Penicillium islandicum Sopp. の紫外線 照射株における色素生産の消長

菊池 正彦*・中原 正城*

Masahiko KIKUCHI* and Masaki NAKAHARA*: Sequence of Pigment
Formation in the Mycelia of Defective Strains Obtained
from *Penicillium islandicum* Sopp. by UV-irradiation

1961 年 7 月 15 日 受付

著者ら¹⁻³⁾は、さきに *Penicillium islandicum* Sopp. の発育途上における菌体色素の消長を調べることによって、アントラキノ系色素相互間の生成的連関を研究し、柴田の仮説⁴⁾が、一部の修正を除けば、ほぼ妥当であるとの結論に達した。

本報では、紫外線照射によって得られた菌株における色素生産の知見を報告し、あわせて菌体色素の生成的連関について考察したい。

材料および方法

菌株： この実験には *Penicillium islandicum* Sopp. NRRL 1175 および 1036 の両菌株を用いた。

培養基、培養方法、色素の同定： 前報¹⁻³⁾と同様である。なお、ペーパークロマトグラム上の色素の同定には、紫外線下の蛍光をも併用した。

紫外線変異株の作出： 分生胞子の蒸留水懸濁液をあらかじめ東洋ろ紙 No. 1 を通過させた後、適当の胞子数 ($1 \sim 3 \times 10^4/\text{ml}$) にうすめて数個のシャーレ (径 6 cm) に 10 ml ずつ分注、無菌箱内でふたを除き、30 cm の距離から紫外線ランプ (15 W) で一定時間ずつ照射する (照射中静かにゆり動かす)。次いで、各シャーレから 0.5 ml あてとって完全培地へ接種、発生した集落のうちから、親株と異なる色調や形態を示す菌株を常法によって単離

した。

実験および結果

I. 菌株 NRRL 1175 についての実験

予備実験： 紫外線の有効な照射時間を知るために、胞子の懸濁液 ($15,370/\text{ml}$) について胞子の生存率を調べた [Fig. 1(a)]. この結果から、紫外線照射は 10 分以内にやめるべきことがわかった。

Fig. 1. Survival rate of UV-irradiated spores.

* Botanical Institute, Faculty of Science,
Tokyo University of Education, Tokyo, Japan.
東京教育大学理学部植物学教室

Table 1. Defective strains obtained from the strain NRRL 1175 by UV-irradiation.

Strains	Medium	Mycelial pigments*						
		Chry	Emo	Eryth	Flav	Sky	Oxysky	Skol
[B]	Complete	+	+	—	+	+	+	+
[P-21-2]	"	+	—	+	+	+	+	+
[P-A-3]	"	+	+	—	—	+	+	+
[P-J-5]	"	—	—	—	—	+	+	+
[S-k-1]	"	+	—	+	—	+	+	+
[56]	"	+	+	—	—	+	+	+

* Chry, chrysophanol; Emo, emodin; eryth, erythrokyrin; Flav, flavoskyrin; Sky, skyrin; Oxysky, oxyskyrin; Skol, skyrinol.

このようにして分離した菌株は Table 1 のとおりである。

これらの菌株は、完全培地上 3～4 代の継代培養を重ねても、生産する色素成分には変化がみられなかった。

[P-A-3] 株の胞子への紫外線照射: 予備実験か

ら得られた [P-A-3] 株の胞子に、さらに紫外線を照射 (1, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 7, 9 分, おのおの 26,000/ml の胞子懸濁液) し、一見異常の色調を示す 35 株を分離した。生存率は Fig. 1(b) に示した。なお、同一条件下で別に 37 株を分離した。

Table 2-a. Defective strains obtained from the strain [P-A-3] by UV-irradiation.

Strains	Medium	Pigments*							
		Chry	Emo	Eryth	Flav	Sky	Oxysky	Skol	
[A3-1] and other 8 strains	Complete	+	+	—	—	+	+	+	1st generation
[A3-4] and other 4 strains	"	+	+	—	+	+	+	+	1st "
[A3-19] and other 10 strains	"	—	—	—	—	—	—	—	1st "
[A3-3] and other 3 strains	"	± or —	± or —	—	—	+	+	—	1st "
	"	—	—	+	—	+	+	—	2nd "
	"	—	—	+	—	+	+	—	3rd "
	"	—	—	—	—	+	+	—	4th "
	"	—	—	—	—	+	+	—	5th "
[A3-21] and other 2 strains	"	+	—	—	—	+	+	+	1st "
	"	—	—	—	—	—	—	—	2nd "
[A3-8] and [A3-24]	"	—	—	—	—	+	+	± or —	1st "
	"	—	—	—	—	+	+	—	2nd "
	"	—	—	—	—	+	+	+	3rd "
[A3-22]	"	—	—	—	—	+	+	+	1st "
	"	—	—	—	—	+	+	—	2nd "
	"	—	+	—	—	+	+	+	3rd "
	"	—	+	—	—	+	+	+	4th "
	"	—	—	—	—	+	+	+	5th "

* Abbreviations: cf. foot note of Table 1.

Table 2-b. Defective strains obtained from the strain [P-A-3] by UV-irradiation.

Strains	Medium	Pigments*								
		Chry	Emo	Eryth	Flav	Sky	Oxysky	Skol		
[a3-3] and other 3 strains	Complete	+	+	—	—	+	+	+	1st generation	
[a3-5]	"	+	+	—	+	+	+	+	1st	"
	"	+	+	—	+	+	+	+	2nd	"
[a3-1] and other 15 strains	"	—	—	—	—	—	—	—	1st	"
[a3-11]	"	—	—	—	—	+	—	—	1st	"
	"	—	—	—	—	+	—	—	2nd	"
[a3-8] and [a3-23]	"	± or —	—	—	—	+	—	—	1st	"
	"	—	—	—	—	+	+	—	2nd	"
	"	—	—	—	—	+	+	—	3rd	"
[a3-19] and [a3-29]	"	± or —	—	—	—	+	+	+	1st	"
	"	—	—	+	—	+	+	+	2nd	"
	"	—	—	+	—	+	+	+	3rd	"
	"	—	—	+	—	+	+	+	4th	"
[a3-18]	"	—	—	—	—	+	+	+	1st	"
	"	—	—	+	—	+	+	+	2nd	"
	"	—	—	+	+	+	+	+	3rd	"
	"	—	—	—	—	+	+	+	4th	"
[a3-6] and other 2 strains	"	—	—	—	—	+	+	+	1st	"
	"	—	+	+	—	+	+	—	2nd	"
	"	—	+	+	—	+	+	+	3rd	"

* Abbreviations: cf. foot note of Table 1.

これらの株について継代培養を行ない、その色素生産の消長を調べた結果を、それぞれ Table 2-a, 2-b に示した。これらの株は、最少培地では、生育がわるく、7～8週間後でも色素を生成しなかった。この際、液体培養では、生育も色素生産もきわめてわるいので、もっぱら固体培地による斜面、または平面培養を行なった。

Skyrin, oxyskyrin, skyrinol は、他の色素に比べてきわめて安定であり、この3者の消長関係をみると、skyrinol を欠く場合、skyrinol と oxyskyrin との2者を欠く場合、skyrinol, oxyskyrin, skyrin の3者を欠く場合（この時は、菌はアルビノとなる）というように、段階的な関係がみられた。したがって、この3者は、skyrin→oxyskyrin→skyrinol の順序で出現し、しかもこの生成経路が主幹をなすものと考えられる。

これに反する事実、すなわち、skyrin の生成が

ないのに他の2者が生成されるとか、oxyskyrin の生成がないのに skyrinol が生成されるというような事例は、まったくみられなかった。

他方、chrysophanol, emodin および flavoskyrin は紫外線に対してきわめて不安定であり、かつ、3者の間には、skyrin などにみられたような段階的消長関係はみられず、たがいに独立的に出現することがわかった。

また、erythrokyrin のみを欠く場合（[A3-4] 株など）のあることは、この色素がアントラキノ色素と直接の生成的関連がないことを示している。

この際とくに注目すべきことは、[P-A-3] 株は erythrokyrin, flavoskyrin を欠くにもかかわらず、これから導かれた変異株の中には、それらを生産するようになった株が見いだされたことである。

[56] 株の胞子への紫外線照射： Table 1 の [56] 株の胞子に紫外線を照射(1, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 7, 9 分, おのおの 14,400/ml の胞子懸

Table 3. Defective strains obtained from the strain [56] by UV-irradiation.

Strains	Medium	Pigments*								
		Chry	Emo	Eryth	Flav	Sky	Oxysky	Skol		
[56-3] and other 22 strains	Complete	+	+	+	+	+	+	+	1st	generation
[56-6] and other 31 strains	"	+	+	—	+	+	+	+	1st	"
[56-2] and other 5 strains	"	—	—	—	—	—	—	—	1st	"
[56-1] and other 7 strains	"	—	—	—	—	+	—	—	1st	"
	"	—	—	—	—	+	+	—	2nd	"
	"	—	—	—	—	+	—	—	3rd	"
[56-43] and other 4 strains	"	—	—	—	—	±	±	—	1st	"
	"	—	+	—	—	+	+	+	2nd	"
	"	—	—	—	—	+	+	+	3rd	"
	"	—	+	—	—	+	+	+	4th	"
	"	—	+	—	—	+	+	+	5th	"
[56-46]	"	—	+	—	—	+	+	—	1st	"
[56-61]	"	+	+	—	+	+	+	+	1st	"
	"	+	—	+	—	+	+	+	2nd	"
	"	—	—	—	+	+	+	—	3rd	"
[56-67]	"	+	+	—	—	+	+	+	1st	"
	"	—	—	+	—	+	+	+	2nd	"
	"	—	—	—	—	+	+	+	3rd	"
[56-42]	"	+	—	—	—	+	+	+	1st	"
	"	+	+	—	+	+	+	+	2nd	"
	"	+	+	—	+	+	+	+	3rd	"

* Abbreviations: cf. foot note of Table 1.

濁液) して 80 株を分離した。分離株の完全培地上での色素成分の消長 (Table 3) については、Table 2 と同様の傾向がみられた。

考 察 1

[P-A-3] 株と [56] 株とは、ともに erythro-skyrin, flavoskyrin を生産しないが、それらの紫外線による変異株の中には、flavoskyrin を生産するようになった株が約 40% (Table 2)、全色素成分をもつようになった株が 28% もみられた。本菌株は単核の分生胞子による無性生殖を行なうので、もし色素形成能の欠如が遺伝子突然変異によるものとすれば、以後の世代における回復の頻度はきわめて小さいはずである。したがって、[P-A-3] 株と [56] 株とにおける erythroskyrin, flavoskyrin の欠如は、紫外線照射による胞子の細胞質の代謝機構の二次的な変化に帰すべきものと考えられる。これらの変異株を紫外線で照射するとき、色素生成能の

一部または全部が回復する事実がみられたが、この機構の解明は今後の興味ある問題である。

Skyrin, oxyskyrin, skyrinol の 3 者は、紫外線に対してきわめて安定であり、また、継代培養によって 3 者の段階的な消長関係がみとめられた。これは、skyrin→oxyskyrin→skyrinol の経路が主幹であるという柴田の説りを支持するものである。

一方、chrysophanol, emodin および flavoskyrin の関係については、紫外線を用いた今回の実験結果からすると、3 者がそれぞれ独立的に生産されることが明らかになった。

要約すれば、本菌株におけるアントラキノン色素群の生成的連関は、Fig. 2 のような模式によって示すことができる。

なお、すでに erythroskyrin はアントラキノン色素とはその生成において直接的関係のないことを述べたが¹⁻³⁾、今回の結果もまったく同様のことを示している。

Fig. 2. Hypothetical biosynthetic scheme of pigment formation in the strain NRRL 1175.

II. 菌株 NRRL 1036 についての実験

NRRL 1036 株の胞子への紫外線照射: 完全斜面培養 10~15 日の胞子に紫外線照射 (1, 2, 2.5, 3.5, 4, 5, 7, 10 分, おのおの 11,520/ml の胞子懸濁液) して 74 株を分離し, それぞれ完全, 最少両培地上で培養し, 生産する色素の消長を比較した結果を Table 4 に示した.

Skyrin, oxyskyrin は安定, islandicin, irido-skyrin は rubroskyrin, luteoskyrin よりも安定

Table 4. Defective strains obtained from the strain NRRL 1036 by UV-irradiation.

Strains	Medium*	Pigments**									
		Isl	Irid	Cat	Ery	Lut	Sky	Rub	Oxysky	Spot-j	
[1-8]	C. M.	+	+	+	+	+	+	+	+	s ***	} 1st generation
	M. M.	-	-	+	+	+	+	-	+	+	
	C. M.	+	+	?	+	+	+	+	+	+	} 2nd "
	M. M.	-	-	?	+	+	+	-	+	s	
[1-9] and [3-5a]	C. M.	+	+	?	+	+	+	+	+	s	} 1st "
	M. M.	-	-	+	+	-	+	-	+	s	
	C. M.	+	+	?	+	+	+	+	+	s	} 2nd "
	M. M.	-	-	?	+	-	+	-	+	s	
	C. M.	+	+	?	+	+	+	+	+	s	} 3rd "
	M. M.	-	-	+	+	-	+	-	+	+	
[1-10A] and other 3 strains	C. M.	+	+	-	+	+	+	+	+	+	} 1st "
	M. M.	+	+	-	+	-	+	+	+	s	
	C. M.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	} 2nd "
	M. M.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
[3-19]	C. M.	+	+	+	?	-	+	-	+	+	} 1st "
	M. M.										
	C. M.	+		+	-	-	+	-	+	+	} 2nd "
	M. M.										
[3.5-13]	C. M.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	} 1st "
	M. M.										
	C. M.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	} 2nd "
	M. M.										
[3.5-14]	C. M.	-	-	-	+	-	+	-	+	s	} 1st "
	M. M.	-	-	-	+	-	+	-	+	s	
	C. M.	-	-	-	+	-	+	-	+	s	} 2nd "
	M. M.	-	-	-	+	-	+	-	+	s	
[3-16]	C. M.	-	-	-	+	-	+	-	+	s	} 1st "
	M. M.	-	-	-	+	-	+	-	+	s	
	C. M.	+	+	-	+	-	+	-	+	s	} 2nd "
	M. M.	-	-	-	+	+	+	-	+	s	
[2-7]	C. M.	+	+	?	+	-	+	+	+	s	} 1st "
	M. M.	+	+	?	?	+	+	-	+	+	
	C. M.	+	+	+	-	-	+	+	+	+	} 2nd "
	M. M.	+	+	+	-	+	+	+	+	+	

* C.M., complete medium; M.M., minimal medium.

** Isl, islandicin; Irid, iridoskyrin; Cat, catenarin; Ery, erythroskyrin; Lut, luteoskyrin; Sky, skyrin; Rub, rubroskyrin; Oxysky, oxyskyrin.

*** s, skyrinol-like pigment appears when spot-j disappears.

Table 5. Comparison in Rf-value between “yellowish brown spot” and skyrinol (Tôyô No. 53 filter paper, 13°).

	Rf-value
“Yellowish brown spot”	0.03 (Solvent: upper layer of the solvent mixture, 0.04 (acetone/benzine/water (5 : 5 : 3.5, v/v)
Skyrinol (from the strain NRRL 1175)	0.03 (Solvent: upper layer of the solvent mixture, 0.04 (acetone/benzine/water (5 : 5 : 3.5, v/v)

であるが,catenarin はきわめて不安定で,spot-j も消長がいちじるしい。ろ紙クロマトグラフによる調査では,spot-j の消失したあとに skyrinol に酷似する yellowish brown spot が現われる。この新色素はきわめて微量なため詳細は明らかでないが,再抽出法によって試験すると,Table 5 に示したように, Rf 値は skyrinol のそれとまったく一致する。Rubroskyrin と luteoskyrin との相互関係についてみると,両者の間には明らかにせりあいの関係がある。すなわち, [1-8] 株では, 最少培地上で luteoskyrin の生産はみられるが, rubroskyrin の生産はみられない。

また, [3-16] 株でも 2 代目の最少培地上で luteoskyrin の生産はみられるが, rubroskyrin の生産はみられなかった。

これとは逆に, [1-10A] ほかに 3 株の 1 代目では最少培地上で rubroskyrin の生産はみられるが, luteoskyrin の生産はみられない。なお, [2-7] 株の 1 代目では, 完全培地で rubroskyrin の生産がみられ, luteoskyrin の生産はみられないが, 最少培地では rubroskyrin の生産がみられず, luteoskyrin の生産がみられた。

[3-16] 株の胞子への紫外線照射: Table 4 の [3-16] 株の胞子に紫外線照射 (1, 2, 3, 3.5, 4, 4.5, 6, 8, 10 分, おおの 10,800/ml の胞子懸濁液) して 66 株を分離し, 色素成分を調べたところ, 全株とも erythroskyrin, skyrin, oxyskyrin, skyrinol-like pigment を生産するだけであった (Table 6)。

この 66 株から任意に 12 株をえらんで 2 代目の

Table 6. Pigment production in defective strains derived from the strain [3-16].

Strains	Medium*	Pigments**								
		Isl	Irid	Cat	Ery	Lut	Sky	Rub	Oxysky	Spot-j
All (66) strains obtained	C. M.	—	—	—	+	—	+	—	+	s ***
	M. M.	—	—	—	+	—	+	—	+	s

*, **, *** Cf. foot note of Table 4.

Table 7. Pigment production in the second generation of 12 strains (taken out of 66 strains shown in Table 6).

Number of strains	Medium*	Pigments**								
		Isl	Irid	Cat	Ery	Lut	Sky	Rub	Oxysky	Spot-j
10	C. M.	—	—	—	+	—	+	—	+	s ***
	M. M.	—	—	—	+	—	+	—	+	s
1	C. M.	—	—	+	+	—	+	—	+	s
	M. M.	—	—	+	+	—	+	—	+	s
1	C. M.	+	—	—	+	—	+	—	+	s
	M. M.	—	—	—	+	—	+	—	+	s

*, **, *** Cf. foot note of Table 4.

Table 8. Pigment porduction in defective strains induced from the strain [1-8].

Strains	Medium*	Pigments**								
		Isl	Irid	Cat	Fry	Lut	Sky	Rub	Oxysky	Spot-j
[1-1] and other 40 strains	C. M.	+	+	—	+	+	+	+	+	s ***
[3-1] and other 38 strains	"	+	+	+	+	+	+	+	+	s
[2.5-17] and other 2 strains	"	+	—	+	+	+	+	+	+	s
[3-4]	"	—	+	—	+	?	+	+	+	s
[2.5-13]	"	+	+	—	+	—	+	—	+	s
[3.5-15]	"	+	+	+	—	—	+	—	+	s
[2-20]	"	+	+	—	—	+	+	+	+	s
[2-17] and [2-19]	"	+	+	—	+	—	+	+	+	s
[3-19]	"	+	+	—	+	+	+	—	+	s
[3-7] and other 11 strains	"	+	+	+	+	+	+	+	+	+

*, **, *** Cf. foot note of Table 4.

色素成分を調べたところ、10 株は1代目と同じであり、1 株は catenarin の生産がみられるようになり、他の1 株は完全培地上で islandicin の生産がみられるようになった (Table 7).

[1-8] 株の孢子への紫外線照射: Table 4 の [1-8] 株の孢子に紫外線を照射 (2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6, 8, 10 分, おのおの 14,400/ml の孢子懸濁液) し、102 株を分離した. 完全培地上におけるこれら菌株の色素生産の消長は Table 8 に、また生存率は Fig. 1(c) に示した.

この場合も、rubroskyrin (+), luteoskyrin (—) の株 ([2-17] 株など) や、rubroskyrin (—), luteoskyrin (+) の株 ([3-19] 株) があった.

Islandicin と iridoskyrin との関係については、islandicin (+), iridoskyrin (—) の株 ([2.5-17] 株など) や、islandicin (—), iridoskyrin (+) の株 ([3-4] 株) がみられた. すなわち、これら両色素の生成にもせりあいの関係がみられる.

考 察 2

前報³⁾では、本菌株の色素の生成的連関について次のような経路を提案した.

紫外線を用いての本実験からも (rubroskyrin, luteoskyrin) と (islandicin, iridoskyrin) との両群はそれぞれ独立的に生産されることがみられたが、さらに、rubroskyrin (—) のときでも luteoskyrin (+) の株 ([1-8] 株, Table 4), また、luteoskyrin (—) のときでも rubroskyrin (+) の株 ([1-10A] 株, Table 4) が得られているので、rubroskyrin と luteoskyrin とは共通の先駆物質からたがいに並行的に生成されるものと考えられる. おそらく、菌の発育条件によって、両者が並行して生成されたり、または一方の消失が起こるものと思われる. Islandicin と iridoskyrin との場合もまた共通の先駆物質から並行的に生成されるものと考えられる.

最近、Gatenbeck⁵⁾ は、ラベルした酢酸を用いた実験から、(islandicin—iridoskyrin) と (rubroskyrin—luteoskyrin) との2 群は. それぞれ先駆物質を異にすること、また、islandicin ⇄ iridoskyrin の経路は存在しないと述べており、これは著者らの結果とも矛盾しない.

ろ紙クロマトグラム上で、spot-j の消失したあと

に現われる spot は, NRRL 1175 株にみられる skyrinol とよく似ている. この色素が spot-j に由来するものか, あるいは, もともと spot-j によっておおわれた微量の skyrinol が spot-j の消失によって現われてきたものか, いずれとも断定できないが, NRRL 1175 株に skyrin, oxyskyrin (2-hydroxymethylskyrin), skyrinol (2,2'-dihydroxymethylskyrin) が存在し, NRRL 1036 株にも skyrin, oxyskyrin が生成されることをあわせ考えると, NRRL 1036 株にもまた微量の skyrinol があり spot-j によっておおわれている可能性が考えられる. Table 5 に示された結果は, これを裏書きしているようにみえる. したがって, spot-j は skyrin $\rightarrow$ skyrinol に至る主経路から, はずれた別の経路に属するものであろう.

以上の考察に基づいて, 著者らは本菌株における色素相互間の生成的連関について, 次のような模式を提出する. これによって, skyrin, oxyskyrin が発育の早期に出現し, しかもきわめて安定なこと, islandicin と iridoskyrin, rubroskyrin と luteoskyrin がそれぞれたがいに緊密な競合関係を示す

こと, また, islandicin-iridoskyrin 群が rubroskyrin-luteoskyrin 群よりも安定であり, かつ, 両群はそれぞれ独立的に消長することなどが, この図式によってよく理解されるであろう.

Fig. 3. Hypothetical biosynthetic scheme of pigment formation in the strain NRRL 1036.

総 括

Penicillium islandicum Sopp. は色素成分によって NRRL 1175, 1036, LSHTM BB 233 の 3 chemical strains に分けられている. LSHTM BB 233 株は erythroskyrin を生産するという点で他の 2 菌株と関連しているが, erythroskyrin はアン

Fig. 4. Biosynthetic relationships of pigment formation in three chemical strains of *P. islandicum* Sopp.

トラキノン色素とは生成的には関係のないことが示されており、このことはまた、紫外線照射の実験からも明らかにされた。

ここで、アントラキノン系色素の生成的連関について、NRRL 1175 および 1036 両菌株を用いて行なった研究結果を総合して考察してみたい。

両菌株の生産する色素の化学構造を比較対照すると、次のような注目すべき諸点が指摘される。

1) Catenarin は emodin の α -hydroxyl 置換体であり、skyrin は emodin の dimer である。

2) Islandicin は chrysophanol の α -hydroxyl 置換体であり、iridoskyrin は islandicin の dimer である。

3) Luteoskyrin は flavoskyrin の α -hydroxyl 置換体の dimer とみなされ、また、rubroskyrin の脱水によっても容易に形成される。

これらの構造上の知見と、考察 1, 2 で示した生成経路とを結びつけると、*Penicillium islandicum* Sopp. における色素の生成的関連は Fig. 4 のように表わされる。

したがって、色素の生成に関して、NRRL 1175 株と NRRL 1036 株とのいちじるしい相違点は、前者に欠けている酸化系が後者では備わっていることである。また、きわめて興味のあることは、もっとも強力であり安定である skyrin $\rightarrow$ oxyskyrin $\rightarrow$ skyrinol の経路を両菌株が共有していることである。

この研究に際して、終始ご指導を賜った東京教育大学理学部の林孝三教授と有益な助言を賜った東京大学薬学部柴田承二教授に厚く謝意を表す。

References

- 1) Hayashi, K., Kikuchi, M., and Okamoto, Y., Bot. Mag. Tokyo **72**: 220 (1959).
- 2) Kikuchi, M., Okamoto, Y., and Hayashi, K., ibid. **73**: 195 (1960).
- 3) Kikuchi, M., ibid. **74**: 42 (1961).
- 4) Shibata, S., Kagaku (in Japanese) **26**: 391 (1956).
- 5) Gatenbeck, S., Acta Chem. Scand. **14**: 102 (1960).

Summary

On the basis of the experiments on pigment formation in several strains obtained from *Penicillium islandicum* Sopp. by UV-irradiation, biosynthetic interrelationships of the pigment components may be summarized as follows:

1) The strains obtained by irradiation are not mutants caused by gene mutation, but defective strains due to cytoplasmic change in irradiated spores.

2) In the strain NRRL 1175, the pathway leading to skyrin, oxyskyrin and skyrinol is found to be quite stable against UV-irradiation, and the loss or recovery of individual pigments has been achieved step by step during successive culture. Therefore, these 3 pigments are involved in the main pathway which proceeds according to the following fashion: skyrin $\rightarrow$ oxyskyrin $\rightarrow$ skyrinol. However, chrysophanol, emodin and flavoskyrin are unstable, and the appearance or disappearance of these pigments takes place independently of each other.

The biosynthetic route of the pigments in the strain NRRL 1175 is shown in Fig. 2 in the text.

3) In some defective strains obtained from the strain NRRL 1036, a faint new pigment spot comes into appearance in place of spot-j on the chromatogram only after disappearance of the latter pigment. This new pigment was identified as skyrinol by paper chromatography (Table 5). Thus, it is likely that skyrinol is also present in the strain NRRL 1036 probably being masked by preponderant spot-j on the chromatogram. Therefore, the route, skyrin $\rightarrow$ oxyskyrin $\rightarrow$ skyrinol, is the main pathway also in this strain.

Islandicin and iridoskyrin are formed from a common precursor in a competitive manner. The interrelationship between rubroskyrin and luteoskyrin is quite similar to that between islandicin and iridoskyrin.

In view of these experimental findings, a scheme of pigment synthesis in the strain NRRL 1036 is illustrated in Fig. 3 in the text.

4) Erythroskyrin stands outside the biosynthetic route of anthraquinones.

5) The most plausible feature of the biosynthesis of a group of anthraquinones in the two chemical strains of *Penicillium islandicum* Sopp. is mapped out in Fig. 4 in the text.