

보리와 맥아화학

윤 계 남
 <조선맥주 공장장>
 임 응 규
 <서울農大 副教授>

1. 서 언

맥아의 화학적 성분은, 보리종자의 자연발아때에 일어나는 과정과 비슷한 과정으로 보리의 성분이 변한 것이다. 그렇지만 그 성분은 맥아를 만드는 사람의 기술에 따라 다소 다를 수도 있으며 더욱 큰 변화는 건조과정에서 일어난다. 이 좁은 지면에 지금까지 연구된 '보리의 화학'을 모두 밝히는 것은 불가능한 일이므로, 맥아공업이나 맥아생산에서 중요하다고 인정된 성분만 설명하기로 한다.

2. 澱 粉 (starch)

보리와 맥아의 전체적인 분석이 Lüers (1950), Hopkins와 Krause(1947)에 의해 요약되었다(표 1). 맥아를 만들기 위하여 사용된 다른 곡물의 화학 분석은 de clerck(1958)가 집계한 數値를 표 2에 인용하였다. 量的으로 가장 중요한 것은, 보리의 건물중의 약 2/3를 차지하고 있는 전분이다. 보리에서 비교적 적게 분포하고 있는 다른 당분을 별문제로 하면, 결국 맥아 추출물의 약 85~90%를 공급하는 것은 전분이다. 이 중 70%정도는 양조 도중에 발효되며 어떤 때는 증류되는 도중 거의 전부 발효된다.

그러므로 전분은, 광합성의 최종 산물이라는 본래의 생화학적 중요성을 별개의 문제로 생각하더라도, 맥아와 맥아의 화학에 기반을 둔 공업에 있어서 중요한 위치를 차지하고 있다.

(1) 일반 구조의 고찰

전분 화학의 포괄적인 概觀은 Kerr(1950)등에 의해 이루어졌다. 그러나 여기서 전분화학의 발달과정을 약간 비춘 것은 곡물 전분에 관련시켜 현재 배우는 전분에 대한 이해를 쉽게하기 위함이다. 19C까지 곡물과 식물체에서의 전분의 존재에 관해 많은 것이 알려졌다. 그리고 그것은 de Saussure(1814)에 의해 maltose에서처럼 서로 뭉쳐 있는 글루코오스 잔사로 구성되어 있다고 밝혀졌다. 예를들면 1872년 O'Sullivan은 맥아당은 전분에 malt diastase를 작용시켰을 때의 최종생산물이라는 것을 증명하였고 그 후 1876년 maltose와 dextrin의 디아스타제적 가수분해時 생기는 부산물과의 비는 반응 온도가 63°C에서 70°C로 올라감에 따라 떨어졌다는 것을 증명했다. 이러한 보고는 많은 과학자들에게 디아스타제적 효소의 성질과 전분의 화학에 대한 많은 연구의 출발점이 되었다. 또한 Dextrin이 전분 구조의 열쇠를 쥐고 있다는 것을 확신하고 있었으나 Dextrin의 수효에 대해서는 서로 동의하지 않았다. Brown과

표 1. 보리와 맥아의 전체적 분석
(Cf. Lüers, 1950; Hopkins and Krause, 1947)

분석된 물질	보리에 있어서의 함량(乾物重 %)	맥아에 있어서의 함량(乾物重 %)
전 분	63—5	58—60
수크로스	1—2	3—5
환원당	0.1—0.2	3—4
다른 당류	1	2
가용성 gum	1—1.5	2—4
헤미셀룰로스	8—10	6—8
셀룰로스	4—5	5
지방	2—3	2—3
단백질	8—11	8—11
Salt-soluble [Albumin Globulin]	0.5 3	2
Hordein	3—4	2
Glutelins	3—4	3—4
Amino산 peptide	0.5	1—2
핵산 등	0.2—0.3	0.2—0.3
무기물	2	2.2
(인) P	1.0	1.1
규 소	0.9	1.0
(칼리) K	0.7	0.8
Mg	0.3	0.3
다른 물질	5—6	6—7

표 2. 곡물의 화학적 구성
(Results as percentage of wet weight)

	전분량	Cellulose	전분과 다른 지방탄수화물	지방	다른 非질소 성물질	단백질	회분
보 리	85	4.8	60	2.1	3.4	10.0	2.6
밀	86	2.5	65	1.7	2.4	12.5	1.9
호 밀	85	2.0	63	1.7	4.9	11.5	2.0
귀 리	87	10.8	53	5.3	2.1	11.7	3.0
옥 수 수	86	3.6	60	5.0	6.5	10.0	1.0
벼	86	2.0	70	0.4	—	7.7	0.3

Morris는 1885년 전 과정의 존재를 가정했다. 반면에 Baker와 Hylton은 1939년에도 dextrin(맥아즙)이 단순히 두 가지 물질의 혼합체라고 간주했다. 사실 전분의 진정한 화학적 성질은 전세계의 화학자의 연구결과로 서서히 밝혀졌다. 1931년 “전분 지식에 대한 우리의 실제 상태(The Actual state of our knowledge of starch)”라고 제목이 붙은 기록에서, Comrie는 1811년에서 1925년 사이에 전분을 제목으로 한 논문이 적어도 3,485편 이상 된다고 지적했다.

그럼에도 불구하고 Armstrong(1934)은 “전분의 비극(The Tragedy of starch)”이란 제목의 글을 썼

는데, 그는 거기서 “O’Sullivan이 연구한 이래 지금까지도 그 연구결과가 많이 향상된 것은 아니다. 그럼에도 불구하고 계속 도전하고 있다. 우리의 화학 기술은, 아마 자연의 가장 건설적인 행동이라 생각되는 전분의 광합성이 무엇인가를 해명하지 못해서 망신당했다.”라고 말했다. 그러나 Maquenne, Ohlsonn, Haworth, Hirst, Staudinger, Myrbäck, Peat와 Meyer 등의 여러가지 연구로 결국 그 문제는 해결되었다.

전분에 대한 많은 연구는 수많은 전분이 두개의 주요 구성물로 되어 있다는 사실 때문에 혼미속에서

해매었다. 이러한 두개의 주요 구성물질로 이루어졌다는 사실을 믿고 Marquenne은 二重性(duality)을 명백하게 선언했다. 이러한 연구자들은 전분粒으로부터, malt diastase에 의해 완전히 maltose로 분해되며, 옥도를 처리했을 때 질은 청색으로 변하는 amylocellulose(a) [후에 Amylose라 부름]와, 디아스타제에 의해 가수분해되어 maltose와 dextrin의 혼합으로 되게 하고, 옥도를 처리했을 때 붉은 보라빛으로 변하는 amylopectin을 분리했다. 전분粒으로부터 amylopectin을 분해시키지 않은 채로 150°F (65.5°C)의 물로 침출에 의해 Amylose를 분리했다. 그러므로 Maquenne와 Roux에 의해 이루어진 전분성분의 분리는 조잡한 것이었다. 그렇지만 그 방법은 Baum과 Gilbert에 의해 amylose와 amylopectin의 제조의 훌륭한 기초가 되었다. 그들은 Amylose의 용액과 불용(不溶) amylopectin의 현탁액이 되게 하기 위해 진공 조건에서, 95°C의 물에 분산시켜 여과하여 분리했다. Maquenne(1908 a)은 또한 콜로이드온막을 통해 녹말풀을 초여과하면 Amylose가 여과된다는 것을 발견했다. 초기의 연구자들은 다른 분산 방법을 써서도 전분의 이중성을 확신했다. 예를들면 Maquenne(1908 b)은 염화나트륨용액을 사용했고 Gatin-Gruzewska(1908)은 희석한 수산화나트륨 용액을 썼다. Schoch(1942)은 부철알콜 혹은 다른 유기용매와 가용성인 것과 불용성인 것을 再分溜해서 앞에 말한 다당류의 복합체를 결정화 시켜서 전분화산으로부터 고도로 정제된 amylose와 amylopectin을 調製하였다. 다른 과학자들 즉 Samec(1914), Samec와 Haerdtl(1920), Samec와 Meyer(1921)은 이온이동 때문에 amylopectin이 인산과 함께 이동하고 반면 전하를 띠지 않은 amylose는 이동하지 않는 원리에 의해 amylose와 amylopectin을 분리하기 위해 전분에 인산구름의 변화를 사용했다. 녹말풀의 점성과 diastase에 의해 maltose로 완전히 분해되지 않는 성질이 amylopectin의 내용물을 비교하기 위해 발견되었다. 전분에 있어서 amylose와 amylopectin의 비에 대한 추정은 5:1에서 1:5까지 차이가 컸으나, 확실하지는 않지만 5:1이 사실에

표 3. 감자 amylose와 amilopectin의 특성

	Potato starch	α -Amylose (amylopectin)	β -Amylose (amylose)
per cent.	100	84	16
(α)D		220.1	191.9
요오드에 의한 변색		red-violet (적자색)	Blue (청색)
요오드에 의한 침전		No precipitate	99% precipitate
인의 함량		0.076%	0.0009%
퇴화		Does not retrograde	Retrogrades

가까운 것으로 보인다. Baldwin (1930)은 표 3에서와 같이 감자녹말에서 첫번째 결과를 얻었다.

수용액에 친천히 분리되는 특성, 이 특성은 amylocellulose라 불리던 형태의 amylose의 첫번째 분리때 사용되었다. 1920년대 기본 구조단위인 maltose와 glucose의 구조가 밝혀져서 두 종의 분자(amylopectin과 amylose)의 분리에 화학구조의 차이에 의한 방법을 쓰게 되었다. 탄수화물의 메틸화 반응의 방법을 사용한 결과 산 가수분해에 의해 여러 종류의 glucose의 메틸 에테르를 생산하는, 완전히 메틸화된 전분을 얻을 수 있다는 것이 밝혀졌다. 이들 ether 중에 90% 이상이 2:3:6-trimethyl glucose로 구성되어 있다. 그외의 나머지는 주로 2:3:4:6-tetra methyl glucose로 되어 있고 약간의 2:3-dimethyl glucose도 존재한다. 이들 중 후자는 다른 ether가 탈 메틸화될 때 쉽게 얻어짐으로 그리 중요하게 생각되고 있지는 않다. 그리고 전분의 광회전과, 그리고 maltose의 배위라 알려진 잔재물에 대해 Haworth의 연구진(Haworth, 1934)은 glucose 잔여물의 α -1:4로 연결된 체인을 갖는 중합체라고 생각했고 구조식을 제시했다. 처음에 각각의 연결은 25-30의 이러한 잔유물로 구성되어 있다고 가정되었고 amylose와 amylopectin의 각각 다른 특성은 이들 분자내에서 각각 다른 방법으로 2차 原子價力에 의해 단위 연결이 결합되는 것에 기인하는 것 같다고 가정했다.

그렇지만 물리화학적 방법에 의하면 전분 분자는 상당히 큰 분자량을 가지고 있으므로, 25개의 단위 연결로 구성되어 있는 것을 초과한다. 그러므로

표 4 Amylose 함유량과 전분의 단위연결의 평균 길이

A Starch Source (천 분 源)	B Amylose(%)	C unit chain의 평균길이 (glucose 전유물)		
		(a) by methylation	(b) by periodate oxidation	(c) calc. for amylopectin from (b)
도 토 리	24	—	—	—
사 파	27	—	—	—
촬	21	—	27	22
바 나 나	17	26	26	22
보 리 (var Pioneer)	22	—	30	23
칸 나	—	27	—	—
Easter lily	34	—	—	—
느릅나무 변재	22	26	26	20
<i>Hevea brasiliensis</i> , Seed	20	—	30—31	24
마르니에 열매	—	28	—	—
붓 속	27	—	28	20
옥 수 수	50	—	—	—
사탕단풍나무변재	19	30	29	22
귀 리	26	—	27	20
양 방 풍 나 물	12	—	23	20
완두 { smooth, var. Alaska	35	—	—	—
{ wrinkled, var. Perfection	66	—	—	—
{ var. Steadfast	80	—	—	—
피 얼 마 니 옥	16	—	24	20
감자 { var. Golden Wonder	22	—	28	22
{ var. Redskin	22	—	28	22
벼	19	30	28	22
Sago 야 자	26	—	25	19
고 구 마	18	28, 34	28	23
타피오카 (Cassava 뿌리로 만든 식용녹말)	17	—	26	22
밀	25	24	26	20

처음의 단순한 전분 구조의 그림은 불충분한 것은 명백하다. 전분과 그 의 구성물에 있어서 화학적으로 완전한 체인의 길이와 물리화학적으로 추정한 분자량의 불일치는 부분적으로 Staudinger와 Husemann (1937)에 의해 해결되었는데, 그들은 전분이 *latter chain*의 3 혹은 6 위치에 글리코시드 결합에 의해 중앙 체인에 연결된, 위에서 말한 형태의 체인을 포함하고 있다고 가정했다. 그러한 Branching point의 개념은 전분 분자내에 존재하는 β -amylose와 같은 효소의 작용에 장애물이 된다는 사실과 일치한다. 그런데 이들 장애물은 위에서 말한 형의 인산그루이나 α -1:4-glucosidic linkage를 갖지는 않는다. 이러한 장애물 1:6- α -glucosidic bond와 같은 —의 특징은 Freudenberg의 연구팀과 Barker(1941)에 의해 증명되었다. 그런데 그들의 연구 결과는, 위에서 완전히 메틸화된 전분의 가수분해의 산물이라고

말한 바 있는 2:3-dimethyl glucose가 인공물이 아니라는 것을 인식한 결과 위의 사실을 증명했다. 전분에 있는 α -1:6-glucosidic bond의 존재의 입증은 그러한 결합을 갖는 amylopectin과 갖지 않는 amylose의 차이를 밝히는데 열쇠가 되었으며 여기

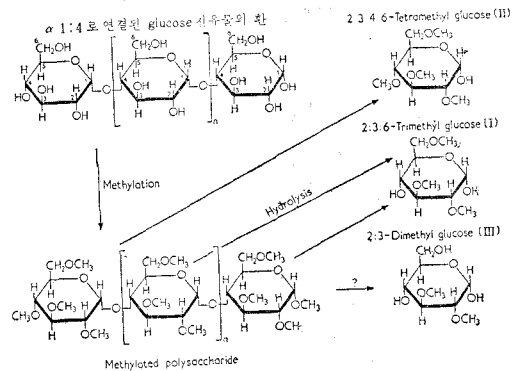


그림 1. 전분으로부터 glucose의 Methyl-ether의 형성

*Maltose(IV); n=0.

에 착안하여 Meyer의 연구팀은 현재에도 인정하고 있는 amylose와 amylopectin의 구조 모형을 완성했다. 이들은 인산이 없는 전분으로 부터 (a) 분자량이 10,000~60,000이고 β -amylose에 의해 분해되어 이론상으로 100% maltose로 변하는 amylose 성분과 (b) 분자량이 50,000~1,000,000이고 β -amylase에 의해 70% 밖에는 분해되지 않는 amylopectin을 얻기 위해 수성용탈법을 사용했다. Meyer Werthein 그리고 Bernfield는 완전히 메틸화된 amylose의 가수분해는 300의 glucose 잔기의 체인에 대해 1개의 말단 비환원 단위에 상응하는 적은 양의 2:3:4:6-tetramethyl glucose밖에 생산하지 못한다는 것을 입증했다. 300의 글루코오스 잔재물에 있어 300이라는 숫자는 Hassid와 McCready(1943), Hess와 Krajnc(1940)가 이온이동에 의해 얻은 amylose를 가지고 연구하는 도중에 발견했다. 이와 유사하게 메틸화된 amylopectin의 가수분해는 27의 글루코오스 단위에 대해 1개의 tetra-methyl glucose를 생산한다.

참고로 대부분의 다당류는 약 1,300개의 글루코오스 단위를 가지고 있다.

이러한 사실은 amylopectin 분자가 α -1:4-glucosidic linkage 이외에 α -1:6-glucosidic bond에 의해 다른 글루코오스 잔재물에 연결되는 27개의 단위 각각에 1개의 glucose 단위를 갖으며, 가지를 쳐서 나무 형태의 구조로 구성되었다는 가정에 의해

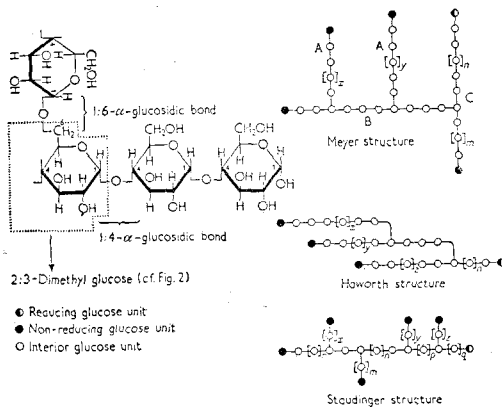


그림 2. 전분의 Amylopectin 성분으로 제안된 구조

근정되었다.

Myrback(1948)은 전분의 효소에 의한 가수분해와 전분의 산 가수분해로부터 α -1:6-link된 단순한 이당류 iso-maltose의 분리에 대한 연구의 결과 비슷한 결론을 얻었다. isomaltose의 형성은 결정형 당의 분리와 결정형 유도체의 분리에 의하여 실증되었는데, Montgomery et al(1949)는 전분의 taka-amylase로부터 증명했고, Wolform et al(1951)과 Tompson et al(1953)은 산 가수분해와 다당류의 Acetolysate로부터 증명했다. 枝狀의 당인 panose도 또한 분리되었다. 위에서 말한 amylopectin의 호생구조 즉 staudinger formula (또한 염상구조라고 알려진 (Haworth et al 1937) 있다)는 다당류의 물리적 성질과 앞으로 설명할 여러가지 효소 작용의 결과를 설명하는데 적당하지 못하므로 기각되었다. 최근에는 녹말의 메틸화된 구성물의 가수분해의 정확한 분석에 chromaography법의 사용으로 상당한 정확성의 증가를 나타냈다. 더우기 각각 비환원 말단 글루코오스 잔재물이 있는 2:3:4-triol group으로 부터 유리된 포름산의 총량을 쓰는 페리오레이트(perio-date)를 사용하여 다당류를 환원시키는 새로운 방법이 메틸화 반응 과정에서 chromatography법을 사용했을 때와 같은 결과를 보였다.

그것에 관해서, amylopectin에 있는 단위 체인의 길이는 약 17에서 26의 전분의 다른 변형체의 단위 체인으로 변한다는 것을 표 5에서 밝혔다.

이처럼 일반적인 윤곽이 명백히 밝혀지긴 했지만, amylopectin과 amylose의 미세구조에 대한 상세한 설명은 되지 않고 있다. 그렇지만, 근래에 몇가지의 미세구조는 밝혀졌다. 예를들면, 고구마로부터 분리한 순수한 β -amylose는 실제로 예전의 실험에서 발견된 것처럼 amylose를 완전히 maltose로 분해시킬 수 없다는 사실이 관찰되었다. β -Amylose는 다당류를 maltose로 70%까지 밖에는 변화 시키지 못하고, 분지점을 끊어서 100%까지 전파시키려면 Z-enzyme이라 부르는 다른 효소가 필요하다.

이러한 분지점(分枝點)의 특성은 아직 밝혀지지 않았고, 셀르비오스의 1.4-결합인 제니로비오스의

표 5. 여러가지 전분의 amylopectin에 있는 unit chain의 길이
(glucose unit로 표시)

Starch Source (전 분 源)	Method of Estimation (측정 방법)	
	Methylation	Periodate Oxidation
사 과 Apple (var. Newton Pippin)	—	24
보 리 Barley (var. Pioneer)	26±2	24
Colocasia, tubers	22	22
Easter lily	—	27
Hevea brasiliensis, seed	23	24
옥 수 수 Maize {Waxy "Amylomaize"	18	20
	—	36
귀 리 Oats (var. Sun II)	—	20
흰 Parsnip (var. Hollow Crown)	—	20
시 제 초 Passion fruit (Passiflora edulis)	17	17
완 두 Peas {smooth (var. Alaska) winkled (var. Perfection)	—	26.6
	—	36
감 자 Potato {var. Golden Wonder var. Redskin	—	22
	—	22
Sago	—	22
타피오카 (Cassava 뿌리로 만든 식용녹말)	—	23
밀 Wheat	—	23

1 : 6-결합, 라미나틴의 1 : 3 결합, 그리고 효소적으로 합성된 이당류에 있는 1 : 2-연결을 포함하는 많은 연결의 가수분해에서, Z-enzyme과 유사한 에멀신의 발견은(Peat et al. 1952) 그것들이 β -linkage라는 것을 암시한다. 그러나 다른 상세한 증거는 다음장에서 설명하기로 한다. Amylopectin에 있어서 α -1 : 4와 α -1 : 6-glucosidic bond 이외의 다른 연결의 존재도 산으로 다당류를 산화시켰을 때 일어나는 가수분해후 일어나는 페리오메이트(periodate)에 의한 산화의 결과로 암시되었다(Hirst et al., 1948). 여러 과학자들은 1 : 2 : 3-triol group의 산화가 봉쇄된 글루코오스 단위로 부터 유래한다고 믿어지는 즉, 2 혹은 3 위치에 연결되어 있는 glucose의 0.5~1.5%인 가수분해물을 발견했다. 그 뒤 Gibbon과 Boissonass (1950), Anderson et al., (1955)에 의해 이루어진 연구는 이러한 조건하에서 glucose가 생성되지 않는다는 것을 증명했다. 그러나 가수분해물로부터 환원된 산물에 의한 검사에 의해, 변칙 연결의 존재를 암시하는 0.5%의 핵시톨이라고 밝혀졌다. 전분에 있어서 α -1 : 3-bond의 존재의 직접적인 증거는 산 가수분해로 부터 특정한 이당류 nigerose를분리한 Wolform and Thompson

(1956)과 홍조 녹말에서의 β -Amylose의 작용으로부터 nigerose를 얻은 Peat et al. (1956)에 의해 제시 되었다. 그러나 아직까지도 이러한 연결 들이 어느정도까지 전분분해에 장애물이 되는지는 불확실하다.

다른 목적으로도 1 : 4와 1 : 6-bond의 정확한 성질의 파악은 필요하다. Peat et al (1952)은 amylopectin과 관계된 다당류인 Glycogen에 있는 글루코스 잔재물에는 세가지 종류의 Chain이 존재한다는 것을 지적했다. 즉, 환원 군(群)(C₁)을 통해 단순히 다른 chain에 연결된 A catin, C₆에 A chain을 옮기며 자신은 환원 군에 의해 다른 chain에 연결되는 Bchain과, amylopectin 분자에 하나의 실제 환원군을 갖고 있는 C chain이다, Amylopectin과 glucogen의 효소에 의한 연속적인 분해를 바탕으로, Larner et al (1952)과 Peat et al, (1952, 1956)은 이러한 다당류들이 Meyer식에서의 결과와 같이 대개 같은 수의 A chain과 B chain을 가지고 있다는 것을 보였다. 더우기, 前者의 연구자들은 β -amylose나 phosphorylase에 의해 枝狀의 다당류를 분해시켜 연결에 대한 글루코스 잔재물의 숫자의 양적 개념을 얻었다. 그런데 β -amylase나 phosphorylase는

한계덱스트린을 처리하여 Amylo-1:6-glucosidase와 함께 (β -Amylase나 phosphorylase에 의한 주요 장애물의 필요적인 분열) 여러번 전체 과정을 반복하여 얻은것이다. 효소 사용으로 각 체인에 남은 分枝點에 인접한 글루코스 잔재물의 수를알고, Larnar et al. (1952)는 표 6에서 보인 바와 같은 결과를 계산했다. 내부의 가지는 1:6-linkage사이의 분자의 일부분일 것이고 얻어진 5에서 6의 glucose 단위의 숫자는, amylo-1:6-gucosidase의 자리에 R-효소를 사용해서 분지점 사이의 거리는 5개의 glucose단위 보다 적다고 결론을 내린 Peat et al의 계산결과와 큰 차이가 없다. amylopectin에서 평균 분포를 갖는 자료에도 불구하고 점성도와 다른 측정법에 의하면, amylopectin은 가지가 없는 부분까지 포함하며 여기서 이것을 보충하기 위하여 분자의 다른 부분은 평균보다 훨씬 더 많이 분지 되어 있다는 증거가 있다. amylopectin에 있어서 인접한 枝狀 연결의 존재 가능성은 Whelan and Roberts (1952)에 의해 논의 되었고, 다당류인 glycogen과 관련하여 인식되었다. Wolform and Thompson (1957)에 의해 2개의 α -1:6-glucosidic bond를 갖고 있는 삼당류의 isomaltotriose인 소의 간의 glycogen의 산 가수분해물에서 분리된 것처럼 녹말의 미립은 amylose와 amylopectin의 unit가 불안정한 결합으로 이루어진 거대한 분자라고 생각되었고, 그러한 결합은 화학 시약을 처리하면 미립의 분산에 의해 쉽게 분열된다. 사실 Baum et al (1955), Cowie and Green Wood(1957)은 공기가 없는 조건하에서의 녹말의 분산은, 보다 일반적인 분산과정에 의해 분리된 250~

400의 glucose 단위로 구성된 물질 대신에 2,000~4,000의 glucose 잔재물의 단위 체인을 포함하는 amylose를 생산한다는 것을 발견했다. 이렇게 하여 천연의 전분을 공기가 존재하는 조건하에서 amylose를 분리하는 동안에도 분열하는, 산소에 민감한 반응을 나타내는 결합을 하고 있다고 가정 되었다. 이러한 점도 불구하고 amylose와 amylopectin이 여러 가지 방법에 의해 거의 완전히 분별 분류될 수 있으므로 동질의 물질이 아니라는 상당한 증거가 있다. 예를들면 Cowie와 Green-wood (1957)은, 비록 산소가 없는 조건일지라도 70°C의 물에서 전분 미립을 용탈시키면, 부틸알콜의 적정에 따른 완전 분산에 의해서 얻어지는 미립의 amylose와 비교해서 낮은 분자량의 amylose를 녹게 했다는 것을 입증했다.

보리의 전분과 감자의 전분을 사용하여 Banks et al. (1959)는 여러가지로 물의 온도를 달리하여 粒을 용탈시켜 amylose의 sub-fraction의 수를 작성하였고 fraction은 낮은 분자량을 가졌을 때와 복잡한 fraction에 대비하여 β -amylose에 의해 완전히 분해되었을 때 가장 잘 용탈 된다는 것을 보였다. 그렇지만 이러한 후자의 fraction은 앞에서도 이야기한것처럼 Z-효소의 존재 하에서는 β -amylase에 의해 완전히 maltose로 가수분해 된다. Banks et al.은 분리된 모든 fractoin의 분자량은 천연 계수의 분산에 의해 지적한 바와 같이 크다는 것을 지적했다.

다른 과학자들도 amylose와 amylopectin의 sub-fraction을 만들기 위해 육도로 분별 침전을 쓰거나 유사한 방법을 사용했다.

표 6. Glycogen과 Amylopectin의 Branching point의 분포

분류한 다당류	Unit chain의 평균 길이 (glucose 잔유물)	효소에 의해 가수분해된 외부 측쇄에 대한 glucose unit의 수치		glucose 잔유물의 평균 수치	
		phosphorylase (인산화 효소)	β -amylase	outer branch (외부-branch)	inner branch (내부 //)
토끼 간의 glycogen	15	5.3	7.1	9	6
토끼의 근육 glycogen	15	5.1		9	6
밀의 amylopectin	18	8.2	10.8	13	5
옥수수 amylopectin	24	12.9	15.6	18	6

Lewis와 Smith(1957)은 전기영동법을 사용했고 Ulmann(1950), Fischer and Settele(1953)과 Taki(1959)는 Chromatography를 써서 amylose 구성물을 분리했고 Perlin(1958)은 Baun et al(1954, 1955)의 방법을 두 group로 나누어 amylose preparation으로부터 여과하여 밀의 amylopectin을 분리했다. 이들 두 group은 (a) 예비초원심분리로 분리한 fraction B (b) 에틸알콜로 침전시켜 fraction B의 상층액으로부터 얻은 fraction C 이었다. 이들 후자의 amylopectin component는 확실히 관찰되지는 않았고 옥도와 결합하려는 B와 같은 능력을 가졌으며, B에서처럼 같은 평균 Chain 길이를 가졌다. Perlin은 그가 만든 amylopectin B를 침전법으로 sub-fraction했고, sub-fraction해서 얻은 것파, 공기중에 방사성 이산화탄소를 주어 기른 밀로부터 얻은 Amylose와 Amylopectin C는 방사능 비가 다르다는 것을 발견했다. 관찰된 방사능 비의 차이는 추적자를 부착한 식물의 생장 단계에 의존하며, amylose와 amylopectin은 Parallel rate에서 멀리 떨어진 핵(核)에 위치하며 더우기 여러가지 branched component는 동시에 합성되지 않는다는 것을 강하게 암시한다. amylopectin과 amylose가 목물의 발달과정에 parallel rate로 합성되지 않는다는 것은 일찍이 Maywald et al. (1955), Bice et al (1945), Wolf et al. (1948), Harris and Mac William (1957)에 의해 입증되었는데 이들은 전분의 요오드 반응은 전분 배치의 초기단계 동안 증가한다는 것을 보였다.

그러므로 비록 이러한 사실이 일찍이 Pacsu (1947)가 제시한 것처럼 파립에서 이들 종류가 연결되어 있을 것이라는 가능성을 배제하지는 못하지만 전분 파립에 Amylose와 Amylopectin의 뚜렷한 종류가 존재하는 것을 시사했다. 전분 분별 분리의 성과에 영향있는 전분구성물에 있어 파립 대 파립 변이체가 어느 정도인지는 알려져 있지 않다. 예를 들면 비율과 성질은 어린 파립에서도 다르다. 이 문제는 실험적인 시도를 필요로 하는데 Greenwood와 Thomson (1961)은 목물의 基部와 말단에서 얻은 보리

전분의 특성의 차이를 발견했다.

(2) 보리 전분

효소에 관한 많은 연구의 자료로 천연의 보리 전분이 사용되었지만 보리전분과 맥아의 화학에 특히 공헌한 연구는 비교적 적다.

① 보리에 있어 전분의 기원과 발달

보리 전분의 미립은 처음에 종자의 源起(begin)가 시작된 며칠 후에 내배유의 세포에서 볼 수 있는데, 처음에 구형으로 나타나나 후에 콩모양 혹은 렌즈형으로 성숙한 전분의 특성을 나타낸다. Standstedt (1946)은 밀에서 내배유 세포의 전분은 호분층의 비전분 세포의 내부분열에 의해 형성된다고 가정했고, 보리의 경우에도 비슷할 것이다.

전분은 일찍이 보리가 성장할때 잎과 줄기에 저장된 fructosans를 사용하여 만들어 진다는 견해가 일반적이다 (Belval 1924). 그렇지만 Archbold (1938, 1942, 1945)와 그녀의 공동연구자들은 이러한 견해가 부분적으로만 맞는다고 주장했다. Yemm (1935)등은 보리잎의 탄수화물은 Sucrose, glucose, fructose이며 약간의 fructosan이 있고 어떤 계절에는 전분도 존재한다고 밝혔다. 반면에 fructosan은 잎으로 저장되거나 호흡에 사용되면서 적절한 중간마디로만 이행된다. 적절한 잎집과 잎의 기능이 있는 각각의 마디는 다소 독립적인 단위이며 저장된 fructosan이 거의 이행되지 않는 것으로 나타난다.

C¹⁴로 표시된 이산화탄소를 사용하여 잎에 공급된 방사성원소가 곡물에는 거의 가지 않는것을 직접 증명했다. 대부분은 sucrose로 변화가 되고 약간의 당단위를 4개 이상 갖는 fructosan으로 변화 된다.

(Mayer and Porter, 1960). 그럼에도 불구하고 이삭에는 fructosan이 잘 공급된다. 공급된 60%의 당이 이런 형태이며 나머지는 환원당과 sucrose의 동등한 부분을 차지하고 있다. 그러나 이러한 영양생장부분의 가용성의 탄수화물이 이삭형성에 상당히 중요하다고 생각되는 반면에 그외 이삭의 성숙은 Watson과 Novman (1939)에 의해 보리에 있어 등화기관으로 중요하다고 증명된 잎엽근 그리고 이삭

자신에 기인한다. Porter는 성숙한 곡물중의 전체 탄수화물중 25%가 이삭이 나오기 전에 만들어진 것이며 45%가 위파디와 엽병에 있는 잎과 엽초에 의한 동화작용에서 올 것이며 30%가 직접동화작용으로 얻은 것이라는 것을 발견했다.

Buttrose와 May (1959)는 C¹⁴표시된 이산화탄소와 sucrose에서 후자의 분포와 같은 높은 특정 표치를 얻었다. 밀을 사용했을 때도 같은 결과를 얻었는데 Boonstra (1929)와 Smich (1933)은 30~40%의 탄수화물이 직접동화에서 형성되는 걸간화경 그리고 이와 연관된 기관에 의해 밀의 이삭을 이루는 성분이 조정된다는 것을 발견했다. 그렇지만 보리에 있어서 경단의 까락도 이삭의 생육초기에 제거하면 비교구와 비교했을때 건물중의 전분성분에 손실을 가져오는 것으로보아 탄수화물 형성에 변화를 미치는 것으로 보인다.

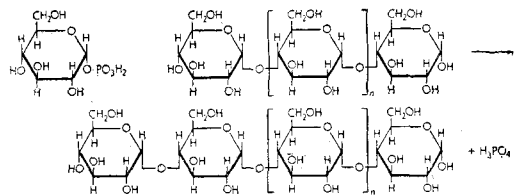
Mac Leod (1952 a)가 지적한 것처럼 이삭에서 합성된 탄수화물이 먼저 생산된 당분보다 우선적으로 전분으로 결합되는지 아닌지는 아직도 확실하지 않다.

그러나 출수기의 전체 당분은 성숙하는 동안 약간의 호흡에 사용되기도 충분하다. 왜냐하면 성숙한 밀의 당은 단순히 먼저 생산된 물질의 나머지를 대신하기 때문이다. 이렇게하여 전분이 fructosan의 변화에 의해 이루어진 것이라는 Belval의 주장은 옳지 않다고 밝혀졌다. 사실 Porter et al. (1950)은 fructosan의 경향이 있다는 것을 밝혔다. 호흡변화의 결과가 나타나있지 않는 것으로보이는 후기의 fructosan의 신속한 감소를 연구하긴 했지만 Harris와 Mac William (1957)도 이와 비슷한 결론을 얻었다.

Mac William (1957)은 성숙과정 중의 전분의 발전은 다소 대수형태의 곡선을 그린다는 것을 밝혔다. 사람들의 특별한 관심은 청색반응을 보고 측정하여 청색價가 나타나는 전분이 옥도와 반응하는 능력에 기울어졌다. 그런데 황색가는 전분합성이 진전됨에 따라 O₂에서 0.36~0.37로 증가한다. 전체보리 전분중의 amylose와 amylopectin의 비는 침전이 진행될 때, (다른 말로 하면 amylopectin 합성의 비는

amylose합성의 비에 처음 몇주일간은 크게 작용한다.) 증가한다는 것이 추정되었다. 보리의 amylopectin과 amylose의 청색가가 각각 0.05와 1.3이라는 가정하에서 전체 전분 중에서 amylopectin과 amylose의 비를 그림 4에서 이러한 다당류의 발달과정을 보기위해서 실었다. 이러한 결과는 옥수수과 밀에서도 일치 되는데 옥수수에서는 성숙한 것보다 성숙하지 않은 것이 더 적은 비율의 amylose를 포함한다는 것이 증명 되었다.

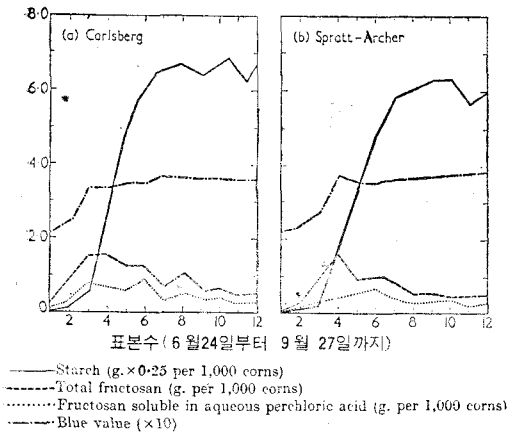
발달하는 전분 파립에 있어서 왜 이러한 움직임이 일어나는지는 확실히 밝혀져 있지 않다. 전분의 합성은 효소인 Phosphorylase의 작용으로 glucose-1-Phosphate로부터 amylose형의 직선형분자의 주 동화작용을 포함한다는 것이 1960년 대까지 일반적으로 통용되었다. 이러한 반응으로 형성된 다당류의 구조는 Haworth et al(1942)와 Hassid and Mc Cready (1941)들의 메틸화반응을 연구한 결과 밝혀 냈는데 Haworth et al은 측쇄길이가 80—90 glucose 단위라는 것을 밝혔다. 실험실 내에서 합성된 amylose의 분자량이 어찌서 자연상태의 amylose보다 적은지는 아직도 원인이 규명되어 있지 않지만 Husemann et al (1958, a,b,c)는 가수분해효소인 isoamylase의 존재에 기인한다고 가정했다.



Phosphorylase의 작용은 가역적이며 전분이나 glycogen이 가인산분해되어 glucose-1-Phosphate로 되는 것이 합성반응보다 먼저 밝혀진 것은 확고적인 사실이다. amylose의 형성은 전분의 존재하에서 혹은 malto tetraose로 되는 성질의 가장 작은 원료부합물인 시발체로만 일어난다.

실험실내에서 amylose 합성의 증명에도 불구하고 생체내에서의 amylose의 형성을 phosphorylase이외의 효소 즉, amylose 합성효소의 작용의 결과로 일어나는 것으로 생각된다.

그림 3. 성숙되는 중의 보리의 전분과 다당류의 함량



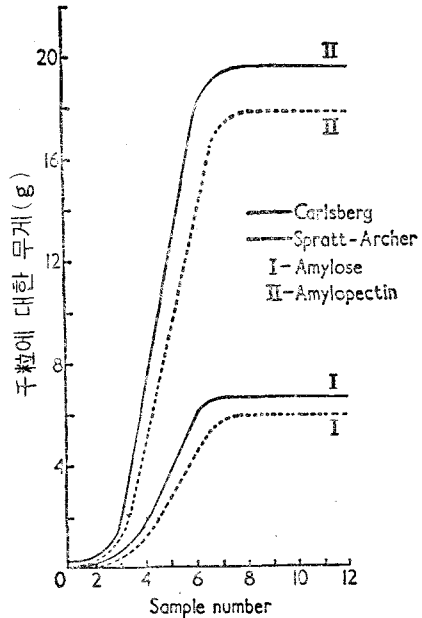
전분 파립과 밀집한 관계가 있는 이효소는 glucose가 amylose chain이 결합되어 있고 UDP의 절반이 분포되어 있는 UDPG(uridine diphosphate glucose)와 Nucleotide가 선재하는 전분시발체의 반응을 일으킨다.

amylopectin의 합성은 먼저 형성된 amylose를 사용하여 Q-효소라 알려진 효소의 작용에 의해 일어나는 것으로 생각된다. 이 효소는 Phosphorylase가 부가되기 전까지는 glucose-1-Phosphate와 반응하지 않는다.

그래서 amylopectin의 다당류의 성질이 나타나는 것이다. 또한 이 효소는 (an 40 glucose unit 이상을 포함하는 선형 1:4-2-glucosans에만 신속히 반응한다. 식물체로 부터의 Q-enzyme과 Phosphorylase는 모두 순화되었고 결정화 되었다. 그러나 같은 동질의 단백질로서는 아직 분리되지 않았다.

위에서 말한 출수기 첫 수주일 동안의 amylose비율의 증가는 Phosphorylase나 amylose 합성효소에 관계하는 Q-enzyme의 활성의 부족에 기인한 것으로 생각된다. 보리에 있어서 Phosphorylase의 존재는 밝혀졌고 후에 Phosphorylase와 Q-enzyme은 다른 곡물에서도 밝혀졌다. 그러나 Fawa(1957)은 남아있는 옥수수과 전분이 있는 옥수수의 핵의 Q-효소와 Phosphorylase의 비율은 거의 같고 발육의 여러 단계에서도 거의 비슷하다는 것을 발견했다. 그런데 남

그림 4. 곡물(보리)이 성숙되고 있는 중의 Amylose와 Amylopectin의 변화



이 있는 옥수수 대부분은 amylopectin으로된 전분을 가지고 있으며 옥수수의 경우는 Amylose와 amylopectin의 비가 정상적이라는 것도 발견했다.

그래서 그는 두 효소의 비율이외의 의다른 요인이 전분분합성의 고리계 비에 영향을 미친다는 결론을 내렸다.

아마 그것은 amylose 합성효소의 작용이나 전분 형성의 다음단계에서 감소하는 UDPG의 성분의 작용으로 보인다.

최근의 감자는 amylose-Q-enzyme에 의해 D-enzyme의 활성이 Amylopectin으로 전환하는 것을 제외하고 amylose로 남는 amylose 합성효소 혹은 phosphorylase의 작용으로 부터 생기는 amylose를 합성하기 위해 선형 dextrin을 파괴하는 효소 즉 D-enzyme을 사용한다는 것이 제시되었다. 반면에 Erlander(1958)은 데브란칭 효소에 의해 뒤에 전분으로 변하는 glycogen이 먼저 합성된다고 주장했다. 그렇지만 Mc Connel et al (1958)은 밀의 핵에서 전분 형성을 추적하기 위해 glucose-1-¹⁴C와 Ceatute-1-¹⁴C 그리고 ceatute-2-¹⁴C를 사용하여, starch fraction은 Amylopectin보다 적은 가치가 있으나 표면

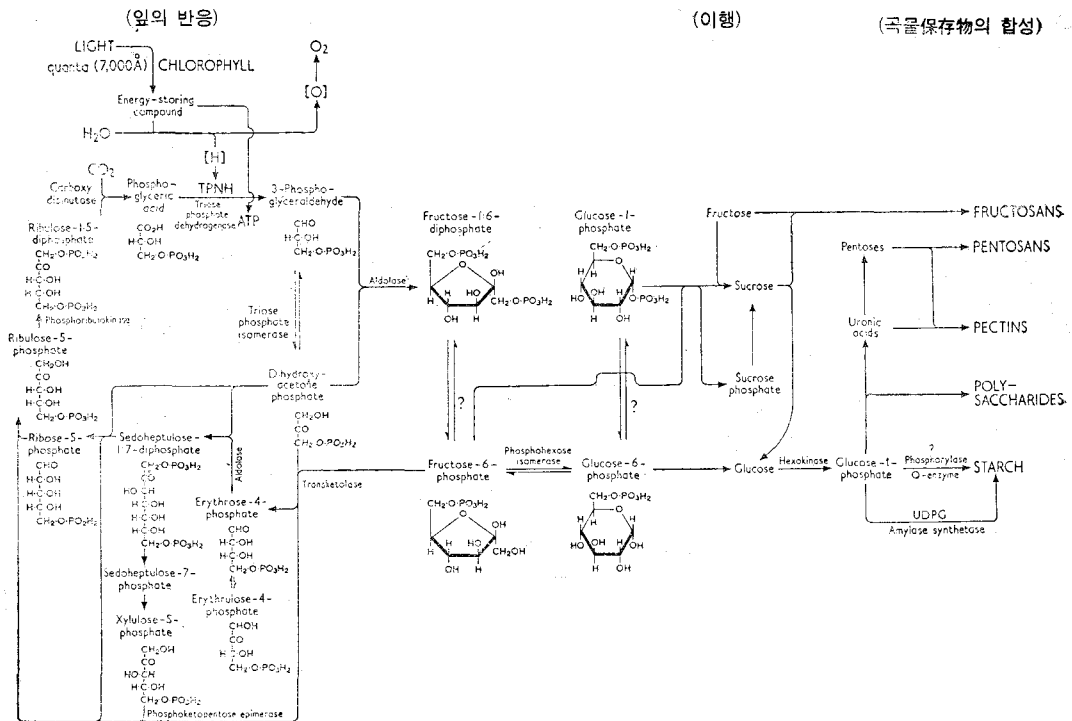


그림 5. 광합성에 의한 탄소고정경로와 이행된 당과 전분의 형성과의 관계

상 중간 매개 물질로 작용하는 Amylose 보다는 더 많은 가지가 있다고 생각한 초기의 과학자들과 같이 Amylopection이 Amylose로부터 합성된다는 것을 제시했다. Whistlor와 Young (1960)은 밀에서 abel된 sucrose로부터 전분 합성을 연구한 결과 amylose로 가는 경로는 amylopection으로 가는 경로보다 더 직접적이라고 증명했다. 그러나, amylose가 amylopetin으로 전환된다면 반응은 앞의 다당류가 전분과립으로 혼합되기전에 일어나야 한다는 것을 증명했다. 보리 곡물의 다당류의 형성이 이삭과 그리고 그에 관련된 기관에 의해 크게 조정되고, 전분의 합성이 직접 혹은 UDPG를 경유하여 glucose-1-phosphate로부터 일어난다면, 어떻게 그리고 어디서 전분의 전구체로써 가용성 당의 작용은 일어날까? 현재, 그것은 보리와 같이 대기중의 이산화탄소를 사용하여 열목체에서 광합성을 하는 다른 녹색 식물에서 상세하게 연구된 반응을 유추해서만이 논의가 가능하다. 옥수수 잎과 보리잎에서의 광합성에 관한 연구는 적어도 완전히 연구된 器宮에 있어 상

당한 유사성을 보인다. Calvin 등은 일반적으로 광합성에 있어서 이산화탄소는 먼저 vinyl phosphate를 경유하기 쉽고 Carboxy-dismatase라 부르는 효소의 영향하에서 두분자의 Phosphoglyceric acid를 형성하기 위해 ribulose diphosphate와 응축된다고 가정했다. 이 효소의 작용 특징은 여러 과학자들에 의해 밝혀졌고 광합성에서 이산화탄소의 고정된 전체 사이클은 알려져 있는 반응으로 설명할수 있다고 주장한 Racker (1955)와 Weissbach (1956)에 의해 효소도 분리되었다. 이러한 반응은 그림 5에 요약되어 있다.

처음의 Phosphoglyceric acid는 hydroxyacetone Phosphate-ceassical Enbden-Meyerhof-Panas 도표에 따라서 해당작용에서 일어나는 변환의 역반응인 변환을 형성하기 위해 물의 광분해에서 얻어진 산소를 보위하고있는 TPNH₂에 의해 환원된다. 이렇게 하여 dihydroxy acetone phosphate는 glyceraldehyde phosphate로 이성체화되고, triose Phosphates는 hexose Phosphates를 형성하기 위해 응축된다.

보리잎에서 glucose-1-Phosphate의 존재와 벼의 존재가 주목되었다. aldolase와 케틀전이효소에 의해 촉매작용이 되고 triose와 hexose Phosphate를 포함하는 여러가지 반응을 더욱 많은 이산화탄소를 고정하는 ribulose diphosphate를 생성하기 위한 것이다.

hexose Phosphate는 sucrose의 전구체로 작용하고 그대로 fructose와 glucose를 생성시킨다. 부수적으로 (a) 2: 6-dichlorobenzenoneindophenol의 광반응 (b) 산소의 방출 (c) 여러가지 보조인자의 존재하에서 무기인산(inorganic phosphate)의 고정에 의해 확증된 광합성의 반응은 분리된 엽록체와 엽이나 digitonin의 작용에 의해 얻은 엽록체의 추출물에 의해 촉매작용이 나타난다. 후의 과학자들은 phosphoglyceric acid가 광합성의 최초 안정한 산물이라는 견해를 비판했고 그것은 유도된 호흡의 당분해산물이라 생각했다.

그러므로 반응경로와 광합성의 energy論은 더욱 연구가 필요하다. Arnon et al (1958)은 최근에 광합성적인 인산화반응 (Photosynthetic Phosphorylation)은 mitochondria에서 일어나는 산화적 인산화 반응과는 달리 산소와는 무관하고 실제로 직접적으로 光에너지의 영향을 받으며 수분이 있고 엽록체의 추출물에 존재하는 TPN-환원인자를 요구하는 반응에서 TPN에 의해 촉매작용이 일어난다는 것을 증명하였다. 전체적인 반응은 $2ADP+2P+2TPN+4H_2O \rightarrow 2ATP+O_2+2TPNH_2+2H_2O$ 이다. 이렇게 하여 energy를 필요로 하는 인산화 반응에 ATP를 공급하고 탄화고정에서 CO_2 를 환원시키는 데 $TPNH_2$ 를 공급하는 것이다.

보리 조직의 녹색부분에서 형성된 hexose phosphate는 직접 전분형성의 substrate가 된다. 그렇지만 인산화된 당이 세포막을 투과하는 데는 용이하지 않으며 hexose phosphate의 일부분 (곡물 이외의 식물체의 다른 부분에서 유래하고 전분형성에 관여하는)은 sucrose나 hexose 즉 보리잎에서 중요한 탄수화물 구성물을 형성하는 당의 형태로 이행한다고 생각된다. 이렇게해서 Badenhuizen과 Dutton (1956)은 방사성 이산화탄소를 주어 생육시킨 감자줄기

에 있어서 중요한 방사능은 적은양의 hexose를 가지고 있는 sucrose에서 나타났다는 것을 발견했다. 이러한 3가지의 당은 sugar를 glucose-1-Phosphate와 UDPG로 다시 변환시킬 수 있는 체제로 되기위해 전분을 형성하는 세포와 결합해야 함이 틀림없다. 이러한 전체 변환을 일으킬 수 있는 효소계는 식물체에서 나타난다고 알려졌고 (a) hexose Phosphate와 그의 유도체로 부터 sucrose를 합성하는 것 (b) sucrose를 glucose와 fructose로 변환시키는 것 (c) hexose로 부터 hexose phosphate를 생성시키는 것으로 이루어진다. 그리고 이와같은 체계가 보리의 탄수화물 현상을 잘 설명한다. 예를들면 밀의 배아, 완두종자 그리고 식물의 여러 조직에서 glucose는 uridine diphosphate glucose (UDPG)의 형태로 $UDPG+fructose \rightleftharpoons UDP+sucrose$ 의 반응과 두번째의 연속반응인 $UDPG+fructose-6-Phosphate \rightleftharpoons sucrose\ Phosphate+UDP$ (Leloir and Cardini 1955)에 참여한다. 처음에 형성된 sucrose Phosphate는 Phosphatase 효소에 의해 sucrose로 변화된다. UDPG는 glucose-1-Phosphate와 에너지를 보유하고 있는 Nucleotide인 UTP로 부터 스스로 만들어진다. 물론 위의 (b)의 반응은 보리조직의 어느곳에서나 존재하는 invertase에 의해 일어난다. 반면에 반응 (c)는 해당작용순서와 관계있는 효소인 hexokinase에 의해 촉매작용이 된다. 이러한 관계에서 hexokinase를 포함하는 Embden-Meyrhop-Parnas도표의 모든 효소가 보리에 존재한다고 알려졌다는 것은 상당히 흥미있는 일이다. 이렇게 하여 우리는 hexose Phosphate가 전분으로 되는 두가지 경로를 생각할 수 있을 것이다. 첫째는 곡물 자체의 광합성에서 직접오는 것과 두번째는 광합성으로부터 일어나 위에서 설명한 여러 반응에 의하여 조정되고 일이나 잎집의 조직을 경위하여 간접적으로 오는 두가지이다. 첫번째 과정에서는 직접적인 동화작용에 의해 생성된 전분이 전체 전분의 30%를 차지한다고 Archbold가 계산했고 반면 두번째 과정은 (a) 45%가 엽초와 절간 그리고 화경에서 합성된 것이고 (b) 25%가 이삭이 나오기 전에 합성된 것이다. 비록

이삭이 자율적으로 탄소 동화작용으로 하지만 그럼에도 불구하고 이삭내에서 당의 이동은 중요하다. Oyy (1956)는 품종명인 Herta와 Kenia의 높은 곡물생산량과 Kenia의 후대교잡종인 Proctor는 다른 맥아용 보리에 비교해서 볼때 보리내에서 sugar의 충분한 이동에 기인하는 것이라 했다. Watson et al.

(1957, 1958)은 질소질 비료를 주지 않았을 때 Proctor와 Herta는 Plumage-Archer 보리 보다 10~15%의 수확의 증수가 있었고 질소질비료를 사용했을 때는 Plumage-Archer보리가 도부이 심하기 때문에 30%의 보리곡물을 더 수확했다고 보고 했다. 위의 세가지 품종은 출수전의 일면적 지수 뿐만 아니라 순수 동화율도 다르다. 그러나 乾物重은 모두 같다. 출수후의 proctor와 sprata-Archer의 일면적 지수는 거의 같지만 Herta의 일면적 지수는 그들보다 적다. 그리고 protor와 Herta의 곡물생산량 증가는 출수전과 출수후의 일의 건물중의 증가에 기인하지 않는다는 결론을 얻었다. 그러므로 곡물생산의 증가는, Plumage-Archer 보리 보다는 proctor와 Herta가 더크고 이것은 출수시의 전체 건물중의 비율이 큰 이삭에서 부가되는 광합성 量 때문이라 생각된다.

Watson et al (1957, 1958)도 Herta의 이삭은 다른 품종의 이삭보다 더 큰 광합성 능력을 가지고 있다고 보고 했다.

② 보리 전분의 성질

보리 (Var. Pioneer) 전분의 구성물을 Willam과 Percival (1951)은 분석했다. 그들이 옥도에 의한 전위차 적정법으로 분석한 결과 보리 전분은 대부분의 다른 곡물에서 나온 수치와 거의 비슷한 18.7%의 amylose를 함유하고 있음을 밝혔다. 전체 무게의 20.9%를 옥도로 가지고 있는 amylopectin으로 분리한 amylose는 다른 amylose에서와 같은 결과를 얻었고, 전체 전분의 청색가가 0.28인데 비해 amylose의 청색가는 1.30이었다. amylose는 Ca, 400- α -1 : 4-linked 글루코스 잔재물의 체인을 가지고 있다. amylopectin 구성물(청색가 0.067) 도 유

사하게 26 \pm 2의 글루코스 잔재물의 단위 체인 길이를 가지고 있었으며 枝狀의 연결의 86%는 1:6-glucosidic 결합이었다. 보리 전분의 이러한 특성은 Aspinall et. al. (1955)가 보리의 품종인 Carlsberg, Spratl-Archer, Proctor, California를 사용하여 확인했다. 일반적인 도식을 구하기 위해 맥주보리로써 불충분한 것도 분석했다. 그러나 대부분의 맥주보리는 선택의 결과로 비슷한 구성을 하고 있다고 생각하는 것이 합리적이다. 이러한 것은 유전적인 조절때문인 것이고, 이것에 연관시켜서 Goering et al (1957)은 Compana 보리의 30개의 표본을 검사하여 amylose 함량은 19%에서 23%사이에 분포하며, 반면 44의 다른 품종의 보리에서의 amylose 함량의 분포는 13%에서 24%사이라는 것을 밝혔다. 유전적으로 기형인 보리는 11%에서 26%의 amylose를 함유하고 있었고 환경을 조절하면 Amylose와 Amylopectin의 비율이 정상적인 보리보다 상당히 다른 보리 잡종을 얻을 수 있는 것이다.

그러한 잡종의 형태는 옥수수의 경우에 이미 얻어졌다. 예를들면, Wolff et al. (1955)은 새로운 잡종의 전분은 50%이상의 Amylose로 되어 있다는 것을 발견했다.

Zuber et al (1958)은 잡종에서 높은 전분의 양과 동시에 높은 Amylose의 함량을 얻는 것은 어렵다고 지적했다. 그러나 이러한 과학자들은 전체 전분중에 Amylose의 함량이 70%나 되는 옥수수를 육종하였다. Amylose 함량이 그보다 더 높은 곡물, 혹은 위의 수준의 곡물이나 옥수수가 가까운 장래에 주로 fibers와 film을 목적으로하는 공업에 사용될 것이라고 예상된다. 양조업자의 입장에서 보면 그런 잡종이 부속물을 구하는데 상당한 가치가 있을 것이다. 예를 들면 담금통 안에서의 효소에 의한 분해가 다른 정상적인 품종의 곡물보다 높은 발효율의 탄소화물의 혼합물이 되게 하는 옥수수의 얇은 껍질의 형태에서 나타난다.

이와 비슷하게 유사한 보리의 잡종도 상당히 높이 발효될 수 있는 맥아즙을 생산하는 맥아를 만들 것이다.