傾向がみられる。更に親株についているまま曝光された薯では著しい Auxin の増加がみられる(第4図)。

この Auxin の増加は澱粉の減少と密接に相関している(第5図)。

1959年には前述の結果を生長促進物質と抑制物質とに分離し、夫々の動向を調査するためにペーパークロマトグラフィーによって Acid fraction を分離し、Avena straight growth test によって Bioassay を行なった。

その結果は第6図にみられるように、日光に曝すと抑制物質が減少し、促進物質、特に Rf 0.3~0.5 の IAA と思われる生長促進物質が増加してくる。

この傾向は萌芽している薯において、また曝光日数の長くなるにつれて顕著となる傾向がみられ

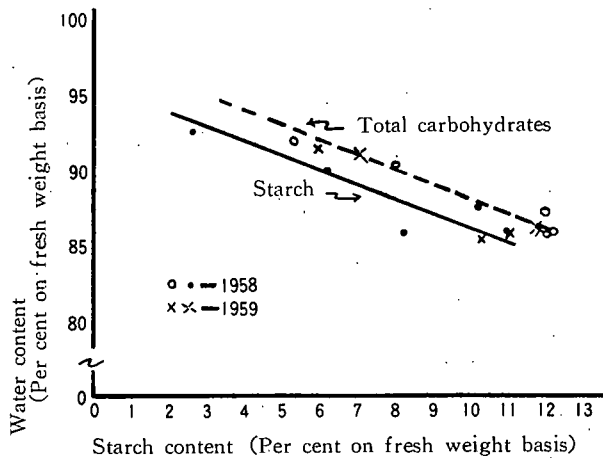


Fig. 3. Correlation of water content with starch content in tubers.

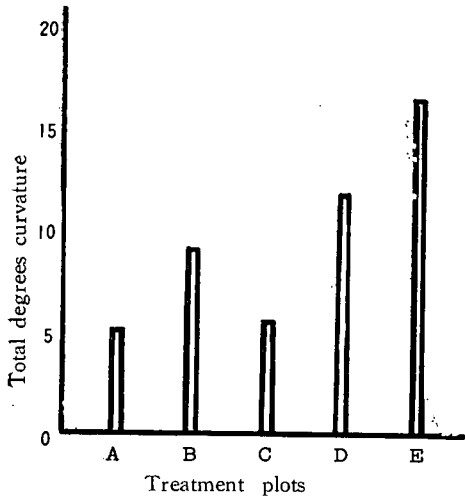


Fig. 4. Effect of exposure treatment on the auxin content in apical eyes of tubers (1958).

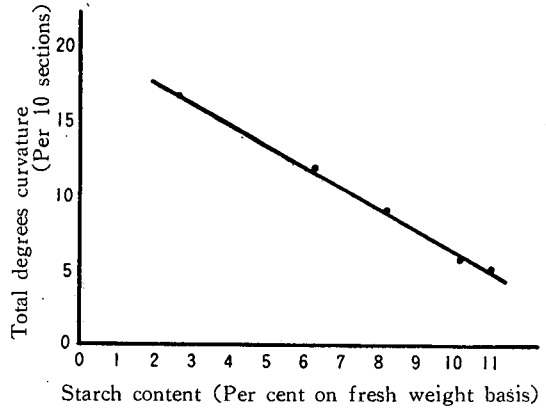
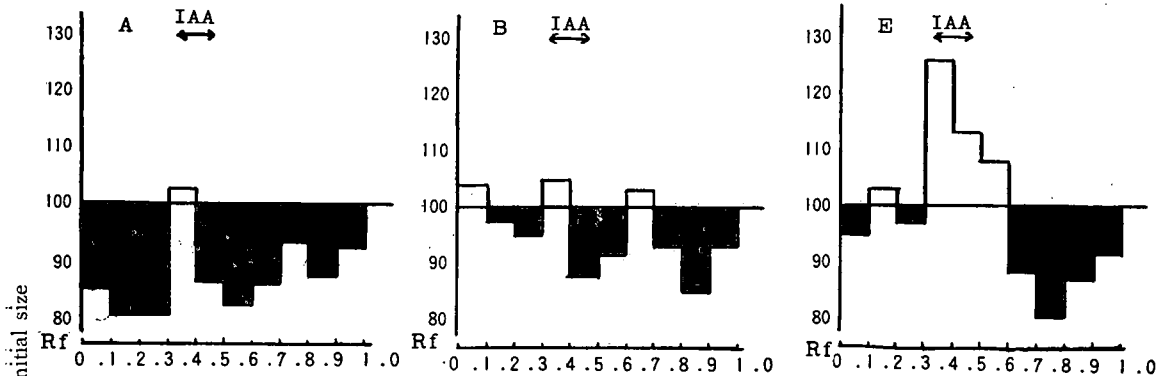
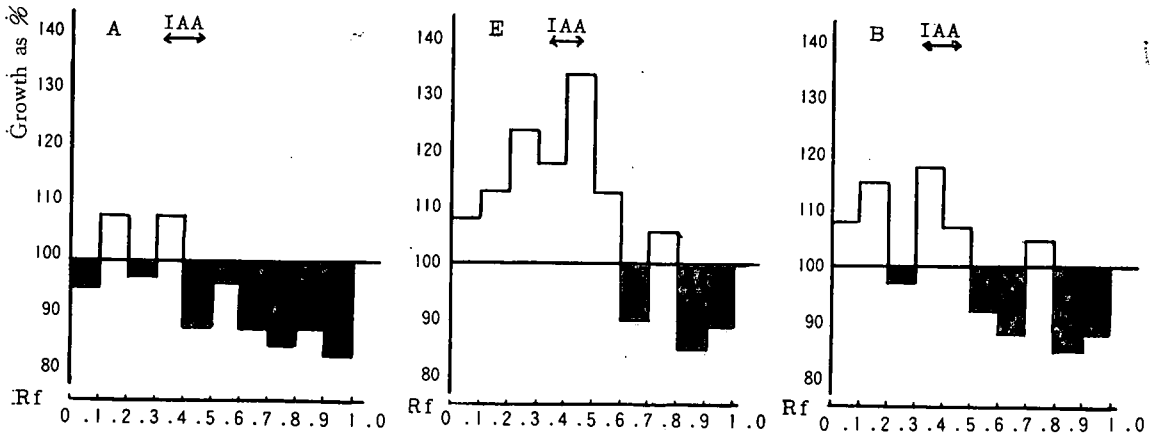


Fig. 5. Correlation of auxin in apical eyes with starch content in tubers.

20 days after the exposure treatment



35 days after the exposure treatment



□ Promoting zone ■ Inhibiting zone

Fig. 6. Histograms of auxin in acid fraction of ether extracts in apical eyes of tubers (1959).

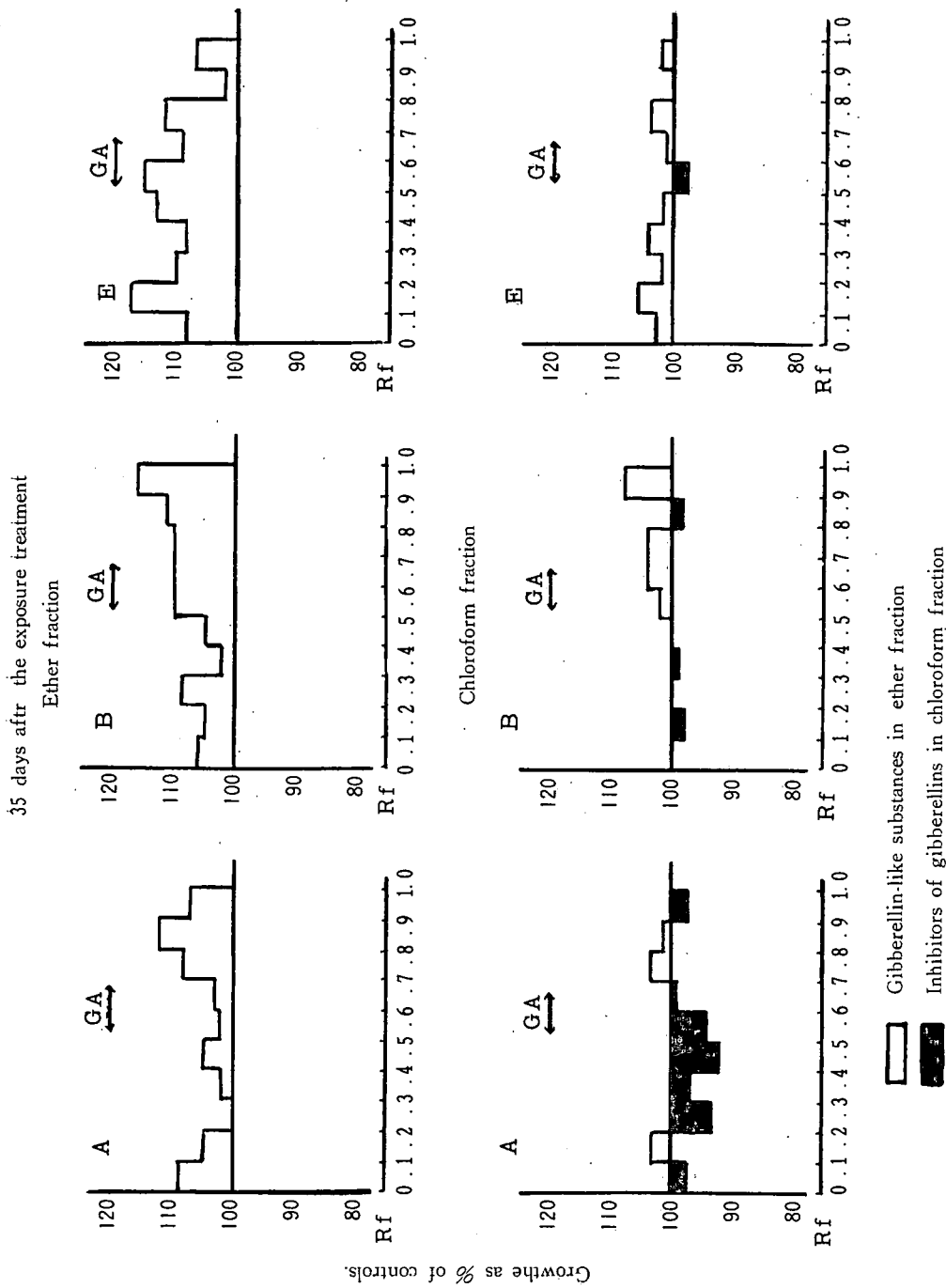


Fig. 7-2. Histograms of alcohol extracts in apical eyes of tubers

る。

5. 新塊茎の頂部 Gibberellin に及ぼす曝光の影響

1960年に4月25日植えの馬鈴薯の新塊茎を7月7日に曝光処理を行なって、2週間後、5週間後に夫々頂部を採取して、頂部 Gibberellin 含量の消長に及ぼす影響について調査した。

日光に曝されると、頂芽内に Gibberellin 様物質が増加し、逆に Gibberellin の Inhibitor が減少する傾向がみられる。

萌芽する場合はこの傾向が非常に顕著で(第7図 E)、8月に入ると無処理区にも Gibberellin 様物質の増加が著しくなっている。

考 察

第1～3実験によって明らかにされたように新塊茎は親株に接続したまま日光に曝されると萌芽する。この傾向は長日高温によって、また窒素追肥によって促進される。更に親株が摘心されて再生長がみられるときは著しく促進される。

塊茎の萌芽に関する生理的機構も明らかにするには親株による影響、曝光による影響等を組合せて考察すればよいわけである。

1. 炭水化物・窒素化合物の消長^(1,2,3,7,8,19)

塊茎が日光に曝されると、炭水化物のうち、澱粉のような多糖類が減少して、可溶性糖分が増加してくる(第3表)。

Table 3. Effect of exposure treatment on the chemical constituents of tubers.

	Treatment	Water	Reducing sugar	Non-reducing sugar	Total sugar	Starch	Polysaccharides	Total carbohydrates	Soluble nitrogen	Insoluble nitrogen	Total nitrogen
1958	A	86.09	0.15	0.17	0.32	10.96	11.81	12.18	0.12	0.12	0.24
	B	86.04	1.19	1.04	2.23	8.19	9.83	12.06	0.12	0.12	0.24
	C	87.56	0.15	0.20	0.35	10.18	11.62	11.97	0.10	0.13	0.23
	D	90.43	0.53	0.10	0.63	6.17	7.44	8.07	0.10	0.11	0.21
	E	92.60	1.36	0.22	1.58	2.65	3.73	5.31	0.11	0.10	0.21
1956	A	85.98	0.13	0.30	0.43	11.07	11.43	11.86	0.16	0.28	0.44
	B	85.52	0.46	0.77	1.23	10.29	10.56	11.79	0.14	0.29	0.43
	E	91.48	0.82	0.11	0.93	5.99	6.16	7.09	0.12	0.19	0.31

しかしこの曝光塊茎は親株と接続していないと、萌芽がみられないから Müller-Thurgau⁽¹⁸⁾ の述べている可溶性糖分の不足が休眠の原因とする考え方は Denny^(7,8), Börje⁽³⁾ の主張するように否定されるし、Newton⁽¹⁹⁾ の報告しているように窒素代謝が関係しているとも考えられない。

親株に連絡していて曝光された塊茎では不溶性窒素および多糖類が著しく減少しており、それに伴って水分が逆に増加しているのがみられる(第3図)。

従って炭水化物、特に澱粉分量が多すぎるため休眠が誘起されているように思われる。

Arthur ら⁽²⁾ が炭水化物の過剰が馬鈴薯の生長を停止して塊茎形成へ導くものと考えたことと対照して考えると非常に興味深いものがある。

2. Auxin の消長^(4,5,6,10,11,12,13,14,24,27)

新塊茎が曝光されると、頂芽部の Auxin が増加している。しかし親株に結合した塊茎のみが萌

芽している点を考慮すれば、Auxin が増加すれば休眠がさめて萌芽するとは説明出来ない。

第6図にみられるように、Auxin の増加は Inhibitor の減少に伴う Promotor の増加によるものである。

Hemberg^(10,11,12,13,14) の主張している β -Inhibitor について検討してみると、塊茎の Age がすすむにつれて減少し、曝光処理によって一層減少している。しかしこれらの塊茎においては萌芽がみられない。また萌芽している塊茎においても抑制物質が残っていることと考え合せると、Burton⁽⁵⁾ も報告しているように、直接休眠に関与している物質かどうか疑わしい。

3. Gibberellin の消長^(16,23)

Gibberellin が休眠打破に効果があり^(9,17,22,25)、休眠と密接に関係している物質と考えられているが、著者ら⁽¹⁵⁾ が報告したように Gibberellin 自体は休眠覚醒に作用している物質とは考えられなかった。すなわち、第7図にみられるように曝光によって Gibberellin 様物質が増加しているにもかかわらず、萌芽がみられない。しかし萌芽中の塊茎には非常に多量の Gibberellin 様物質がみられ、芽の伸長に強く作用しているように思われる。

なお、7月の無処理の塊茎には僅かしか Gibberellin がみられないのに対し、8月にはやや多量の Gibberellin 様物質がみられたことは前報⁽¹⁵⁾ と一致しており、8月に入ると塊茎の休眠が破れたことを示しているものと思われる。

4. 以上頂芽内の各成分の消長と休眠および萌芽との関係について検討したが、夫々の要因のみでは十分説明出来なかった。ただ澱粉含量の高すぎるものが休眠を誘発しているやうに思われた。

第3, 5図にみられるように澱粉含量と水分含量あるいは Auxin 含量との間には逆相関がみとめられ、炭水化物、特に澱粉の少ない、水分の多い、Auxin の高い塊茎において萌芽がみられる。炭水化物含量が高くなって、生長に必要な水分、Auxin, Gibberellin が不足すると休眠が誘起され、呼吸によってあるいは環境によって炭水化物が減少し、水分の増加が漸次行なわれてくると、酸素が働き、Auxin, Gibberellin が多量に現われて休眠が完了し、萌芽となるのかも知れない。

Hemberg ら^(4,5,8,10,11,12,13,14) の β -Inhibitor が休眠誘起物質と仮定しても田川、岡沢⁽²⁶⁾ の報告しているようにこの物質が吸水に関与しており、著者ら⁽¹⁶⁾ のりんごでの澱粉の蓄積と β -Inhibitor の蓄積とが密接に相関している点を考慮すれば炭水化物代謝の方が休眠あるいは萌芽に密接に関係しているものと考えられる。

以上要するに曝光による塊茎の萌芽は塊茎内の澱粉が量的にも、濃度としても減少し、生理的活性に必要な水分が増加し、Auxin, Gibberellin が増加して萌芽となるものと考えられる。

摘 要

1. 曝光による塊茎の萌芽には塊茎が親株と連絡していること、高温長日条件下で曝光されることが必要である。

2. 親株を摘心、あるいは硫安追肥すると萌芽は一層助長される。

3. 曝光に伴う各種体内成分の消長は次の通りである。

(1) 炭水化物、窒素化合物

本実験の範囲内では塊茎が土壤中にあれば親株の有無は体内成分の消長に影響を与えていない。曝光処理は窒素化合物組成には著しい変動を与えないが、澱粉のような多糖類を減少させて可溶性糖を著しく増加させる。

曝光によって萌芽が促進されるような親株に接続している塊茎では水分含量の増加、炭水化物および窒素化合物の著しい減少がみられる。

水分含量は澱粉あるいは全炭水化物と密接に関係している。

(2) Auxin

塊茎が土壌中にあれば親株の有無は頂部 Auxin に影響を与えない。曝光によって頂部 Auxin は増加する。Auxin の増加は抑制物質の減少、促進物質の増加による。

親株に連絡したままで曝光された塊茎の頂部 Auxin は著しく増加し、抑制物質の減少、促進物質の顕著な増加がみられる。

Auxin の増減は澱粉含量と密接に相関し、澱粉の減少は Auxin の増加となっている。

(3) Gibberellin

曝光によって頂部 Gibberellin level は高まる。更に萌芽によって頂部 Gibberellin 含量は顕著に増加する。

なお無処理の塊茎には7月中には僅かの Gibberellin 様物質しかみられなかったが8月にはやや多量の Gibberellin 様物質の出現がみられた。

4. 以上の結果から曝光による塊茎の萌芽は塊茎内の澱粉が量的にも、濃度としても顕著に減少し、生理的活性に必要な水分が増加し、Auxin, Gibberellin が増加して萌芽となるものと考えられた。

謝 辞

本研究は東北大学において伊東教授御指導の下に行なわれた。ここに衷心より御礼申し上げると共に実験に御協力頂いた教室員の方々にも御礼申し上げます。

文 献

1. Appleman, C. O. (1916). Biochemical and physiological study of the rest period in the tubers of *Solanum tuberosum*. Bot. Gaz., 61, 265.
2. Arthur, J. M., J. D. Gurthrie, and J. M. Newell, (1930). Some effect of artificial climates on the growth and chemical composition of plants. Amer. Jour. Bot., 17, 316-482.
3. Börje Emilson (1949). Studies on the rest period and dormant period in the potato tuber. Acta. Agr. Succana. III: 3, 189-284.
4. Blommaert, K. L. J. (1954). Growth and inhibiting substances in relation to the rest period of the potato tuber. Nature 174, 970-972.
5. Burton, W. G. (1956). Some observation on the growth substances in ether extracts of the potato tubers. Physiol. Planta., 9, 567-587.
6. Buch, M. L. and O. Smith (1959). The acidic growth inhibitor of potato tubers in relation to their dormancy. Physiol. Planta., 12, 706-715.
7. Denny, F. E. (1929). Chemical changes induced in potato tubers by treatments that break the rest period. Contr. Boyce Thompson Inst., 2, 131-142.
8. ——— (1930). Sucrose and starch changes in potato treated with chemicals that break the rest period. Ibid, 2, 580-591.
9. Doorenbos, J. (1958). Effect of gibberellic acid on sprouting of potatoes. Neth. J. Agr. Sci., 6, 267-270.
10. Hemberg Torsten (1949). Significance of growth-inhibiting substances and auxins for the rest-period of the potato tuber. Physiol. Planta. 2, 24-36.
11. ——— (1950). The effect of glutathione on the growth-inhibiting substances in resting potato tuber. Ibid, 3, 17-21.
12. ——— (1952). The significance of the acid growth-inhibiting substances for the rest-period of the potato tuber. Ibid, 5, 115-129.
13. ——— (1954). Studies on the occurrence of free and bound auxins and growth-inhibiting substances in the potato tuber. Ibid, 7, 312-322.
14. ——— (1958). The significance of the inhibitor complex in the rest period of the potato tuber. Ibid, 11, 615-626.

15. Kato, T. and H. Ito (1961). Interrelation between gibberellin and dormancy of potato tuber. *Tohoku Jour. Agr. Res.*, 12, 1-8.
16. Kato, T. and H. Ito. Physiological studies on the dormancy of apple tree. (Unpublished).
17. Lippert, L. F., L. Rappaport and H. Timan (1958). Systematic induction of sprouting in white potatoes by foliar applications of gibberellin. *Plant Physiol.*, 33, 132-133.
18. Müller-Thurgau, H. (1882). Über Zucheranhäufung in Pflanzentheilen in Folge niederer Temperatur. *Landw. Jahrb.*, 11, 751.
19. Newton, W. (1927). Metabolism of nitrogen compounds in dormant and non-dormant potato tubers. *Jour. Agr. Res.*, 35, 141.
20. 大熊光雄 (1940) 馬鈴薯の秋作栽培における発芽促進の一方法 *農及園* 15, 1721-1743.
21. Rosa, J. T. (1928). Relation of tuber maturity and storage factors to potato dormancy. *Hilgardia* 3, 99.
22. Rappaport, L., L. E. Lippert, and H. Timm (1957). Sprouting, plant growth and tuber production as affected by chemical treatment of white potato seed species I. Breaking the rest period with gibberellic acid. *Amer. Potato Jour.*, 34, 254-290.
23. Smith, O. E. and L. Rappaport (1961). Endogenous gibberellin in resting and sprouting potato tubers *Advances in Chem. Ser. No. 28*, 42-48.
24. Tsukamoto, Y. and Y. Sano (1958). Studies on the dormancy of the potato tuber (I) The relation between gibberellin treatment and change of growth substances. *Bull. Res. Inst. Food Sci. Kyoto Univ.*, 21, 39-50.
25. Tsukamoto, Y. T. Asahira, and Namiki, T. (1961). Studies on the dormancy of the potato tuber (IV) The effect of gibberellin on breaking dormancy of potato lifted on different times. *Ibid*, 23, 23-27.
26. 田川隆. 岡沢登三 (1956). Physiological and morphological studies on the potato plants Part 21. Especially on the sproutinhibiting substances in resting potato tubers.
27. 八巻 敏雄 (1948). 植物生長素に関する研究 V ジャガイモの休眠除去の生長的考察 *植物学雑* 61, 45-49.

(昭和38年8月12日受理)