

최 종
연구보고서

울무 및 울무 부산물을 이용한 가공 및 고부가 기능성
제품의 개발 연구에 관한 연구

덕성여자대학교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “울무 및 울무 부산물을 이용한 가공 및 고부가 기능성 제품의 개발 연구에 관한 연구” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

1998. 12. 20

주관 연구 기관명 : 덕성여자대학교

총괄연구 책임자 : 이 미 순

연구원 : 조 윤 옥

협동 연구 기관명 : 경희대학교

협동 연구 책임자 : 김병용

연구원 : 신 동 훈

협동 연구 기관명 : 중앙대학교

협동 연구 책임자 : 함 영 태

연구원 : 김 혜 경

요 약 문

I. 제목

올무 및 올무 부산물을 이용한 가공 및 고부가 기능성 제품의 개발 연구에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

1. 기술적 측면

현 경기도 연천군에서 재배 생산되고 있는 올무는 우리나라 생산량의 85%를 차지하고 있으나, 생산에서 유통과정에 이르기까지 영세성을 벗어나지 못하고 있으며, 생산량 대부분을 부가가치가 낮은 1차 농산품인 올무쌀로 판매하고 있는 실정으로 가공에 의한 고부가 제품의 개발은 미비 또는 전무한 상태에 머물고 있어, UR 협상 타결에 따른 외국 농산물 수입 개방에 대처할 기술 축적 및 연구가 시급히 요구되고 있다. 올무는 현재 대만, 태국 등 동남아에서 싼 가격으로 수입되고 있고, 수입 개방에 따라 질 좋은 올무 가공제품의 대치품이 수입될 가능성이 높아지고 있으므로 제반 공정 기술이 체계적으로 확립되어 있지 않은 우리의 현 실정에서는 가격 경쟁에서 크게 뒤떨어질 수밖에 없다. 특히 국내의 올무 가공 및 가공 기술의 연구는 계통적으로 되어 있지 않으며, 고부가 기능성 제품의 개발 및 실용화를 위한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 수년간 연천군에서 수집한 올무 생산 실태 및 애로 사항 등의 자료를 바탕으로 온도, 시간, 분쇄 정도에 따른

올무 볶음 가공 기술의 최적화로 이질감 없는 올무 가루의 개발 등 가공 제조 기술의 최적화를 확립하여, 질 좋고 다양한 2차 올무 가공제품의 개발과 도정 과정에서 나오는 쉼미의 효율적 재활용 방안의 일환으로 올무 및 올무 쉼미로부터 생리 활성물질의 탐색을 통하여 올무효소, 당뇨병 치료, 혈압강하 및 노화방지 효과가 있는 고부가 기능성 물질을 연구하여 농가 소득의 증진은 물론, 폐기물에 의한 환경 오염의 문제를 해결하고자 한다.

2. 경제적 측면

현재 우리 나라에서는 WTO 출범에 따라 농업 구조 개편이 모색되고 있다. 그러므로 농어민 및 생산자 단체가 주체가 되어 해당지역에서 대량생산이 가능한 수익 작목을 중점적으로 가공하여 원료 농산물의 안정된 판로확보, 가공에 따른 부가가치의 제고 및 유통 마진의 환원 등을 통하여 농업 소득 및 농외 소득의 증대를 도모하고 있다. 그러나 충분한 사전 연구 검토 없이 의욕만이 앞서 사업계획이 현실성이 없거나, 사업 주체가 가공에 대한 경험이 전혀 없는 상태에서 막연하고 희망적인 전망만을 갖고 가공 사업을 추진함에 따라 생산제품의 조악, 판로의 미 확보, 비효율적인 경영 등으로 소기의 목적을 이루지 못하고 있는 실정이다. 올무의 경우 그 생산의 대부분을 부가 가치가 낮은 1차 농산물인 올무쌀로 판매함으로써 값싼 외국 수입 올무쌀에 대한 가격 경쟁력이 낮으며, 농가 수익에 극대화를 이루지 못하고 있는 실정에 있다.

따라서 본 연구에서는 외국농산물의 점진적 수입 개방에 대처하여 외국 농산물에 대한 경쟁력을 강화하고 농가 수익을 극대화하고자, 농가 소득원 개발의 일환으로 연천군 내에서 대량 생산이 가능한 특

화 작목인 울무의 계통적 연구와 제품의 다양화 및 고부가 기능성 제품의 개발 및 기술축적을 이루어 대만, 중국 등지에서 수입되는 값 싼 울무쌀에 대응하며 가격 경쟁력 향상 및 농가 수익을 극대화 시키고자 한다. 특히 한의학적으로 생리활성 물질을 함유한 울무로부터 약리적 효과를 가지는 고부가 기능성 제품의 개발은 농가 수익의 증대와 외국서 수입되는 1차 농산물인 울무쌀에 대하여 경쟁력을 더욱 강화시킬 수 있다.

3. 사회적 측면

경기도 연천군에서 대부분 재배 생산되고 있는 울무는 그 가공기술의 기반이 취약한 실정이다. 따라서 부가가치가 높은 기능성 제품의 가공기술 최적화에 따른 질의 향상과 제품의 다양화에 대한 연구가 이루어지지 않는다면, WTO 출범에 따른 선진화된 외국(일본)의 울무가공품(울무차 등) 대치품이 국내시장을 단시간에 잠식할 것으로 예상되어 심각한 사회적 문제로 대두될 가능성이 매우 높다. 이미 여러 분야에서 나름대로의 경쟁력을 갖기 위한 자구책이 마련되고 있으나, 기본적인 기술 축적이 없는 한, 앞으로 다가올 개방 사회에 대처할 능력이 미약하다고 사료된다. 더욱이 국내에서 울무차 등 가공제품 제조업계의 영세성 및 영세업체의 난립에 따른 저질 제품의 양산과 판로의 미 확보, 연구 기술 투자의 미비 등은 수입개방에 따라 외국에서 값싸고 질 좋은 울무 가공 제품과 기능성 효능이 있는 울무 제품 등이 쏟아져 들어 올 경우 심각한 사회 문제를 불러 일으킬 것이다.

따라서 본 연구에서는 우리의 농촌사회를 지키기 위한 사회의 요구에 부응하여 품질 좋은 우리의 울무를 이용한 다양한 가공 제품의

개발과 고부가 기능성 제품의 계통적 연구를 통하여 농가 소득원 개발을 도모하고자 한다. 이러한 가공 공정의 최적화에 따른 제품의 향상 및 다양화와 고부가 기능성 제품의 개발은 지속적인 연구를 통하여 확립한다.

III. 연구개발 내용 및 범위

구분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위	
1차년도 (1996)	가공정의 최적화 및 생리활성 연구	현황	<ul style="list-style-type: none"> • 울무 가공공정에 따른 가공제품의 최적화 및 생리활성 물질에 대한 연구가 계통적으로 이루어져 있지 않다.
		연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> • 울무 및 부산물의 이화학적 성분 분석 • 울무 가공의 최적 조건 확립 <ul style="list-style-type: none"> - 울무 가공 제품의 분류 및 특성 - 울무 가공 및 건조 공정의 최적화 • 울무 및 부산물의 생리활성 효과에 관한 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 저당노 효과 연구 - 혈중 콜레스테롤 강하 효과 연구
2차년도 (1997)	울무 및 부산물의 가공적성 및 생리활성물질 연구	현황	<ul style="list-style-type: none"> • 가공 제품의 다양화 및 생리활성 물질을 이용한 고부가 기능성 제품의 개발이 미비 또는 전무한 실정
		연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> • 고부가 울무 가공제품 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 울무 가공제품화 적성 연구 - 가공 제품, 이화학적 성분 분석 • 울무 및 부산물의 생리활성 물질의 특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 울무의 생리활성 물질의 특성 연구 - 부산물의 유용 성분 특성 분석 - 제품화 가능성 분석 및 부산물 재활용 방안 연구

3 차 년 도 (1998)	올무 가공 제품 개발 및 생리 활성 물질 연구	현 황	<ul style="list-style-type: none"> • 고부가 올무 가공제품은 외국(일본)에서 수입하고 있는 실정
		연 구 개 발 내 용 및 범 위	<ul style="list-style-type: none"> • 올무 제품의 개발 및 최적화 <ul style="list-style-type: none"> -extruder 제품(씨어리얼 제품)의 제조 -공정조건 영향조사 -extruder제품의 가공공정 최적화 제품 모델을 제조하고 2차년에 걸쳐 제조하고 응용한 least cost linear programming을 이용하여 최적화를 이룬다 -제품의 저장성 연구 저장하는 동안 변하는 제품의 물성 연구와 아울러 실용화에 접근한다 • 올무 생리활성 물질 연구 <ul style="list-style-type: none"> -올무의 수용성 성분 및 수용성 추출 잔사의 성분 분리 -동물 실험을 통한 분리성분의 기능성으로서의 생리활성 효과 분석 지질성상, 에너지원의 변화 등 • 총괄적 평가 및 분석

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

연구개발 결과

< 울무 가공의 최적 조건 확립 >

1. 1차년도

가. 수분함량의 변화에 따른 울무의 동적변화연구

울무의 수분함량에 따른 점성(viscosity) 및 동적물성(dynamic rheological)의 변화를 Bohlin dynamic rheometer로 측정하였고 모든 측정은 선형 점탄성 (linear viscoelastic) 범위 내에서 행하였다. 수분함량별 (50~75%)로 혼합한 울무의 전단속도에 대한 전단응력을 측정하여 수학적인 모델에 적용한 결과, Herschel- Bulkley 모델의 correlation coefficient가 가장 높았다. 그 모델상수들의 수분함량에 따른 변화량을 측정한 결과, 낮은 수분함량의 울무혼합물 (55%)은 높은 항복치 (yield stress)와 높은 안정계수를 보여주었으며 낮은 유동성을 보여주었으며, 높은 수분함량의 울무혼합물 (75%)은 그 반대현상을 보여주어 물성학적인 상수가 울무혼합물의 안정성과 깊은 관련이 있음을 보여주었다. 수분함량별로 혼합한 울무의 동적특성의 측정 결과, storage modulus 값은 수분함량이 50%에서 70%의 범위에서는 loss modulus보다 모든 frequency내에서 높은 값을 보여주어 고농도의 polymer와 같은 점탄성값의 변화를 보여주었고 frequency에 의존성을 보여주지 않았다. 수분함량 75%에서는 초기 frequency에서 storage modulus가 loss modulus보다 낮게 나오고 교

차점 (cross-over point)이 생성되어 모든 동적 물성값의 frequency 의존성을 보여 주었다. 수분함량별로 섞은 울무의 가열 온도에 따른 동적특성은 수분함량이 증가할수록 storage modulus, loss modulus, complex viscosity와 같은 점탄성의 값들의 감소를 보여주었으며 초기 점탄성 생성온도와 최대점의 온도도 더 높은 온도에서 일어났다. 따라서 55%의 수분함량 울무는 강한 점탄성의 성질을 보여주고, 75% 수분함량의 울무는 낮은 농도의 용액과 같은 성질을 보여주는 정확한 물성 구분성을 보여주었다.

나. 울무-밀가루 복합 제품에서의 상호 interaction 효과에 관한 연구

여러 다른 농도의 밀가루-울무-물과 섞어 만든 반죽의 동적 물성에 대한 각 성분들의 상호효과를 알아보기 위해 modified distance based design을 이용하여 조사하였고 linear 및 non-linear backward regression model을 이용하여 분석하였다. 울무-밀가루-물 복합반죽에서의 점탄성과 같은 물성학적인 평가는 Bohlin dynamic mechanical tester기를 이용하여 측정하였고 가장 간단한 2 element Kelvin model에 적용하여 그 model의 점성요소 (η)와 탄성요소 (E)의 유효성을 검증하였다. 혼합 반죽에서의 울무의 첨가량이 증가할수록 반죽의 storage modulus (G')와 loss modulus (G'')의 값이 감소하는 현상을 보여주었으며 물의 첨가량이 물성변화에 가장 중요한 역할을 하였다. Linear model에 비하여 non-linear model이 더욱 더 낮은 probability 값 ($P < 0.001$)과 높은 residual probability 값을 보여 주어 반죽에서의 울무성분의 효과에 대해 좋은 적용성을 보여주었으며 특히, non-linear regression model에서는 반죽시에 밀가

루와 울무사이의 높은 interaction terms을 보여 주었다. 기준되는 혼합비에서부터 G'' , G' , η , E 값에 대해 각 울무성분 변화량의 효과를 보여주는 trace plot도 모든 값들은 울무의 양이 증가할수록 감소하는 것을 보여 주었으며 미소한 양의 물의 첨가는 모든 값들을 급격히 변화시키는 것을 보여 주었다. 점탄성값들과 단백질, 지방함량의 임의의 target범위를 고려하여 사용된 least cost linear program은 최적 반죽비의 함량과 그에 따른 최소한의 반죽가격을 제시하여 주었다.

2. 2차년도

가. 울무 국수를 이용한 최적/최소가격 배합 프로그래밍에 대한 연구

혼합실험계획법에 의해 울무-밀가루-물을 사용하여 국수를 제조하였다. 제조한 국수의 물성(tensile stress), 색도(L^* , a^* , b^*)와 관능검사를 실시하여 통계학적인 모형으로 나타내었다. 선형 및 비선형 모델을 분석한 결과 인장응력과 색도를 나타내는 L^* (lightness), a^* (redness), 관능검사는 선형성을 나타내어 각 성분간에 상호작용이 존재하지 않아 독립적으로 작용함을 보여 주었고, b^* (yellowness)는 2차식을 나타내어 울무-밀가루-물의 성분사이에 상호 interaction이 있음을 확인하였다. 반응에 영향을 미치는 성분과 그 반응을 trace plot을 이용하여 살펴본 결과 울무가 증가함에 따라 국수의 물성, 색도와 관능검사점수를 감소시키는 경향을 나타내었다. 반응표면분석법(response surface methodology)을 사용하여 최적공정화를 이루고자 3개의 성분을 가지고서 3차원으로 반응표면을 나타내었으나 수분함량이 제한 요인으로 작용하여 울무와 물의

범위가 좁은 관계로 인해 각 반응 표면을 쉽게 확인 할 수 없었다. 최소가격선형프로그래밍(Least cost linear programming)을 이용하여 인장응력, 색도와 관능검사의 값들을 모두 국수의 조건에 만족시키는 범위에서의 최소 가격에 따른 최적 배합비를 제시하였다. 울무:밀가루:물이 비율이 각각 2.27%:66.28%:28.45%의 최적의 배합비 얻었다. 울무:밀가루:물의 가격을 임의로 120:10:2로 정하였고 그때의 가격은 9.924를 나타내었다. 최적 배합비에 따라 예상되는 반응결과는 인장응력이 2.234 N, L*값은 82.39, a*값은 -2.860, b*값은 18.13으로 계산되었다. Excel을 이용하여 solution을 만들어 모델을 적용, 함량에 따른 예상되는 반응결과를 구하였고 앞으로 수행할 extruder를 이용한 울무제품(cereal)의 공정최적화 및 혼합비율 최적화에 근간이 되는 기본 programming의 확립을 이루었다.

3. 3차년도

가. 표면 반응 분석법에 의한 울무 압출성형 제조 최적 조건 설정에 관한 연구

울무의 고부가치화를 위해 표면반응 분석법을 이용하여 최적의 압출성형 가공 조건을 설정하였다. 압출성형된 상태가 외관상으로 차이가 있었으며, screw의 속도가 낮고 투입시의 수분함량이 높을수록 팽창정도가 낮게 나타났으며 조직내의 기포가 적게 형성된 것으로 나타났다. Screw speed와 수분함량변화에 따른 bending 측정치와 관계는 일차식(linear regression)으로 나타내어질 때 유의차(prob.>F)가 0.002($r^2=0.8215$)로 나타나 quadratic model(유의차: 0.028 ($r^2=0.9160$)), cubic model 적용시{0.094($r^2=0.9723$)}보다 적합한 통계적인 모델로 나타났다. 압출성형된 울무시리얼의 직경을

측정한 결과도 screw 속도와 수분함량이 증가할수록 팽창되어진 울무시리얼의 직경이 증가하는 것으로 나타났다. 압출성형된 울무시리얼의 직경과의 관계는 역시 선형인 경우가 0.001 ($r^2=0.8507$)로 나타났다. 속도와 수분함량 증가에 따라 압출성형물의 색도차가 있는 것으로 나타났으며, 수분함량이 높아질수록 명도는 밝아졌으나 유의차와 상관계수에 의해 색도는 압출성형된 시리얼의 결과에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다. Bending failure force, 직경간의 관계로서 최적조건 범위를 결정하기 위하여 중첩시킨 결과 울무시리얼 제조시 최적 압출성형 조건 범위는 수분함량 25%~26%, screw speed 225 rpm~320 rpm의 범위에 속하는 것으로 나타났다.

나. 혼합실험 계획법에 의한 울무와 밀가루 혼합 압출성형 시리얼 제조에 관한연구

울무와 밀가루를 혼합실험계획법에 의해 압출성형하여 조직 특성과 최적 혼합비를 결정하였다. 압출성형물의 울무 함량이 많아질수록 팽창정도를 나타내는 압출성형물의 직경이 11.54 mm에서 8.92 mm로 적어졌으며, L*값은 82.42에서 71.69로 낮아졌다. 수분용해지수(WSI)는 밀가루와 울무가 50:50으로 혼합되어 압출성형되었을 때가 13.0%로 가장 낮게 나타났으며, 울무 첨가량과 수분흡착지수는 반비례하는 경향을 나타내었다. 울무 함량 증가에 따라 파손강도는 1.614 kgf에서 0.24 kgf로 감소하였으나, 울무 혼합에 의해 파손강도가 감소되는 것으로 나타났다. 압출성형물간의 thickness를 Duncan test로 분석한 결과 밀가루만으로 제조되어진 경우가 타제품군과 차이가 있는 것으로 나타났다. 시판되는 일반 제품과의 특성을 비교시 유사한 울무압출성형물의 울무 혼합비율은 75%~90%가 적절한 것으로

로 나타났다.

다. 울무 cereal 식이가 흰쥐의 혈중 지질 및 간조직에 미치는 영향
전보에서 구한 압출기의 최적공정조건하에서 얻어진 울무시리얼류의 생리적 기능성을 조사하였다. 즉, 대조군으로서 고지방 식이군과 실험군으로서 울무제품을 첨가한 식이군을 흰쥐에 5주일간 먹여 쥐의 체중증가량, 식이이용효율성, 혈장과 간에서의 중성지방, 총콜레스테롤, HDL-cholesterol, LDL-cholesterol, 및 동맥경화지수를 조사하였다. 체중증가량은 울무를 섭취한 쥐에게서 크게 나타났으나 에너지 이용효율은 두 군간에 유의차가 없었다. 혈액 내 중성지방 농도, 총 콜레스테롤과 LDL-콜레스테롤의 경우, 대조군에 비해 울무제품군에서 낮아지는 경향을 보였으며, 반면 HDL-콜레스테롤은 울무제품 섭취 시에 높아지는 경향을 나타내어 고지방 섭취로 인한 혈액 내 지질성상을 호전시키는 결과를 보였다. 동맥경화 유발의 좋은 지표로 사용되는 동맥경화지수는 5주간의 울무제품 섭취로 유의적으로 낮아져 좋은 결과를 나타내었다. 그러나 혈장의 경우와는 달리, 간지질에서의 변화량은 대조군에 비해 유의적 차이를 나타내지 않았다.

라. 압출성형에서 나온 울무 시리얼의 저장성에 대한 연구

울무시리얼의 저장동안의 강도 변화

PVC 포장, 일반 종이 포장, 무포장 등과 같은 포장재질을 이용하여 10℃와 25℃에서 울무 시리얼을 저장하면서 저장중의 bending force, 색도(L*), 미생물 변화를 측정하여 울무 시리얼의 저장성에 대하여 연구하였다. 25℃에서 저장한 경우, 9.56 N에서 18.77 N까지

bending force의 변화가 심하게 나타났으나, 10℃에서 저장한 경우, 9.56 N에서 14.85 N으로 25℃에서 저장한 경우보다 온도의 효과를 적게 받는 것으로 나타났다. 포장재질에 따라서는 그 변화가 일정한 유형을 나타내지 않아서 포장 재질간의 차이를 판별할 수 없었다. 온도와 포장 재질별 수분함량 변화는 초기 10.3%에서 7.9~8.0%로 감소하였다. 포장재질에 따라서는 약간의 차이를 보였지만 15일 이후에는 거의 일정한 값을 나타내었다. 저장 중의 색도 변화는 온도와 포장재질과는 무관하게, L*값이 65~70의 범위내로 나타났다. 울무 시리얼을 한달 간 저장한 후의 미생물을 측정된 결과, 호기성 세균수의 변화는 측정되지 않았다.

< 울무의 생리활성 효과에 대한 연구 >

1. 1차년도

가. 울무의 이화학적 성분 분석

문헌조사를 통한 이화학적 성분의 분석치를 종합하여 비교한 결과 수분 8.02~12.24%, 탄수화물 51.9~76.1%, 단백질 13.97~17.6%, 지방 2.02~7.62%, 회분 0.5~2.3% 조섬유(식이 섬유) 0.59~4.66% 이었다.

나. 동물식이에 의한 저당뇨 효과

당뇨의 상태에 대한 간접적이나 장기간 효과 측정방법으로 체중증가량 및 식이 이용 효율을 측정하였고 직접 측정 법으로는 섭식시 혈액의 포도당 수준 및 인슐린 수준, 공복시 혈액의 내당성(Glucose tolerance)등을 측정하였다.

1) 체중증가량 및 식이 이용 효율

모든 군의 식이 조성은 섬유소의 양과 열량을 같게 하였음에도 불구하고 당뇨군의 체중증가는 정상군보다 유의하게 낮았으며 당뇨군 중에서는 당뇨-대조군과 당뇨-울무군 사이에 차이가 없었다. 당뇨-울무군 사이에서도 울무의 조리법과는 무관하게 체중증가에 있어서 차이가 없었다. 그러므로 당뇨군이 정상군에 비해 체중증가 정도가 낮았으며, 울무식은 당뇨 군에서의 체중증가나 식이 이용 효율에는 영향을 미치지 않았던 것으로 생각된다.

2) 혈장 포도당 수준, 인슐린 수준, 당내성 검사

섭식시 볶은울무군과 찐울무군에서 울무식이 2주까지는 혈장 포도당 수준이 감소되는 경향을 보였으나 울무식이 3주째에는 이들 두 군도 당뇨대조군과 유의한 차이를 보이지 않았다.

공복시의 내당성 시험(Glucose tolerance test)결과는 실험군내에서 일정한 경향을 보이지 않았다.

그러므로 식이 섬유소의 섭취량을 일정하게 하였을 때에는 울무식의 저당뇨 효과는 명확하게 밝혀낼 수 없었다.

3) 혈장 콜레스테롤 수준

당뇨 대조군에 비해서 당뇨-볶은 울무군과 당뇨-찐울무군의 총콜레스테롤 수준은 실험 전기간을 통해 낮아지는 경향을 보여 실험식이 3주째에는 당뇨-볶은 울무군과 당뇨-찐울무군의 혈장 총콜레스테롤 수준이 정상군 수준까지 낮아졌다. 더욱이 볶은 울무, 찐울무 또는 날울무를 3주간 섭취한 당뇨군의 LDL-콜레스테롤 수준도 당뇨-대조군의 LDL-콜레스테롤 수준보다 유의하게 낮았으며 현울무를 섭취한 당뇨군도 당뇨-대조군보다 LDL-콜레스테롤 수준이 낮은 경향을 나타내었다. HDL-콜레스테롤 수준은 실험군간에 차이가 없었다. 그

러므로 울무식은 당뇨군의 중요한 합병증상 중의 하나인 악화된 혈액 콜레스테롤 성상을 개선시키는데 효과가 있는 것으로 추정되며 이 목적을 위해서는 찌는 법(예: 밥)이나 볶는 법(예: 미수가루)이 바람직한 조리법으로 추정된다.

2. 2차년도

가. 울무 생리 활성 물질의 특성 분석

1) 체중증가량 및 식이이용효율

모든 군의 식이 조성은 섬유소의 양과 열량을 같게 하였음에도 불구하고 당뇨군의 체중증가는 정상군보다 유의하게 낮았으며 당뇨군 중에서는 유의한 체중 차이가 없었다. 그러므로 당뇨군이 정상군에 비해 체중증가 정도가 낮았으며, 울무추출물식은 당뇨 군에서의 체중증가나 식이 이용 효율에는 영향을 미치지 않았던 것으로 생각된다.

2) 기간에 따른 혈장 포도당 수준 변화

Streptozotocin 유발 당뇨쥐에서 울무추출물식이 섭취에 의한 생리활성 효과를 섭취시의 혈당 수준의 변화를 측정한 결과, methanol(M) 추출물식이나 chloroform+methanol(CM) 추출물식에 의한 저당뇨 효과는 배합비율에 관계없이 통계적으로 유의하지 않았으므로 1차년도 결론과 같이 민간에 알려진 울무에 의한 저당뇨 효과는 울무에 함유되어 있는 식이 섬유소의 효과로 추정된다.

3) 기간에 따른 혈장 콜레스테롤 수준 변화

혈장 콜레스테롤 수준은 정상군이 실험 전 기간을 통하여 변화가 없었으나 당뇨군은 모두 당뇨 유발 직후에는 급격히 증가되었으나 당뇨 기간이 길어질수록 점차 감소하는 추세였으며 같은 군내의 동

물간의 변이가 심하여 울무추출물 첨가효과에 대한 유의한 결론을 내리기 어렵다.

4) 기간에 따른 혈장 중성지방 수준 변화

혈장 중성지방 수준은 당뇨군이 정상군에 비해 실험 전 기간을 통하여 현저히 높았다. 당뇨대조군은 당뇨 기간이 길어질수록 현저하게 증가하였으나 CM군은 첨가 비율에 관계없이 증가하지 않았으며, M군은 첨가비율이 증가할수록 당뇨 기간이 길어짐에 따른 증가 비율이 둔화되었다.

5) 혈장 지질 성상

혈장 유리지방산 수준은 당뇨대조군에 비해 첨가 비율에 관계없이 CM군은 영향을 받지 않았으며, M군은 오히려 높았다. 혈장 중성지방 수준은 당뇨대조군에 비해 CM군은 첨가 비율에 관계없이 낮았으며, M군은 첨가 비율이 높을수록 낮아진 정도가 현저하였다. 혈장 콜레스테롤 수준은 같은 군내의 동물간의 변이가 심하여 울무추출물 첨가효과에 대한 유의한 결론을 내리기 어려웠으며, HDL-콜레스테롤은 CM군은 첨가 비율에 관계없이 당뇨대조군에 비해 현저히 낮았다.

6) 조직의 콜레스테롤 및 중성지방 수준

간장 콜레스테롤 수준은 당뇨대조군에 비해 첨가 비율에 관계없이 M군과 CM군 모두 영향을 받지 않았다. 간장 중성지방 수준은 당뇨대조군에 비해 M군은 첨가 비율이 가장 높은 Mx4군이 낮았으며, CM군은 첨가 비율에 관계없이 영향을 받지 않았다. 근육 중성지방 수준은 당뇨대조군에 비해 M군과 CM군 모두 첨가비율이 증가할수록 낮아졌다.

7) 혈액 및 조직의 단백질 수준

혈액의 단백질 수준은 당뇨대조군에 비해 CM군은 첨가 비율에 관

계없이 높았으나 M군은영향을 받지 않았다. 간장 및 근육의 단백질 수준은 같은 군내의 동물간의 변이가 심하여 울무추출물 첨가효과에 대한 유의한 결론을 내리기 어려웠다.

3. 3차년도

가. 울무 물 추출물 및 잔사 식이에 의한 체중 증가 및 장기 무게

울무 물 추출 및 잔사 식이가 체중 증가에 미치는 영향은 처음부터 식이 2주 까지는 울무 물추출물군도 대조군과 유의한 차이를 나타내지 않았다. 그러나 3주에는 울무 물 섭취군이 울무 잔사 섭취군과 더불어 대조군보다 낮은 체중 증가를 보였다.

울무 물추출 및 잔사 식이가 장기 무게에 미치는 영향은 장기 무게에 있어서 울무의 물섭취군과 울무 잔사의 섭취군이 대조군과 비교하여 유의적이 차이를 보이지 않았지만 비장에 있어서 실험군이 대조군보다 다소 큼을 보였다.

울무 물추출물과 울무 잔사 식이가 식이 효율에 미치는 영향으로 울무 잔사의 섭취가 가장 낮은 식이 효율성을 보였다.

1) 체중변화

본실험에서 체중변화를 관찰한 결과, 실험 전기간에 걸쳐 대조군이 실험군보다 유의적으로 높은 체중을 보였다. 3주간의 실험 기간 동안 대조군의 경우 15 마리당 92 g에서 50g의 증가를 보인 반면 실험군의 경우 울무 물추출군에서는 87g 에서 41g, 울무 잔사군에서는 38g 에서 88g였다. 울무와 관련된 군에서는 많은 음식 섭취에도 불구하고 낮은 체중증가로 인해 식이 효율성이 낮게 나타났다.

2) 조직 중량의 변화

간과 신장, 비장, 및 심장 조직의 체중은 각 실험 동물에서 적출된 상태의 것을 표로 나타내었다. 실험 전기간에 걸쳐 모든 조직의 체중은 체중 100g당의 상대적 중량에서는 실험군이 대조군보다 높은 경향을 보였다.

3) 혈장 지질 수준의 변화

혈 중 중성지방 함량은 울무 물 추출군에서 가장 낮게 나타났다. 대조군과 울무 잔사군에서는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 총 콜레스테롤에서도 울무 물 추출군에서 가장 낮게 나타났으나 울무 잔사군에서는 대조군보다 높게 나타난 것을 볼 수 있었다. HDL과 LDL 의 비율에 있어서도 HDL은 높고 LDL은 낮게 보여짐으로 실험 동물에 있어서 울무 물 추출군이 혈장의 지질성상을 좋게 하는 것으로 나타났다. 그러나 울무 잔사군은 HDL과 LDL level에 대조군과 유사한 결과를 나타냈다. HDL level에서는 울무 잔사군이 대조군보다 통계적인 유의차는 없었지만 숫적으로 높게 나타났으나 LDL level 에서도 대조군보다 높게 나타냄으로 울무 잔사군은 대조군과 비교했을 때 혈장에서의 지질성상을 좋게 할 수 있는 효과가 있다고는 볼 수 없게 나타났다.

특히 울무 물 추출군은 동맥경화 지수에서도 낮은 수치를 보임으로 현재와 같이 과도한 지질의 섭취로 생기는 병에 예방효과가 있음을 시사한다고 할 수 있겠다.

나. 항산화 방어계의 변화

1) 간, 신장 조직에서 glutathione 변화

간에서는 실험군과 대조군 사이에 글루타티온 함량에 있어서 통계적인 유의차를 볼 수 있었다. 신장 조직에서는 통계적인 유의차를

대조군과 실험군 사이에서 불수는 없었지만 울무 물 추출군에서 가장 높은 Glutathione을 양을 볼 수 있었다. 울무의 물 추출군이 생체내의 항산화성을 높여줄 수 있음을 보여주고 있다. 이러한 증진된 항산화 효과는 생체에서 스트레스나 많은 유리기와 반응하여 건강한 생체를 유지할수 있도록 도와준다고 할수 있다.

2) 간, 신장에서 glutathione peroxidase 변화

울무 물 추출군은 신장에서 glutathione peroxidase의 높은 활성도를 보였다. 생체에서 가장 우선하는 방어체계인 glutathione peroxidase의 활성도를 높인다면 생체가 유리기나 이물질, 스트레스에 의한 생체 약화, 그 외 독성으로부터 생체를 건강할 수 유지할 수 있게된다. 그와 같은 시점에서 울무 물 추출군에서 이 glutathione peroxidase의 증진 효과는 고무적인 결과라 할 수 있다.

3) 간, 신장에서 glutathione-S-transferase 변화

Glutathione-S-transferase는 생체 내에서 독성화 물질과 결합하여 무독화하여 배설시키도록 하는 중요한 효소로서 이러한 효소의 활성화증진은 건강한 생체를 유지하기 위한 주요 체제라 할수 있다. 울무 물 추출군에서는 간과 신장에서 증진으로 고무적인 결과를 얻을수 있었으나 울무 잔사군에서는 대조군과 비교하여 간에서는 아주 낮은 수치를 보였다. 그러나 신자에서는 대조군과 비교하여 유의적인 차이는 없었지만 다소 높게 나타났다. 울무 물추출군이나 울무 잔사군 모두 신장에서 glutathione -s-transferase 의 활성도를 증진 효과가 있음을 알 수 있었다.

4) 간에서 콜레스테롤치 의 함량 변화

간에서 콜레스테롤치가 울무 물 추출군에서 가장 낮게 나타났다.

이러한 낮은 수치는 울무의 물추출군이 간에서 항산화효소활성도를 높이고 글루타티온의 활성을 높임과 동시에 콜레스테롤치를 낮춤으로서 현대의 급증하는 성인병을 감소시킬 수 있음을 시사한다고 할수 있다. 전체적 간의 무게로 했을때는 울무의 물추출군이 가장 좋은 효과를 보였고 울무 잔사군은 대조군과 유의차를 없음을 보였다. 간의 무게 글매당으로 환산을 했을 때는 울무 물 추출군이 가장 낮은 값을 보임에도 불구하고 통계적인 유의차가 없었다.

5) 간에서 중성지방의 함량 변화

간의 전체 무게당이나 1그램당에서는 실험군과 대조군에서 통계적인 유의차를 보이지 않았지만 숫자상으로는 가장 낮은 값을 보이고 있다. 울무 잔사군에서는 대조군보다 다소 높은 수치를 보이고 있다. 이같은 울무 물 추출군과 울무 잔사군에서 나타나는 차이의 메카니즘을 아직 정확히 밝혀지지 않았으므로 더 많은 연구가 수행되어야 하리라 사료된다.

< 울무 부산물의 생리활성 효과에 대한 연구 >

1. 1차년도

가. 울무 부산물의 이화학적 성분 분석

울무 부산물의 이화학적 성분을 분석한 결과, 수분 5.8%, 단백질 2.3%, 당질 (조섬유 포함) 70.4%, 지방 1.5%, 회분 20.0%, 조섬유 40.8%이었다.

나. 혈중 콜레스테롤 강하 효과 분석

1) 중체량, 식이섭취량 및 식이효율

12주간의 식이 섭취량은 각 실험군 사이의 유의적인 차이는 없었지만 고지방식이군의 경우 울무첨가군(FB)이 7주 이후부터 다른 식이군에 비해 약간 낮은 섭취량을 보여 12주 후의 총 에너지 섭취량이 F군에 비해 10% 정도 낮았다.

체중증가량은 정상식이군 및 고지방 식이군 모두에서 울무겨 첨가군이 25-30% 낮아서 유의적인 차이를 보였다. 그러므로 울무겨 첨가군의 낮은 체중 증가량은 에너지 섭취량 차이가 아닌 다른 원인이 있을것으로 보인다. 또한 한동의 보고에서 고지방식이 및 정상식이군에 pectin이나 cellulose를 첨가해도 8주간의 식기급여 후 섬유소 무첨가군과 체중증가량에 차이가 없었음이 보고되어 울무겨군에서의 체중 차이가 단순히 섬유소뿐만은 아닐 것으로 사료된다.

2) 혈청 지질수준

혈청 중성지방의 경우 통계적으로 유의적인 차이는 없었지만 정상식이군에서 울무겨 첨가가 약 20% 정도의 혈청중성지방이 감소되었다.

혈청 콜레스테롤 및 HDL-cholesterol의 경우 정상식이군 (C 및 CB) 및 고지방식이군 (F 및 FB) 모두에게 울무겨의 첨가효과는 볼수 없었다. 그러나 HDL-cholesterol과 total-cholesterol에서부터 동맥경화지수 (Atherogenic Index, TC-HDLcholesterol, AI)의 경우 울무겨 첨가가 정상식이군에서 약 35%, 고지방식이군에서 약 20%정도 감소하였다.

3) 간지질 함량

정상식이군의 경우 울무겨 첨가 식이가 간의 단위무게당 중성지방과 콜레스테롤 함량 및 전체간의 중성지방과 콜레스테롤 함량에 영향을 미치지 않았다. 그러나 고지방식이군의 경우 울무겨 첨가는 단

위무계당 및 전체간에서 중성지방과 콜레스테롤 함량이 45-55% 정도로 감소되어 큰 영향을 주었다. 그러나 간무게는 영향이 없었다.

다. 동물식이에 의한 저당뇨 효과 분석

1) 혈청 지질 함량

올무겨의 첨가는 당뇨병이 유발된 쥐에서 혈청 중성지방 함량을 감소시켜 정상쥐의 수준으로 낮추는 효과를 나타내었고 그러나, 분석된 다른 지질 함량에서는 유의적인 효과를 나타내지 못하였다.

2) 간 지질 함량

올무겨의 첨가는 당뇨병이 유발된 쥐에서 간의 중성지방과 콜레스테롤 함량을 감소시켜 정상쥐의 수준으로 낮추는 효과를 나타내었다.

3) 당내성

또한 올무겨의 첨가는 당뇨병 쥐에서 당내성을 호전시켜 glucose tolerance test에 좋은 결과를 나타내어 당을 섭취한 60분 후부터 혈당이 현저히 감소되는 경향으로 나타났다

2. 2차년도

가. 올무 부산물에서 추출된 지용성 및 비지용성 성분이 지질대사에 미치는 영향

1) 식이조성, 중체량 및 식이섭취량

고지방식이의 에너지 구성비는 당질 30%, 단백질 18%, 지방 52%이며 섬유소는 8% (wt %)이었다.

3주간의 식이섭취량 및 체중증가량은 각 실험군 사이의 유의적인 차이는 없었다.

2) 혈청에서의 지질 수준

울무 부산물의 지용성 추출물 루어 (LL)는 대조군 (LC)에 비해 혈청 콜레스테롤 함량을 약 40%로 감소시켰으나 중성지방이나 HDL-콜레스테롤 함량에는 영향을 주지 못하였다. 울무 부산물의 비지용성 잔사 급여 (NN)는 대조군 (NC)에 비해 혈청 중성지방 함량을 44% 감소시켰으나 혈청 총 콜레스테롤 및 HDL-콜레스테롤 함량에는 효과가 없었다 .

나. 울무 부산물 식이가 저당뇨에 미치는 영향

울무겨의 첨가는 당뇨병이 유발된 쥐에서 혈청 중성지방 함량을 감소시켜 정상쥐의 수준으로 낮추는 효과를 나타내었고 그러나, 분석된 다른 지질 함량에서는 유의적인 효과를 나타내지 못하였다.

활용에 대한 건의

1. 기술적 측면

- 가. 가공 제품의 개발 조건 확립
- 나. 생리활성 물질의 효과 비교 분석 및 고부가 기능성 제품의 연구 개발
- 다. 가공공정 조건의 자동화 및 품질관리의 최적화

2. 경제적 측면

- 가. 가공 공정의 최적화로 생산원가 절감 및 품질 향상으로 UR 대비
- 나. 제품의 다양화에 따른 경쟁력 강화 및 농가 소득증대
- 다. 생리활성 고부가 기능성 제품 개발

3. 파급효과

- 가. 취약한 국내 가공생산기반의 선진화
- 나. 가공공정의 최적화를 통한 원가 절감
- 다. 제품의 다양화에 따른 소득원 창출
- 라. 고부가 기능성 제품의 개발에 따른 농가소득 증대
- 마. 계통적 생산체계 확립으로 지역경제 활성화
활용방안
- 바. 확립된 기술을 생산업체(농협) 및 농촌지력 연구소에 이전하여
대외 경쟁력 강화.

사. 울무제품의 다변화로 다양한 기능성 식품으로의 활용.

아. 개발 기술의 응용 -- 개발된 가공기술을 이용한 다양한 식품제
조에 확대 적용

SUMMARY

In the first year, the study developed Coix (Yulmu) processing technology for the commercial application, including the optimization of processing condition, the chemical and physiological properties, and the biological activity of Coix and its derivatives. In the processing optimization study, the strongest viscoelasticity of Coix was shown at moisture content of 55 %. The optimum ratio and the cost effectiveness of the product was shown by the interaction of Coix and wheat mixture products.

In the second year, the optimum mixture ratio for Coix noodle was taken by the optimum and lowest cost study. In addition, the biological activities of Coix and its derivatives were also studied.

And in the third year, Coix cereal was produced using the extruded Coix and wheat mixture, and optimum processing conditions including barrel speed and moisture content for the Coix cereal were established. Using these optimum processing condition and mixture design, cost-effective lineal programming was developed and applied to produce the best Coix cereal product.

In the first year, the present research investigated the

potential hypoglycemic effect of Coix when the total fiber consumption was controlled in streptozotocin-induced diabetic rats. There were no significant differences in insulin levels among those groups. Liver glycogen level was in experimental groups lower than in the control group. However, no significant differences in the muscle glycogen level were found among treatment groups. Also, the muscle protein level of experimental rats was lower than in diabetic control rats. These results suggest that the hypoglycemic effect of an adlay diet is not significant when the amount of total fiber consumption is controlled.

In addition, hypoglycemic effect of Coix diet on streptozotocin induced diabetic rats on the controlled intake of fiber was also investigated. The levels of total cholesterol, low density lipoprotein cholesterol, high density lipoprotein cholesterol, free fatty acid and triglyceride in plasma, and liver and skeletal muscle were compared. The results suggested that steamed Coix and roasted Coix have the potential on improving lipid profile of diabetes in clinical setting and the different cooking methods of Coix affect the lipid profile of the diabetic rats.

In the second year, the current study investigated the potential hypolipidemic effect of adlay extract in streptozotocin-induced diabetic rats. Methanol and Methanol-Chloroform extracts were added to the control diet.

The levels of glucose, total cholesterol, high density lipoprotein cholesterol, free fatty acid and triglyceride in the plasma, the liver and the skeletal muscle were compared. Among diabetic rats, there were no significant differences in the plasma level of glucose and TC regardless of a different extraction process. The result suggested that a Chloroform-Methanol extract of Coix have a potential hypotriglyceridemic effect on diabetic subjects.

In the third year, the antioxidant activity on Coix diet was studied. Sprague-Dawley rats of 120 ± 10 g were divided into 3 groups: control, water-extract, and Coix residue diet group. The levels of total cholesterol, high-density-lipoprotein cholesterol, low-density-lipoprotein cholesterol, free fatty acid, and triglyceride in the plasma and the liver were compared. Glutathione, glutathione-peroxidase, and glutathione-S-transferase activities in the liver and the kidney were compared also. Water extract diet group showed that Coix water extracts decreased LDL level and increased HDL level in the plasma. The antioxidant activities, glutathione-peroxidase and glutathione-S-transferase activities, in the liver and the kidney of rats in water extract group increased. This result suggested that Coix water extract have a positive antioxidant effect on healthy rats.

CONTENTS

Chapter 1. The purpose and importance of the research

1. Background
2. Content and scope of the research
3. Suggestions for an application

Chapter 2. Processing study

1. Introduction
2. The first year
 - A. Viscosity and Dynamic Rheological properties of Job's tears as a function of moisture contents.
 - B. The study on the interactive effect and optimization of the ingredient in food mixture product
3. The second year
 - A. The study on mixture design and optimization of effects in mixture food
4. The third year
 - A. The study on cost-effective mixture programming using Yulmu noodles
 - B. The study on optimal condition for Yulmu extrude
 - C. The study on cereal manufacturing using the mixture of Yulmu and wheat flour using mixture experiment planning

- D. The effect of Yulmu cereal diet on the blood lipid and the liver tissue of experiment rats

Chaper 3. Biological study on Yulmu

1. Introduction

2. The first year

- A. The hypoglycemic effect of Coix diet was not significant when the amount of total fiber consumption was controlled
- B. Coix diet ameliorated the lipid profile of diabetic rats

3. The second year

- A. The hypotriglyceridemic effect of chloroform-methanol extract of Coix

4. The third year

- A. Antioxidant activity and blood lipid composition in a healthy Sprawe-Dawley rats on a Job's tear water extract diet

Chapter 4. Biological study of Yulmu peel

1. hypocholesterolemic effect of Yulmu peel diet

2. lipid level change of lipid extract and non-lipid extract of Yulmu peel

목 차

제 1 장. 서 론

제 1 절. 연구 개발의 목적 및 중요성

1. 연구의 배경
2. 연구 개발의 목적
3. 연구 개발의 중요성

제 2 절. 연구 개발의 내용 및 범위

제 3 절. 활용에 대한 건의

1. 울무의 가공의 최적 조건 확립
2. 울무의 생리 활성 효과에 관한 연구
3. 울무 부산물의 생리 활성 효과에 관한 연구

제 2 장. 가공 공정 최적화 연구

제 1 절. 서설

제 2 절. 울무 가공의 최적 조건 확립

1. 수분 함량에 따른 울무 가루의 점도 변화 및 동적 물성 특성에 관한 연구
2. 울무-밀가루 복합 제품에서의 상호 interaction 효과에 관한 연구

제 3 절. 고부가 울무 가공 제품의 개발

1. 울무 국수를 이용한 최적/최소 가격 배합 프로그래밍에 대한 연구

제 4 절. 울무 가공 제품의 개발 조건 확립 및 가공 공정 최적 조건 연구

1. 표면 반응 분석법에 의한 울무 압출성형 제조 최적 조건 설정에 관한 연구
2. 혼합 실험 계획법에 의한 울무와 밀가루 혼합 압출성형 시리얼 제조에 관한 연구
3. 울무 cereal 식이가 흰쥐의 혈중 지질 및 간 조직에 미치는 영향
4. 압출성형에서 나온 울무 시리얼의 저장성에 관한 연구

제 3 장. 울무의 생리활성 효과에 관한 연구

제 1 절. 서설

제 2 절. 울무의 이화학적 성분 분석 및 저당뇨 효과에 관한 연구

1. 울무의 이화학적 성분 고찰
2. 울무 식이가 저당뇨 효과에 관한 연구
3. 울무 식이가 혈중 콜레스테롤 강하에 미치는 영향 연구

제 3 절. 울무의 생리 활성 효과에 관한 연구

1. 울무의 지용성 및 수용성 성분 추출 방법 확립

2. 울무 추출물 식이가 당뇨병의 지질 대사에 미치는 영향 연구

제 4 절. 울무의 물 추출물을 섭취한 시험쥐의 간과 신장에서 항산화효소 활성효과와 혈장의 지방 성분 변화

1. 서론
2. 재료 및 방법
3. 결과

제 4 장. 울무부산물의 생리 활성 효과

제 1 절. 울무부산물의 식이가 혈중 콜레스테롤 강하 효과 및 지질 대사에 미치는 영향 분석

1. 울무부산물의 이화학적 성분 분석
2. 울무부산물의 식이가 혈중 콜레스테롤 강하 효과 및 지질 대사에 미치는 영향 분석
3. 울무부산물의 식이가 저당뇨에 미치는 영향

제 2 절. 울무부산물의 생리 활성 효과 연구

1. 울무부산물에서 추출된 지용성 및 비지용성 성분이 지질 대사에 미치는 영향 분석
2. 울무부산물의 식이가 저당뇨에 미치는 영향

제 1 장. 서론

제 1 절. 연구 개발 목적 및 중요성

1. 연구의 배경

울무는 화본과에 속하는 일년생 재배식물로서 경은 직립하여 분지하고 줄기에는 여러 개의 마디 (13~18)가 있으며, 밑부분의 마디 사이는 극히 짧아 구분하기 힘들고, 상부 5~7 개의 마디 사이만 길게 신장한다. 밑에서부터 2~5 번째 마디에서 가지가 나오고, 신장한 3~4 번째 마디에서부터는 열매를 맺는 가지가 나온다. 잎은 어긋나기로 나오며 옆신과 옆초로 구분되고 옆신은 아랫부분이 넓고 위로 올라 갈수록 좁아진다. 7~8 월경에 상위부 마디에서 나온 가지에 꽃삭이 나오고 열매를 맺으며, 9월 중순 이후 종자의 고유색인 회백색, 황갈색, 암갈색, 흑갈색 등의 염주알 모양의 종자를 결실한다.

울무살은 평평한 난형으로 양끝이 오목하고 크기는 6 x 5 mm 정도이다. 등쪽은 등글게 부풀어 있고 아래쪽 중앙에 세로로 깊은 홈이 있다. 등쪽은 배색의 가루질이고 아래쪽의 홈 및 표면에 갈색 박질의 과피 및 종피가 붙어 있는데 약간의 특이한 냄새가 있고, 단맛이 나며, 씹으면 점착성을 나타낸다.

울무의 이화학적 성분을 살펴보면, 열량 및 수분 함량은 곡류와 비슷하나 단백질 함량은 곡류에 비해 두배 이상으로 월등히 높으며, 지질 함량 역시 높다. 탄수화물 중 당질의 함량은 낮고 섬유소

의 함량은 높다. 무기성분으로는 칼륨이 가장 많고 인, 마그네슘이 많으며, 기타 무기성분 함량은 매우 적어 쌀과 비슷한 칼슘, 나트륨, 철의 함량을 갖고 있다. 울무에는 타곡류에 비하여 isoleucine, leucine, alanine 등의 아미노산 함량이 높으며, 특히 그 중에서도 leucine, glutamic acid의 함량이 높다. 울무의 비중은 일반 식물성 섬유보다 높으며, 굴절률은 1.46 정도이고, 요오드값은 75~85로 다소 낮은 편이다. 울무의 당지질 중에는 monogalactosyl diglyceride와 esterified steryl glycoside의 함량이 높으며, 인지질은 phosphatidyl choline과 phosphatidyl ethanolamine의 함량이 특히 많다. 당지질의 주요 지방산 조성으로는 linoleic acid, oleic acid, palmitic acid, stearic acid, myristic acid, linolenic acid가 주종을 이루고 있다. 인지질을 구성하는 지방산은 oleic acid가 가장 많고, linoleic acid, palmitic acid, stearic acid 등의 순으로 함유되어 있다. 현미울무, 정백울무, 울무겨 중의 식이섬유 함량을 비교하여 보면, 정백울무의 총 식이섬유 함량은 2.7%로 낮게 나타났으며, 울무겨는 13.2%로 섬유소의 대부분이 겨층에 함유되어 있다. 셀룰로오스의 함량에서는 울무겨, 현미울무, 정백울무의 순으로 나타나며, 리그닌의 함량에서도 정백울무에서 가장 낮은 값을 나타내고 있다.

현미경으로 관찰한 울무전분 입자의 크기는 평균 입경이 12μ 정도로 수수나 쌀전분보다 크고 보리전분보다는 작다. X-선 회절도상의 울무전분은 15.0, 17.1, 18.0, 23.0에서 peak를 보이는데, 이는 곡류에서와 같은 A형의 전형적인 특징을 나타내고 있다. 또한 울무전분에는 아밀로스함량이 거의 없으며, 아밀로그래프 특성은 울무쌀전분이 찹쌀 전분보다 점도가 더 높다. 울무전분의 요오드 친화성은

0.08%로서 옥수수전분, 밀전분 및 찰보리전분의 요오드 친화성이 각각 19.0%, 19.9%, 0.35~0.70% 임을 감안할 때, 울무 전분의 요오드 친화성은 찰보리 전분에 가까운 아주 낮은 요오드 친화성을 보인다. 전분질 원료의 가열 처리에 의한 팽화현상은 전분 구성물질인 아밀로펙틴의 특성으로 알려지고 있는데, 찹쌀 제품의 경우는 여기에 수분과 반죽의 물리적 성상도 영향을 준다. 울무 전분의 팽화력은 280으로 찹쌀전분보다 높다. 울무전분의 팽윤력은 65℃ 이상에서부터 신속히 팽윤하다가 80~85℃에서 완만한 증가를 보이며 다시 85℃ 이상에서 높은 증가를 보여주는 2단계의 팽윤상태를 나타낸다. 울무전분의 호화온도는 68℃ 정도로서 찹쌀의 호화온도 55~60℃, 찰보리의 호화온도 50~55℃ 보다 약간 높다.

울무의 물리적 성질로 도정도를 살펴보면, 울무는 매우 단단한 껍질의 외피를 가지고 있어 벼와 같이 일광에 의한 건조 시에는 수분함량이 17.8%나 되어 도정이 불가능하므로 수분함량, 온도, 시간 등을 고려한 건조 조건이 대단히 중요하다. 일광 건조한 울무를 축류형 송풍기(HSD-360 type, 길이 2.5m x 폭 1.8m)를 이용하여 상대습도 18%, 50℃ 정도에서 5시간 이상 건조하면, 13.3%의 수분함량을 유지하여 양호하다. 울무의 경도는 수분함량과 밀접한 관계를 갖고 있는데, 곡립 경도계로 측정한 결과를 보면, 축류형 송풍기로 건조한 수분 함량 13.3%인 정백울무의 경도는 약 5.2kg 정도이며, dry oven에서 5시간 건조한 수분 함량 13.9%인 정백울무의 경도는 약 4.7kg로 도정에 적합한 물성을 보인다. 도정되지 않은 울무종실의 천립중은 110g 내외 정도이고 건조한 정백울무의 천립중은 77g 정도이다. 브라셀 곡립계를 사용하여 1리터당 중량으로 나타냈을 때 도정되지 않은 울무 종실의 리터당 용적중은 500g 내외이고 정백울무

는 789g 내외이다.

일반적인 울무의 이화화적인 성분에 대한 연구로 울무를 상온에서 저장시 지방 성분, 질소 성분, 색, 점도, 팽윤, 조직 등 물리화학적 인 변화가 연구되었다 (Ohtsubo et al., 1984, 1989). 또한 울무씨 앓에 풍부한 단백질을 다른 식품에 첨가하여 영양학적인 상승작용을 꾀한 제품의 연구도 행하여졌고 (Hayakawa et al. 1984), 부산물로 나오는 울무 껍질을 버섯 재배에 이용하고자 톱밥 대신에 사용되는 방안도 연구되었으며, 울무 종자뿐만 아니라 울무 뿌리에 관한 연구 도 행하여지고 있다 (Yamashita et al., 1983). Ohtsubo 등 (1989) 은 울무의 성장시 생성되는 trypsin inhibitor와 단백질 분해효소 inhibitor의 양을 SDS-PAGE를 이용하여 측정하였고, 그 결과 많은 양이 울무의 성장시 형성되었으며, 많은 단백질 분해효소 대부분이 배아에 존재하는 것으로 보고하였다. 이 trypsin inhibitor의 활성화 에 대한 금속이온, 화학적 변형 물질, 열처리 효과 등에 대한 연구 결과, 단백질 변성이 93℃의 높은 온도에서 일어난다고 보고하였다. 또한 울무를 효모와 혼합 제품을 만들어 extruder cooking을 하는 연구가 상세하게 이루어졌고, 이때 가열에 의한 울무 내의 trypsin inhibitor의 변성이 연구 보고 되었다(Ohtsubo and Iwasaki, 1990).

국내에서는 울무에 관한 본격적인 연구가 70년대부터 이루어져 왔 으나, 비상대치 식품으로 혹은 사료로서의 이용에 관한 연구가 주종을 이루었다 (최경주, 1977a, b; 김기원, 1975). 점차적으로 울무에 관한 연구가 진척되어 주식 대체 물품으로서 영양가 높은 울무의 지질, 특히 중성 지질, 지방산 조성, triglyceride 조성, 극성 지질의 조성 등의 함유량을 분석하여 영양학적 의의를 찾았고, 지방 식품으로서 적부를 알기 위한 연구가 실시되었다 (한지숙 등, 1987,

1988, 1989, 1991). 또한 울무 자체의 팽윤도, 본원적 점도, 노화 정도와 같은 이화학적인 특성이 연구되고 있으며, 도정시 무기질에 관한 변화도 연구되었다 (우자원, 1985). 울무의 가공에서는 생산의 경제성 분석이 이루어져 식품용 곡물과의 대체 식품으로서 혹은 단백질 함량이 높은 이유로 인한 단백질 대체 식품으로서 개발이 이루어져 왔다 (김병도, 1977). 또한, 울무의 보존 기간에 관한 연구에서는 건조한 울무 미숫가루가 유통과정에서 환경적 요인으로 인한 변질 정도와 이에 따른 포장 재질의 적절한 선별이 제시되었다 (김덕용, 1984).

울무는 크게 울무쌀, 울무분말의 저차 가공품, 울무차, 복합울무차 등의 가공품과 제약 및 한약재 등의 의약용으로 이용되고 있다. 현 시중에 유통되고 있는 울무관련 가공 제품은 대부분이 다류 및 미숫가루로서, 울무함량은 10~30% 내외가 대부분을 차지하고 있다. 그밖에도 울무가 함유된 주요 가공제품으로는 썬울무차, 울무부럼밀차, 울무효소, 미숫가루, 호도땅콩차, 건강밀 등이 있다. 그러나 국내 울무차 등 가공제품 제조업체의 영세성 및 영세업체의 난립에 따른 저질제품의 양산과 판로의 미확보, 제조 기술의 최적화에 따른 제품의 다양화 및 고부가 제품의 개발이 이루어지지 않을 경우, 수입개방에 따라 값싸고 질 좋은 울무차 대용품 등이 쏟아져 들어 올 경우 심각한 타격을 받을 것이다.

따라서 본 연구에서는 외국농산물의 점진적 수입 개방에 대처하여 외국 농산물에 대한 경쟁력을 강화하고 농가 수익을 극대화하고자, 농가소득원 개발의 일환으로 연천군 내에서 대량 생산이 가능한 특화작목인 울무의 계통적 연구와 제품의 다양화 및 고부가 기능성 제품의 개발 및 기술축적을 이루어 대만, 중국 등지에서 수입되는 값

싼 울무쌀에 대응하며 가격 경쟁력 향상 및 농가 수익을 극대화시키고자 한다. 더욱이 국내에서 울무차 등 가공제품 제조업계의 영세성 및 영세업체의 난립에 따른 저질 제품의 양산과 판로의 미확보, 연구 기술 투자의 미비 등은 수입개방에 따라 외국에서 값싸고 질 좋은 울무 가공제품과 기능성 효능이 있는 울무 제품 등이 쏟아져 들어 올 경우 심각한 경쟁력의 상실을 가져 올 것이다. 수년간 연천군에서 수집한 울무 생산 실태 및 애로 사항 등의 자료를 바탕으로 울무의 동적 물성을 정확히 파악하고 다른 곡류와 섞어 이질감 없는 최적의 울무제품의 개발 등 가공제조 기술의 최적화를 확립하여, 질 좋고 다양한 2차 울무 가공제품의 개발과 고부가 기능성 제품의 계통적 연구를 통하여 농가소득원 개발을 도모하고자 하였다.

울무에서의 고부가 기능성 특성에 관한 연구는 여러 분야의 상호 협조를 요하는 것으로 상호 관련이 있고 실용화를 전제로 한 연구체계가 확립되어야 하는데, 이제까지 식품, 영양, 약리 분야 등에서의 연구 결과에 대한 상호 연관성이 결여되어 있으며, 표준화된 분석법이나 약리 작용 실험 방법 등이 확립되지 못하여 그 연구 결과가 미비한 편이다. 최근에 와서 울무의 생리 및 기능성 연구가 일부 이루어지고 있지만 체계적이지 못하며, 편향된 연구 방향을 제시하여 외국의 기능성 연구에 대한 대처를 못하고 있는 실정이다. 또한 대부분의 연구자들이 울무에 대하여 편곡된 개념을 갖고 있고, 소비자의 기호성이 각각 다른 많은 변수들 때문에 우리의 전통 곡물에 대한 연구를 주저하고 있다. 높은 단백질 함량과 다양한 생리 기능성을 가진 울무를 상호보완 및 협동체제 하에서의 체계적 연구가 이루어져야하고 그리하여 다양한 울무제품을 규격화하고 가공기술을 고급화한다면 품질이 우수한 기능성 이차적 울무제품을 생산하여 국제적

경쟁력을 함양시킬 수 있을 것이고 앞으로의 다른 전통곡물이나 식품에도 다양하게 적용할 수 있는 연구결과를 이루고자 하였다.

2. 연구개발의 목적

가. 기술적 측면

현 경기도 연천군에서 재배 생산되고 있는 울무는 우리 나라 생산량의 85%를 차지하고 있으나, 생산에서 유통과정에 이르기까지 영세성을 벗어나지 못하고 있으며, 생산량 대부분을 부가가치가 낮은 1차 농산품인 울무살로 판매하고 있는 실정으로 가공에 의한 고부가제품의 개발은 미비 또는 전무한 상태에 머물고 있어, UR 협상 타결에 따른 외국 농산물 수입 개방에 대처할 기술 축적 및 연구가 시급히 요구되고 있다. 울무는 현재 대만, 태국 등 동남아에서 싼 가격으로 수입되고 있고, 수입 개방에 따라 질 좋은 울무 가공제품의 대체품이 수입될 가능성이 높아지고 있으므로 제반 공정 기술이 체계적으로 확립되어 있지 않은 우리의 현 실정에서는 가격 경쟁에서 크게 뒤떨어질 수밖에 없다. 특히 국내의 울무 가공 및 가공 기술의 연구는 계통적으로 되어 있지 않으며, 고부가 기능성 제품의 개발 및 실용화를 위한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 수년간 연천군에서 수집한 울무 생산 실태 및 애로 사항 등의 자료를 바탕으로 온도, 시간, 분쇄정도에 따른 울무 볶음 가공 기술의 최적화로 이질감 없는 울무가루의 개발 등 가공제조 기술의 최적화를 확립하여, 질 좋고 다양한 2차 울무 가공제품의 개발과 도정과정에서 나오는 쉼미의 효율적 재활용 방안의 일환으로 울무 및 울무 쉼미로부터 생리 활성물질의 탐색을 통하여

울무효소, 당뇨병 치료, 혈압강하 및 노화방지 효과가 있는 고부가 기능성 물질을 연구하여 농가 소득의 증진은 물론, 폐기물에 의한 환경 오염의 문제를 해결하였다.

나. 경제적 측면

현 우리 나라에서는 WTO 출범에 따라 농업구조 개편이 모색되고 있다. 그러므로 농어민 및 생산자 단체가 주체가 되어 해당지역에서 대량생산이 가능한 수익작목을 중점적으로 가공하여 원료 농산물의 안정된 판로확보, 가공에 따른 부가가치의 제고 및 유통 마진의 환원 등을 통하여 농업 소득 및 농외 소득의 증대를 도모하고 있다. 그러나 충분한 사전 연구 검토 없이 의욕만이 앞서 사업계획이 현실성이 없거나, 사업 주체가 가공에 대한 경험이 전혀 없는 상태에서 막연하고 희망적인 전망만을 갖고 가공 사업을 추진함에 따라 생산제품의 조악, 판로의 미확보, 비효율적인 경영 등으로 소기의 목적을 이루지 못하고 있는 실정이다. 울무의 경우 그 생산의 대부분을 부가가치가 낮은 1차 농산물인 울무쌀로 판매함으로써 값싼 외국 수입 울무쌀에 대한 가격 경쟁력이 낮으며, 농가수익에 극대화를 이루지 못하고 있는 실정에 있다.

따라서 본 연구에서는 외국농산물의 점진적 수입 개방에 대처하여 외국 농산물에 대한 경쟁력을 강화하고 농가 수익을 극대화하고자, 농가소득원 개발의 일환으로 연천군 내에서 대량 생산이 가능한 특화작목인 울무의 계통적 연구와 제품의 다양화 및 고부가 기능성 제품의 개발 및 기술축적을 이루어 대만, 중국 등지에서 수입되는 값싼 울무쌀에 대응하며 가격 경쟁력 향상 및 농가 수익을 극대화시키고자 하였다. 특히 한의학적으로 생리활성 물질을 함유한 울무로부터 약리적 효과를 가지는 고부가 기능성 제품의 개발은 농가 수

익의 증대와 외국서 수입되는 1차 농산물인 울무쌀에 대하여 경쟁력을 더욱 강화시키고자 하였다.

다. 사회적 측면

경기도 연천군에서 대부분 재배 생산되고 있는 울무는 그 가공기술의 기반이 취약한 실정이다. 따라서 부가가치가 높은 기능성 제품의 가공기술 최적화에 따른 질의 향상과 제품의 다양화에 대한 연구가 이루어지지 않는다면, WTO 출범에 따른 선진화된 외국(일본)의 울무가공품 (울무차 등) 대치품이 국내시장을 단시간에 잠식할 것으로 예상되어 심각한 사회적 문제로 대두될 가능성이 매우 높다. 이미 여러 분야에서 나름대로의 경쟁력을 갖기 위한 자구책이 마련되고 있으나, 기본적인 기술 축적이 없는 한, 앞으로 다가 올 개방 사회에 대처할 능력이 미약하다고 사료된다. 더욱이 국내에서 울무차 등 가공제품 제조업계의 영세성 및 영세업체의 난립에 따른 저질 제품의 양산과 판로의 미확보, 연구 기술 투자의 미비 등은 수입개방에 따라 외국에서 값싸고 질 좋은 울무 가공제품과 기능성 효능이 있는 울무 제품 등이 쏟아져 들어 올 경우 심각한 사회 문제를 불러 일으킬 것이다.

따라서 본 연구에서는 우리의 농촌사회를 지키기 위한 사회의 요구에 부응하여 품질 좋은 우리의 울무를 이용한 다양한 가공제품의 개발과 고부가 기능성 제품의 계통적 연구를 통하여 농가소득원 개발을 도모하고자 하였다. 이러한 가공공정의 최적화에 따른 제품의 향상 및 다양화와 고부가 기능성 제품의 개발은 지속적인 연구를 통하여 확립하고자 한다.

3. 연구개발의 중요성

협동조합에서 주관한 도단위 농산물 가공기술지원단 현지순회 자문 program ('93. 8. 25 - 현재) 따라 경기도 연천군 전곡 울무 가공공장을 현지 방문하여 울무 수매 및 가공 기술상의 문제점 및 고부가 물품으로의 어려운 현황 등을 수집한 결과, 울무 계약 재배 및 수매의 문제점으로는 아래 Table에 나와 있듯이 원료 곡물확보를 위한 울무의 재배가 일정하지 않은 점과 가공기술의 낙후로 원료 자체를 그대로 판매하고 있는 실정이다.

기술적 측면으로는, 울무 도정시 쏘미(싸라기)의 과다 발생과 이물질의 혼입이 문제점으로 대두되고 있다. 현재 청원군내 일반 도정공장의 재래방식에 의한 울무 도정시에는 평균 53%의 도정 수율을 유지하고 쏘미는 소량만 발생한다고 하나, 전곡 농협에서는 울무 도정수율이 총량기준 53%선으로서 2.5mm 체망/분리기를 사용 할 경우 10% 가량의 쏘미 또는 싸라기가 분리되어 제품 원가의 상승이 우려된다. 따라서 이를 보완코자 1.8mm 체망/분리기를 사용한 결과, 도정수율을 51 - 52% 선까지 유지가 가능하였으나 완제품에 쏘미의 혼입율이 높아 상품의 질을 저하시키고 있는 실정이다. 또한 울무 도정시 울무 발아 부분인 배아 부분 끝이 잘 분리 되지 않는 문제점을 안고 있다. 울무의 가공제품으로 미숫가루 등의 사용을 목적으로 볶음 분쇄 시설을 하고 시험생산한 결과, 울무 볶음가루가 찬물에 잘 용해되지 않고 까실까실한 이질감으로 상품의 가치를 상실하고 있다. 또한 도정시 나오는 등겨, 싸라기 등의 부산물이 상당량에 이르나 돼지, 소 등에서는 설사를 일으키고, 임신 가축에서는 임신 장애가 우려되어 가축의 사료로 사용되지 못하고 있어 그 활용

방안 대책이 시급한 실정에 있다.

또한 국내의 울무 가공 및 가공기술의 연구는 계통적으로 되어 있지 않으며 고부가 기능성 제품의 실용화 및 그에 따른 생리 기능성 연구는 전무한 실정이다.

제 2 절. 연구 개발 내용 및 범위

구분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위	
1 차년도 (1996)	가공정의 최적화 및 생리활성 연구	현황	<ul style="list-style-type: none"> • 울무 가공공정에 따른 가공제품의 최적화 및 생리활성 물질에 대한 연구가 계통적으로 이루어져 있지 않다.
		연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> • 울무 및 부산물의 이화학적 성분 분석 • 울무 가공의 최적 조건 확립 <ul style="list-style-type: none"> - 울무 가공 제품의 분류 및 특성 - 울무 가공 및 건조 공정의 최적화 • 울무 및 부산물의 생리활성 효과에 관한 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 저당뇨 효과 연구 - 혈중 콜레스테롤 강하 효과 연구
2 차년도 (1997)	울무 및 부산물의 가공성 및 생리활성 물질 연구	현황	<ul style="list-style-type: none"> • 가공 제품의 다양화 및 생리활성 물질을 이용한 고부가 기능성 제품의 개발이 미비 또는 전무한 실정
		연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> • 고부가 울무 가공제품 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 울무 가공제품화 적성 연구 - 가공 제품, 이화학적 성분 분석 • 울무 및 부산물의 생리활성 물질의 특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 울무의 생리활성 물질의 특성 연구 - 부산물의 유용 성분 특성 분석 - 제품화 가능성 분석 및 부산물 재활용 방안 연구

3 차 년 도 (1998)	올무 가공 제품 개발 및 생리 활성 물질 연구	현 황	<ul style="list-style-type: none"> • 고부가 올무 가공제품은 외국(일본)에서 수입하고 있는 실정
		연 구 개 발 내 용 및 범 위	<ul style="list-style-type: none"> • 올무 제품의 개발 및 최적화 <ul style="list-style-type: none"> -extruder 제품(씨어리얼 제품)의 제조 -공정조건 영향조사 -extruder제품의 가공공정 최적화 제품 모델을 제조하고 2차년에 걸쳐 제조하고 응용한 least cost linear programming을 이용하여 최적화를 이룬다 -제품의 저장성 연구 저장하는 동안 변하는 제품의 물성 연구와 아울러 실용화에 접근한다 • 올무 생리활성 물질 연구 <ul style="list-style-type: none"> -올무의 수용성 성분 및 수용성 추출 잔사의 성분 분리 -동물 실험을 통한 분리성분의 기능성으로서의 생리활성 효과 분석 지질성상, 에너지원의 변화 등 • 총괄적 평가 및 분석

제 3 절. 활용에 대한 건의

1. 울무 가공 최적 조건 확립

가. 기술적인 측면

- 울무혼합제품에 대한 공정조건 영향성 확립
- 혼합디자인에 따른 모든 울무제품들의 물성 비교
- 선형 프로그래밍의 이용에 따른 다양한 최저가격 및 최적배합비 산출기술 확립

나. 경제적인 측면

- 울무제품의 다양화 및 실용화에 따른 이득창출
- 국산 울무의 수입울무에 대한 경쟁력 강화

다. 파급효과

- 제품의 다양화로 인한 울무가공의 선진화
- 수입울무에 대한 경쟁력 강화로 지역경제 활성화

2. 울무의 생리 활성 효과에 관한 연구

가. 기술적인 측면

- 울무의 생리활성 효과 확립

- 울무의 활용방안 확립

나. 경제적 측면

- 울무의 생리활성 효과규명 및 홍보로 인한 소비량 증가 창출에 따른 농가 소득 증대
- 울무의 곡류 자원화의 가능성 확립으로 곡류 자원의 확보

다. 파급효과

- 농가 소득이 증대로 지역경제 활성화

3. 울무 부산물의 생리 활성 효과에 관한 연구

가. 기술적인 측면

- 울무 부산물의 생리활성 효과 확립
- 울무 부산물의 재활용 방안 확립

나. 경제적인 측면

- 울무 부산물의 재활용에 의한 농가 소득창출
- 환경 오염의 최소화

다. 파급효과

- 울무부산물의 재활용
- 농가 소득의 증대로 지역경제 활성화

제 2 장. 가공 공정 최적화 연구

제 1 절. 서설

올무는 화본과에 속하는 일년생 재배식물로서 경은 직립하여 분지하고 줄기에는 여러개의 마디 (13~18)가 있으며, 밑부분의 마디 사이는 극히 짧아 구분하기 힘들고, 상부 5~7 개의 마디 사이만 길게 신장한다. 밑에서부터 2~5 번째마디에서 가지가 나오고, 신장한 3~4 번째 마디에서부터는 열매를 맺는 가지가 나온다. 잎은 어긋나기로 나오며 옆신과 옆초로 구분되고 옆신은 아랫부분이 넓고 위로 올라 갈수록 좁아진다. 7~8 월경에 상위부 마디에서 나온 가지에 꽃삭이 나오고 열매를 맺으며, 9월 중순 이후 종자의 고유색인 회백색, 황갈색, 암갈색, 흑갈색 등의 염주알 모양의 종자를 결실한다.

올무쌀은 평평한 난형으로 양끝이 오목하고 크기는 6 x 5 mm 정도이다. 등쪽은 등글게 부풀어 있고 아래쪽 중앙에 세로로 깊은 홈이 있다. 등쪽은 배색의 가루질이고 아래쪽의 홈 및 표면에 갈색 박질의 과피 및 종피가 붙어 있는데 약간의 특이한 냄새가 있고, 단맛이 나며, 씹으면 점착성을 나타낸다.

올무의 이화학적 성분을 살펴 보면, 열량 및 수분 함량은 곡류와 비슷하나 단백질 함량은 곡류에 비해 두배 이상으로 월등히 높으며, 지질 함량 역시 높다. 탄수화물 중 당질의 함량은 낮고 섬유소의 함량은 높다. 무기성분으로는 칼륨이 가장 많고 인, 마그네슘이 많으며, 기타 무기성분 함량은 매우 적어 쌀과 비슷한 칼슘, 나트륨, 철의 함량을 갖고 있다. 올무에는 타곡류에 비하여 isoleucine, leucine, alanine 등의 아미노산 함량이 높으며, 특히 그 중에서도

leucine, glutamic acid의 함량이 높다. 울무의 비중은 일반 식물성 섬유보다 높으며, 굴절율은 1.46 정도이고, 요오드값은 75~85로 다소 낮은 편이다. 울무의 당지질 중에는 monogalactosyl diglyceride와 esterified steryl glycoside의 함량이 높으며, 인지질은 phosphatidyl choline과 phosphatidyl ethanolamine의 함량이 특히 많다. 당지질의 주요 지방산 조성으로는 linoleic acid, oleic acid, palmitic acid, stearic acid, myristic acid, linolenic acid가 주종을 이루고 있다. 인지질을 구성하는 지방산은 oleic acid가 가장 많고, linoleic acid, palmitic acid, stearic acid등의 순으로 함유되어 있다. 현미울무, 정백울무, 울무겨 중의 식이섬유 함량을 비교하여 보면, 정백울무의 총 식이섬유 함량은 2.7%로 낮게 나타났으며, 울무겨는 13.2%로 섬유소의 대부분이 겨층에 함유되어 있다. 셀룰로오스의 함량에서는 울무겨, 현미울무, 정백울무의 순으로 나타나며, 리그닌의 함량에서도 정백울무에서 가장 낮은 값을 나타내고 있다.

현미경으로 관찰한 울무전분 입자의 크기는 평균 입경이 12μ 정도로 수수나 쌀전분보다 크고 보리전분보다는 작다. X-선 회절도상의 울무전분은 15.0, 17.1, 18.0, 23.0에서 peak를 보이는데, 이는 곡류에서와 같은 A형의 전형적인 특징을 나타내고 있다. 또한 울무전분에는 아밀로스함량이 거의 없으며, 아밀로그램특성은 울무쌀 전분이 찹쌀 전분보다 점도가 더 높다. 울무전분의 요오드 친화성은 0.08%로서 옥수수전분, 밀전분 및 찹보리전분의 요오드 친화성이 각각 19.0%, 19.9%, 0.35~0.70% 임을 감안할때, 울무 전분의 요오드 친화성은 찹보리 전분에 가까운 아주 낮은 요오드 친화성을 보인다. 전분질 원료의 가열처리에 의한 팽화현상은 전분 구성물질인 아밀로

펙틴의 특성으로 알려지고 있는데, 찹쌀 제품의 경우는 여기에 수분과 반죽의 물리적 성상도 영향을 준다. 울무 전분의 팽화력은 280으로 찹쌀전분보다 높다. 울무전분의 팽윤력은 65℃이상에서 부터 신속히 팽윤하다가 80~85℃에서 완만한 증가를 보이며 다시 85℃이상에서 높은 증가를 보여주는 2단계의 팽윤상태를 나타낸다. 울무전분의 호화온도는 68℃ 정도로서 찹쌀의 호화온도 55~60℃, 찰보리의 호화온도 50~55℃보다 약간 높다.

울무의 물리적 성질로 도정도를 살펴 보면, 울무는 매우 단단한 껍질의 외피를 가지고 있어 벼와 같이 일광에 의한 건조시에는 수분함량이 17.8%나 되어 도정이 불가능하므로 수분함량, 온도, 시간 등을 고려한 건조 조건이 대단히 중요하다. 일광 건조한 울무를 측류형 송풍기(HSD-360 type, 길이 2.5m x 폭1.8m)를 이용하여 상대습도 18%, 50℃ 정도에서 5시간 이상 건조하면, 13.3%의 수분함량을 유지하여 양호하다. 울무의 경도는 수분함량과 밀접한 관계를 갖고 있는데, 곡립 경도계로 측정한 결과를 보면, 측류형 송풍기로 건조한 수분 함량 13.3%인 정백울무의 경도는 약 5.2kg 정도이며, dry oven에서 5시간 건조한 수분 함량 13.9%인 정백울무의 경도는 약 4.7kg로 도정에 적합한 물성을 보인다. 도정되지 않은 울무종실의 천립중은 110g 내외 정도이고 건조한 정백울무의 천립중은 77g정도이다. 브라웰 곡립계를 사용하여 1리터당 중량으로 나타냈을 때 도정되지 않은 울무 종실의 리터당 용적중은 500g 내외이고 정백울무는 789g 내외이다.

일반적인 울무의 이화화적인 성분에 대한 연구로 울무를 상온에서 저장시 지방성분, 질소 성분, 색, 점도, 팽윤, 조직 등 물리화학적인 변화가 연구되었다(Ohtsubo et al., 1984, 1989). 또한 울무씨앗

에 풍부한 단백질을 다른 식품에 첨가하여 영양학적인 상승작용을 피한 제품의 연구도 행하여졌고 (Hayakawa et al., 1984), 부산물로 나오는 울무 껍질을 버섯 재배에 이용하고자 톱밥 대신에 사용되는 방안도 연구되었으며, 울무 종자뿐만 아니라 울무 뿌리에 관한 연구도 행하여지고 있다 (Yamashita et al., 1983). Ohtsubo 등 (1989)은 울무의 성장시 생성되는 trypsin inhibitor와 단백질 분해효소 inhibitor의 양을 SDS-PAGE를 이용하여 측정하였고, 그 결과 많은 양이 울무의 성장시 형성되었으며, 많은 단백질 분해효소 대부분이 배아에 존재하는 것으로 보고하였다. 이 trypsin inhibitor의 활성화에 대한 금속이온, 화학적 변형 물질, 열처리 효과 등에 대한 연구 결과, 단백질 변성이 93℃의 높은 온도에서 일어난다고 보고하였다. 또한 울무를 효모와 혼합 제품을 만들어 extruder cooking을 하는 연구가 상세하게 이루어졌고, 이때 가열에 의한 울무 내의 trypsin inhibitor의 변성이 연구 보고되었다 (Ohtsubo and Iwasaki, 1990).

국내에서는 울무에 관한 본격적인 연구가 70년대 부터 이루어져 왔으나, 비상 대치 식품으로 혹은 사료로서의 이용에 관한 연구가 주종을 이루었다(최경주, 1977a, b; 김기원, 1975). 점차적으로 울무에 관한 연구가 진척되어 주식 대체 물품으로서 영양가 높은 울무의 지질, 특히 중성 지질, 지방산 조성, triglyceride 조성, 극성 지질의 조성 등의 함유량을 분석하여 영양학적 의의를 찾았고, 지방식품으로서 적부를 알기 위한 연구가 실시되었다 (한지숙 등, 1987, 1988, 1989, 1991). 또한 울무 자체의 팽윤도, 본원적 점도, 노화 정도와 같은 이화학적인 특성이 연구되고 있으며, 도정시 무기질에 관한 변화도 연구되었다 (우자원, 1985). 울무의 가공에서는 생산의 경제성 분석이 이루어져 식품용 곡물과의 대체식품으로서 혹은 단백질

함량이 높은 이유로 인한 단백질 대체 식품으로서 개발이 이루어져 왔다 (김병도, 1977). 또한, 울무의 보존 기간에 관한 연구에서는 건조한 울무 미숫가루가 유통과정에서 환경적 요인으로 인한 변질 정도와 이에 따른 포장 재질의 적절한 선별이 제시되었다 (김덕웅, 1984).

울무는 크게 울무쌀, 울무분말의 저차 가공품, 울무차, 복합울무차 등의 가공품과 제약 및 한약재 등의 의약용으로 이용되고 있다. 현 시중에 유통되고 있는 울무관련 가공 제품은 대부분이 다류 및 미숫가루로서, 울무함량은 10~30%내외가 대부분을 차지하고 있다. 그밖에도 울무가 함유된 주요 가공제품으로는 쪽울무차, 울무부럼밀차, 울무효소, 미숫가루, 호도땅콩차, 건강밀 등이 있다. 그러나 국내 울무차 등 가공제품 제조업계의 영세성 및 영세업체의 난립에 따른 저질제품의 양산과 판로의 미확보, 제조 기술의 최적화에 따른 제품의 다양화 및 고부가 제품의 개발이 이루어지지 않을 경우, 수입개방에 따라 값싸고 질 좋은 울무차 대용품 등이 쏟아져 들어 올 경우 심각한 타격을 받을 것이다.

따라서 본 연구에서는 외국농산물의 점진적 수입 개방에 대처하여 외국 농산물에 대한 경쟁력을 강화하고 농가 수익을 극대화하고자, 농가소득원 개발의 일환으로 연천군 내에서 대량 생산이 가능한 특화작목인 울무의 계통적 연구와 제품의 다양화 및 고부가 기능성 제품의 개발 및 기술축적을 이루어 대만, 중국등지에서 수입되는 값싼 울무쌀에 대응하며 가격 경쟁력 향상 및 농가 수익을 극대화시키고자 한다. 더욱이 국내에서 울무차 등 가공제품 제조업계의 영세성 및 영세업체의 난립에 따른 저질 제품의 양산과 판로의 미확보, 연구 기술 투자의 미비 등은 수입개방에 따라 외국에서 값싸고 질 좋

은 울무 가공제품과 기능성 효능이 있는 울무 제품 등이 쏟아져 들어 올 경우 심각한 경쟁력의 상실을 가져 올 것이다. 수년간 연천군에서 수집한 울무 생산 실태 및 애로 사항 등의 자료를 바탕으로 울무의 동적 물성을 정확히 파악하고 다른 곡류와 섞어 이질감없는 최적의 울무제품의 개발 등 가공제조 기술의 최적화를 확립하여, 질 좋고 다양한 2차 울무 가공제품의 개발과 고부가 기능성 제품의 계통적 연구를 통하여 농가소득원 개발을 도모하고자 한다.

울무에서의 고부가 기능성 특성에 관한 연구는 여러 분야의 상호 협조를 요하는 것으로 상호 관련이 있고 실용화를 전제로 한 연구체계가 확립되어야 하는데, 이제까지 식품, 영양, 약리 분야 등에서의 연구 결과에 대한 상호연관성이 결여되어 있으며, 표준화된 분석법이나 약리 작용 실험 방법 등이 확립되지 못하여 그 연구 결과가 미비한 편이다. 최근에 와서 울무의 생리 및 기능성연구가 일부 이루어지고 있지만 체계적이지 못하며, 편향된 연구 방향을 제시하여 외국의 기능성 연구에 대한 대처를 못하고 있는 실정이다. 또한 대부분의 연구자들이 울무에 대하여 편곡된 개념을 갖고 있고, 소비자의 기호성이 각각 다른 많은 변수들 때문에 우리의 전통 곡물에 대한 연구를 주저하고 있다. 높은 단백질 함량과 다양한 생리 기능성을 가진 울무를 상호보완 및 협동체제 하에서의 체계적 연구가 이루어져야하고 그리하여 다양한 울무제품을 규격화하고 가공 기술을 고급화 한다면 품질이 우수한 기능성 이차적 울무제품을 생산하여 국제적 경쟁력을 함양시킬 수 있을 것이고 앞으로의 다른 전통곡물이나 식품에도 다양하게 적용할 수 있는 연구결과가 이루어질 것이다.

참고문헌

- Hayakawa, S. et al., 1984, Rept. Natl. Food Res. Inst. 44:45
- Ohtsubo, K., 1989, Agric. Biol. Chem., 53:333
- Ohtsubo, K. and Iwasaki, T., 1990, Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 37:144
- Ohtsubo, K. et al., 1984, Rept. Natl. Food Res. Inst. 45:76
- Ohtsubo, K. et al., 1989, Plant Cell Physiol., 30:699
- Ottoboni, L.M. et al., 1990, J. Agric. Food Chem. 38:631
- Suzuki, H. et al., 1988, Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 35:618
- Yamashita, I. et al., 1983, Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 30:693
- 김기원, 1975, 진주농림전문대학교 연구보고
- 김덕용, 1984, J. of the Hanyang Women's Junior College, 7:279
- 김병도, 1977, 영남대학교 천연물화학연구소 연구보고 4:44
- 우자원 등, 1985, 한국농화학회지, 28:19
- 최경주, 한재숙, 1977a, 영남대학교 천연물화학연구소 연구보고 4:31
- 최경주, 한재숙, 1977b, 영남대학교 천연물화학연구소 연구보고 4:16
- 한지숙 등, 1987, 한국영양식량학회지, 16:29
- 한지숙 등, 1988, 한국식품과학회지, 20:691
- 한지숙 등, 1989, 한국식품과학회지, 21:697
- 한지숙 등, 1991, 한국식품과학회지, 23:102

제 2 절. 울무 가공의 최적 조건 확립

1. 수분함량에 따른 울무 가루의 점도 변화 및 동적물성 특성에 관한 연구

가. 서론

경기도 연천군에서 재배 생산되고 있는 울무는 우리 나라 생산량의 85%를 차지하고 있으나, 생산에서 제조 및 유통과정에 이르기까지 영세성을 벗어나지 못하고 있으며, 생산량 대부분을 부가가치가 낮은 1차 농산품인 울무쌀로 판매하고 있는 실정으로 가공에 의한 고부가 제품의 개발은 미비 또는 전무한 상태에 머무르고 있어 기술 축적 및 기능성 연구가 시급히 요구되고 있다. 따라서 울무의 기능성 확보를 위해서는 울무의 이화학적 특성, 물성특성 및 생리특성의 기초 데이터가 필요하다 하겠다.

울무의 동적 물성학적인 특징은 울무자체의 고유한 bulk 성질 뿐만 아니라 울무의 기계적인 특징을 나타내는 중요한 지표가 된다. 이러한 울무의 물성학적인 특징은 열처리와 같은 가공 공정의 영향을 밝히거나 첨가제의 효과를 알아내는데 또는 다른 제품과 섞어 제품화했을 때 중요한 기초적인 정보를 제공한다. 그러나 울무가루의 경우 물과 혼합시 입자 (dispersion)로서 작용하며 첨가한 물의 함량에 따라 혼합물의 물성이 변하는 수분의존성을 가지고 있다. 또한 물과 혼합시 입자로서 갖게 되는 침전현상이 일어나므로 일반적으로 사용되는 회전 혹은 튜브 점도계를 사용하기가 곤란하다. 따라서

입자상태를 유지하기 위해서는 선형점탄성 지역 내에서 oscillatory 측정을 수행하여 점성을 측정하거나 동적 (dynamic) 물성의 성질을 측정하여야 한다 (Winter and Chambon, 1986) 그러나 울무가공제품의 경우에 있어서 울무입자들이 대부분 물과 혼합한 입자로 사용되나, 수분함량에 따른 점탄성변화와 점도변화와 같은 물성특성은 현재까지 계통적으로 연구되어 있지 않은 실정이다.

일반적으로 작은 입자를 가진 건조제품을 물과 섞었을 때의 상태는 유체 matrix상의 입자의 dispersion을 이루게 된다. 이러한 dispersion의 안정성이나 흐름성 (flow properties)을 예측하기 위해서는 dispersion을 이루고 있는 약한 구조를 유지해야 한다. Stress sweep은 dispersion을 이루고 있는 시료의 내부구조의 강도를 예견할 수 있게 해주며 frequency sweep은 그 dispersion의 흐름성과 구조의 차이에 대한 정보를 제공하는 점탄성의 성질을 제공하며 temperature sweep은 울무의 가열온도에 따른 초기 및 최대 호화 온도 및 호화정도를 나타내어준다.

Suspended 고상들, 고농도의 첨가제, 콜로이드 타입의 thickeners 등의 존재는 액상 (aqueous phase)에서의 구조의 일편을 나타내기 때문에 대부분의 식품제품의 기계적인 반응 (mechanical response)은 점탄성을 나타낸다 (Winter, 1987). Dynamic 점탄성의 측정의 결과로서 elastic modulus (G'), viscous loss modulus (G'')와 complex viscosity (η^*)와 같은 점탄성의 값이 frequency의 함수 및 온도의 함수로서 구하여 진다. G' 값은 solid-like의 성질이나 elasticity 측정의 지표가 되는 storage modulus를 나타내고 에너지 recovery 성질을 대변하며, G'' 값은 liquid-like 성질이나 energy loss나 energy damping의 성질을 나타내며 complex viscosity는 시

료의 flow 특징을 나타내는 지표로서 사용된다 (Herh, 1996).

따라서 본 연구에서는 울무가공제품의 기초가 되는 점성 및 동적 물성 특성을 수분함량에 따라 밝히고자 하였으며 이들에 대한 가열 특성을 밝혀내어 다양한 울무제품의 규격화 및 가공기술의 고급화에 대한 기초 데이터를 확보하고자 하였다.

나. 재료 및 방법

1) 재료

연천군에서 나오는 울무 (21.3g 단백질, 3.7g 지방/100g 울무, 10% 수분함량)를 구입하여 여러 수분함량별 (50~75%)로 반죽을 만들었다.

2) 방법

가) Viscosity measurement of yulmu mixture

여러 수분함량에 따른 울무의 점도는 Bohlin dynamic tester (Bohlin instrument Co., Minneapolis)의 concentric cylinder (cup diameter= 27.5mm, bob diameter=25mm, height=37.5mm, cone angle=15o)를 이용하여 측정하였다. 즉, 일정한 온도 (20℃)에서 수분함량별로 반죽한 울무시료를 cup에 넣은 후, shear rate에 따른 shear stress값을 stress viscometer test를 이용하여 측정하였다.

이렇게 구한 값을 여러 수학적 model (Bingham plastic, Casson, Moore, Herschel-Bulkely, Power law, Cross, Ellis, Vocadlo)들에 적용하여 correlation을 구하였고 그 model에 따른 상수값의 변화를 구하였다.

나) Measurement of dynamic properties of yulmu mixture

여러 수분함량으로 만든 울무반죽의 storage modulus, loss

modulus와 complex viscosity 값들도 Bohlin dynamic tester (Bohlin instrument Co., Minneapolis)를 이용하여 측정하였다. 즉, 모든 시료는 uniform하게 여러 수분과 섞은 후 cone and plate (cone angle=40, cone diameter=40mm, plate diameter= 60mm)에 일정 양을 넣은 후 stress sweep (1- 1000Pa)을 하여 선형성을 정하고, 그 선형성 내에서 frequency sweep (0.1-100Hz)을 하여 수분함량에 따른 울무의 점탄성의 성질을 측정하였다. 또한, 일정한 frequency (0.1Hz) 내에서 여러 다른 수분함량 (75-85%)을 가진 울무들의 동적 특성을 온도변화 (20-80℃)에 따라 위와 같은 조건에서 측정하였다.

다. 결과 및 고찰

1) Viscosity changes as a function of moisture content

여러 수분함량별 (50~75%)로 혼합한 울무의 점도 (stress vs strain rate)를 측정하였고 그 데이터를 8개의 수학적 모델에 적용하였으며, 각 model에 대한 correlation coefficient (R2) 값들을 Table 1에 나타내었다. Bingham plastic model에서부터 vocadlo model의 8개 model 중에서 Herschel- bulkley model의 R2 값이 모든 수분함량의 범위 (50-75%)에서 0.99 값을 나타내어 가장 높은 수치를 나타내었다. Herschel-Bulkley model의 물성학적인 일정상수 (A, B, C)를 울무 수용액의 안정성과 연관짓기 위해 그 model에서 표현된 각 상수 값의 변화를 수분함량별로 나타내었다 (Figs. 1-3).

$$\text{Stress} = A * B (\text{strain rate})^C$$

여기서 상수 A는 항복치(yield stress)를 나타내는 값으로서 일정한 외부 힘까지는 내부에서 만의 유동성을 나타내는 값으로서 일반적으로 입자를 형성하거나 점도가 높은 식품에서 일반적으로 나타난다 (Mohsenin, 1977). 상수 A값의 변화는 75%의 수분함량에서는 거의 나타나지를 않고 70에서 60%까지는 1.5에서 2의 매우 낮은 수치를 나타내는 경향을 보여 주었으나 55%의 수분함량에서는 급작스러운 증가를 보여 27.5의 값을 나타내었다 (Fig. 1). 이는 55%의 수분함량이 dispersion 상태에서의 구조의 일편을 나타내는 점탄성의 성질을 강하게 내포하고 있음을 뜻하며 수용액의 성질에서 paste 상태로 전이되는 critical 수분함량이라고 보인다.

Herschel-Bulkley model에서 상수 B값은 안정계수 (consistency index)를 나타내는 값으로서 70%의 수분함량에서는 거의 나타나지를 않았고 65%에서는 3, 60%에서는 12의 상대적인 값을 보였으며 55%에서는 48의 높은 안정계수를 나타내어 (Fig. 2), 수분함량이 감소할수록 안정계수가 급격히 증가하였으며 55%의 수분함량에서 급격한 증가를 보여 안정한 paste 상의 성질을 보여주었다.

Herschel-Bulkley model에서 C값은 유동지수 (flow behavior index)로서 70%나 75%의 수분함량에서는 0.8의 값을 나타내어 상대적으로 55-65%의 수분함량보다 (~0.6) 높은 유동성을 보여주었다 (Fig. 3). 따라서 55%의 수분함량의 울무에서는 높은 항복치를 보여주며 높은 안정성과 낮은 유동성을 보여주는 한편, 75%로 점차 수분함량을 증가시킬수록 울무용액의 유동지수의 값은 일정하게 증가한 것으로 나타났다. 수분함량별로 각 상수 A, B, C의 변화량을 나타낸 Table 2에서 보듯이, 울무용액의 안정성은 수분함량에 따라 flow 특징을 보여주었다. 즉, 55% 수분함량의 더 안정한 울무조성은 높은

항복치 (1440)와 안정계수 (1890)를 보여주며 낮은 유동지수 (0.0185)를 보여주는 한편, 75% 수분함량의 덜 안정한 울무는 낮은 항복치 (0.066)와 낮은 안정계수 (0.072)를 보여주고 더 높은 유동성 (0.79)을 보여주었다. 안정한 meat formulation의 경우에 있어서도, 불안정하게 formulate한 meat batter의 경우에 비해, 더 높은 안정계수 (B)와 yield stress를 보여주며 더욱 더 낮은 유동성 (C)을 보여주어 (Toledo et al., 1977) 유동지수나 안정계수와 같은 rheological constant는 여러 수분함량이나 formulation에 따라 변하는 혼합성분의 안정성과 깊은 관계가 있음을 보여주었다.

Herschel-Bulkley model에 적용하여 수분함량별로 울무의 전단속도에 대한 전단응력의 변화량은 Fig. 4에 나타내었다. 각 울무용액들은 pseudoplastic 물질의 특징을 보여주었으며 수분함량이 75%에서 55%로 감소함에 따라 전단속도에 대한 전단응력의 급격한 증가를 보여주었으며 이러한 특성은 시간의 함수로 나타내었을 때는 thixotropic 성격을 보일 것으로 여겨진다. 수분함량과 전단속도와 전단응력의 3차원적인 도식은 Fig. 5에 나타내었다.

2) Dynamic properties of yulmu as a function of moisture

수분함량별로 측정된 울무의 storage modulus (G'), loss modulus (G'')와 complex viscosity (η)와 같은 동적 특성은 Figs. 6-9에 나타내었다. 수분함량 및 가열온도에 따라서 동적 물성 값들은 0.01~10Hz의 frequency 범위 내에서 측정하였다. 일반적으로 고농도의 액상이나 polymer에서 G' 값은 항상 G'' 보다 높게 나타나며, rubber-like 물질일 경우는 frequency에 대한 G' 나 G'' 의 변화량이 없고 변화 slope가 0에 가깝다 (Ferry, 1961). 그러나 매우 낮은 농도의 액상이나 sol화 식품에서는 초기 frequency에 G'' 가 G' 보다 큰

값을 나타내고 교차점 (crossover point)이 나타나 viscoelastic liquid와 viscoelastic solid의 성질을 모두 보이는 frequency 의 존재를 보여준다 (Muller, 1968). 50%의 수분과 섞은 울무의 경우 (Fig. 6), 고농도의 액상이나 polymer와 같은 현상을 보여주며 frequency에 따라서 G' 값은 4.58에서 5.1Pa로 G'' 값은 4.3에서 4.5Pa의 변화량을 나타내며, 전체적으로 G' 값이 G'' 보다 큰 값을 보여주었으며 전체적인 G' 나 G'' 의 값들도 다른 수분함량 (55~75%)의 울무에 비해 가장 높은 수치를 보여 주었다. Complex viscosity의 경우 frequency에 따라 대수 직선적으로 6Pa에서 3Pa로 감소하였다.

수분함량을 55% (Fig. 7)와 70% (Fig. 8) 까지 높여 섞은 울무의 경우에서도 50% 수분함량의 울무와 같은 점탄성의 변화의 profile을 보여주어 50%에서 70% 수분함량 범위 내에서는 viscoelastic solid 성질이 지배하는 물성의 특성을 갖고 있음을 보였다. 75%의 수분함량으로 증가 시 (Fig. 9)에는 저 농도 용액이 갖는 특성을 보여주어 75%의 수분함량이 viscoelastic solid의 특성을 갖는 한계농도임을 보여 주었다. 즉, 75% 수분의 울무 경우, frequency에 따라 crossover point가 생성되는 현상을 보여주어 frequency 의존성을 보여주었다. 저장온도를 20℃에서 40℃로 변화시켰을 때에도 (Fig. 10) G'' 의 값이 G' 값보다 크면서 교차점이 생성되나 그 교차점은 20℃ 보다 (-0.5Hz), 더 높은 frequency (0.5Hz)에서 일어났다.

선형 점탄성 범위의 최소 검침점인 0.1Hz에서 온도를 10℃에서 80℃ 까지 변화시키면서 수분함량에 다른 점탄성의 변화를 측정 한 결과는 Figs 11-13에 나타내었다. 75%의 수분함량의 울무에서는 62℃ 경에서 호화가 시작되어 점탄성의 성질을 보여주었으며 70℃에서 최대값을 나타내었다 (Fig. 11). Kokini 등(1970)은 전분과 물의 현탁

액을 호화온도이상에서 가열하였을 때 전분입자의 비가역적 팽윤이 일어나는데 옥수수전분은 62~72℃에서 호화되고 팽윤되며 감자전분은 더 낮은 온도에서 호화되며 그 이유를 내부조직의 견고성 때문이라고 하였다. Blanshald (1982)는 밀 전분의 호화는 50~65℃에서 팽윤되고 호화가 일어난다고 보고하였으며 Greenwood (1979)는 amylopectin의 함량이 많은 전분이 빠른 속도로 팽윤하고 최고 점도에 도달하는 시간도 짧다고 보고하였다. 또한 김 (1996)은 전분간의 서로 다른 호화개시온도, 호화정도 및 그 최대 값의 차이를 각 전분의 입자의 크기에 따라서 다르게 나타나는 것으로 밝혔고 일반적으로 입자가 큰 전분의 호화온도가 입자가 작은 호화온도보다 낮은 것으로 보고하였다.

수분함량을 75%에서 80% (Fig. 12)와 85% (Fig. 13)로 증가시켰을 때, 초기 점탄성을 나타내는 온도는 각각 67℃와 70℃로 변하였고 최대점을 나타내는 온도도 70℃에서 74℃로 변화하는 현상을 보였다. Navickis 등 (1982)도 storage modulus와 loss modulus가 수분함량에 상당히 민감하게 반응하며 수분함량이 증가함에 따라 그 값들이 감소하였고 전분함량이 증가할수록 탄성성분이 현저하게 증가함을 보였다고 보고하였다. 본 연구에서도, 울무의 각 점탄성의 값들도 수분함량이 증가함에 따라 감소함을 보여주어 수분함량이 울무의 물성에 절대적으로 영향을 미치는 것을 보여주었다.

라. 참고문헌

Blanshard, J.M.V., 1982. Physicochemical aspects of starch gelatinization. In polysaccharides in food, ed. J.M.V. Blanshard and J.R. Mitchell.

Ferry, J.D., 1961. Viscoelastic properties of polymer. John Wiley & Sons, Inc., NY

Herh, P.K.W. 1996. Dispersion rheology. Bohlin Instruments.

Kokoki, J.L., Lai, L.S., and Chedid, L.L. 1970. Effects of starch structure on starch rheological properties. NY

김병용, 1996. Study on the prediction for the rheological characteristics in network and storage stability of food gel systems. 과학재단 핵심보고서

Mohsenin, N.N., 1986. Physical properties of plant and animal materials.

Gordon and Breach Science Publish., NY

Muller, H.G., 1968. Some aspects of dough rheology. In Rheology and texture of food stuffs. SC.I Monograph No, 27, Soc. Chem. Ind., 14, Belgrave Square, London

Navickis, L.L., Anderson, K.A., Baley, E.B., and Jasberg, B.K. 1982. Viscoelastic properties of wheat flour doughs. J. Texture Studies, 13:249

Toledo, R., Cabot, J., and Brown, D., 1977. Relationship between composition, stability and rheological properties of raw comminuted meat batters. J. Food Sci., 42:725

Winter, H.H. and Chambon, F. 1986. Analysis of linear viscoelasticity of a crosslinking polymer at the gel point. J. Rheology, 30:367

Winter, H.H. 1987. Can the gel point of a cross-linking polymer be detected by the $G'-G''$ crossover? Polymer Engineering and Science, December, 27:1698

Table 1. Regression coefficient (R^2) values of different models for viscosity of yulmu solution

model	moisture(%)					
	50	55	60	65	70	75
Bingham plastic	0.9	0.97	0.97	0.96	0.99	0.99
Casson	0.0	0.93	0.97	0.97	0.99	0.99
Moore	0.99	0.98	0.36	0.80	0.86	0.59
Herschel-Bulkley	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Power law	0.97	0.97	0.99	0.98	0.98	0.83
Cross	1.0	0.99	0.37	0.96	0.75	0.65
Ellis	0.96	0.75	0.99	0.99	0.98	0.89
Vocadlo	0.65	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99

* Each model was determined as:

Bingham plastic: $\text{stress} = A * \text{shear rate} + B$

Casson: $\text{stress}^{0.5} = A * \text{shear rate}^{0.5} + B^{0.5}$

Moore: $\text{stress} = A + (b-a)/(1 + C * \text{shear rate})$

Herschel-Bulkely: $\text{stress} = A + B * \text{shear rate}^c$

Power law: $\text{stress} = A * \text{shear rate}^c$

Cross: $\text{viscosity} = A + (b-a)/(1 + C * \text{shear rate}^n)$

Ellis $\text{shear rate} = A * \text{stress} + B * \text{stress}^c$

Vocadlo $\text{stress} = (e^{1/A} + B * \text{shear rate})^A$

Table 2. Changes in coefficients of Herschel-Bulkley model for the viscosity of yulmu solution

Coefficient	moisture					
	50	55	60	65	70	75
A 1440	27.6	1.357	1.46	1.03	0.066	
B 1890	48.23	11.45	2.42	0.163	0.072	
C 0.0185		0.655	0.57	0.575	0.81	0.79
R ² value	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99

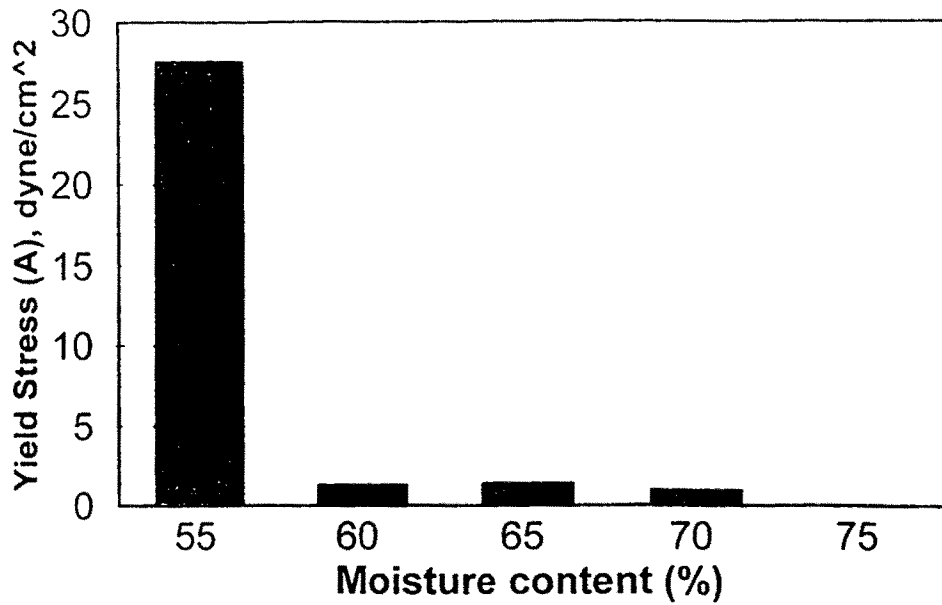


Fig. 1. Change in yield stress (A) of yulmu with different moisture content.

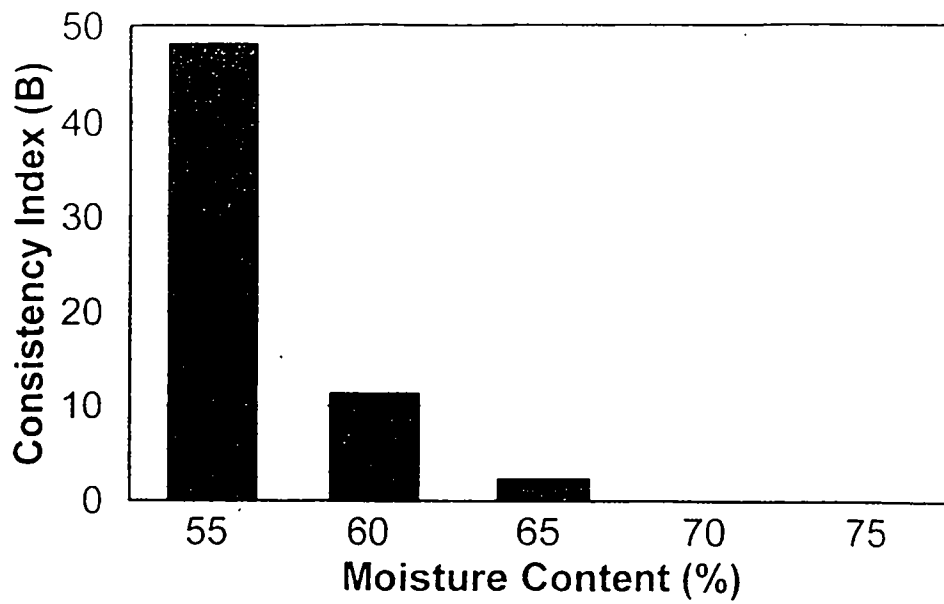


Fig. 2. Change in consistency index (B) of yulmu with different moisture content.

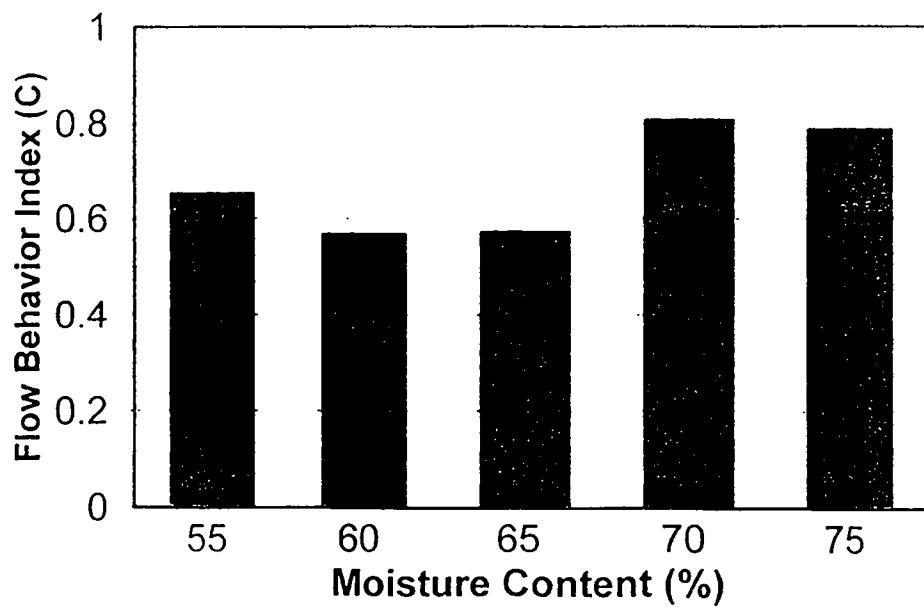


Fig. 3. Change in flow behavior index (C) of yulmu with different moisture content.

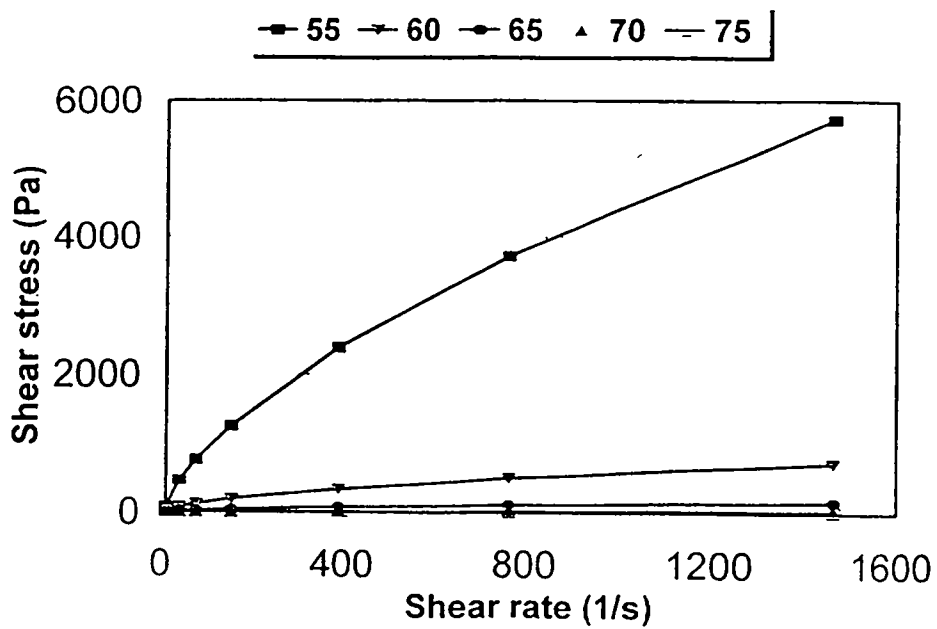


Fig. 4. Change in shear stress vs shear rate of yulmu with different moisture contents.

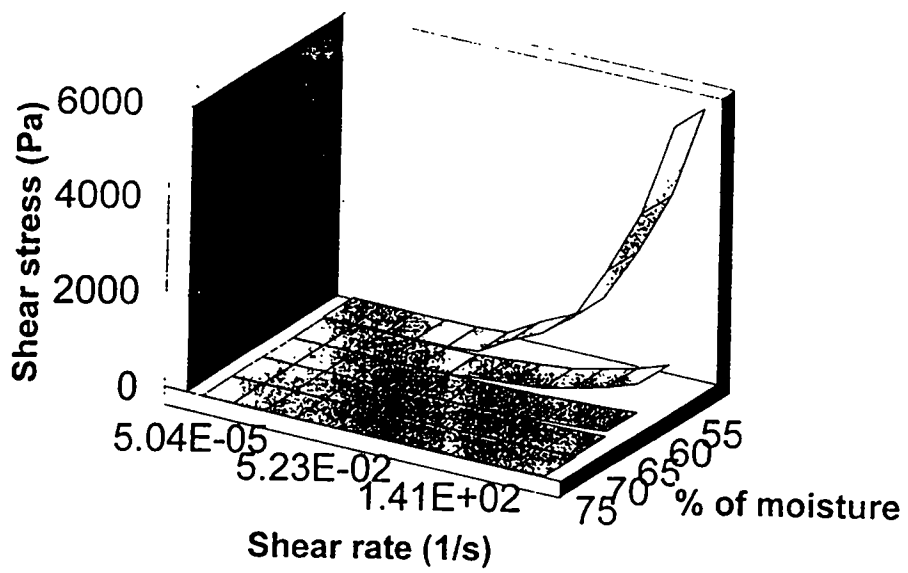


Fig. 5. Diagram of moisture- shear stress-shear rate relationship.

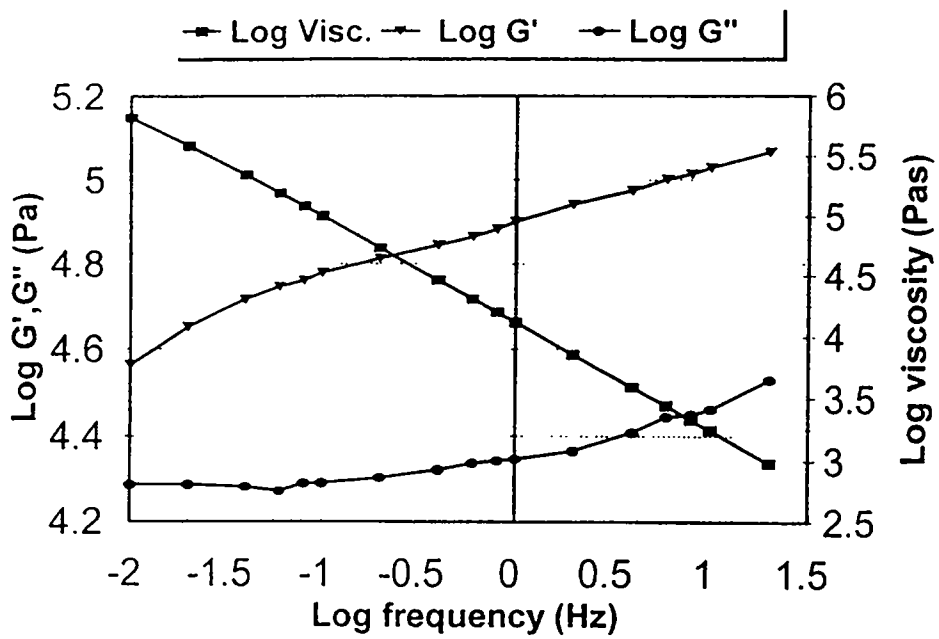


Fig. 6. Change in dynamic properties of yulmu mixed with 50% moisture content.

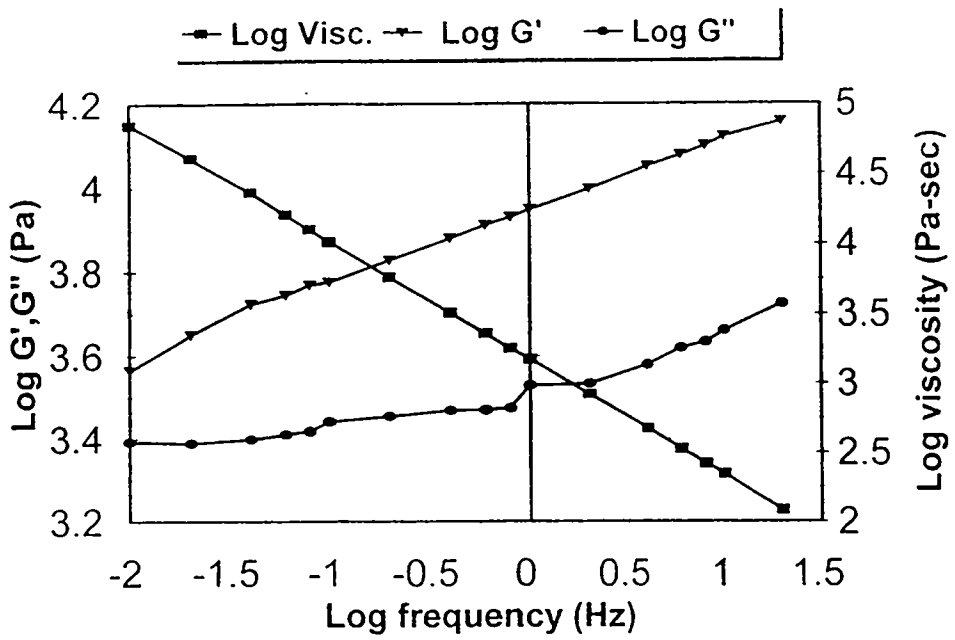


Fig. 7. Change in dynamic properties of yulmu mixed with 55% moisture content.

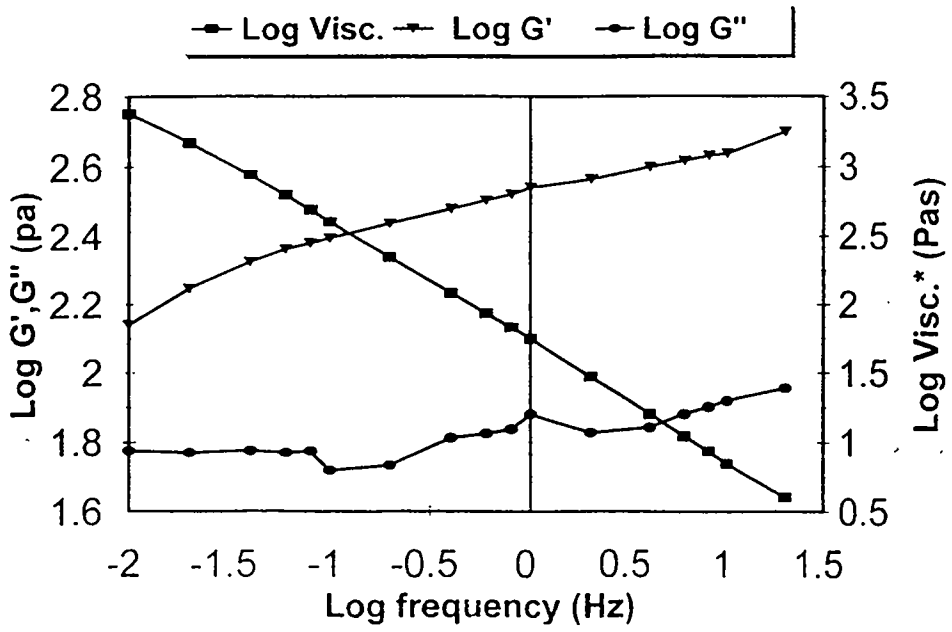


Fig. 8. Change in dynamic properties of yulmu mixed with 70% moisture content.

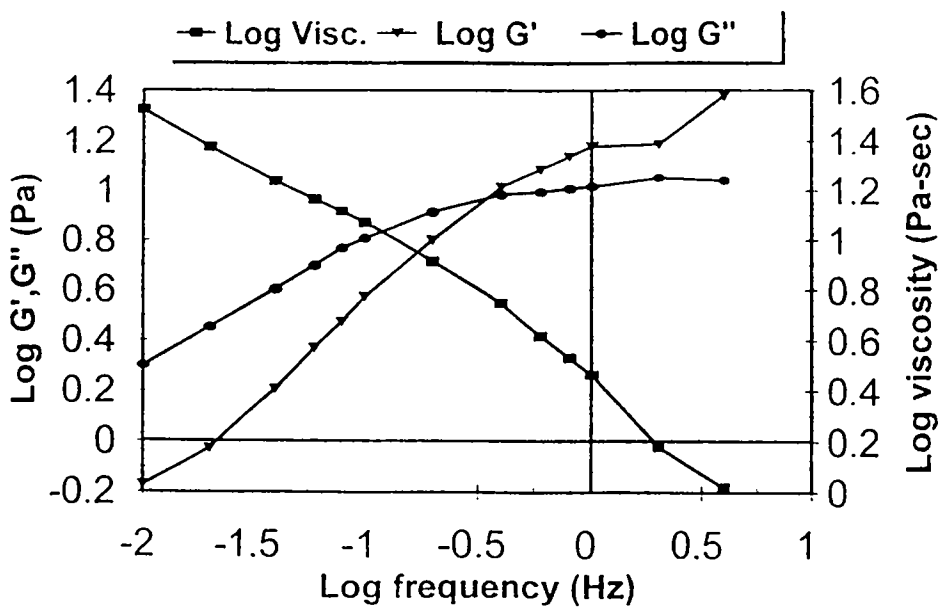


Fig. 9. Change in dynamic properties of yulmu mixed with 75% moisture content at 20°C

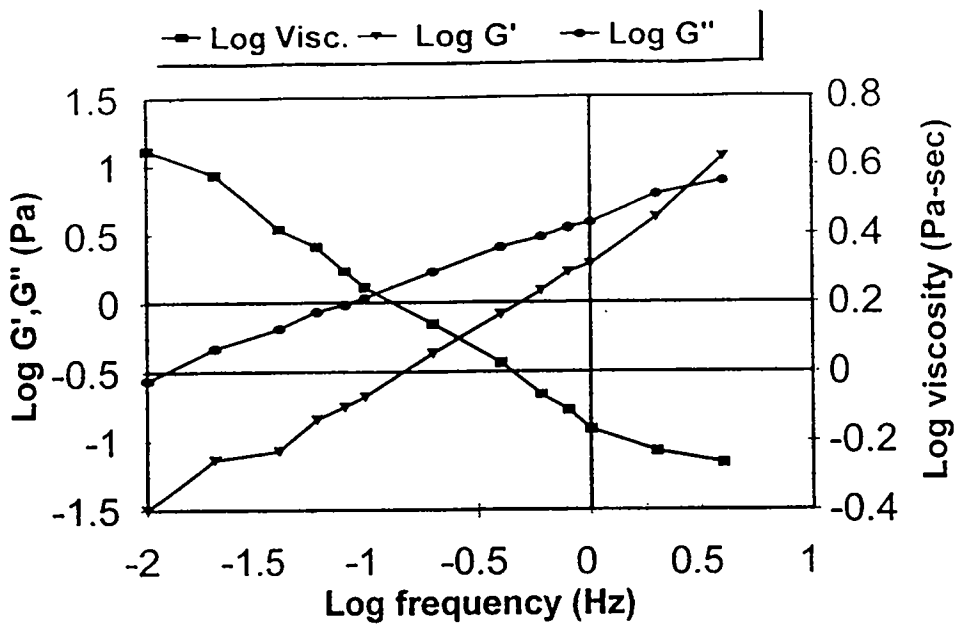


Fig. 10. Change in dynamic properties of yulmu mixed with 75% moisture content at 40°C

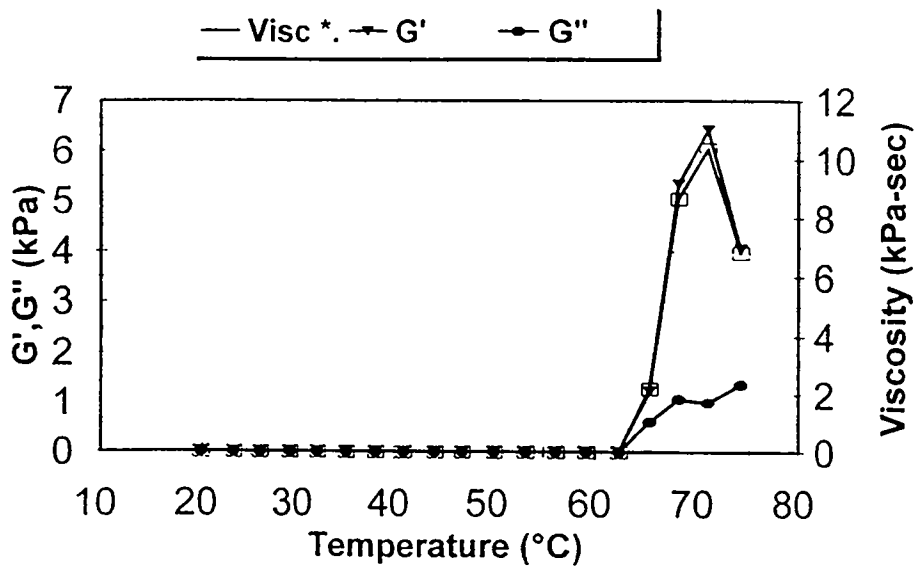


Fig. 11. Change in dynamic properties of yulmu mixed with 75% moisture content during heating.

It was measured at 0.1 Hz frequency and 0.5 Pa torque.

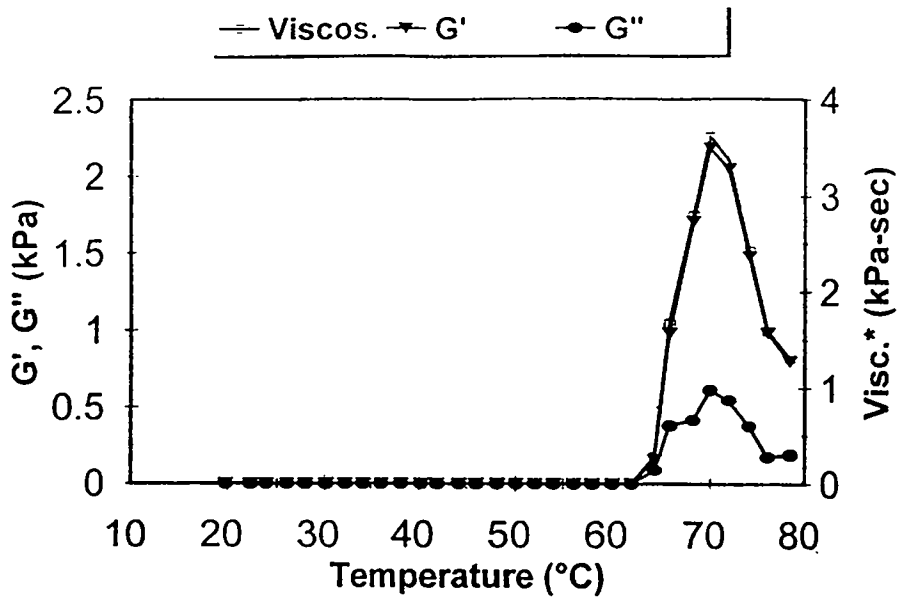


Fig. 12. Change in dynamic properties of yulmu mixed with 80% moisture content during heating.

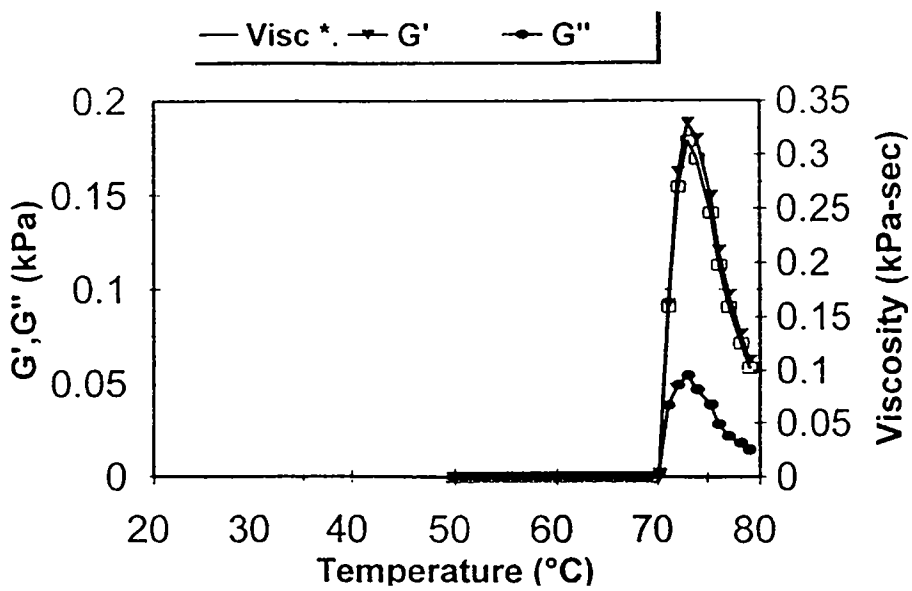


Fig. 13. Change in dynamic properties of yulmu mixed with 85% moisture content during heating.

2. 울무-밀가루 복합제품에서의 상호 interaction 효과에 관한 연구

가. 서론

울무는 화분과에 속하는 일년생 재배식물로서 그 열매는 울무차, 복합 울무차, 제약 및 한약재 등의 의약용으로 사용되고 있다. 울무에는 단백질과 지질함량이 다른 곡류에 비해 월등히 높고 무기성분으로서 칼륨, 인, 마그네슘 등의 함량이 많으며 isoleucine, leucine, alanine과 같은 아미노산이 풍부한 편이다. 국내에서는 주로 비상대치 식품으로 혹은 사료로서 대부분의 연구가 진행되어 왔으나 최근에는 주식대체식품으로서 영양가가 높은 울무의 지질, 특히 중성지질, 지방산 조성, triglyceride 조성, 극성지질의 조성 등의 함유량을 분석하여 영양학적인 의의를 찾았고 지방식품으로서의 적부를 알기 위한 연구가 실시되고 있다. 또한 단백질이 높은 이유로 인한 단백질 대체 식품으로서의 개발도 이루어지고 있다. 울무자체의 팽윤도 본원적인 점도, 노화와 같은 이화학적인 특성이 연구되고 있으며 건조한 울무 미수가루의 보존기간과 관련한 포장재질의 적절한 선별도 제시되었다. 그러나 근본적으로 울무가루를 다른 분말과 섞어 제품화하거나 혹은 반죽을 만들어 제품화를 하였을 경우 기능성에 대한 상호간의 긍정적인 혹은 부정적인 효과에 대한 연구는 전무한 편이며 적절한 실험디자인과 통계처리에 의한 상호효과를 제시하는 것이 바람직하다고 하겠다. 복합물질에서의 공정 및 성분비의 최적화 방법은 최근 식품공학분야에서 활발하게 일어나는 편이며, 증류, 건조 및 살균과 같은 단위공정에서 사용되고 있다. 그러나 대부분 성분변화 (compositional variable), 측정기준 (quality

parameter) 및 constraints 에 의해 linear 공식으로 나타내고 있고 이러한 linearity에 접근하는 방법으로서는 서로간의 결합력으로 인해 multi-ingredient mixture를 위한 해결책은 제시되지 못하고 있다.

최적성분비 혹은 결합효과를 찾아내기 위해 일반적으로 response surface methodology (RSM)가 사용되나 최적효과를 나타내는 영역의 superimposing으로 인해 그래프로 나타내는데 어려움이 있다. 즉 contour map의 경우 성분 (component)의 수가 3개 보다 클 경우 반응 (response)에 대한 모든 성분들의 효과를 나타낼 수가 없다. Derringer 와 Suich (1980)는 constraint내에서 가장 좋은 반응을 나타내기 위해서 desirability function이라는 새로운 개념을 도입하였으며 그 방법을 이용하여 non-linear적으로 해석하였다. 또한 Cornell (1990)은 혼합물질에서 3개 이상의 성분들의 효과를 설명하기 위해 trace plot을 제시하였다. 특정성분의 양을 증가시켰을 때, 다른 성분들의 양은 trace plot에서는 감소하나 그것들의 비율은 일정하게 유지된다. 따라서 반응에 가장 영향을 미치는 성분과 그 반응의 경향 등이 trace plot에서 결정되어 질 수 있다.

실험상에서 많은 요소 (factor)가 존재한다고 할 때, 반응에 영향을 미치는 key factor를 찾는다는 factorial design이 사용되어지나, 혼합물질내에 성분들의 비율이 서로 독립적이지 않고 각 요소들이 성분에 비례하기 때문에 식품의 최적 formulation을 이루는 데에는 mixture experiment가 사용되어야 한다. 모든 variable들이 완전한 simplex area를 나타낼 경우 simplex-lattice design이나, simplex-centroid design이 사용되어지나 본 연구에서는 혼합물질을 이루고 있는 성분들의 비가 최소 또는 최대점이 존재하므로 extreme

vertice design을 이용하여 울무-밀가루-물의 interaction을 조사하였다.

따라서 본 연구의 목적은 적절한 실험 mixture design을 이용하여 울무-밀가루의 동적 특성을 밝혀내고, rheological 및 regression modeling을 적용하여 밀가루-울무-물 반죽의 동적물성특성에 대한 울무의 효과 및 interaction 효과를 조사하며 least cost linear programming의 이용 가능성을 제시하는 것이다.

나. 재료 및 방법

1) 재료

연천에서 나오는 울무 (21.3g 단백질, 3.7g 지방/100g 울무, 10% 수분함량)를 이용하여 bleached 밀가루 (All purpose, Philsbury Co.)와 섞고 mixture 반죽을 만들었다.

2) 방법

가) Functional propertie of dough

Mixture 반죽의 complex viscosity, elastic and viscous component 값들은 Bohlin dynamic tester (Bohlin instrument Co., Minneapolis)를 이용하여 측정하였다. 모든 밀가루-울무의 13개의 혼합 실험디자인에 따라 수분과 일정하게 섞은 후 (Table 1), cone (angle=40, diameter=40mm) and plate (diameter= 60mm)에 일정량을 넣고 stress sweep과 frequency sweep을 하여 선형성을 측정하였으며 그 범위 내에서 복합반죽의 점탄성의 성질 (storage modulus, loss modulus, complex viscosity)들을 측정하였다.

나) Simple rheological dymanic model

실험 design에 따라 측정되어진 동적 특성을 가장 간단한 2

element 요소인 Kelvin model에 적용하여 그 model을 이루고 있는 탄성요소 (E)와 점성요소 (η)를 계산하고 regression model에 적용하여 그 유효성 및 반죽내의 각 성분들의 영향성을 조사하였다. Parallel (Kelvin) model에서의 spring과 dashpot는 다음의 식 1과 같이 나타내어진다 (Mohsenin, 1986).

$$\sigma(\omega) = E \cdot \varepsilon(\omega) + \eta \frac{d\varepsilon(\omega)}{dt} \quad \text{-----(식 1)}$$

Sinusoidal 측정에 따라 각 stress 및 strain 값은 최종 complex term으로 나타내어진다 (식 2)

$$\sigma_{\max} e^{i\omega t} = E (\varepsilon_{\max} e^{i(\omega t - \delta)}) + \eta (\varepsilon_{\max} i \omega e^{i(\omega t - \delta)})$$

$$E^* = \frac{\sigma_{\max}}{\varepsilon_{\max}} e^{i\omega t} = E + i \omega \eta = G' + iG'' \quad \text{-----(식 2)}$$

여기서, σ =stress, ε =strain, E=elastic constant, η =viscous constant

$$\sigma_{\max} = \text{max. stress}, \quad \varepsilon_{\max} = \text{max. strain}, \quad \delta = \text{phase angle } (\omega \Delta t),$$

E^* = complex modulus, i =imaginary number, ω = rate of angular rotation

이에 따라 측정 및 계산되어진 G' , G'' 와 E, η 의 값들을 각각

regression model 에 적용하여 model 화에 따른 유효성을 검증하였다 (Yoon et al, 1996a and b).

다) Experimental design and statistical modeling

실험 디자인, data 분석 및 최적화는 Design expert (Stat-Easy Co., Minneapolis)를 이용하였고 모든 실험방법은 Fig. 1에 나타난 flow chart의 과정에 기준하였다. Constraint의 값으로서 울무-밀가루 혼합물의 dynamic 성질로 정하였다. Extreme vertice design을 위한 밀가루, 울무 및 물의 최소 및 최대비율은 각각 40~50%, 0~11%, 49.5~50%로 정하였고, 각 실험의 vertex에서 고정하기 위해 혼합반죽에서의 밀가루와 울무의 수분함량은 각각 10%와 14%로 정하였으며, 전체 수분범위는 55~55.5%로 정하였다. 총 constraint의 weight (모든 variable의 합)는 100%로 하였고 fixed variable은 0%로 하였다. 합당한 디자인 지역 내에서 혼합물의 다른 비율을 할당하기 위해 modified distance based design (Snee, 1979)를 사용하였고, 밀가루반죽 내에서의 interaction 효과를 알아보기 위해, 또한 실험점 (point)을 할당하기 위해 quadratic experimental design을 적용하였다.

Coefficient를 계산하기 쉽게 하기 위해서 이용되어지는 각 실험점에서의 pseudo 성분들은 다음의 식 3을 이용하여 계산하였다.

$$\text{Pseudo components} = (\text{Real} - L_i) / (1 - L_i) \text{-----} (\text{식} 3)$$

여기서 L_i = lower constraint in real

value, $L = \text{sum of lower constraints in real values.}$

Regression model을 나타내는 coefficient 값들은 Scheffe의 polynomial form (Cornell 1990)에 근거를 두고 계산되어졌다.

Linear와 canonical 형태의 quadratic model은 modified least square regression에 의해 만들어졌으며 full quadratic model은 step-wise regression방법 ($\alpha=0.1$)으로 data 선택의 폭을 넓혔으며 그 model과 coefficient 값들은 F-test 및 regression coefficient (R^2) 또한 lack of fit으로 그 유의성을 검증하였다. 혼합물질에서의 각 성분들의 효과를 살펴보기 위해 Piepel의 방향 (Cornell, 1990)을 이용하여 trace plot을 그렸다.

라) Optimization using least cost linear programming

Least cost linear programming은 objective function (cost/kg) 과 canonical 형태의 decision variables (dynamic properties) 및 target constraints (자체의 기준)으로 구성되어 있다. Objective function의 coefficient 값들은 임의의 밀가루 및 울무의 비율가격 (1:2)으로 정하였고, decision variables로서는 울무와 밀가루를 혼합 반죽하여 얻어진 동적 물성값(G' , G'' , E , 및 η)으로 하였으며, target constraint로서는 측정된 동적물성의 data에서 0.1Hz에서 구한 값들과 model 상수 값을 기준으로 그 범위를 정하였으며, 단백질과 지방함량은 측정된 값을 기준으로 하여 일정한 범위 내에서 정하였다.

다. 결과

1) Rheological effects of the addition of yulmu on dough.

확립된 modified distance-based 실험 디자인에 의해 설립된 올무-밀가루-물의 혼합비를 나타내는 actual value의 실험점과 pseudo value의 실험점은 Table 1과 2에 나타내었다. 총 13개의 실험점이 정하여 졌으며 4개의 replicates가 결정되었다. Pseudo value의 개념은 실험디자인의 완성과 모델의 fitting을 더욱 간단히 하기 위해서 사용되었다 (Cornell, 1990).

실험디자인에 따라 설정된 각 배합비에 따라 측정된 response의 결과는 Figs. 2와 3, 또한 Table 3에 나타내었으며 각 response는 동적 물성값과 모델 상수 값으로서 나타내었다. Fig. 2는 올무:밀가루:물의 혼합비율이 0:0.5:0.5로 혼합시킨 시료의 frequency에 대한 변화량이고, Fig. 3은 올무:밀가루:물의 혼합비율이 0.1:0.4:0.5로 혼합시킨 시료의 변화량이다. 모든 storage modulus (G') 값과 loss modulus (G'') 값은 0.1 Hz의 frequency에서 선택하였으며 모든 13개의 실험점에 대하여서도 같은 frequency 내에서 선택하였다.

동적물성의 측정결과, G' 값은 혼합비에 따라 0.422-6.82 kPa의 범위를 보였으며 G'' 값은 5.2-48.2의 범위를 보여주었다 (Table 3). Kelvin model에 적용하여 구한 elastic component (E) 값과 viscous component (η) 값들은 각각 4.629-88.9와 1.994-6.421의 값의 범위를 보여주었다. 이와 같이 다양한 범위의 값을 linear 및 non-linear model들을 modified square regression에 의해 통계적으로 분석하였는데 (Table 4), linear model의 probability값은 0.351로서 model화하기에 적합하지 않은 높은 값으로 나타났고 올무와 밀가루사이에는 interaction term이 존재하는 것으로 나타났다. Non-linear model 중에서는 quadratic model의 probability가 0.178

로 가장 낮게 나타나 가장 적합한 model로서 결정되었으며 그 외 spec cubic이나 full cubic model은 그 값들이 0.791과 0.7로서 부적절한 것으로 나타났다. 또한, model의 적합성을 나타내는 lack of fit의 값이 quadratic model의 값이 다른 model보다 가장 높아 (0.833), 울무와 밀가루 반죽사이에는 interaction term이 존재하는 non-linear model이 가장 적합한 것으로 나타났다. 따라서 non-linear model을 각 물성성분의 값에 적용하여 계산한 anova test의 결과는 Table 5에 나타내었다. Non-linear model은 G', G'', E, η 값에 대해 0.125, 0.061, 0.097, 0.185 의 각각 낮은 p-value 를 보여주었으며 lack of fit 값은 각각 0.892, 0.902, 0.893, 0.855를 나타내었다. 이와 같이 낮은 p-value 의 값과 높은 lack of fit의 결과에 따라, non-linear model 의 적합성을 보였으며, 혼합물에서의 각 성분들의 interaction 효과와 최적화 연구를 적용하기 위해 non-linear quadratic model이 경험적으로 사용하게 되었다.

울무와 밀가루와 물 혼합물에서의 각 성분 (component)들의 효과는 non-linear canonical regression model로서 표현되어졌다 (Table 6). 이 coefficient들은 각 성분들의 activity를 나타내는 것으로 (Arteaga et al., 1993, Yoon et al., 1996a, 1996b), 수분 함량이 동적특성에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 드러났다. 또한 G'과 G'' 과 같은 동적 물성특성에 울무와 밀가루의 상호작용 (interaction)이 positive한 영향을 미치는 것으로 나타났는데 모든 interaction term은 $t < 0.01$ 의 범위에서 선택하였다.

Non-linear model을 근거로 하여 혼합물에서의 각 성분들의 경향을 시각적으로 보기 위해 trace plot이 G' (Fig. 4), G'' (Fig. 5), E (Fig. 6), η (Fig. 7)에 대하여 그려졌다. Reference blend를 나

타내는 plot의 center는 혼합물 vertice의 centroid에서 정해졌다. 모든 동적물성 값들은 서로 비슷한 경향을 나타내었는데, 울무의 첨가량 (A-A선)이 증가할수록 모든 동적물성 값들을 감소시키는 경향을 보였으며, 밀가루의 경우는 (B-B선) reference blend까지는 어느 정도 증가시키거나 일정한 값의 영향력을 보여주었다. 물의 첨가는 (C-C선) 모든 동적물성 값들을 순간적으로 감소시키는 매우 민감한 영향력을 보여주었다. 즉, 혼합울무제품을 제조시 울무의 양을 첨가시킬수록 영양학적인 면은 증가시키나, 물성면에서는 물의 첨가 점탄성과 같은 물성값을 급작스럽게 떨어뜨리는 negative한 영향을 미치므로 물을 첨가하여 만드는 제품의 경우는 특히 주의하여야 하겠다. 따라서 울무제품의 제조 시에 필요한 일정한 물성기준에 맞는 혼합비를 밝혀내고자 하였고, 그에 따른 최저가격을 산출하기 위한 least cost non-linear programming을 적용을 하였다.

2) Least cost formulation of yulmu using Derringer-Suich's method

낮은 probability 값으로 인해서 non-linear quadratic model을 사용하였고 canonical model이나 trace plot을 도식하여 본 결과, 물이나 울무의 첨가는 울무혼합물의 물성면에는 negative한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서, non-linear programming을 사용하여 최적혼합비를 구하기 위해 모든 동적 물성 값들의 response들은 acceptable한 range로서 정하였다 (Table 7). 즉, G' 값은 0.5에서 20Pa, G'' 값은 25에서 40 Pa, 단백질 함량은 15~20%, 지방함량은 0~3.5%, 칼로리는 2000에서 2500 cal/(100 g 울무)의 범위에서 least cost formulation을 위한 constraint범위로서 정하였고 총 가

격 response는 minimum으로 정하였다.

올무:밀가루:물의 가격을 임의로 1:0.5:0으로 정하였을 때 non-linear programming의 minimum objective value는 1.307의, 가격으로 나왔고 그때의 최적배합비는 7.25% 올무, 42.77% 밀가루, 49.98%의 물의 함량비로서 계산되어졌다 (Table 8). 이러한 혼합비를 이용하여 만든 혼합제품의 물성값도 예측되었는데 G' 값은 11.86, G'' 값은 27.89, 단백질함량은 15%, 지방함량은 2.57%, calory는 2619로 나타났다. 이와같은 최적혼합비와 최저가격에 대한 예측값과 산출은 모든 response들 자체가 성별, 연령, 혹은 생산자나 소비자 모두가 다른 비율의 강조성을 띠기 때문에 각 물성들의 weight이나 desirability를 모두 일정하게 놓은 계산법이다. 따라서 추후 서로 다른 weight를 response에 두어 최저가격을 산출하는 테마가 더욱 연구되어야 하겠다.

라. 참고문헌

Arteaga, G.E., Linchan, E., Nakai, S., Comrades, S., and Jimenez, C.F. 1993. Ingredient interaction effects on protein functionality: mixture design approach. *J. Food Sci.*, 58:656

Cornell, J.A. 1990. *Experiments with Mixtures*. 2nd Ed. John Wiley & Sons. New York.

Derringer, G.C. and Suich, R. 1980. Simultaneous optimization of several response variables. *J. Qual. Technol.*, 12:214-219

Mohsenin, N.N., 1986. *Physical properties of plant and animal materials*.

Gordon and Breach Science Publish., NY

Snee, R.D. 1979. Experimental designs for mixture systems with multicomponent constraints *Comm. Statist. Theory Methods*. 8, p337-3358

Yoon, W.B., Park, J.W., and Kim, B.Y. 1996a. Linear programming in blending various components of surimi seafood. *J. Food Sci.*, 62:561-564

Yoon, W.B., Park, J.W., and Kim, B.Y. 1996b. Surimi-starch interaction based mixture design and regression models. *J. Food Sci.*, 62:555-560

Table 1. Experimental points of mixture of yulmu, wheat and water

obser.	Yulmu	Wheat	Water
1	0.10	0.40	0.50
2	0.10	0.40	0.50
3	0.00	0.50	0.50
4	0.00	0.50	0.50
5	0.105	0.40	0.495
6	0.105	0.40	0.495
7	0.05	0.45	0.50
8	0.102	0.40	0.498
9	0.052	0.45	0.498
10	0.052	0.45	0.498
11	0.084	0.417	0.499
12	0.034	0.467	0.499
13	0.068	0.43	0.499

* Low and high limitation of each component

	Yulmu	Wheat	Water
Low limit	0	0.4	0.4953
High limit	0.11	0.5	0.5

* Constraint of moisture contents of mixture

$$0.55 < (0.14\text{yulmu} + 0.1\text{wheat} + 1\text{water}) < 0.555$$

Table 2. Pseudo experimental points of mixture of yulmu-wheat-water based on the equation 3.

Obser.	Yulmu	Wheat	Water
1	2.50	10.00	12.50
2	2.50	10.00	12.50
3	0.00	12.50	12.50
4	0.00	12.50	12.50
5	2.62	10.00	12.38
6	2.62	10.00	12.38
7	1.25	11.25	12.50
8	2.56	10.00	12.44
9	1.31	11.25	12.44
10	1.31	11.25	12.44
11	2.10	10.42	12.48
12	0.85	11.67	12.48
13	1.71	10.83	12.46

Table 3. Dynamic properties of yulmu mixture.

Elastic and viscosity constant values were calculated
by Kelvin model, $G' + G'' = E + I \omega \eta$

Obser.	G'	G''	E	η
1	2.26	6.62	7.35	2.518
2	1.13	6.84	9.25	1.994
3	0.422	5.2	6.317	2.089
4	0.945	5.2	4.629	6.317
5	5.98	19.7	31.1	3.202
6	6.23	20.5	33.7	3.273
7	11	26.5	43.35	3.857
8	2.99	12.7	20.7	2.324
9	25.4	48.2	88.9	6.421
10	6.82	19.5	29.6	3.154
11	3.31	13.1	20.93	2.395
12	7.3	17.2	23.86	2.85
13	3.54	13.4	21.53	2.413

Table 4. Anova table for linear and non-linear model built by modified least square linear regression

Sequential Model Sum of Square

Source	Sum of Square	DF	Mean Square	F value	Prob>F
Mean	3398.3	1	3398.3		
Linear	299.0	2	149.5	1.18	0.351
Quadratic	609.4	3	203.1	2.29	0.178
SpecCubic	8.2	1	8.2	0.08	0.791
FullCubi	110.8	2	55.4	0.40	0.700
Residual	412.2	3	137.4		
Total	4837.8	12			

Lack of Fit Tests

Model	Sum of Square	DF	Mean Square	F value	Prob> F
Linear	728.4		6121.4	0.88	0.591
Quadratic	119.0	3	39.7	0.29	0.833
Spec Cubic	110.8	2	55.4	0.40	0.700
Full Cubic	0	0			
Pure ERR	412.2	3	137.4		

Table 5. The results of Anova test of models for dynamic properties of mixture of yulmu, wheat and water

P-value	G'	G''	E	η
Model	0.125	0.061	0.097	0.185
Lack of fit	0.892	0.902	0.893	0.855

*Model was developed by stepwise regression.

Table 6. Regression models for dynamic properties of mixture of yulmu (A), wheat (B), and water (C)

$$G' = -2.73*A + -8.43*B + 211.49*C + 40.5*AB$$

$$G'' = 1.11*A + -15.17*B + 466.99*C + 66.60*AB$$

$$E = -0.06*A + -29.26*B + 784.22*C + 131.18*AB$$

$$\eta = 1.347*A + 0.479*B + 46.033*C + 5.848*AB$$

Table 7. Constraints for least cost formulation of yulmu mixtures.

Functionality	Low	High
G'	0.5	20.0
G''	25.0	40.0
E	30.0	70.0
η	2.0	4.0
Protein	15.0	20.0
Fat	0.0	3.5
Calory	2000	2500

* The content of protein, fat and calory/100g of each component.

Table 8. The least cost formulation of yulmu mixtures from Derringer and Suich's method.

a) The least cost formulation

Component	Ratio(%)
Yulmu	7.25
Wheat	42.77
Water	49.98

b) Predicted response and cost

Predicted response	
G'	11.86
G''	27.89
E	48.06
η	4.00
Protein	15.00
Fat	2.57
Calory	2619.0
Cost(min.)	1.307

* The price of each component was determined as:
yulmu:1, wheat:0.5 and water:0

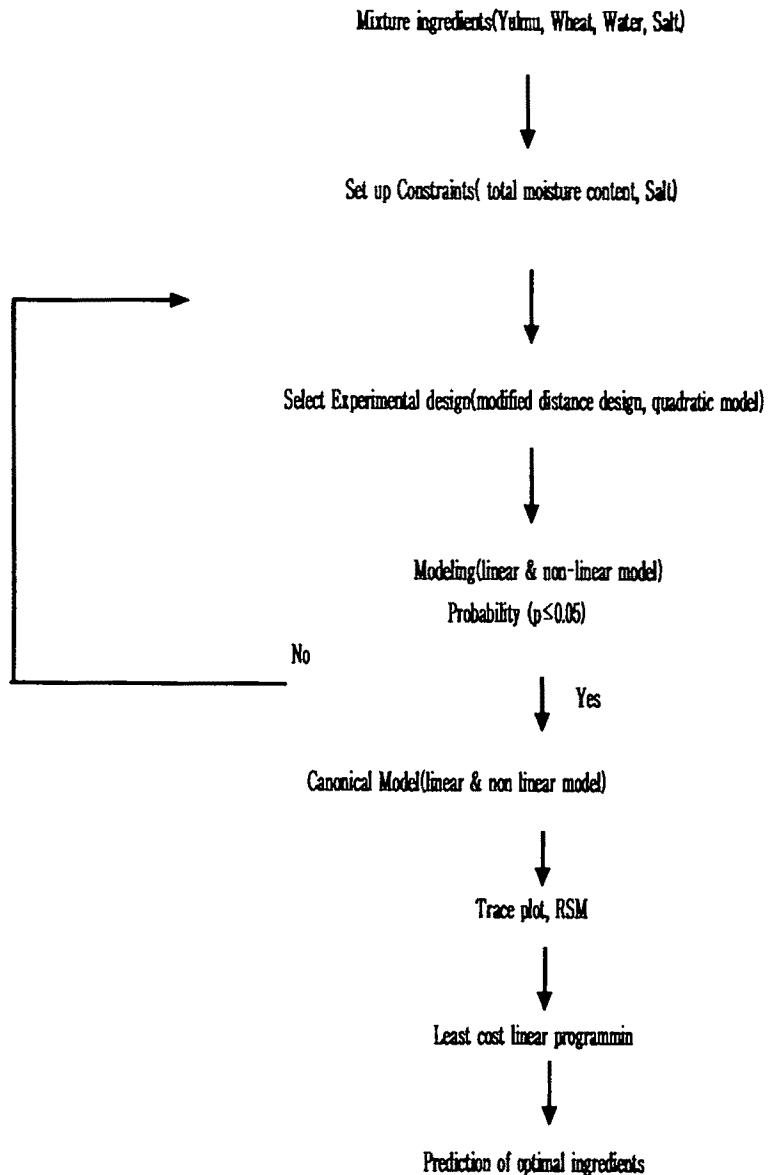


Fig. 1. Optimization outline for noodles mixed with yulmu

파오손면

105 ~ 106

DESIGN-EXPERT Plot

Model:
Reduced Quadratic

Pseudo components:
A = yulmu
B = wheat
C = water

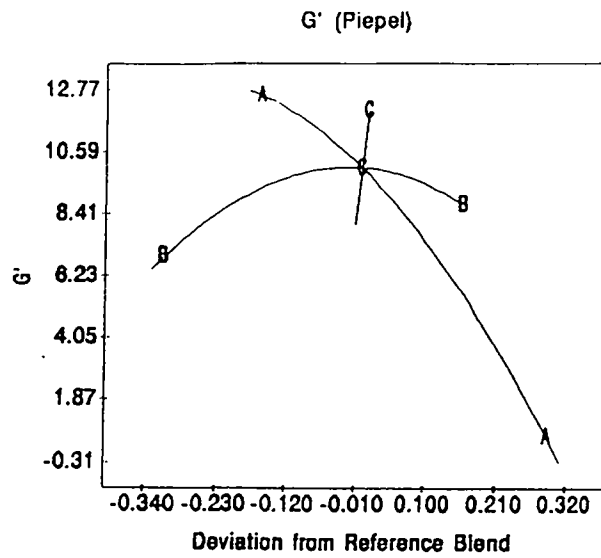


Fig. 4. Trace plot describing the effect of yulmu-wheat-water mixture on storage modulus(G').

DESIGN-EXPERT Plot

Model:
Reduced Quadratic

Pseudo components:
A = yulmu
B = wheat
C = water

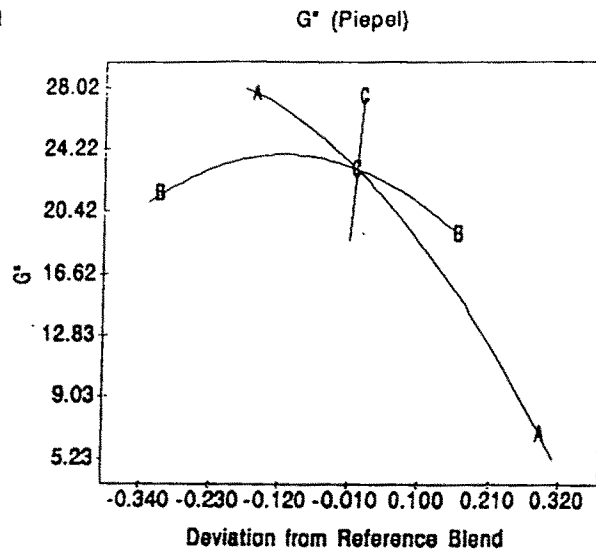


Fig. 5. Trace plot describing the effect of yulmu-wheat-water mixture on loss modulus(G'').

DESIGN-EXPERT Plot

Model:
Reduced Quadratic

Pseudo components:
A = yulmu
B = wheat
C = water

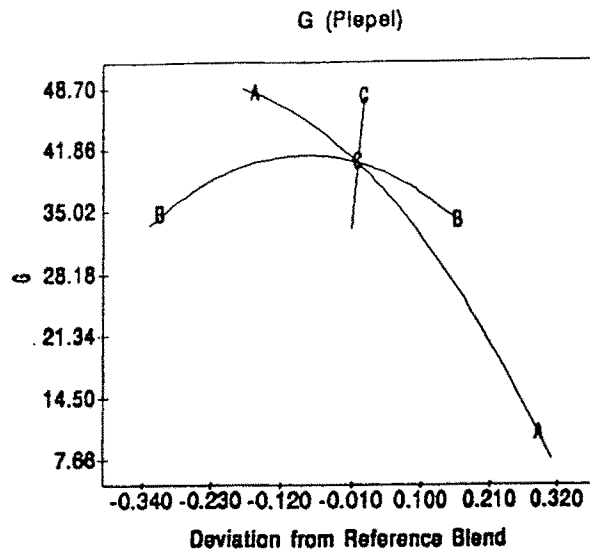
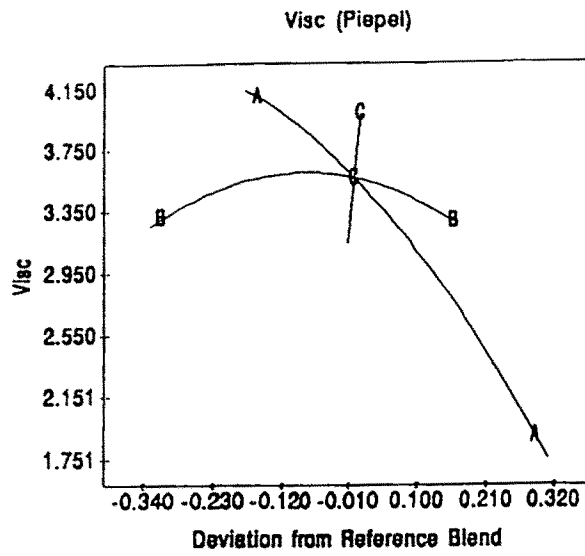


Fig. 6. Trace plot describing the effect of yulmu-wheat-water mixture on elastic component in Kelvin model.

DESIGN-EXPERT Plot

Model:
Reduced Quadratic

Pseudo components:
A = yulmu
B = wheat
C = water



MIXT.DAT
07/28/98 12:58:00

Fig. 7. Trace plot describing the effect of yulmu-wheat-water mixture on viscous component in Kelvin model.

제 3 절. 고부가 올무 가공 제품 개발

1. 올무 국수를 이용한 최적/최소가격 배합 프로그래밍에 관한 연구

가. 서론

경쟁력 마련과 기술 축적 및 시장성확보에 있어서 신제품 또는 대체품 개발은 중요한 부분을 차지한다. 이와 같은 신제품의 개발 및 대체품의 선정에 있어서 식품공정과 조성에 대한 최적화(optimization) 이론의 적용은 필수적인 역할을 한다(Saguy 등, 1984). 현재 국내에서 뿐 만 아니라 외국에서도 많은 신제품들이 소개되지만, 신제품이 성공할 수 있는 가능성은 극도로 낮아 새로운 경영 기술 및 최적화의 도입이 문제해결의 일환으로 제시되고 있다(Moskonitz 등, 1977). 특히 식품개발에 있어서 조성(composition) 성분이 차지하는 비중은 다른 고정된 요인(설비, 인력)에 비교하여 상대적으로 크며 또한 효과적으로 조절되어 질 수 있다. 따라서 이와 같은 새로운 식품 조성성분의 조절로 인한 신제품 혹은 대체품 개발에 있어서 적절한 실험계획법 및 수학적 모형의 도입과 최적화 이론의 적용과 해석은 필요 불가결한 선결조건이라 하겠다⁽³⁾(윤 등, 1997a). 이러한 대체품 혹은 복합물질(mixture)에서의 공정 및 성분비의 최적화 방법은 최근 식품공학분야에서 활발하게 일어나는 편이며, 증류, 건조 및 살균과 같은 단위 공정에서 사용되고 있다(윤 등, 1997b)

최적화 이론의 적용은 식품조성 성분이 한정된 계(system)에서 각

성분의 역할을 나타낼 수 있는 수학적 모형에 근간하여 이루어진다 (Arteaga 와 Nakai, 1993; Yoon 등, 1997a, b). 그러나 식품자체가 가지고 있는 복합성으로 인해 이론적인 수학적인 모델식 보다는 통계학적 모형(statistical model)의 도입이 바람직하다(Box와 Draper, 1987). 이와 같은 통계학적인 모형은 적절한 실험계획법(experimental design) 내에서 진행되어진 실험의 결과에 의해 형성될 때 그 모형(model)의 타당성과 적용성을 가질 수 있다. 결과적으로 명확한 문제규정에 이은 적절한 실험계획법의 선정이 최적화이론 적용에 있어서 가장 중요한 역할을 한다. 조성성분의 실험계획에 있어서 모든 성분비의 합은 항상 1 (또는 100%)을 만족 시켜야 하는데 이와 같은 제약조건으로 인하여 혼합물 실험계획법(mixture design)의 연구가 많이 이루어져 왔다(Yoon 등, 1997b; Cornell, 1990) 주어진 문제에 대하여 가능한 한 모든 배합을 최소한의 실험 회수로 평가할 수 있는 것이 혼합물 실험계획의 목적이라 할 수 있다. 최소자승법에 의거한 회귀 모형은 현대 통계적 모형중의 가장 효과적인 추정법으로 알려져 있으며, 일차 또는 이차 회귀모형은 최적화 이론을 적용하기 위한 모형으로 많이 사용되고 있다. 수학적 최적화이론의 방법으로 선형계획법과 비선형(non-linear) 계획법이 널리 사용되며 그 응용도는 주어진 목적과 (회귀) 모형에 의존한다. 일반적으로 생물학, 화학공학 및 농학 계열에서는, 반응표면계획법(response surface methodology, RSM)을 이용한 작도법에 의거한 최적화 방법을 많이 사용하고 있다(Cornell, 1973; Hare, 1974). RSM에 따른 반응표면분석을 통하여 독립변수들과 종속변수간의 함수관계를 데이터로부터 추정하여 독립변수들의 값의 변화에 따라서 반응량이 어떻게 달라지는가를 예측하며 반응량의 최적화를 찾아내며, 가장 적은 수

의 실험으로 가장 좋은 정도를 주는 실험계획법이 무엇인가를 고찰하고, 데이터 분석을 통하여 추정되는 적합한 반응표면의 통계적인 성질을 규명한다(Derringer & Suich, 1980). 이 등(1997)은 느타리 버섯과 현미를 이용한 즉석 죽의 최적 제조 조건을 얻고자 중심합성 계획법을 사용하였으며 실험에서 나오는 Data를 회귀분석과 반응 표면 작도법에 의거하여 최적조건을 나타내었다. 그러나 복수의 제한 조건으로 인하여 반응표면이 여러 개로 중첩되어 쉽게 확인하는데 어려움이 있다. 이와 같은 작도법에 근거한 최적화 방법은 시간적 제약과 함께 복수의 제한조건을 만족시키는 정확한 해답을 구하는데 어려운 점이 있다. 따라서 연산방식(algorithm)의 적용이 정확한 수치적인 해와 복수의 제약조건을 동시에 만족시키기 위하여 사용되고 있다. Derringer와 Suich(1980)는 constraint내에서 가장 좋은 반응을 나타내기 위해서 desirability function이라는 새로운 개념을 도입하였으며 그 방법을 이용하여 non-linear적으로 해석하였다. 또한 Cornell(1993)은 혼합물질에서 3개 이상의 성분들의 효과를 설명하기 위해 trace plot을 제시하였다. 특정성분의 양을 증가시켰을 때, 다른 성분들의 양은 trace plot에서는 감소하나 그것들의 비율은 일정하게 유지된다. 따라서 반응에 가장 영향을 미치는 성분과 그 반응의 경향 등이 trace plot에서 결정되어 질 수 있다.

본 연구는 혼합실험 계획법에 의거하여 울무-밀가루-물을 이용한 국수를 제조하고, 결과의 분석으로 모델을 세우고 배합물들의 상호 interaction을 연구하며, 최적의 배합비에 따른 최소가격을 선정하기 위한 programming을 연구하는 것이다. 또한 이 programming에 대한 여러 variable의 접근 방법을 시도하여 추후 울무 제품의 최적화를 이루고자 하는 것이다.

나. 재료 및 방법

1) 재료

연천군에서 1997년 생산한 울무(단백질 21.3%, 당질 61.1%, 수분 10%, 지방3.7%, 섬유질 2.0%)를 이용하여 중력 밀가루(대한제분, 곶, 인천)와 섞고 혼합 반죽을 하여 국수를 제조하였다.

2) 방법

가) 국수의 제조

울무, 밀가루, 물, 소금을 13개의 혼합디자인의 실험계획법에 따라 일정한 실험을 행하였다. 밀가루, 울무, 물을 실험 비율에 따라 혼합하였으며 전체 무게의 3%에 해당하는 소금을 넣고 farinograph의 mixing bowl을 사용하여 8분 30초 동안 반죽하였다. Mixing bowl의 온도는 35℃로 맞추어 주었다. 반죽된 dough를 가지고서 롤 간격 2.5 mm에 5회 면대(sheet)를 형성한 후 면대를 겹쳐서 롤 간격 2 mm에 3회 면대(sheet)를 형성한 다음 국수 제면기를 사용하여 너비 4 mm 두께 2 mm인 생국수를 제조하였다.

나) 국수의 texture 측정

생국수의 tensile stress를 구하기 위해 rheometer(Sun co., CD-200D, Japan)를 사용하였다. 생국수를 3 cm로 자른 후 2 kg load cell에 걸어서 cross-head speed를 200 mm/min, chart speed를 60 mm/min, holder를 15 mm의 간격을 두어 국수 1가닥을 물린 조건하에서 failure 상태의 tensile stress(N)를 구하였다. 모든 실험은 상온에서 실시하였다.

다) 국수의 색도 측정

생국수의 색도 측정은 색차계(Color techno system, JC801, Japan)를 사용하여 L*(lightness), a*(redness), b*(yellowness)값

을 측정하였으며, 10회 측정값의 평균값으로 나타내었다.

라) 국수의 조리 및 관능검사

국수의 조리는 끓는 물(2 ℓ)에 생국수 300 g을 넣고 5분간 끓인 다음 냉수에 5분간 냉각시킨 후 4분간 채에 걸러 물기를 제거한 다음 지퍼백에 담아 냉장실에 보관하였다.

조리한 국수의 관능 검사는 경희대 식품가공학과에 재학중인 25명의 학생을 대상으로 9단계 소비자 기호 척도법으로 평가하였다. 실험 계획법에 의한 13개의 국수를 맛, 조직감, 전반적인 기호도에 대하여 1(대단히 좋다)에서 9(대단히 나쁘다)까지의 점수를 사용하여 평가하였다. 미리 끓여 놓은 옥수에 냉장실에 보관 중인 국수를 미리 준비된 그릇에 담아 관능검사 요원에게 관능검사를 실시하였고 결과는 Anova Table에 의해 분석하였으며 유의성 검정을 실시하였다 (Excel 97, Microsoft[®], USA)

마) 실험 디자인 및 통계적 modeling

혼합물의 실험 디자인, data 분석 및 최적화는 Design Expert(Stat-Easy Co., Minneapolis)를 이용하였고, 모든 실험은 Fig. 1에 나타난 flow chart의 과정에 준하여 실험을 수행하였다. 혼합물 배합비는 Table 1에 나타난 바와 같이 modified distance design(Snee, 1979)에 위한 울무, 밀가루, 물의 최소, 최대의 비율은 2.27~19.1%, 50~66.3%, 27.9~28.8%로 정하였고 이 영역을 Fig. 2에 나타내었으며 빗금친 부분이 실제 사용할 영역이다. 전체 제약조건(multi constraint)의 값으로는 전체 수분함량과 소금의 양으로 정하였다. 울무, 밀가루의 각각 수분함량은 12%, 14%를 가지고 있으며 국수를 제조하기 위한 반죽의 수분함량으로 예비실험에 의해 전체 무게의 37~38%의 범위로 설정하였다. 총 배합의 합은 1(100%)

로 하였고 고정된 혼합물은 0.03(3%)으로 하였다. 전체 제약조건에 맞는 constraint의 범위에 맞춰 혼합물의 다른 비율을 할당하기 위해 modified distance based design(Snee, 1979)를 사용하였고, 혼합 반죽 내에서의 interaction 효과를 알아보기 위해 quadratic experimental model을 적용하였다.

Regression model을 나타내는 coefficient 값들은 Scheffe(1958)의 polynomial form에 근거를 두고 계산되어졌다.

Canonical 형태의 linear와 quadratic model은 modified least square regression에 의해 만들어졌으며 full quadratic model은 step-wise regression방법($\alpha=0.1$)으로 data 선택의 폭을 넓혔으며 그 model과 coefficient 값들은 Anova table을 이용한 F-test 및 유의차에 의해서 유의성을 검증하였다.

혼합물질에서의 각 성분들의 효과를 살펴보기 위해 pseudo component를 이용한 Pipel의 방향(Cornell, 1990)을 이용한 trace plot을 그렸고 pseudo component들은 다음의 식(1)을 이용하여 계산하였다.

$$\text{Pseudo component} = \frac{(\text{real} - L_i)}{(1 - L)} \quad \text{식(1)}$$

L_i =lower constraint in real value, L =sum of lower constraints in real values.

바) Optimization using least cost linear programming

Least cost linear programming은 objective function(cost)과 canonical 형태의 decision variables(물리적 특성) 및 target constraints(자체의 기준)으로 구성되어 있다. Objective function의 coefficient 값들은 울무, 밀가루 및 물의 가격을 임의로

120:10:2로 정하였고, decision variables로서는 혼합 반죽으로 만든 생곡수의 tensile strength와 L*, a*, b* 값으로 하였으며 target constraint으로는 측정된 tensile strength값의 범위를 기준으로 하였으며 cost는 최소(minimum)로 하였다.

사) Solution of predict point for response

반응결과를 예측하는데 사용한 프로그램은 Excel 97(microsoft®, USA)을 이용하였다. 우선 성분명을 입력하고, 각 성분의 제한 범위 선정하여 함량을 입력하고, %에 따른 가격을 단위가격을 입력한다.

두 번째로 선형 및 비선형 모형에 근거하여 작성한 실험 점의 결과를 가지고서 modified least square linear regression에 의해 통계적으로 분석한 model의 계수를 입력하여 준다.

배합비를 제한 범위 내에서 임의로 스크롤 키를 마우스를 사용하여 이동시키거나 키보드를 이용하여 수치를 입력하였을 때 전체 제한 범위의 값인 전체 수분 함량을 구할 수 있으며 예측결과인 tensile strength, L*, a*, b*가 수치로 나타난다. 또한 그 때의 배합가격을 구할 수 있다

다. 결과

1) Experimental point and response

본 연구의 전제조건으로써 성분의 배합비 외에 전체 수분함량의 제약조건(Table 1)을 가지고서 확립된 modified distance-based design 실험디자인에 의한 울무-밀가루-물의 혼합비를 나타내는 actual value와 pseudo value의 실험점을 Table 2, 3에 나타내었다. 9개의 실험점과 4개의 반복을 해서 총 13개의 실험점이 결정되었다. 그 수치는 고정혼합물인 소금 3%를 제외한 0.97로 보았을 때의 함량

비이다. 실험은 구획에 따른 오차를 없애기 위해 무작위적으로 실험 순서를 결정하여 실행하였다.

실험디자인에 따라 설정된 각 배합비에 따라 측정된 반응 결과는 Table 4에 나타내었다. 실험결과 tensile stress는 1.852~2.675 N의 범위를 보였으며, L*값은 74.43~82.96, a*값은 -2.950~-0.510, b*값은 18.01~20.05의 범위를 나타내었으며 배합비에 따른 가격은 9.92~28.48의 범위를 나타내었다.

2) Analysis of response and trace plot

위와 같이 비선형 모형에 근거하여 작성한 실험점의 결과인 Table 2의 결과를 가지고서 linear 및 non-linear model들을 modified least square linear regression에 의해 통계적으로 분석하였고 각 모형의 probability value를 기준으로 설정하여 Table 3에 anova table로 나타내었다. 분석 결과 tensile stress는 linear model이 유의차가 0.001이하를 나타내었고, non-linear model의 유의차는 0.096~0.707을 나타내어 유의차 5%를 기준으로 보았을 때 linear model이 가장 적당함으로 판단되었다.

L* 값의 경우 유의차가 linear가 0.001이하를 나타내었고 non-linear model은 0.480~0.998을 나타내어 유의차 5%를 기준으로 보았을 때 linear model이 최적의 model로 판단되었다. a*값의 경우 유의차가 linear model이 0.022를 나타내었고, non linear model은 0.695~0.843을 나타내어 유의차 5%를 기준으로 보았을 때 linear model이 적합함을 나타내었다. b*값의 경우 linear model의 유의차가 0.053을 나타내었으며, non-linear model에서의 유의차는 quadratic model의 유의차값은 0.027을 나타내었고, cubic model은 0.521~0.973을 나타내어 유의차 5%를 기준으로 보았을 때

non-linear model이 적합함을 나타내었다.

지금 까지 분석한 결과 tensile stress, L^* , a^* 는 linear model이 적합함을 나타내어 국수를 제조 시에 울무-밀가루-물 사이에 상호작용이 거의 존재하지 않았음을 판단할 수 있었으나 김(19997b) 등에 의하면 paste 상태의 yulmu-wheat-water 혼합물에서는 동적물성 즉 storage modulus(G'), loss modulus(G''), elastic component(E)와 viscous component(η)에서는 interaction term이 존재하는 quadratic model이 적합함을 나타내었다. yellowness를 나타내는 b^* 값은 quadratic model이 적합성을 나타내어 상호작용이 존재함을 확인 할 수 있었다.

울무, 밀가루와 물의 혼합물로 만든 국수에서의 각 성분들의 효과를 linear 또는 non-linear canonical regression model로 Table 6에 나타내었다. 여기에 나타난 각 coefficient 들은 각 성분들이 각 response에 미치는 영향을 나타내는 activity(Arteaga 등., 1993, Yoon 등, 1997a, 1997b)이다. 이와 같이 linear model을 근거로 하여 혼합물에서의 각 성분들의 기여도를 가식화하기 위하여 trace plot을 이용하여 Fig. 3~6으로 나타내었다. Reference blend를 나타내는 plot의 center는 혼합물 vertices의 centroid에서 정하여졌다.

울무와 밀가루는 tensile stress에서 positive한 영향을 미치며 (Fig. 3) 그 기울기는 혼합물 내에서의 상대적인 기여도를 나타내는데 밀가루가 울무보다 기울기가 더 크므로 영향을 더 줌을 알 수 있었다. 3개의 성분중 물이 기울기가 가장 크므로 울무-밀가루-물의 혼합물에서 물이 tensile stress에 가장 큰 영향을 미침을 알 수 있었으며 울무 국수의 제조시에 수분의 양이 주된 요소임을 나타내었

다.

올무 국수에서 혼합물의 성분이 L^* 값에 미치는 영향을 살펴보면 (Fig. 4) 올무는 negative한 영향을 미치며 밀가루와 물은 positive한 영향을 미쳐 올무와 밀가루는 상반된 경향을 나타낸다.

올무 국수에서 혼합물의 성분이 a^* 값에 미치는 영향을 살펴보면 (Fig. 5) 올무와 물은 positive한 영향을 미치며 밀가루와 물은 negative한 영향을 미쳐 올무와 밀가루는 상반된 경향을 나타내었고, 올무 국수에서 혼합물의 성분이 b^* (yellowness)값에 미치는 영향에 대해서는(Fig. 6) 올무는 함량이 증가하면서 positive한 영향을 미치다 다시 떨어지는 경향을 나타내었으며, 밀가루와 물은 negative한 영향을 미치나 물의 경사가 더 급하므로 훨씬 더 큰 영향을 미치며, 올무와 밀가루는 상반된 경향을 나타내었다.

Trace plot에서는 특정성분의 양을 증가시켰을 때, 다른 성분들의 양은 trace plot에서는 감소하나 그것들의 비율은 일정하게 유지된다. 따라서 반응에 가장 영향을 미치는 성분과 그 반응의 경향 등이 trace plot에서 결정되어 질 수 있다. RSM에 따른 반응표면분석을 통하여 독립변수들과 종속변수간의 함수관계를 데이터로부터 추정하여 독립변수들의 값의 변화에 따라서 반응량이 어떻게 달라지는가를 예측하며 반응량의 최적화를 찾아낸다. 따라서 실험결과를 가지고서 Fig. 8~11에 나타내었다. 독립변수로는 올무, 밀가루, 물이며 종속 변수로는 tensile stress, L^* , a^* 와 b^* 로 나타내었다.

Fig. 8에 나타내었듯이 물의 함량이 감소함에 따라 경사가 기울어져 있고 표면적이 넓게 퍼져 있어 물의 함량이 증가함에 따라 tensile stress가 감소함을 확인할 수 있으며, 물의 함량이 변함에 따라 tensile stress가 급격하게 변함을 확인할 수 있었다. 그러나

L*값에 있어서는 울무 함량이 감소함에 따라 L*값이 올라가 있고 반응띠가 좁게 나타나 있어 수분함량에 따라서는 L*값에 큰 영향을 미치지 않으며 울무 함량에 따라 L*값에 많은 영향을 미침을 확인할 수 있었으며, a*값의 경우(Fig. 10) 울무 함량이 감소함에 따라 반응이 내려가 있고 반응띠가 좁게 나타나 있어 수분 함량에 따라서는 a*값에 큰 영향을 미치지 않으며 울무 함량에 따라 a*값에 많은 영향을 미침을 확인할 수 있다. 또한 b*값의 경우에도(Fig. 11) 울무의 함량이 증가함에 따라 반응 표면이 작아지고 있으며, 이것은 울무함량이 증가할수록 물의 함량이 작아짐에 따라 반응이 많은 변화를 가지지 않음을 확인할 수 있었다.

3) Least cost linear programming

울무 혼합물을 이용한 국수의 제조 시에 필요한 물성 기준에 맞는 혼합비를 밝혀 내고 그에 따른 최저가격을 산출하기 위한 least cost linear programming을 적용하였다.

최적혼합비를 구하기 위해 tensile stress와 색도를 나타내는 L*, a*, b*값의 response들은 acceptable한 range로서 정하였다. 즉 tensile stress는 1.852~2.675 N, L*값은 72.43~82.96, a*값은 -2.950~-0.510, b*값은 18.01~20.05의 범위에서 least cost formulation을 위한 constraint 범위로서 정하였고 (Table 7), 울무:밀가루:물의 가격을 임의로 120:10:2로 정하고 tensile stress는 maximum, cost는 최소로 설정하였을 때 linear programming의 최소 가격은 9.924의 가격이 나왔으며 그 때의 최적 배합비는 울무는 2.27%, 밀가루는 66.28%, 물은 28.45%로 계산되어졌다. 이 때 최적 배합비를 이용하였을 때의 국수의 물리적 특성을 예측하였는데 tensile stress는 2.342N, L*는 82.39, a*는 -2.860, b*는 18.13로

예측 할 수 있었다(Table 8).

4) 확장된 제약 조건을 포함한 울무 국수의 최적화

관능검사는 본 실험에서 고려되어지지 않았던 또 다른 중요한 제약조건들 중의 하나라고 볼 수 있다. 결과적으로 내부에 작용하였던 요인들의 해석에 큰 영향을 미침으로 판단되어 새로운 제약조건으로 관능검사를 포함하여 최적의 배합비를 찾고자 하였다.

배합비에 따라 조리한 국수를 taste, texture, acceptability를 기준으로 하여 실시한 관능검사 결과는 Table 9와 같다. 각각의 점수를 평균을 내어 이것을 다시 modified least square linear regression에 의해 통계적으로 분석하였고 각 모형의 probability value를 Table 10-a)에 anova table로 나타내었다. 분석결과 linear model의 유의차가 0.001이하이며, non-linear model은 0.392~0.342를 나타내어 linear model이 가장 적합한 것으로 판단되었으며 회귀모형을 Table 10-b)에 canonical model로 나타내었다. 이 linear 모형의 coefficient는 A, B, C 각각 5.570, 4.014, 9.324의 값을 가진다. Trace plot으로 나타낸 결과(fig. 7) 울무가 증가함에 따라 관능검사의 점수에는 positive한 경향을 나타내어 울무국수의 관능검사에는 좋지 않은 영향을 미침을 확인 할 수 있었으며, 밀가루가 증가함에 따라 관능검사 점수가 negative한 경향을 나타내어 울무국수의 관능검사에는 좋은 영향을 미침을 확인 할 수 있었다. 수분이 증가함에 따라 급격한 변화를 나타내어 울무국수의 관능검사에 가장 큰 영향을 미침을 나타내었다. 최적화 되어진 모형(linear 또는 non-linear)들을 바탕으로 최적화이론이 실행되어진 사례들을 Table 11. A, B에 나타내었다. 각 반응치들의 반응범위를 제약 조건으로 설정하여 이 제약조건에 만족하며 목적함수(가격)를 최소화시키는

경우를 최적화의 결과로서 채택하는 조건을 설정하였고(Table 9-A), 여기에 각각 가중치를 주어 가격과 다른 목적함수 즉 관능검사와 인장응력을 만족키는 조건을 설정하였다. Table 9-A의 경우 가중치를 같게 놓고 분석한 결과이며 Table 9-B의 경우는 각각 가중치를 주어진 경우이다. A-case 1은 목적함수로서 cost를 minimum으로 다른 제약조건은 반응치의 반응범위를 적용시킨 결과로서 최적의 배합비는 울무, 밀가루와 물이 각각 2.27%, 66.28%, 28.45%를 나타내었으며 그 때 울무국수에서 예상되는 반응결과로는 비용이 9.924이며 인장력은 2.342 N, 관능검사점수는 4.360을 나타내었다. A-case 2는 목적함수로서 cost는 minimum으로, 인장력을 maximum, 관능검사를 제약조건으로 놓았을 때 최적의 배합비는 울무, 밀가루와 물이 각각 2.84%, 66.28%, 27.88%를 나타내었으며 그 때의 울무국수에서 예상되는 반응결과로는 cost가 10.59, 인장력이 2.650 N, 관능검사 점수가 4.081로 채택되었다. A-case 3은 목적함수로서 cost는 minimum으로, 인장력을 maximum, 관능검사를 maximum으로 놓았을 때 최적의 배합비는 울무, 밀가루와 물이 각각 2.84%, 66.28%, 27.88%를 나타내었으며 그 때의 울무국수에서 예상되는 반응결과로는 cost가 10.59, 인장력이 2.650 N, 관능검사 점수가 4.081로 채택되었으며 A-case3은 목적함수를 추가 시켰으나 그 결과는 A-case2와 같은 배합비와 같은 예상 반응점을 나타내었다. B-case1, 2, 3은 가중치를 주었을 경우인데 B-case1은 가격에 가중치 10을 주었을 경우 최적의 배합비는 울무, 밀가루와 물이 각각 2.74%, 66.28%, 27.98%를 나타내었으며, 그 때의 울무국수에서 예상되는 반응결과로는 cost가 10.47, 인장력이 2.594 N, 관능검사 점수가 4.131을 나타내어 가중치를 주지 않았을 경우와 비교해서 비용은 감소하였으며 인장력과

관능검사는 떨어져 가중치를 준 효과가 나타났다. B-case-2, 3의 경우 인장응력과 관능검사 점수에 가중치를 주었지만 가중치를 주지 않았을 경우의 결과와 차이가 없었다. 그러므로 가격에 가중치를 주지 않는 경우는 이 배합비가 최적의 배합비임을 확인 할 수 있다.

5) Least cost linear programmin을 이용한 최적 배합비 / 최소 가격 screen화

Excel 97(microsoft, 1997)을 이용하여 linear & non-linear model을 적용시켜 반응결과를 예측하였다. 비선형 모형에 근거하여 작성한 실험점의 결과를 가지고서 linear 및 non-linear model들을 modified least square linear regression에 의해 통계적으로 분석한 model을 가지고서 제한 범위내의 component 양을 입력하면 예상되는 response의 값을 확인할 수 있으며 그 때의 비용을 확인 할 수 있다. 우선 성분명을 입력하고 실험결과에서 나온 data의 범위를 설정해 주고 component의 가격(/%)을 정해준다. 분석한 linear 및 non-linear model의 계수를 입력한다.

배합비를 제한 범위 내에서 임의로 스크롤 키를 이동시키거나 수치를 입력하였을 때 전체 제한 범위의 값인 전체 수분 함량을 구할 수 있으며 예측결과인 tensile stress, L^* , a^* , b^* 가 수치로 나타난다. 또한 그 때의 배합가격을 구할 수 있다. Fig. 12a는 우선 혼합물의 성분 즉 울무, 밀가루, 물을 입력하였다. Table 1의 각 배합량의 제한 범위를 입력해 주었다. 각각의 함량에 따른 가격을 입력하여 주었다. Table 6의 회귀모델의 각각의 계수를 입력하여 주었다. 그 다음 스크롤을 이동시켜 울무, 밀가루, 물의 성분을 각각 2.27%, 66.28%, 28.45%로 조정하였더니 울무국수의 물성과 색도의 값이 예측되었는데 인장력은 2.3409 N을 나타내었고, L^* 값은 82.389, b^* 값

은 -2.86, a*값은 19.193을 나타내었고 그 때의 배합가격은 9.921을 나타내었다.

라. 참고문헌

- 박성현, 현대 실험계획법. 민영사, 537~574, (1995)
- 이기동, 김현구, 김진구, 권중호, 느타리버섯과 현미를 이용한 즉석죽 제조조건의 최적화, 식품과학회지, vol 29. 4, 737~744, (1997)
- 윤원병, 김병용, 함영태, 두부콩들의 물성학적 기능성 비교 및 최적화에 관한 연구, 한국농화학회지, 40, 225~231, (1997a)
- 윤원병, 김병용, 신동훈, 식품의 혼합제품에서의 상호 interaction 효과와 최적화에 관한 연구, 산업식품공학회지, 1, 47~53, (1997b)
- Arteaga, G. E. and Nakai, S., Predicting protein functionality with artificial. neutral networks: foaming & emulsifying. J. Food. Sci, 58, 1152~1156, (1993)
- Box, G. E. P. & Draper, N. R., Empirical Model Building & Response Surfaces. John Wiley & Sons, New York, (1987)
- Cornell, J. A., Experiments with Mixtures. A review. Technometrics 15, 437~455, (1973)
- Cornell, J. A., Experiments with mixtures: Design, Models & the Analysis of Mixture Data(2nd ed.), John Wiley & Sons, New York, (1990)
- Derringer, G. C. and Suich, R., Simultaneous optimization of several response variables. J. Qual. Technol., 12, 214~219, (1980)

Hare, L. B., Mixture designs applied to Food formulation, J. Food Technol. 50~56, (1974)

Micorsoft corporation, Exel 97 (1997)

Moskonitz, H. R., Stanly, D. W. and Chundler, J.W., The eclipse method: Optimizing product formulation through a consumer generated ideal sensory profile. Can. Inst. J. Food Sci. Technol., 168~168, (1977)

Saguy, I., Mishkin, M. A. & Karel, M., Optimization Methods & available software, Part 1. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 20, Issue 4, 275~299, (1984)

Snee, R.D. Experimental designs for mixture systems with multicomponent constraints Comm. Statist. Theory Methods. 8, p337-3358 (1979)

Scheffe, H., Experiment with Mixture. J. Royal Statistical Soc., Series B, 20, 344~360, (1958)

Yoon, Y. B., Kim, B. Y., and Park, J. W., Linear programming in blending various components of surimi seafood. J. Food Sci., 62, 561~568, (1997a)

Yoon, Y. B., Kim, B. Y., and Park, J. W., Surimi-starch interactions based on mixture design & regression models. J. Food Sci, 62, 555~560, (1997b)

Table 1. Constraint of contents of Yulmu mixture

	Yulmu	Wheat	Water
Low limit	0.0227	0.5	0.279
High limit	0.191	0.663	0.288

*Multiconstraint of moisture contents of mixture

$$0.37 \leq 0.12\text{Yulmu} + 0.14\text{Wheat} + \text{Water} \leq 0.38$$

$$\text{Yulmu} + \text{Wheat} + \text{Water} = 0.97$$

$$\text{Salt} : 0.03$$

Table 2. Actual experimental points of Yulmu mixture

No.	Run order	Actual value		
		Yulmu	wheat	Water
1	2	0.1820	0.5000	0.2880
2	9	0.1820	0.5000	0.2880
3	5	0.1910	0.5000	0.2790
4	13	0.1910	0.5000	0.2790
5	8	0.0284	0.6628	0.2788
6	7	0.0284	0.6628	0.2788
7	1	0.0227	0.6628	0.2845
8	10	0.1870	0.5000	0.2830
9	4	0.1870	0.5000	0.2830
10	3	0.1440	0.5410	0.2850
11	11	0.1490	0.5400	0.2810
12	12	0.0640	0.6210	0.2850
13	6	0.1060	0.5810	0.2830

Table 3. Pseudo experimental points of Yulmu mixture

No.	Run order	Pseudo value		
		Yulmu	Wheat	Water
1	2	0.9454	0	0.05461
2	9	0.9454	0	0.05461
3	5	0.9988	0	0.00119
4	13	0.9988	0	0.00119
5	8	0.0337	0.9663	0
6	7	0.0337	0.9663	0
7	1	0	0.9663	0.03373
8	10	0.9751	0	0.02493
9	4	0.9751	0	0.02493
10	3	0.7198	0.2374	0.03680
11	11	0.7495	0.2374	0.01306
12	12	0.2450	0.7182	0.03680
13	6	0.4943	0.4808	0.02493

Table 4. Tensile stress, L*, a*, b* and cost data on Yulmu mixture

Response No.	tensile stress (N)	L*	a*	b*	cost
1	2.029	75.67	-1.310	20.05	27.42
2	1.852	75.72	-1.310	19.40	27.42
3	2.675	75.69	-1.170	19.20	28.48
4	2.528	75.84	-1.060	19.40	28.48
5	2.617	82.02	-3.110	19.12	10.59
6	2.460	81.62	-2.810	19.08	10.59
7	2.440	82.96	-2.670	18.01	9.92
8	2.372	74.43	-0.510	19.75	28.01
9	2.293	77.09	-2.950	19.15	28.01
10	2.401	78.60	-1.174	19.15	23.26
11	2.450	77.63	-1.780	19.41	23.84
12	2.401	80.22	-2.120	18.94	14.46
13	2.391	79.51	-2.790	19.38	19.10

*The price of each component was determined as; Yulmu:

120/(actual),

Wheat: 10/(actual) and Water: 2/(actual)

Table 5. Anova table for linear and non-linear model built by
modified least square linear regression

a) response: tensile stress

source	sum of squares	DF	mean square	F value	prob.> F
mean	73.4907	1	73.4907		
Linear	0.4432	2	0.2216	15.02	<0.001
Quadratic	0.0847	3	0.0282	3.14	0.096
Spec. Cubic	0.0137	1	0.0132	1.60	0.253
Full cubic	0.0079	2	0.0040	0.38	0.707
Residual	0.0417	4	0.0104		
Total	74.0814	13			

b) response: L*

source	sum of squares	DF	mean square	F value	prob.> F
mean	79560.69	1	79560.69		
Linear	89.01	2	44.50	73.30	<0.001
Quadratic	0.83	3	0.28	0.37	0.778
Spec. Cubic	0.00	1	0.00	<0.01	0.988
Full cubic	1.61	2	0.81	0.89	0.480
Residual	3.63	4	0.91		
Total	79.655.77	13			

c) response: a*

source	sum of squares	DF	mean square	F value	prob.> F
mean	49.355	1	49.355		
Linear	4.655	2	2.327	5.75	0.022
Quadratic	0.713	3	0.238	0.50	0.695
Spec. Cubic	0.023	1	0.023	0.04	0.843
Full cubic	0.285	2	0.142	0.19	0.835
Residual	3.028	4	0.757		
Total	58.059	13			

d) response: b*

source	sum of squares	DF	mean square	F value	prob.> F
mean	4809.231	1	4809.231		
Linear	1.191	2	0.595	4.01	0.053
Quadratic	0.914	3	0.305	3.74	0.027
Spec. Cubic	0.000	1	0.000	<0.01	0.973
Full cubic	0.159	2	0.080	0.77	0.521
Residual	0.412	4	0.103		
Total	4811.907	13			

Table 6. Regression models for response of noodles mixed with Yulmu

$Y_1(\text{Tensile stress}) = 2.5605A + 2.6527B - 6.5650C$
$Y_2(L^*) = 75.727A + 82.389B + 82.402C$
$Y_3(a^*) = -1.439A - 2.936B - 0.691C$
$Y_4(b^*) = 19.305A + 19.032B + 156.961C + 1.743AB$ $- 137.832AC - 170.420BC$

Pseudo components A: Yulmu, B: Wheat, C: Water

Table 7. Constraints for least cost formulation of noodles
mixed with Yulmu

Functionality	Low	High
tensile stress(N)	1.852	2.675
L*	74.43	82.96
a*	-2.950	-0.510
b*	18.01	20.05
cost	9.92	28.48

Table 8. The least cost formulation of noodles mixed with Yulmu from Derringer and Suich's method

a) The least cost formulation

Component	Ratio(%)
Yulmu	2.27
Wheat	66.28
Water	28.45

b) Predicted response and cost

Response	Predicted response
Tensile stress(N)	2.342
L*	82.39
a*	-2.860
b*	18.13
cost	9.924

Table 9. Sensory evaluation score for noodles mixed with Yulmu

sample	taste	texture	acceptability	mean
1	4.4±1.76	4.68±1.70	4.8±2.04	4.627
2	5.84±1.60	5.92±1.91	6.16±2.21	5.973
3	5.76±1.79	6.04±1.74	6.04±2.03	5.947
4	5.84±1.72	5.64±1.85	6.2±2.08	5.893
5	5.36±1.58	5.48±1.64	5.2±1.98	5.347
6	4.96±1.54	4.72±1.43	5.16±1.60	4.947
7	3.76±1.39	3.68±1.55	4.0±1.87	3.813
8	4.08±1.55	4.08±1.61	4.2±1.58	4.120
9	5.12±1.99	5.12±1.39	5.36±2.06	5.200
10	5.92±1.91	5.68±1.65	5.8±2.04	5.800
11	5.16±1.77	4.64±1.44	5.24±1.94	5.013
12	4.56±1.83	4.36±1.68	4.76±1.98	4.560
13	5.68±1.57	4.96±1.24	5.64±1.80	5.427

Rating scale: 1(very good), 9(very bad)

score: mean score±standard deviation (p≤0.05)

Table 10. Anova test for noodles mixed with yulmu on sensory evaluation

a) Anova table for linear and non-linear model built by modified least square linear regression

source	sum of squares	DF	mean square	F value	prob.> F
mean	339.560	1	339.560		
Linear	5.326	2	2.663	28.93	< 0.001
Quadratic	0.383	3	0.128	1.66	0.261
Spec. Cubic	0.074	1	0.074	0.96	0.364
Full cubic	0.098	2	0.049	0.54	0.620
Residual	0.365	4	0.091		
Total	345.806	13			

b) Regression model

$$\text{Sensory evaluation} = 5.570A + 4.014B + 9.324C$$

Table 11. Optimization with sensory evaluation test for Yulmu mixture.

A. case 1.			
response	Goal	Function	weight
cost.	min.	Objective	1
T.S	N/A	Constraints	
Sensory test	N/A	Constraints	
result			
mixture ratio(%)	desirability	prediction	
Yulmu: 2.27 Wheat: 66.28 water: 28.45	D: 1.000	cost: 9.924 T.S: 2.342 sensory: 4.360	

A. case 2.			
response	Goal	Function	weight
cost.	min.	Objective	1
T.S	max	Objective	1
Sensory test	N/A	Constraints	
result			
mixture ratio	desirability	prediction	
Yulmu: 2.84 Wheat: 66.28 water: 27.88	D: 0.967	cost: 10.59 T.S: 2.650 sensory: 4.081	

A. case 3.			
response	Goal	Function	weight
cost.	min.	Objective	1
T.S	max	Objective	1
Sensory evaluation	max	Objective	1
result			
mixture ratio	desirability	prediction	
Yulmu: 2.84 Wheat: 66.28 water: 27.88	D: 0.935	cost: 10.59 T.S: 2.650 sensory: 4.081	

B. case 1.			
response	Goal	Function	weight
cost.	min.	Objective	10
T.S	max	Objective	1
Sensory evaluation	max	Objective	1
result			
mixture ratio	desirability	prediction	
Yulmu: 2.74 Wheat: 66.28 water: 27.98	D: 0.829	cost: 10.47 T.S: 2.594 sensory: 4.131	

B. case 2.			
response	Goal	Function	weight
cost.	min.	Objective	1
T.S	max	Objective	10
Sensory evaluation	max	Objective	1
result			
mixture ratio	desirability	prediction	
Yulmu: 2.84 Wheat: 66.28 water: 27.88	D: 0.851	cost: 10.59 T.S: 2.650 sensory: 4.081	

B. case 3.			
response	Goal	Function	weight
cost.	min.	Objective	1
T.S	max	Objective	1
Sensory evaluation	max	Objective	10
result			
mixture ratio	desirability	prediction	
Yulmu: 2.84 Wheat: 66.28 water: 27.88	D: 0.629	cost: 10.59 T.S: 2.650 sensory: 4.081	

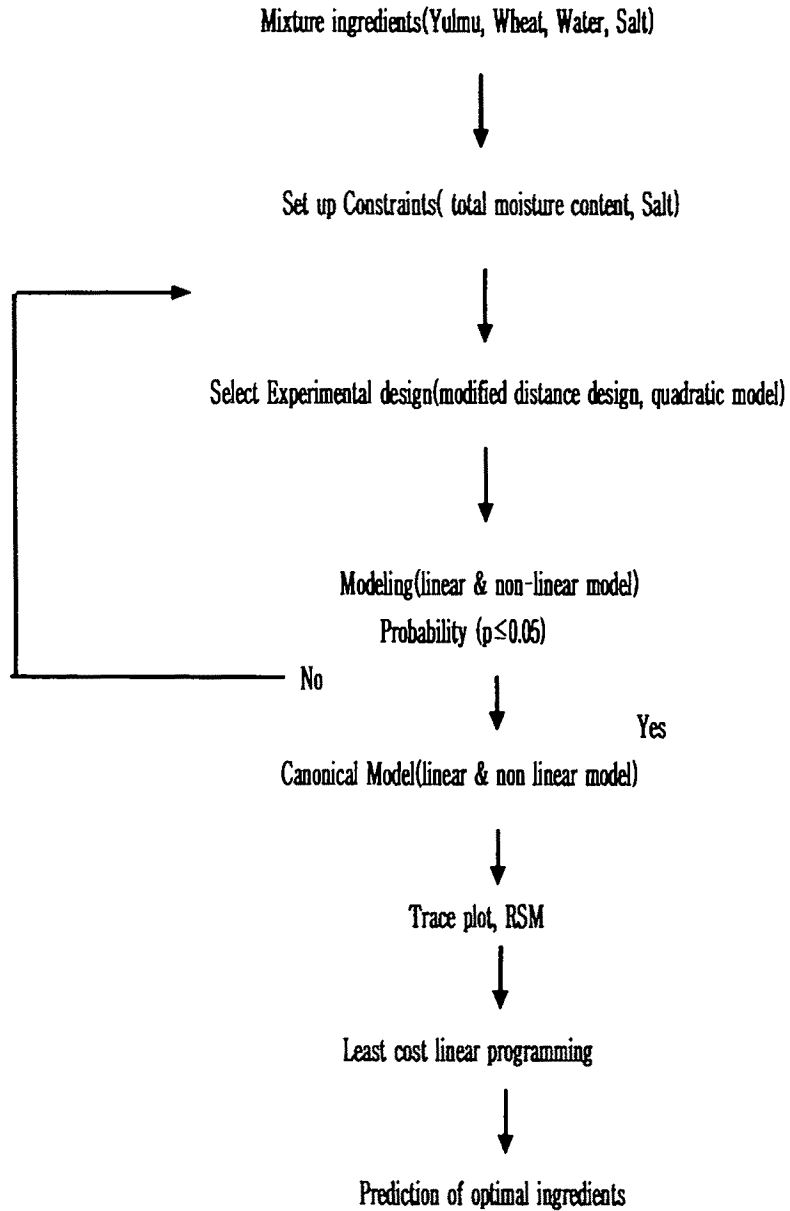


Fig. 1. Optimization outline for noodles mixed with yulmu.

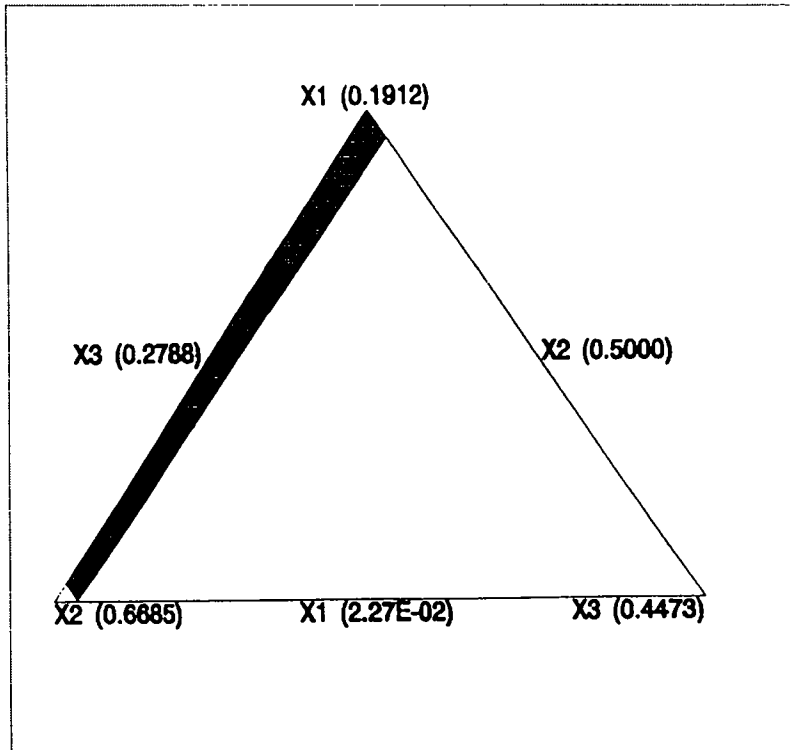


Fig. 2. Response of constraint of yulmu mixture
actual components X1: Yulmu, X2: Wheat, X3: Water

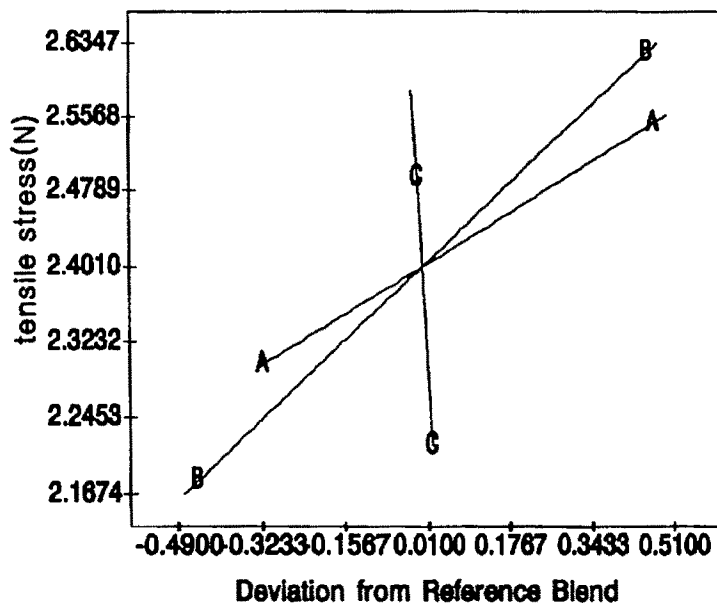


Fig. 3. Trace plot describing the effects of each component noodles mixed with yulmu on tensile stress
Pseudo components A: Yulmu, B: Wheat, C: Water

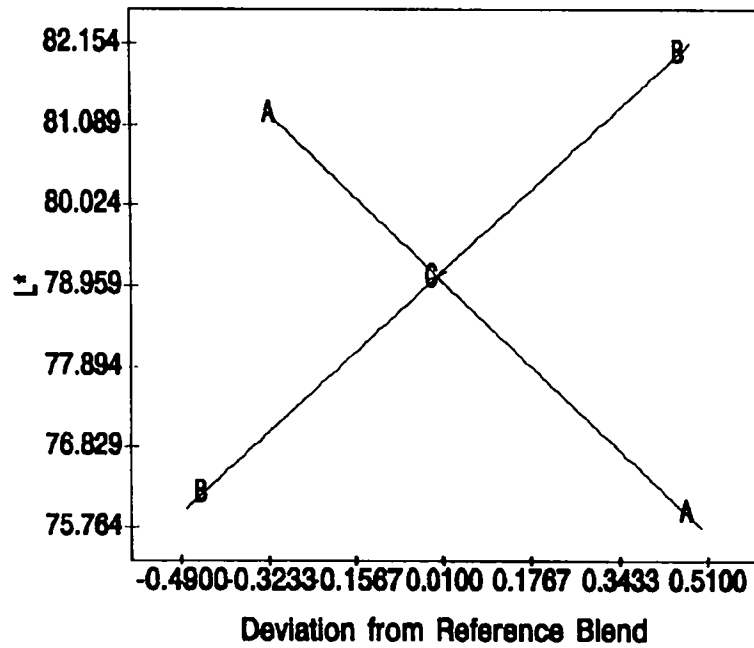


Fig. 4. Trace plot describing the effects of each component noodles mixed with yulmu on L*
Pseudo components A: Yulmu, B: Wheat, C: Water

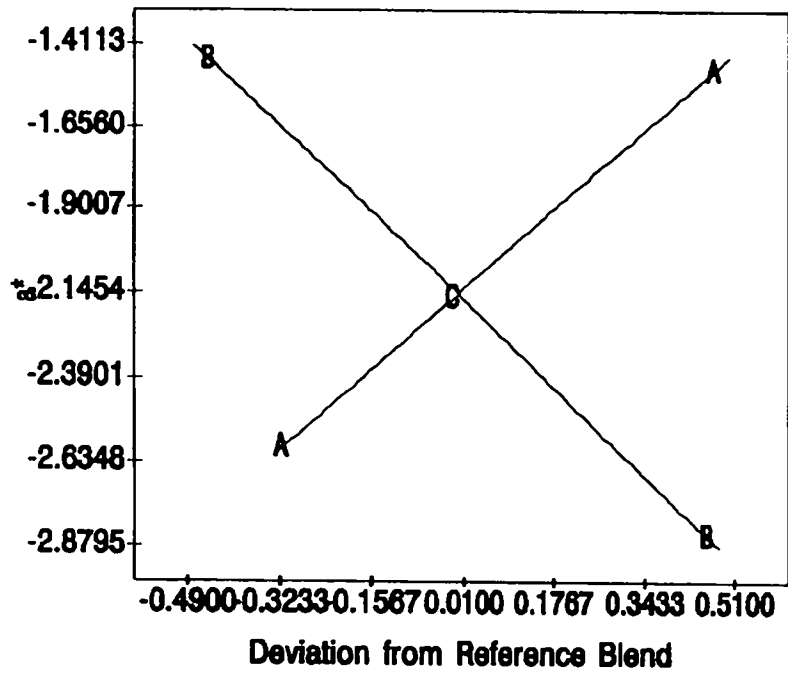


Fig. 5. Trace plot describing the effects of each component noodles mixed with yulmu on a^* .
Pseudo components A: Yulmu, B: Wheat, C: Water

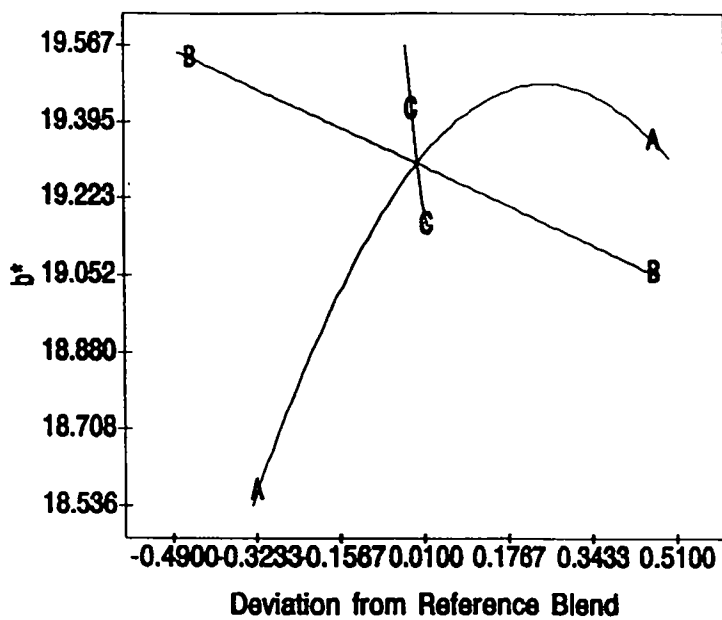


Fig. 6. Trace plot describing the effects of each component noodles mixed with yulmu on b^* .
Pseudo components A: Yulmu, B: Wheat, C: Water

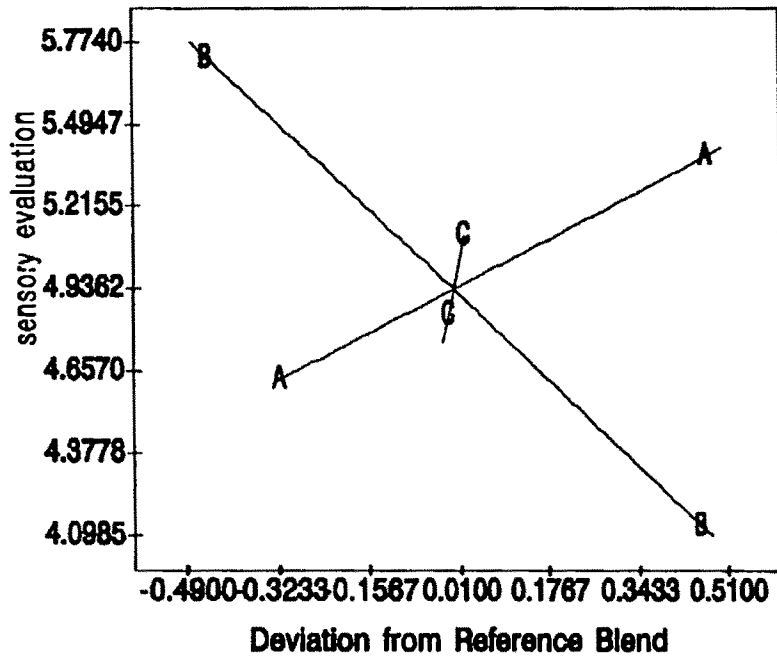


Fig. 7. Trace plot describing the effects of each component noodles mixed with yulmu on sensory evaluation. Pseudo components A: Yulmu, B: Wheat, C: Water

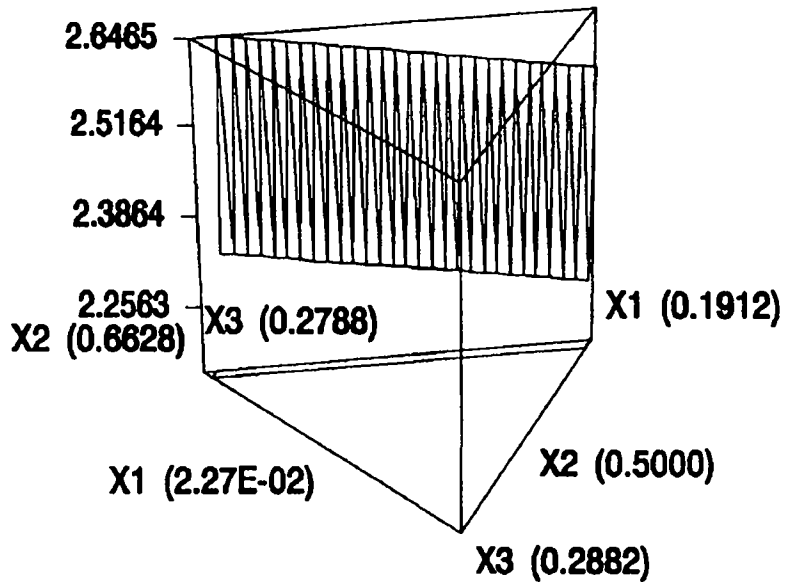


Fig. 8. Response surface describing the effects of noodles mixed with yulmu on tensile stress
 actual components X1: Yulmu, X2: Wheat, X3: Water

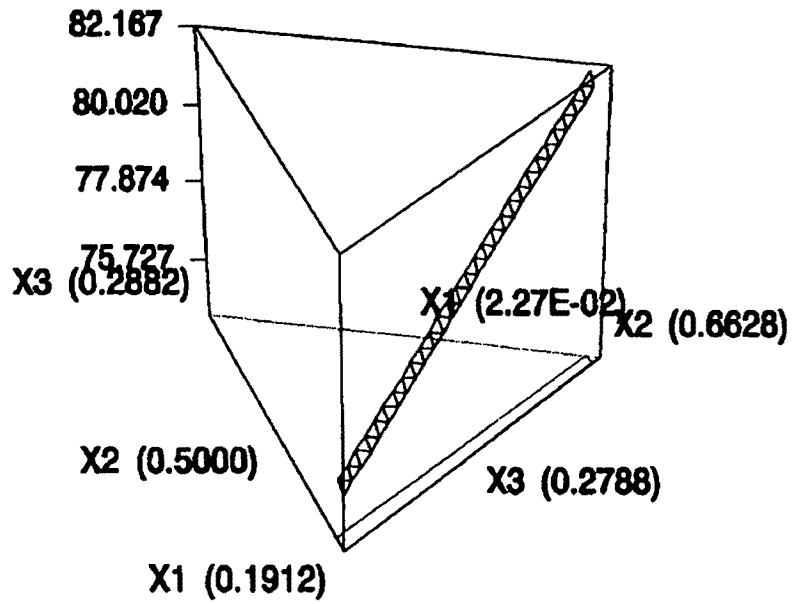


Fig. 9. Response surface describing the effects of noodles mixed with yulmu on L*
 actual components X1: Yulmu, X2: Wheat, X3: Water

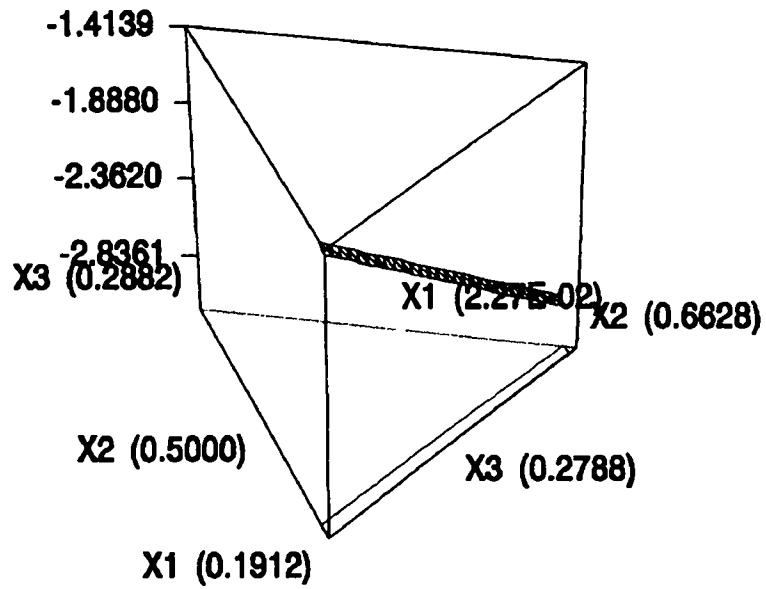


Fig. 10. Response surface describing the effects of Yulmu mixture on a^*
 actual components X1: Yulmu, X2: Wheat, X3: Water

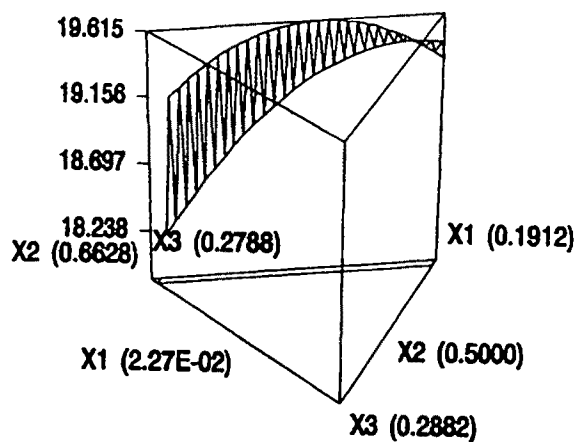


Fig. 11. Response surface describing the effects of Yulmu mixture on b^*
 actual components X1: Yulmu, X2: Wheat, X3: Water

혼합성분		최저(%)	최고(%)	배합가액(%)
A	율무	2.27	19.10	120
B	밀가루	50.00	66.28	10
C	물	27.88	28.82	2

최적식의 반응계수를 입력하십시오

Response	A	B	C	AB	BC	AC
Tensile strength	2.5605	2.6527	-6.565			
L*	75.727	82.389	82.402			
a*	-1.439	-2.936	-0.691			
b*	19.305	19.032	156.961	1.743	-137.832	-170.420

배합비(%)	최적값	반응값	예측결과
율무	2.27	2.3409	Tensile strength
밀가루	66.28	82.389	L*
물	28.45	-2.86	a*
총 합 계	97.00	1	b*
전체 수분 함량	37.9562	37.9562	배합가액

Fig. 12. a) Prediction of the responses for optimum composition & least cost of noodles mixed with yulmu

혼합성분		최저(%)	최고(%)	가중치(%)	비율(%)
A	율무	2.27	19.10	120	
B	밀가루	50.00	66.28	10	
C	물	27.88	28.82	2	

최적식의 반응계수를 입력하십시오

Response	A	B	C	AB	BC	AC
Tensile strength	2.5605	2.6527	-6.565			
L*	75.727	82.389	82.402			
a*	-1.439	-2.936	-0.691			
b*	19.305	19.032	156.961	1.743	-137.832	-170.420

배합비(%)	Raw Value	Scale Value	결과
율무	3.00	0.043323	Tensile strength 2.583
밀가루	66.00	0.095549	L* 82.1
물	28.00	0.0071216	a* 2.855
총 합 계	97.00	1	b* 19.13
전체 수분 함량	37.54	37.54	배합가격 10.76

Fig. 12. b) Exercise of Prediction of the responses for optimum composition & least cost of noodles mixed with yulmu

혼합성분		최저(%)	최고(%)	배합가(₩/kg)
A	율무	2.27	19.1	120
B	밀가루	50	66.3	10
C	물	27.9	28.8	2

최적식의 반응계수들 입력하시오

Response	A	B	AB	BC	AC
Tensile strength	2.5605	2.6527	-6.565		
L*	75.727	82.389	82.402		
a*	-1.439	-2.936	-0.691		
b*	19.305	19.032	156.961	1.743	-138
					-170.42

배합비(%)		최적의 배합비		이름	
율무	16.20	27.617	Tensile strength	2.6859	
밀가루	53.10		L*	76.875	
물	27.70		a*	-1.724	
총 합계	97.00	1	b*	9.863	
전체 수분 함량	37.078	36.754	배합가격	25.304	

Fig. 12. C) Exercise of Prediction of the responses for optimum composition & least cost of yulmu mixture noodle

혼합성분		최저(%)	최고(%)	가격(W/kg)
A	율무	2.27	19.1	120
B	밀가루	50	66.3	10
C	물	27.9	28.8	2

최적식의 반응계수들 입력하시오

Response	A	B	C	AB	BC	AC
Tensile strength	2.5605	2.6527	-6.565			
L*	75.727	82.389	82.402			
a*	-1.439	-2.936	-0.691			
b*	19.305	19.032	156.961	1.743	-138	-170.42

배합비(%)	Real value	Pseudo value	예측결과
율무	6.40	0.2453951	Tensile strength: 2.3015
밀가루	62.10	0.7189542	L* 80.755
물	28.50	0.0356506	a* -2.489
총 합계	97.00	1	b* 19.3
전체 수분 함량	37.962	37.834	배합가격 14.46

Fig. 12. d) Exercise of Prediction of the responses for optimum composition & least cost of noodles mixed with yulmu

제 4 절. 울무 가공 제품의 개발 조건 확립 및 가공 공정 최적 조건 연구

1. 표면반응분석법에 의한 울무 압출성형 제조 최적 조건 설정에 관한 연구

가. 서론

울무(coix)는 예로부터 한방에서 한약재로 사용되어 왔으며, 근래에는 혈중 콜레스테롤 농도를 저하시키는 작용을 하는 기능성 물질들이 있는 것으로 알려져 있으나, (Chung 등, 1988) 우리 나라에서는 울무는 대부분이 단순 가공하여 부가가치가 낮은 울무쌀이나 울무차로서 사용되어지고 있다. (김, 1977)

곡류 원료를 가공하여 스낵이나 ready-to-eat breakfast cereal과 같은 식품은 점차적으로 그 소비가 증가하고 있으며, 그 부가가치도 높은 편이다. 이런 스낵류의 제품을 생산하는 방법으로서 압출팽화법, 유탕처리법 등이 있다. 근래에 공정의 단순화 및 연속적인 생산과 제품의 다양화를 위하여 압출성형 생산방법을 많이 사용한다. Extruder를 이용한 압출팽화법은 열과 기계적 에너지에 의해 비교적 짧은 시간 내에 제품을 제조할 수 있으며(Carpez 등, 1986, 김 등, 1996), 식품 단위공정에서 행하는 여러 가지 단위공정을 일련의 단일 반응기내에서 동시에 처리할 수 있는데, 열처리, 혼합, 분리 압착, 배열, 팽화, 성형 등이 이루어진다. (Smith and Ben-Gera, 1980)

압출 공정 조건은 압출성형제품의 물성, 화학적 조성 변화 등을 발생시키기 때문에, 적정 가공 정도를 조절하기 위한 압출성형 공정 조건에 대한 연구가 필요로 하고 있고(Björck, 1984), 김종태 등 (1995)은 밀기울을 전단력, 열 및 압력이 수반되는 압출성형 공정에 의한 밀기울 구성 성분의 변형을 유도하여 식품소재로의 개발을 위한 압출성형공정의 연구를 실시하여 밀기울 압출물의 생산 조건과 특성변화를 관찰하였다.

공업 제품의 생산 공정에서 인자들의 최적 공정 조건을 찾기 위해 효과적으로 이용되고 있는 반응표면계획법(response surface methodology, RSM)을 이용한 작도법에 의거한 최적화 방법을 많이 사용하고 있다(Cornell, 1973; Hare, 1974). RSM에 따른 반응표면분석을 통하여 독립변수들과 종속변수간의 함수관계를 데이터로부터 추정하여 독립변수들의 값의 변화에 따라서 반응량이 어떻게 달라지는가를 예측하며 반응량의 최적화를 찾아내며, 가장 적은 수의 실험으로 가장 좋은 정도를 주는 실험계획법이 무엇인가를 고찰하고, 데이터 분석을 통하여 추정되는 적합한 반응표면의 통계적인 성질을 규명한다(Derringer & Suich, 1980). 따라서 반응표면분석법을 이용하여 울무를 cereal화하는데 필요한 최적의 압출성형가공 조건(수분함량 및 screw속도)을 찾고자 한다.

나. 재료 및 방법

1) 재료

울무가루는 경기도 연천군에서 1997년에 재배한 것을 도정하여 600 μ m이하의 것을 사용하였다. 실험에 사용된 울무의 단백질 함량은 16.35%, 수분함량은 12%이었다.

2) 방법

가) 압출성형조건

본 연구에 사용한 압출성형 장치는 류와 Mulvaney(1997)가 사용한 동방향 쌍축압출성형기로서 스크류는 완전 맞물림형이며, 스크류 직경은 31.0 mm, L/D 비율은 20, 모터 용량은 7.5HP이었다. Barrel은 3개로 구성되어 있으며, 토출구의 직경은 3.0 mm이었다. 원료 투입 속도는 원료투입기의 쌍축 스크류의 회전 속도를 조절하여 0.075 kg/min로 유지하였다. 원료 수분함량 조절은 원료와 물의 시간당 투입량을 계산한 후, 실험계획에 적합하도록 상온의 물을 직접 barrel의 사입구로 주입하였다.

나) 압출성형물의 물성 및 색도 측정

압출성형물의 bending측정은 rheometer(Sun Co., CD-200D, Japan)로 하였다. 원통형의 압출성형물을 6 cm로 절단한 후 각각의 시료의 직경을 측정한 후, 200 mm/min의 cross-head speed를 이용하여 절단 파손강도를 측정하였다. 압출물의 색도 측정을 위하여 Waring blender(Dynamic Corp., USA)로 600 μ m이하의 가루로 분쇄한 후, 색차계(Color Techno System Corp., J1801, Japan)로 L*(lightness), a*(redness), b*(yellowness)값을 측정하였다.

다) 수분흡착지수(WAI)와 수분용해지수(WSI)

수분용해지수(water solubility index : WSI)는 Anderson(1982)의 방법에 의하여 측정하였다. 분쇄한 시료 2.5 g에 물 40 ml를 가하여 상온에서 1시간 동안 교반한 후 3,000 rpm 에서 10분간 원심 분리하였다. 상등액을 분리하고 남은 압출 성형물 분말에 포함된 수분 함량과 원래의 압출성형물의 무게비를 수분흡착지수(WAI)로 하였다. 또한 상등액 10 ml을 취하여 수분 칭량병에 넣은 후 105℃에서 4시

간 동안 건조하여 고형분함량을 측정한 후 WSI를 다음 식으로 결정하였다.

$$WSI = \frac{(\text{soluble solids g/10 ml}) \times 40 \text{ ml}}{2.5\text{g}} \times 100\%$$

라) 최적 압출 성형 조건 설정 및 통계분석

울무의 압출성형에 영향을 미치는 여러 가지 변수들 중에서 예비 실험을 통하여 압출성형온도는 125℃로 고정시킨 뒤, 변수로서 barrel screw속도와 시료의 수분함량으로 정하였다. 각 변수의 제약 범위로 barrel screw speed를 200~300 rpm과 시료의 수분함량을 25~30% 범위로 실험영역을 설계하였다. 이와 같은 두 가지 변수를 가지고서 각 변수의 제약영역에서 중심합성계획(central composite design)에 의한 2차 모형으로 실험 조건을 설정(Table 1)하였다. 즉 10개의 서로 다른 공정조건 즉 screw 속도와 수분함량에 따른 울무 시리얼류를 만들어 최적압출성형조건을 찾고자 하였다.

회귀모델을 나타내는 coefficient 값들은 Scheffe의 polynomial form(cornell, 1990)에 근거를 두고 계산되어졌으며 그 model과 coefficient 값들은 Anova table을 이용한 F-test 및 유의성을 검증하였으며 또한 correlation coefficient를 이용하여 model을 재검증하였다.

다. 결과

1) 울무 압출성형물

중심합성계획법에 의해 각각의 조건하에서 압출성형되어진 울무를

Fig. 1에 나타내었다. 압출성형된 상태가 외관상으로 차이가 있는 것으로 나타났다 즉 300rpm 이상의 screw의 속도보다 낮은 screw 속도에서 울무시리얼 제조시 또한 투입시의 수분함량이 높을수록 압출기에서의 울무시리얼의 팽창정도가 낮게 나타났으며 조직내의 기포가 적게 형성된 것으로 나타났다. Hosney등(1992)의 결과에서도 밀전분을 160℃이하에서 screw speed를 변화시켜서 압출팽창시켰을 때, 팽창도가 screw 속도에 비례한 것과 같은 결과가 나타났다. 이는 screw의 기계적인 작용으로 기포가 용융 상태의 시료 속으로 녹아 들어가기 때문이라고 하였다. 압출성형물 내의 기포는 수분의 상변화에 의해 형성되는 것으로 알려져 있다. 수분은 용융물의 점도를 낮추는 가소제로서 작용을 하며 동시에 압출구를 통과시 팽창제로서 작용하여 기공을 형성하는 것으로 알려져 있다.(Kokini 등, 1992)

2) 울무 압출성형물의 물성학적 조직 특성

각각의 압출성형된 시료의 조직 특성을 Table 2에 나타내었다. 10개의 실험점에 의해 울무 시리얼을 제조한 결과 bending failure force는 884.4~12039.5 kPa의 범위를 보였으며, thickness값은 7.11~14.79 mm, WSI(water solubility index)는 53.1~69.8, WAI(water absorption index)는 1.12~5.00을 나타내었고 색도를 나타내는 L*값은 65.05~72.6, a*값은 -2.83~-1.59, b*값은 20.12~22.75를 나타내었다.

Screw speed와 수분함량변화에 따른 울무 압출성형물의 결과를 modified least square regression에 의해 통계적으로 분석하여 각 모형의 probability와 correlation coefficient를 가지고서 판단하였다. bending failure stress는 분석결과 일차식(linear regression)은 유의차(prob.>F)가 0.002($r^2=0.8215$)를 나타내었고,

quadratic model 적용시의 유의차는 $0.028(r^2=0.9160)$, cubic model 적용 시에는 $0.094(r^2=0.9723)$ 로 나타내어 유의차 5%를 기준으로 보았을 때 linear model이 가장 적당함으로 판단되었다.(Table 3) 압출성형된 울무의 직경과의 관계는 linear model인 경우 $0.001(r^2=0.8507)$, quadratic model의 경우 $0.035(r^2=0.9057)$, cubic model의 경우 $0.043(r^2=0.9875)$ 로 나타났다.(Table 4) 따라서 유의차 5%를 기준으로 보았을 때 linear model이 가장 적당함으로 판단되었다. 압출성형된 울무의 직경을 측정한 결과 screw의 속도가 증가할수록, 수분함량이 감소할수록 팽창되어진 압출성형물의 직경이 증가하는 것으로 나타났다.(Table 4) 이와 같은 결과는 수분함량 15~20%에서 screw speed가 증가할수록 육분, 밀전분, 밀가루의 압출성형물의 specific volume이 증가하는 경향을 나타내는 것으로 나타난 Guy와 Horne(1988)의 결과와 유사한 것으로 나타났다. RSM에 따른 반응표면분석을 통하여 독립변수들과 종속변수간의 함수관계를 데이터로부터 추정하여 독립변수들의 값의 변화에 따라서 반응량이 어떻게 달라지는가를 예측하며 반응량의 최적화를 찾아낸다. 따라서 위의 실험결과를 가지고서 modified least square regression에 의해 통계적 분석한 model을 가지고서 RSM을 이용하여 2차원과 3차원으로 Fig. 2~3에 contour map으로 나타내었다. 독립변수인 screw 속도와 수분함량, 종속변수인 bending failure force, thickness로 설정하였다. Fig. 2에 나타냈듯이 screw의 속도가 증가하고 수분이 감소함에 따라 bending failure force가 감소함을 알 수 있다. Puffing thickness의 경우(Fig. 3) screw의 속도가 증가하고 수분이 감소함에 따라 압출성형물의 두께가 증가함을 알 수 있다.

3) 울무 압출성형물의 수분흡착지수(WAI)와 수분용해지수(WSI)

수분흡착지수와 수분용해지수는 열이나 기계적 에너지의 투입량과 밀접한 관계가 있다. 에너지의 투입량이 증가할수록 전분분자의 수소결합이 끊어져서 수분용해지수가 증가한다고 하였다. 또한 에너지 투입량이 증가하면 수분용해지수도 증가한다고 하였다. (류와 Mulvaney, 1997) 울무 압출성형물의 수화상태를 알기 위하여 수분흡착지수와 수분용해지수를 Table 2에 나타내었다.

WSI(water solubility index)는 53.1~69.8, WAI(water absorption index)는 1.12~5.00의 반응 범위를 나타내었다. Screw speed와 수분함량변화에 따른 울무 압출성형물의 WSI와 WAI의 결과를 modified least square regression에 의해 통계적으로 분석하여 각 모형의 probability와 correlation coefficient를 Table 5에 나타내었다. WSI에서는 linear 및 non linear model의 유의차가 0.166~0.707을 나타내어 유의차 5%를 기준으로 보았을 때 model을 선택할 수가 없었다. 또한 WAI에서는 linear 및 non linear model의 유의차가 0.135~0.651을 나타내어 유의차 5%를 기준으로 보았을 때 model을 선택할 수가 없었다. 위와 같이 압출성형물의 WSI와 WAI는 screw속도와 수분함량을 가지고서 관계를 추정하기에는 유의성이 낮아 모형으로 나타낼 수가 없었다.

4) 울무 압출성형물의 색도 측정

압출성형되어진 울무를 가루 상태로 만든 후 색도를 측정한 값은 quadratic model이나 cubic model의 경우보다도 linear model의 유의차가 적었다. L^* 값은 일차식으로 나타내었을 경우 유의차가 0.093($r^2=0.4925$), quadratic model은 0.293($r^2=0.6929$), cubic model은 0.711($r^2=0.7012$)으로 나타났으며, a^* 는 각각

0.019($r^2=0.6790$), 0.147($r^2=0.7954$), 0.412($r^2=0.8590$)으로, b^* 는 0.035($r^2=0.6159$), 0.137($r^2=0.8033$), 0.331($r^2=0.8916$)으로 나타났다. 색도를 나타내는 측정 결과값의 경우에는 Table 6에서와 같이 유의차와 상관계수가 매우 낮게 나타났으나, 속도와 수분함량 증가에 따라 압출성형물의 색도차가 있는 것으로 나타났으며, 수분함량이 높아질수록 명도는 밝아졌다. 그러나 낮은 유의차와 상관계수에 의해 압출성형물의 색도는 screw속도와 수분함량을 가지고서 관계를 추정하기에는 유의성이 낮아 모형으로 추정할 수 없었다.

5) 반응 표면 분석법에 의한 압출성형조건의 최적 조건 설정

압출성형물의 조직 특성과 색도 등을 측정한 결과, 압출성형 조건이 색도나 WSI, WAI보다도 압출성형물의 물성학적인 조직에 더 큰 연관을 가지고 있는 것을 알 수 있었다. 일차식으로 나타내었을 때, bending failure force와 thickness의 유의차가 각각 0.002와 0.001, 상관계수가 $r^2=0.82$ 와 0.85로 나타나 울무의 압출성형 특성을 측정하기에는 압출성형물의 bending failure force와 직경을 측정하는 것이 가장 적합하다고 고려되었다.

다른 모델로서 분석하였을 때보다도, bending failure force와 압출물의 직경만이 일차식인 경우에 비록 상관계수가 다른 모델보다도 낮았지만 유의차가 가장 적었기에 압출성형 조건을 결정하기 위해서 일차식을 적용하기로 하였다.

각각의 결과를 반응표면분석법으로 분석한 독립변수 상호간의 관계를 수식화할 수 있었으며, 이를 Table 7에 절편항과 coefficient를 code value와 actual value로 나타내었다.

X_1 : screw speed, X_2 : moisture content

$$Y_1(\text{bending failure for } ce) = 10.795 + 0.800X_1 - 3.014X_2$$

$$Y_2(\text{thickness}) = -33015.0 - 14.027X_1 + 1464.2X_2$$

올무를 압출성형하기 위한 최적 조건은 선형관계로 나타낼 수 있었기에 bending failure force, 직경 간의 관계로서 최적조건 범위를 결정하기 위하여 Fig. 2와 Fig. 3의 선형의 contour map을 중첩시켜 중첩된 contour map으로 나타내었고(Fig. 4) 이 map에서 중첩된 부분을 최대 직경과 최소의 bending failure force가 발생할 수 있는 최적 압출성형조건으로 결정할 수 있었다. 따라서 최적 압출성형 조건 범위는 수분함량 25%~26%, screw speed 225 rpm~320rpm의 범위에 속하는 것으로 나타났으며 추후 계속적으로 혼합실험계획법을 이용한 올무와 밀가루 혼합 압출성형 cereal을 제조하는 공정에 위의 최적 조건을 적용시키고자 하였다.

라. 참고문헌

Anderson, R.A. : Water absorption and solubility and amylograph characteristics of roll-cooked grain products. *Cereal Chem.*, 59

Björck, I., Asp, N.G., Birkhed, D. and Lundquist, I. : Effects of processing on an availability of starch for digestion in-vitro and in-vivo. I. Extrusion cooking of wheat flours and starch. *J. Cereal Sci.*, 2, 91 (1984)

Carpez, A., Arrigoni, E., Amado, R. and Neukom, H. Influence of different types of thermal treatment on the chemical composition and physical properties of wheat bran. *J. Food Sci.*, 4, 233 (1986)

Chung, B.S., Suzuki, H., Hayakawa, S., Kim, J.H., and Nishizawa, Y. : Studies on the plasma cholesterol-lowering component in Coix. *Nippon Shokukin Kogyo Gakkaishi*, 35(9), 618-623 (1988)

Guy, R.C.E. and Horne, A.W. : Extrusion and co-extrusion of cereals, in "Food Structure-Its creation and evaluation" ed. by J.M.V. Blanshard and J.R. Mitchell, Butter and Tanner, Great Britain, 331-349 (1988)

Hoseney, R.C., Mason, W.R., Lai, C.-S. and Guetzlaff, J. : Factors affecting the viscosity and structure of extrusion-cooked wheat starch. Ed. by Kokini, J.L., Ho, C.-T.

and Karwe, M.V., In "Food extrusion science and technology"
Marcel Dekker, Inc., 277-305 (1992)

Kokini, J.L., Chang, C.N. and Lai, L.S. : The role of
rheological properties on extrudate expansion, Ed. by Kokini,
J.L., Ho, C.-T. and Karwe, M.V., In "Food extrusion science and
technology" Marcel Dekker, Inc., 631-652 (1992)

Oikku, J. and Vainionpaa, J. : Response surface analysis
of HTST extrusion texturized starch-protein-sugar paste. Ed.
by Linko, P., Malkki, Y. and Oikku, J., In "Food processing
engineering", Applied Science Publishers, 821-826 (1980)

Smith, O.B. and Ben-Gera, I. : The application of high
temperature short time extrusion cooking in the food industry,
Ed. by Linko, P., Malkki, Y. and Oikku, J., In "Food processing
engineering", Applied Science Publishers, 726-744 (1980)

Ylimaki, G., Hawrysh, Z.J., Hardin, R.T. and Thomson,
A.B.R. : Application of response surface methodology to the
development of rice flour yeast breads: Objective measurements.
J. Food Sci., 53(6), 1800-1805 (1988)

김병도 : 울무 생산의 현황과 그 경제성. 영남대학교 천연물화
학연구소 연구보고, 4, 44-51 (1977)

김종태, 황재관, 조성자, 김철진, 김해성 : 스크류 조합과 공
정변수 조절에 따른 밀기울 압출물의 특성. 한국식품과학회지,
28(1), 169-178 (1996)

류시형, Mulvaney, S.J. : 탄산가스 주입에 의한 유제품 강화
옥수수 압출성형물의 성질과 기계적 에너지 투입량의 분석. 한국식

품과학회지, 29(5) 947-954 (1997)

오훈일, 오상준, 김정미 : 반응표면분석법을 이용한 Papaya 유
액 추출물에서 crude protein 회수 조건의 최적화, 한국식품과학회
지, 29(4), 752-757 (1997)

, 265 (1982)

Table 1. Central composite design consists of 10 experiments
for study of experimental factors

Run No.	Process variables		Coded variables	
	Screw Speed(rpm)	Moisture Content(%)	Screw Speed	Moisture Content
1	250	30	0	1
2	200	30	-1	1
3	300	30	1	1
4	250	27	0	-0.2
5	320	27	1.4	-0.2
6	250	27	0	-0.2
7	180	27	-1.4	-0.2
8	300	25	1	-1
9	200	25	-1	-1
10	250	25	0	-1

Table 2. Textural properties of extruded Yulmu powder at various conditions by response surface method

Run No.	Bending stress [kPa]	Thickness [mm]	Water Solubility Index (WSI)	Water Absorption Index (WAI)	Color		
					L*	a*	b*
1	9126.7	7.11	61.6	5.00	72.31	-2.83	20.40
2	1581.6	7.38	60.5	2.37	70.33	-2.37	20.12
3	1217.2	8.99	67.7	2.46	68.86	-2.39	20.50
4	12039.5	11.72	60.2	3.83	68.29	-2.01	20.68
5	884.0	12.35	69.8	1.12	70.08	-2.36	20.86
6	3029.4	12.79	53.1	3.04	69.96	-2.19	21.38
7	1162.6	8.39	63.1	2.75	72.6	-2.55	21.04
8	4259.3	13.01	64.3	3.28	65.05	-1.71	21.23
9	894.4	13.83	47.7	3.61	65.96	-1.59	22.75
10	1168.5	14.79	64.1	2.25	68.29	-1.78	21.11

Table 3. ANOVA table for the bending test of extrudated Yulmu cereals by different processing conditions

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob>F	R ²
Linear	855821 70	2	42791085.4	16.10	0.002	0.8215
Quadratic	954296 98	5	15085939.6	8.72	0.028	0.9160
Cubic	101299 712	7	14471387.5	10.04	0.094	0.9723

Table 4. ANOVA table for the thickness of extrudated Yulmu cereals by different processing conditions

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob>F	R ²
Linear	60.43	2	30.215	19.95	0.001	0.8507
Quadratic	64.34	5	12.867	7.68	0.035	0.9057
Cubic	70.15	7	10.021	22.66	0.043	0.9875

Table 5. ANOVA table for the water solubility index(WSI) and water absorption index(WAI) of extrudated Yulmu cereals by different processing conditions

	Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-value	Prob>F	r ²
WAI	Linear	0.942	2	0.471	0.36	0.707	0.0943
	Quadratic	4.413	5	0.883	0.63	0.689	0.4422
	Cubic	9.475	7	1.354	5.36	0.166	0.9494
WSI	Linear	168.6	2	84.29	2.70	0.135	0.4352
	Quadratic	233.0	5	46.60	1.21	0.440	0.6015
	Cubic	286.7	7	40.96	0.81	0.651	0.7401

Table 6. Probability and correlation coefficient for the L*, a*, b* of extrudated Yulmu cereals by different processing conditions

		F-Value	Prob>F	r ²
L*	Linear	3.40	0.093	0.4925
	Quadratic	1.81	0.293	0.6929
	Cubic	0.67	0.711	0.7012
a*	Linear	7.40	0.019	0.6790
	Quadratic	3.11	0.147	0.7954
	Cubic	1.74	0.412	0.8590
b*	Linear	5.61	0.035	0.6159
	Quadratic	3.27	0.137	0.8033
	Cubic	2.35	0.331	0.8916

Table 7. Predict equations for the bending failure force and thickness of extrudated Yulmu cereals by different processing conditions

		Intercept	Speed	Moisture
Thickness	Coded	10.795	0.800	-3.014
	Actual	39.946	0.01599	-1.2055
Bending failure force	Coded	3744.7	-701.4	3660.6
	Actual	-33015. 0	-14.027	1464.2

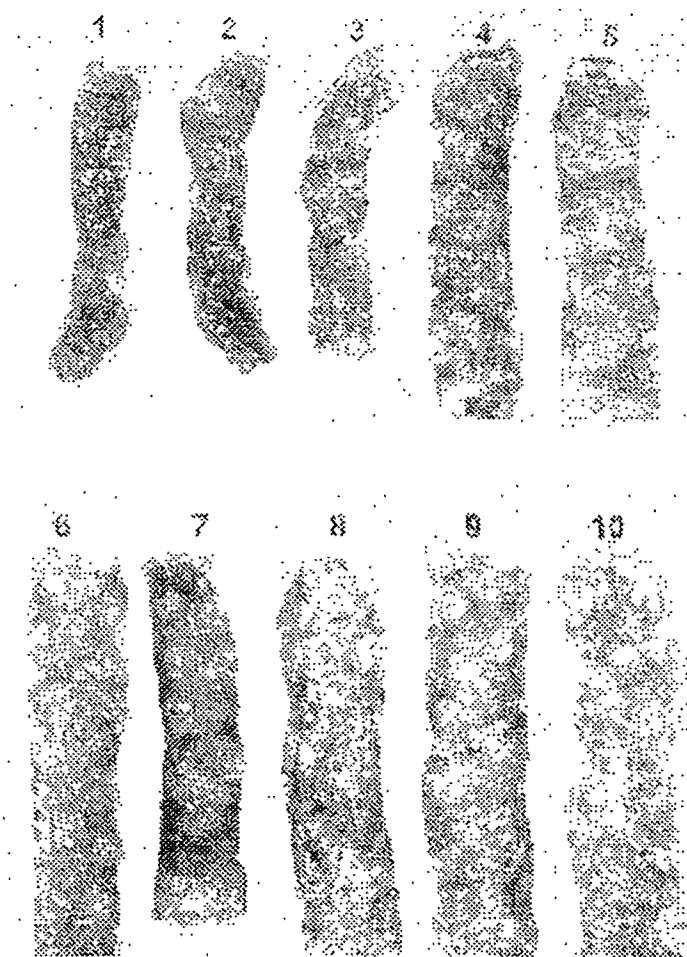
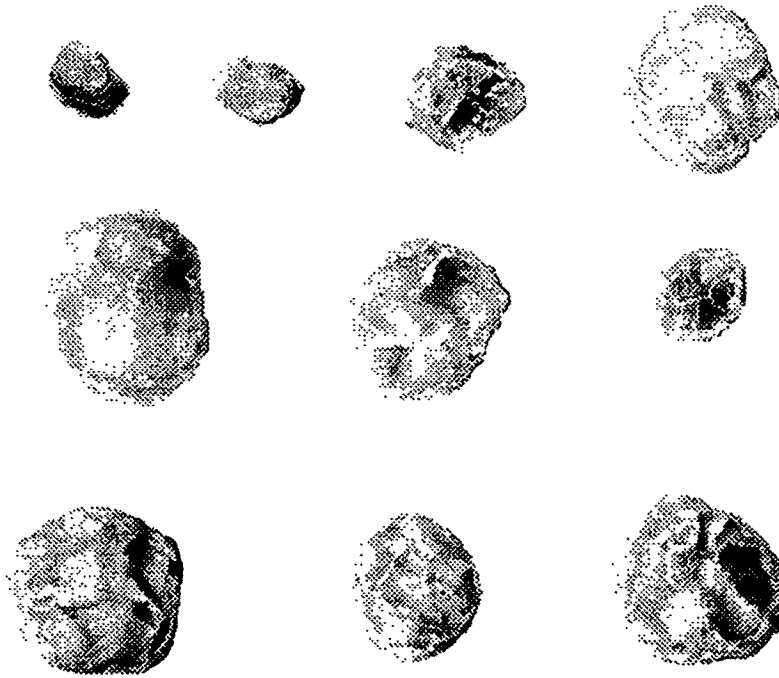


Fig. 1. Extrudated Yulmu at various screw speeds and moisture contents by experimental design of response surface methods



No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
No. 5		No. 6	No. 7
No. 8		No. 9	No. 10

Fig. 1. Extrudated Yulmu at various screw speeds and moisture contents by experimental design of response surface methods

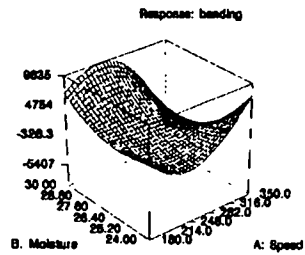
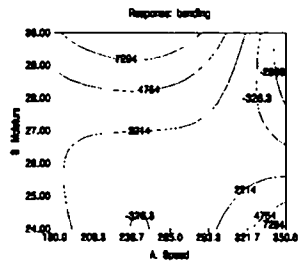
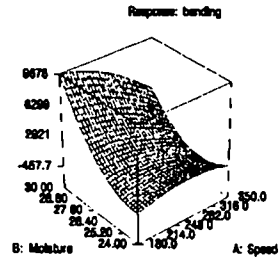
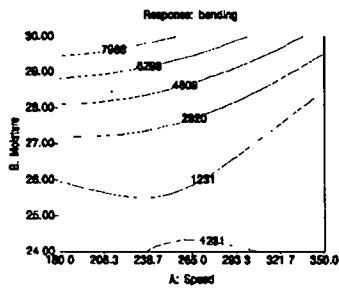
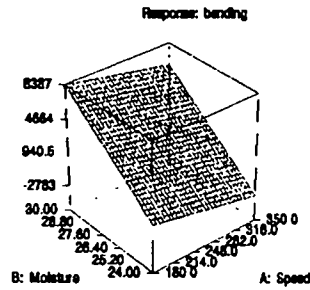
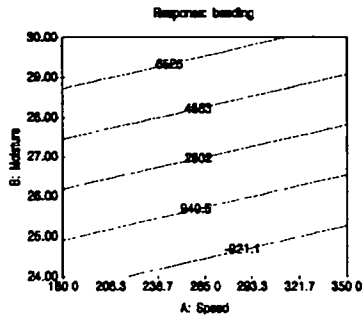


Fig. 2. Contour plot and respo surface plots for bending failure forces of the extrudated Yulmu powder at various screw speeds and moisture contents.
 Top : Linear model, Middle : Quadratic model,
 Bottom : Cubic model

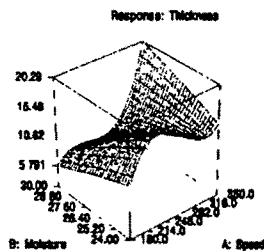
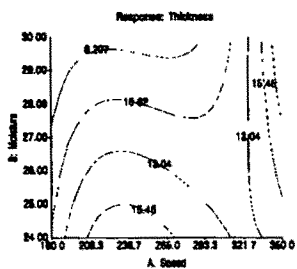
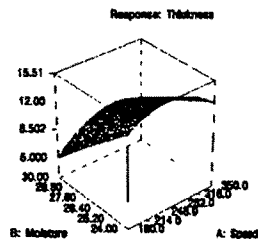
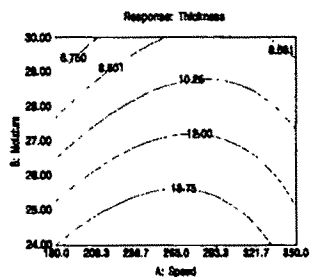
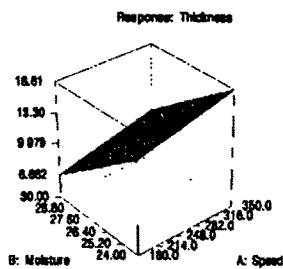
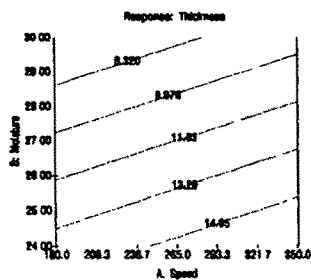


Fig. 3. Contour plot and response surface plots for thickness of the extrudated Yulmu powder at various screw speeds and moisture contents. Top : Linear model, Middle : Quadratic model, Bottom : Cubic model

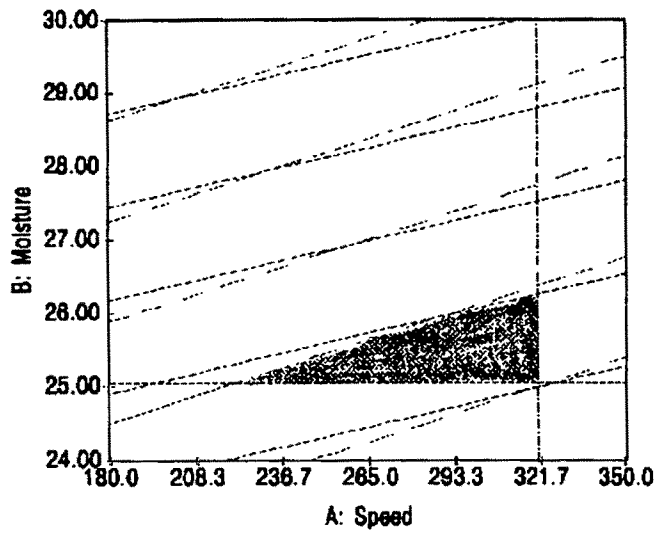


Fig. 4. Contour plot for the optimization area of

Yulmu extrusion

— — : Thickness

—— : Bending failure force

2. 혼합실험계획법에 의한 올무와 밀가루 혼합 압출성형시리얼 제조에 관한 연구

가. 서론

식품은 대부분이 단일물질이 아닌 여러 가지 물질의 혼합체이다. 식품에서 조성 성분이 차지하는 비중은 설비나 인력과 같은 다른 고정적인 요인에 비해 상대적으로 큰 비중을 차지하며, 효과적으로 조절되어질 수 있다. 식품에서 혼합물에 의한 제품 개발에 관한 연구는 제품 제조시 동일하거나 유사한 품질을 유지하면서 영양 측면을 강조하거나 또는 최소의 제조원가를 목적으로 한다. (Norback and Evans, 1983) 혼합물의 최적 비율 결정을 위한 실험으로 Payton et al. (1988)은 노인을 위해 비타민의 최대 혼합 및 흡수를 위한 빵제조를 위해 반응표면분석을 이용하여 유청, 효모 추출물, 저지방 치즈의 배합비율에 대해 연구하였다. Hsu et al. (1977)은 식물성과 동물성 단백질을 빵, pasta, 제과, 스낵류에 혼합시키는 비율에 대해 연구하여 최소 가격을 결정할 수 있도록 하였다. 이 등(1997)은 현미, 보리쌀, 밀 등과 같은 여러 가지 곡류를 혼합하여 압출성형에 의한 재성형 혼합곡을 생산하였다. 이처럼 제품이 여러 개의 성분의 혼합으로 이루어져 있고 각 성분의 혼합량이 문제가 아니라 각 성분의 혼합비율이 문제가 되는 경우가 있다. 이처럼 몇 개 성분의 혼합물에 관한 실험에서 어떠한 성분이 관심이 있는 반응량에 유의한 영향을 미치며 반응을 최대 또는 최소로 만드는 최적 혼합비율을 찾고자 하는 실험계획법을 혼합물의 혼합비율에 관한 실험계획이라고 한다. (박, 1997, Dziezak, 1990) 식품에서 식품이 지니고 있는 복합성으로 인해 이론적 수학적 모델식보다는 통계적인 모형의 도입이

바람직한데, 통계적인 모형은 적절한 실험계획법 내에서 진행된 실험의 결과에 의해 형성될 때 그 모형의 타당성과 적용성을 가질 수 있다.

본 연구에서는 혼합실험 계획법(Mixture design)에 의해서 올무와 밀가루혼합물을 extruder를 이용하여 앞에서 구한 최적 공정조건에서 압출성형하고, 스낵류 및 cereal류 제품에 적합한 조직형성을 위해 배합비에 따른 압출성형물의 조직 특성과 각각의 반응을 구하는 것이다.

나. 재료 및 방법

1) 재료

경기도 연천군에서 1997년에 재배한 것을 도정하여 600 μm 이하의 것의 올무와 박력 밀가루(대한제분, 압소, 인천)를 사용하였다. 실험에 사용된 올무의 단백질 함량은 16.35%, 수분함량은 12%이었으며 박력밀가루는 단백질 함량 8.74%, 수분함량 14%이었다.

2) 방법

가) 압출성형조건

본 연구에 사용한 압출성형 장치는 류와 Mulvaney(1997)가 사용한 동방향 쌍축압출성형기로서 스크류는 완전 맞물림형이며, 스크류 직경은 31.0 mm, L/D 비율은 20, 모터 용량은 7.5 HP이었다. Barrel은 3개로 구성되어 있으며, 토출구의 직경은 3.0 mm이었다. 원료 투입 속도는 원료투입기의 쌍축 스크류의 회전 속도를 조절하여 0.075 kg/min로 유지하였다. 원료 수분함량 조절은 25%로 사전에 수분을 조절하여 24시간 방치 후 직접 barrel의 사입구로 주입하였다.

올무의 압출성형에 영향을 미치는 여러 가지 변수들 중에서 앞에

서 구한 최적공정조건에 의해 125℃로 고정시킨 뒤 barrel screw speed를 300 rpm과 시료의 수분함량을 25%로 실험조건을 설정하였다.

나) 압출성형물의 물성 및 색도 측정

압출성형물의 bending측정은 rheometer(Sun Co., CD-200D, Japan)으로 하였다. 원통형의 압출성형물을 6 cm로 절단한 후 각각의 시료의 직경을 측정한 후, 200 mm/min의 cross-head speed로 절단파손강도를 측정하였다. 압출물의 색도 측정을 위하여 Waring blender(Dynamic Corp., USA)로 600 μ m이하의 가루로 분쇄한 후, 색차계(Color Techno System Corp., J1801, Japan)로 L*, a*, b*값을 측정하였다.

다) 수분흡착지수(WAI)와 수분용해지수(WSI)

수분용해지수(water solubility index : WSI)는 Anderson(1982)의 방법에 의하여 측정하였다. 분쇄한 시료 2.5 g에 물 40 ml를 가하여 상온에서 1시간 동안 교반한 후 3,000 rpm 에서 10분간 원심분리하였다. 상등액을 분리하고 남은 압출 성형물 분말에 포함된 수분 함량과 원래의 압출성형물의 무게비를 수분흡착지수(WAI)로 하였다. 또한 상등액 10ml을 취하여 수분칭량병에 넣은 후 105℃에서 4시간 동안 건조하여 고형분함량을 측정한 후 WSI를 다음 식으로 결정하였다.

$$WSI = \frac{(\text{soluble solids } g/10 \text{ ml}) \times 40 \text{ ml}}{2.5g} \times 100\%$$

라) 최적혼합비의 산출 및 통계분석

혼합물의 실험 디자인, data 분석 및 최적화는 Design Expert(Stat-Easy Co., Mineapolis)를 이용하였다. 혼합물의 배합영역은 울무와 밀가루의 합을 1(100%)로 설정하였으며, 울무는 0~100%, 밀가루는 0~100%영역을 나타내었다. 울무와 밀가루의 혼합비는 임의로 울무:밀가루의 비가 각각 100:0, 50:50, 75:25, 0:100, 25:75로 5개의 실험점을 선택하였다. 전체 제약 조건으로 총 수분 함량을 정하였으며 mixture design에 의한 울무와 밀가루를 섞은 후 물을 첨가하여 수분 함량을 25%으로 맞추었다.

Regression model을 나타내는 coefficient 값들은 Sheffe(1958)의 polynomial form에 근거를 두고 계산되어졌다. 그 model과 coefficient 값들은 ANOVA table을 이용한 F-test 및 유의차, correlation coefficient에 의해 유의성을 검증하였다.

압출성형물간의 차이를 알아보기 위하여 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

다. 결과 및 고찰

1) 압출성형된 울무와 밀가루 혼합물

Mixture design에 의해 울무와 밀가루의 혼합물로 압출성형된 울무압축 시리얼을 Fig. 1과 같이 나타냈으며 시리얼의 단면을 Fig. 2에 나타내었다. 울무의 함량이 많아질수록 외관적으로 팽창되어지는 정도가 적어졌으며, 색상도 어두워지는 것으로 나타났으며, 울무의 함량이 적어지고 밀가루의 함량이 많아질수록 기포가 고루 잘 퍼져 있는 것으로 나타났다. 이는 밀가루에 비해 울무 자체의 색상이 어둡고 단백질 함량이 높기 때문인 것으로 추정되어진다. 곡류원료에 유제품을 첨가하게 되면 압출성형물의 팽화율 감소, 조직감 저하

와 같은 현상이 일어나게 되는데, 이는 유제품 내에 있는 단백질 등이 압출성형시에 고온 고압 하에서 수분과 반응하여 연속상을 이루는 전분 속에 분산상으로 존재하게 되어 압출성형물의 팽화를 방해하기 때문으로 알려져 있다.(Mitchell and Areas, 1992) 본 연구에서는 울무에 있는 높은 함량의 단백질(16.35%)이 이와 같은 작용을 하는 것으로 추측되어진다.

2) 압출성형물의 조직특성

압출성형물의 조직특성으로 bending failure force와 puffing thickness를 측정하였다.(Table 2) 측정결과 bending failure force는 0.240~1.614 kgf, puffing thickness는 8.92~11.54 mm의 범위를 나타내었다. 위의 결과를 가지고서 linear 및 non linear model들을 modified least square regression에 의해 통계적으로 분석하였고 각 모형의 probability value를 기준으로 설정하여 ANOVA table로 하여 F-test, probability value, correlation coefficient로 나타내었다.(Table 5) 분석결과 bending failure force에서는 linear 및 non linear model의 유의차가 0.198~0.279를 나타내었으며, correlation coefficient는 0.4743~0.9662를 나타내었다. 유의차 5%를 기준으로 하였을 때 낮은 유의차와 상관계수에 의해 압출성형물의 bending failure force는 울무와 밀가루를 가지고서 관계를 추정하기에는 유의성이 낮아 모형으로 추정할 수 없었다.

또한 puffing thickness에서는 linear 및 non linear model의 유의차가 0.254~0.970를 나타내었으며, correlation coefficient는 0.3974~0.4127을 나타내었다. 이 또한 유의차 5%를 기준으로 하였을 때 낮은 유의차와 상관계수에 의해 압출성형물의 puffing thickness는 울무와 밀가루를 가지고서 관계를 추정하기에는 유의성

이 낮아 모형으로 추정할 수 없었다.

3) 압출성형물의 색도

압출성형물의 색도를 측정한 결과를 Table 3에 나타내었다. L^* (lightness)값은 71.69~82.42, a^* (redness)는 -5.28~-2.790, b^* (yellowness)는 19.47~21.99의 범위를 나타내었다. 위의 결과를 가지고서 linear 및 non linear model들을 modified least square regression에 의해 통계적으로 분석하였고 각 모형의 probability value를 기준으로 설정하여 ANOVA table로 하여 F-test, probability value, correlation coefficient로 나타내었다.(table 6) 분석결과 Lightness를 나타내는 L^* 값에서는 linear 및 non linear model의 유의차가 0.161~0.693를 나타내었으며, correlation coefficient는 0.5341~0.7019를 나타내었다. 유의차 5%를 기준으로 하였을 때 낮은 유의차와 상관계수에 의해 압출성형물의 L^* 값은 울무와 밀가루를 가지고서 관계 추정하기에는 유의성이 낮아 모형으로 추정할 수 없었다. a^* 값은 linear 및 non linear model의 유의차가 0.101~0.786을 나타내었으며, correlation coefficient는 0.6456~0.7013를 나타내었고 b^* 값에서는 linear 및 non linear model의 유의차가 0.430~0.709를 나타내었으며, correlation coefficient는 0.0532~0.9022를 나타내었다. 유의차 5%를 기준으로 하였을 때 낮은 유의차와 상관계수에 의해 압출성형물의 L^* 값과 b^* 값은 울무와 밀가루를 가지고서 관계 추정하기에는 유의성이 낮아 모형으로 추정할 수 없었다. 수학적 모델에 적용이 부적합한 것으로 나타났으나 일반적으로 밀가루의 함량이 증가할 수록 71.69에서 82.42로 명도는 밝아지는 것으로 나타났다. 적색과 녹색의 관계를 나타내는 a^* 값은 밀가루 함량에 따라 -2.79에서 -5.28로

녹색의 성질을 더욱 많이 나타내는 것으로 나타났으며, 황색과 청색의 관계를 나타내는 b^{*}값은 청색방향으로 이동되는 것으로 나타났다.(Table 6)

4) 압출성형물의 수분흡착지수(WAI)와 수용성물질용해지수(WSI)

수분흡착지수와 수분용해지수는 열이나 기계적 에너지의 투입량과 밀접한 관계가 있다. 에너지의 투입량이 증가할수록 전분분자의 수소결합이 끊어져서 수분용해지수가 증가한다고 하였다. 또한 에너지 투입량이 증가하면 수분용해지수도 증가한다고 하였다.(류와 Mulvaney, 1997) 울무 압출성형물의 수화상태를 알기 위하여 수분흡착지수와 수분용해지수를 Table 4에 나타내었다. WAI값은 3.51~29.54, WSI는 13.00~55.50의 범위를 나타내었다. 위의 결과를 가지고서 linear 및 non linear model들을 modified least square regression에 의해 통계적으로 분석하였고 각 모형의 probability value를 기준으로 설정하여 ANOVA table로 하여 F-test, probability value, correlation coefficient로 나타내었다.(table 5)

5) 분석결과 WSI는 linear model의 유의차가 0.893을 나타내었고 quadratic model의 유의차가 0.072를 나타내었으며, cubic model은 0.450을 나타내었다. correlation coefficient는 linear model이 0.0071, quadratic model이 0.8621, cubic model이 0.9418을 나타내었다. 유의차 10%를 기준으로 하였을 때 quadratic model이 가장 적당한 model로 판단되었으며, 또한 높은 상관계수에 의해 압출성형물의 WSI는 울무와 밀가루를 가지고서 관계 추정할 수 있었다.

WSI를 울무와 밀가루를 가지고서 회귀모델로 나타내면

$$Y_1(\text{WSI}) = 56.62A + 59.42 - 153.26AB + 92.27AB(A-B)$$

A: yulmu, B: Wheat

RSM을 따른 반응 표면분석을 통하여 올무와 밀가루의 혼합비에 따른 WSI의 관계를 반응표면으로 나타내었다.(Fig. 3) 순수한 올무와 밀가루의 WSI는 증가하며, 혼합되어 있을 때는 WSI가 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 올무와 밀가루간의 상호작용이 있는 것으로 고려되었으며, 적절한 혼합비율에 의해서 물에서의 용해성을 조절할 수 있다고 예측할 수 있었다.

WAI는 linear model의 유의차가 0.100을 나타내었고 quadratic model의 유의차가 0.443를 나타내었으며, cubic model은 0.364를 나타내었다. Correlation coefficient는 linear model이 0.6476, quadratic model이 0.7570, cubic model이 0.9288을 나타내었다. 유의차 10%를 기준으로 하였을 때 linear model이 가장 적당한 model로 판단되었으며, 또한 높은 상관계수에 의해 압출성형물의 WAI는 올무와 밀가루를 가지고서 관계 추정할 수 있었다.

WAI를 올무와 밀가루를 가지고서 회귀모델로 나타내면

$$Y_2(WAI) = 9.12A + 29.82B$$

A: yulmu, B: wheat

RSM을 따른 반응 표면분석을 통하여 올무와 밀가루의 혼합비에 따른 WAI의 관계를 반응표면으로 나타내었다.(Fig. 4) 밀가루의 함량이 높을 수록 수분흡착지수는 높게 나타났는데, 옥수수가루에 유청 단백질 첨가시킨 압출성형물의 수분흡착지수도 유청단백질의 첨가량이 증가할 수록 감소했다는 Singh 등(1991)의 보고와 비교할 때,

단백질 함량이 높은 울무의 함량이 높아질 수록 전체 단백질의 함량이 증가함에 따라 수분흡착지수가 낮아지는 것으로 여겨진다.

시판 일반 제품과 존 연구에서 제조한 제품을 비교시, 시판하는 일반 시리얼류의 WSI는 34.3%이며, WAI는 4.71이 나왔는데, WAI에 의해서는 울무 혼합비율이 약 90%에 해당하였으며, WSI는 30%와 80%의 값과 유사하였다.(Table 7)

5) Duncan's multiple range test

각각의 조건하에서 압출성형된 시료간의 차이를 판별하기 위하여 시료의 thickness를 Duncan's multiple range test를 5% 수준에서 분석하였다.(Table 8) 각 혼합 조건하에서 압출성형 되어진 시료의 직경은 울무가 50%와 75%가 섞인 것이 같은 그룹으로 나타났으며, 밀가루로만 제조되어진 것은 두께의 차이가 있는 것으로 나타났다. 이로서 최종 제품의 두께는 밀가루와 울무의 혼합비율에 의해 결정되어질 수 있는 것을 알 수 있었다. 제품의 평균 두께를 비교해보면, 울무 100%와 25%가 혼합된 경우가 팽창률이 적은 것으로 나타났으므로 울무 혼합비율은 50% 또는 75%수준에서 결정하는 것이 팽창 정도가 높으며 두께가 일정하게 제조될 수 있음을 알 수 있었다.

WAI, WSI, 압출성형물의 두께 등을 비교 분석하여, 울무의 혼합비율이 75%~90%정도가 일반 시판제품의 특성과 유사하며 최대의 팽화 정도를 나타낼 수 있는 범위로 나타났다.

6) 압출성형 시리얼의 최적화

울무와 밀가루의 혼합물을 extruder를 이용하여 시리얼을 제조 시에 시리얼의 물리적인 특성, WSI와 WAI의 기준에 맞는 혼합비를 밝혀 내고 그에 따른 최저가격을 산출하기 위한 least cost linear programming을 적용하였다.(Table 9).

최적의 혼합비를 구하기 위해 bending failure force, puffing thickness, 색도를 나타내는 L^* , a^* , b^* 값, WSI, WAI의 response들은 acceptable한 range로서 정하였다. 즉 bending failure force는 0.360~5.100kgf, puffing thickness는 8.92~11.54 mm, L^* 값은 71.69~82.42, a^* 는 -5.28~-2.790, b^* 는 19.47~21.99, WAI값은 3.51~29.54, WSI는 13.00~55.50의 범위에서 least cost linear formulation을 위한 constraint 범위로서 정하였다. 울무:밀가루의 가격을 임의로 120:10으로 정하였고, WSI는 최소, WAI는 최대, cost는 최소로 설정하였을 때 linear programming의 최소 가격은 35.17의 가격이 나왔으며, 그 때의 최적 배합비는 울무 22.88%, 밀가루는 77.12%로 계산되어졌다. 이 때 최적배합비의 혼합물을 가지고서 extruder를 이용하여 시리얼을 제조하였을 시에 예상되는 반응들은 WSI는 22.91, WAI는 25.09가 예측되었다.

라. 참고문헌

Dziedzic, J.D. : Taking the gamble out of product development, Food Tech. June, 110-117 (1990)

Hsu, H.W., Satterlee, L.D. and Kendrick, J.G. : Part I. Experimental design: Computer blending predetermines properties of protein foods. Food Prod. Dev. 11(7), 52 (1977)

Mitchell, J.R. and Areas, J.A.G. : Structural changes in biopolymers using extrusion, in Food extrusion science and technology, ed. Kokini, J.L., Ho, C.-T., and Karwe, M.V., Marcel Dekker, New York, pp.345-371 (1992)

Norback, J.P. and Evans, S.R. : Optimization and food formulation, Food Tech., April, 73-80 (1987)

Payton, S.B., Baldwin, R.E. and Krause, G.F. : Bread formulation designed for the elderly using response surface methodology, J. Food Sci. 53(1), 302-303 (1988)

Singh, R.K., Nielson, S.S. and Chambers, J.V. : Selected characteristics of extruded blends of milk protein raffinade or nonfat dry milk with corn flour, J. Food Proc. Preser., 15, 285 (1999)

류시형, Mulvaney, S.J. : 탄산가스 주입에 의한 유제품 강화 육수수 압출성형물의 성질과 기계적 에너지 투입량의 분석. 한국식품과학회지, 29(5) 947-954 (1997)

박성현 : 현대실험계획법, 민영사, 573-591, (1997)

이영택, 석호문, 김성수, 김경탁, 홍희도 : 압출성형 기법에 의해
제조한 재생형 혼합곡의 품질 특성, 한국식품과학회지, 29(5),
963-968 (1997)

Table 1. Mixture design to extrude the mixture of Yulmu powder and wheat flour.

Run No.	Yulmu(%)	Wheat(%)
1	100	0
2	50	50
3	75	25
4	0	100
5	25	75

Table 2. Texture analysis for the extruded cereal made from mixture of Yulmu powder and wheat flour at screw speed 300 rpm, moisture content 25% and barrel temperature 125°C.

Run No.	Bending failure force[kgf]	Puffing thickness[mm]
1	0.560	8.92
2	0.520	10.92
3	1.200	11.13
4	5.100	11.54
5	0.360	8.93

component ratio; No. 1 Yulmu : Wheat = 100 : 0

No. 2 Yulmu : Wheat = 50 : 50

No. 3 Yulmu : Wheat = 75 : 25

No. 4 Yulmu : Wheat = 0 : 100

No. 5 Yulmu : Wheat = 25 : 75

Table 3. Measurement of color for the extruded cereal made from mixture of Yulmu powder and wheat flour at screw speed 300 rpm, moisture content 25% and barrel temperature 125°C.

Run No.	L*	a*	b*
1	71.69	-2.79	20.63
2	78.01	-4.45	20.58
3	72.35	-2.82	20.88
4	82.42	-5.28	21.99
5	72.51	-3.38	19.47

component ratio; No. 1 Yulmu : Wheat = 100 : 0

No. 2 Yulmu : Wheat = 50 : 50

No. 3 Yulmu : Wheat = 75 : 25

No. 4 Yulmu : Wheat = 0 : 100

No. 5 Yulmu : Wheat = 25 : 75

Table 4. Measurement of WAI(water absorption index) and WSI(water solubility index) for the extruded cereal made from mixture of Yulmu powder and wheat flour at screw speed 300 rpm, moisture content 25% and barrel temperature 125°C.

Run No.	WAI	WSI
1	3.51	55.50
2	26.96	13.00
3	18.83	41.70
4	29.54	58.30
5	18.52	25.80

component ratio; No. 1 Yulmu : Wheat = 100 : 0
 No. 2 Yulmu : Wheat = 50 : 50
 No. 3 Yulmu : Wheat = 75 : 25
 No. 4 Yulmu : Wheat = 0 : 100
 No. 5 Yulmu : Wheat = 25 : 75

Table 5. Probability and correlation coefficient for the bending failure force, puffing thickness, WSI, WAI of extrudated Yulmu cereals by different processing conditions

		F-Value	Prob>F	r ²
bending failure force	Linear	2.71	0.198	0.4743
	Quadratic	3.59	0.199	0.8120
	Cubic	4.56	0.279	0.9662
puffing thickness	Linear	1.98	0.254	0.3974
	Quadratic	<0.01	0.970	0.3980
	Cubic	0.03	0.900	0.4127
WAI	Linear	5.51	0.100	0.6476
	Quadratic	0.90	0.443	0.7576
	Cubic	2.41	0.364	0.9288
WSI	Linear	0.02	0.893	0.0071
	Quadratic	12.41	0.072	0.8621
	Cubic	1.37	0.450	0.9418

Table 6. Probability and correlation coefficient for the L*, a*, b* of extrudated Yulmu cereals by different processing conditions

		F-Value	Prob>F	r ²
L*	Linear	3.44	0.161	0.5341
	Quadratic	0.21	0.693	0.5781
	Cubic	0.42	0.636	0.7019
a*	Linear	5.46	0.101	0.6456
	Quadratic	0.10	0.786	0.6618
	Cubic	0.13	0.778	0.7013
b*	Linear	0.17	0.709	0.0532
	Quadratic	0.96	0.430	0.3610
	Cubic	5.54	0.256	0.9022

Table 7. WAI(water absorption index) and WSI(water solubility index) values for commercial cereal foods*

Sample	WAI	WSI
Sample 1	3.48	29.2
Sample 2	4.33	40.6
Sample 3	10.04	29.3
Sample 4	6.32	38.0
Average	6.04	34.3

*Kellogg사(USA) : Corn flake(옥수수), Raisin bran (밀 배아), Rice krispies(쌀), Special K(쌀)

Table 8. ²Mean separation within column by Duncan's multiple range test at 5% level.

Run No.	Duncan's Grouping
1	c
2	b
3	b
4	a
5	c

Table 9. The least cost formulation of Yulmu cereal from Derringer and Suich' method

a) The least cost formulation

component	Ratio(%)
Yulmu	22.88
Wheat	77.12

b) Predict response and cost

Response	Predicted response
WAI	25.09
WSI	22.91
cost	35.17

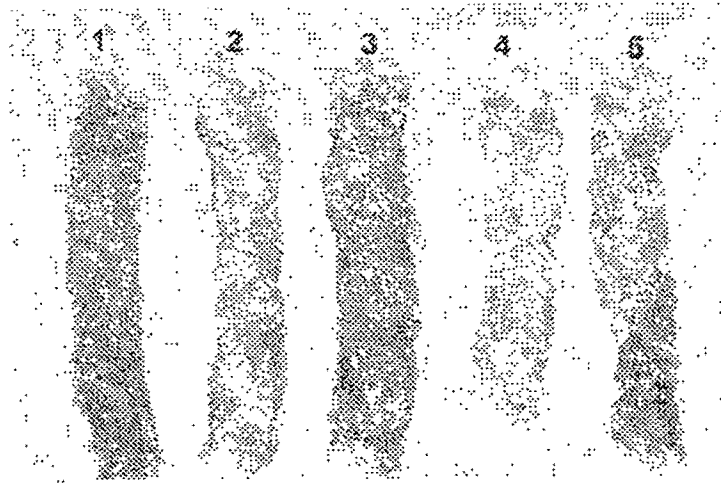
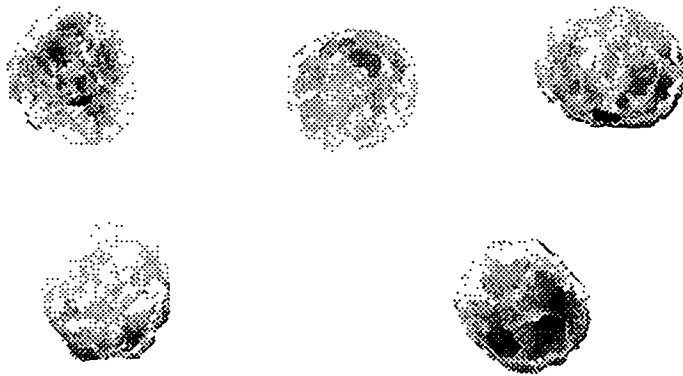


Fig. 1. Extrudated Yulmu powder and wheat flour by mixture design at screw speed 300 rpm, moisture content 25% and barrel temperature 250°C

component ratio; No. 1 Yulmu : Wheat = 100 : 0
No. 2 Yulmu : Wheat = 50 : 50
No. 3 Yulmu : Wheat = 75 : 25
No. 4 Yulmu : Wheat = 0 : 100
No. 5 Yulmu : Wheat = 25 : 75



No. 1 No. 2 No. 3
 No. 4 No. 5

Fig. 2. Extrudated Yulmu powder and wheat flour by mixture design at screw speed 300 rpm, moisture content 25% and barrel temperature 125°C.

component ratio; No. 1 Yulmu : Wheat = 100 : 0

No. 2 Yulmu : Wheat = 50 : 50

No. 3 Yulmu : Wheat = 75 : 25

No. 4 Yulmu : Wheat = 0 : 100

No. 5 Yulmu : Wheat = 25 : 75

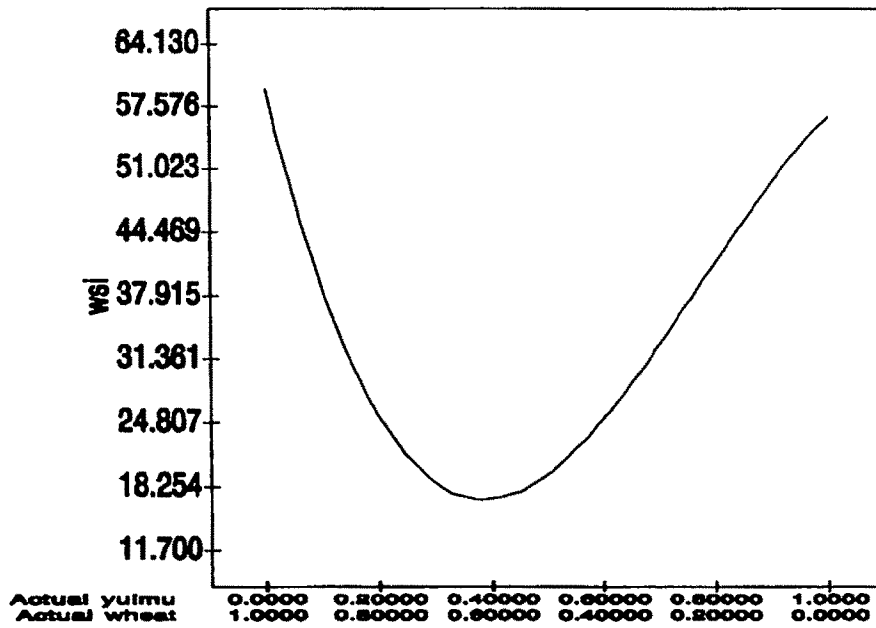


Fig. 3. Response surface describing the effects of Yulmu-Wheat cereal on WSI

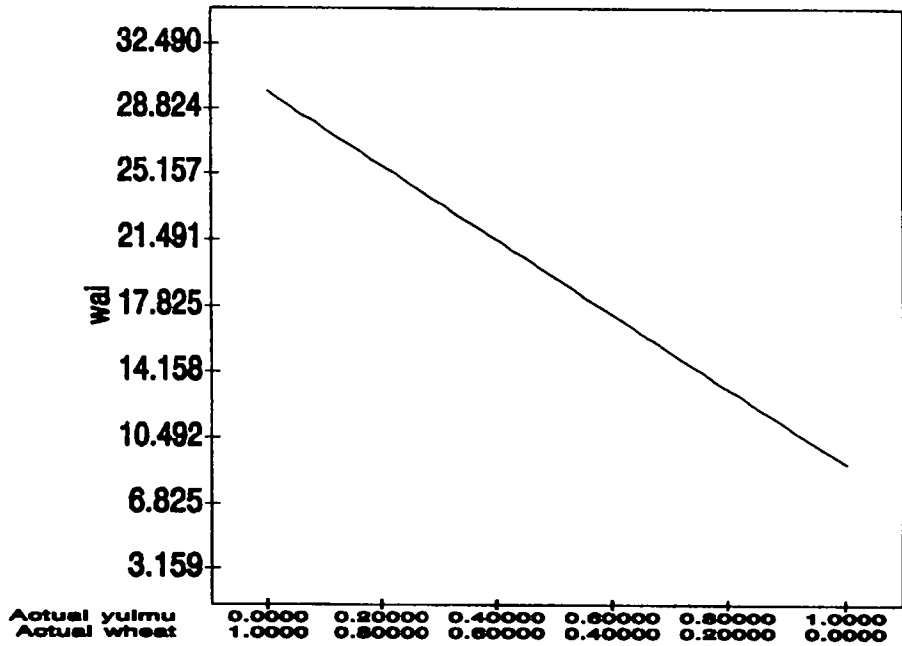


Fig. 4. Response surface describing the effects of Yulmu-Wheat cereal on WAI

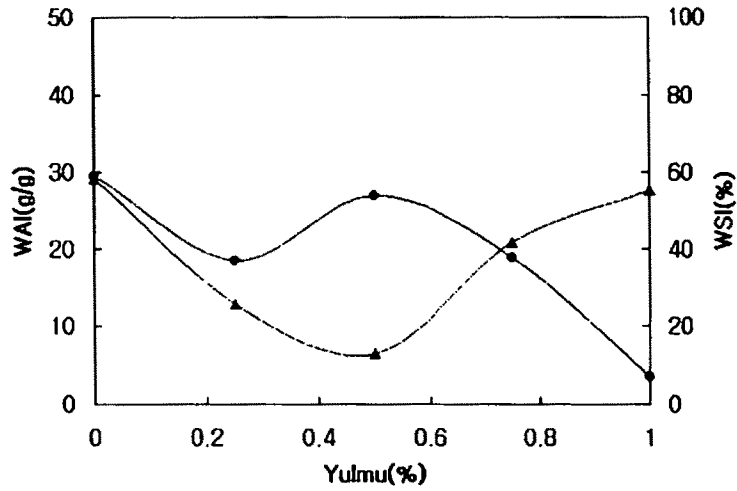


Fig. 5. Water absorption index(WAI) and water solubility index(WSI) for the extruded cereal made from mixture of Yulmu powder and wheat flour at screw speed 300 rpm, moisture content 25% and barrel temperature 125°C.
 (● : WAI ▲: WSI)

3. 올무 cereal 식이가 흰쥐의 혈중 지질 및 간 조직에 미치는 영향

가. 서론

올무에는 여러 가지 약효 성분이 있다고 알려져 왔으며 건우, 이노, 자양 등에 효과가 있고 위, 간, 신장질환이나 신경통, 당뇨병의 치료 등에 쓰여지고 있고, 혈장 콜레스테롤 및 중성지방 함량을 저하시키고 심장질환에 이롭게 작용하는 HDL-콜레스테롤 함량을 증가시킨다는 보고가 있어 지질대사에도 관여하는 것이 밝혀졌다. 올무의 약효 성분 중 뿌리에서 분리된 coixol이라는 성분은 진통작용을 가지고 있으며, 종자에 있는 coixenolide 성분은 항종양 효과가 있다고 보고되어 있다. 그러나 올무가공식품의 형태는 많지 않아 차종류가 주를 이루고 미숫가루, 올무효소 등이 있을 뿐이다. 또한 이러한 가공식품으로 섭취했을 때 위에서 열거한 올무의 효과를 나타내는 양에 대한 자료도 없다.

한방에서는 의이인이라하여 올무(coix)는 예로부터 한약재로 사용되어 왔으며, 근래에는 혈중 콜레스테롤 농도를 저하시키는 작용을 하는 기능성 물질들이 있는 것으로 알려져 있다.(Chung 등, 1988) 우리 나라에서는 올무는 대부분이 단순 가공하여 부가가치가 낮은 올무쌀이나 올무차로서 사용되어지고 있다.(김, 1977) 스낵류의 제품을 생산하는 방법으로서 압출팽화법, 유탕처리법 등이 있다. 근래에 공정의 단순화 및 연속적인 생산과 제품의 다양화를 위하여 압출성형 생산방법을 많이 사용한다. Extruder를 이용한 압출팽화법은

열과 기계적 에너지에 의해 비교적 짧은 시간 내에 제품을 제조할 수 있으며(Carpez 등, 1986, 김 등, 1996), 식품 단위공정에서 행하는 여러 가지 단위공정을 일련의 단일 반응기내에서 동시에 처리할 수 있는데, 열처리, 혼합, 분리 압착, 배열, 팽화, 성형 등이 이루어진다.(Smith and Ben-Gera, 1980) 기존의 특수영양성분에 관한 연구들은 가공되지 않은 상태로 연구되었기에 여러 가공 공정을 거친 후의 성분의 효과에 대해서는 거의 연구되어 있지 않다.(하 등, 1997) 본 연구에서는 가공 공정을 거친 후의 최종 울무제품의 생리 기능적 성질에 대해 실험하였다.

나. 재료 및 방법

1) 재료

울무가루는 경기도 연천군에서 1997년에 재배한 것을 도정하여 600 μ m이하의 것을 사용하였다. 실험에 사용된 울무의 단백질 함량은 16.35%, 수분함량은 12%이었다.

2) 방법

가) 압출성형기를 이용한 cereal의 제조

본 연구에 사용한 압출성형 장치는 류와 Mulvaney(1997)가 사용한 동방향 쌍축압출성형기로서 스크류는 완전 맞물림형이며, 스크류 직경은 31.0 mm, L/D 비율은 20, 모터 용량은 7.5 hp이었다. Barrel은 3개로 구성되어 있으며, 토출구의 직경은 3.0 mm이었다. 원료 투입 속도는 원료투입기의 쌍축 스크류의 회전 속도와 울무제품의 수분함량은 전편에서 response surface methodology에 의해 구한 최적 공정조건을 이용하였고, 24시간 방치 후 직접 barrel의 사입구로 투입하였다.

나) 실험동물 및 식이조성

실험동물은 3주령의 Sprague-Dawley 수컷을 사용하였으며 일주일 동안 고품 배합 사료(삼양사료)로 적응시킨 후 고지방 식이군과 여기에 extruder를 통해 제조한 울무제품 50%를 첨가한 울무제품군으로 나누어 5주일 동안 사육하였다.

본 실험의 대조군은 45.5%의 에너지를 lard로 구성한 高 지방식이(High fat diet)를 사용하였고, 실험 식이는 울무 시리얼 제품 50%를 대체하여 첨가하고 대조군 식이와 일반성분이 유사하도록 성분조정을 하여 사용하였다.

본 실험의 대조군과 울무제품을 이용한 식이 조성은 Table 1에 나타내었다.

① 식이섭취 및 체중증가량

생체동물의 체중과 식이 섭취량은 일주일에 한번씩 식이를 주기 전에 측정하였고, 식이 이용효율(Food conservation efficiency, FCE)은 총 식이 섭취량(kcal)에 대한 체중증가량(g)의 비율로 구하였다.

$$\text{Food conservation efficiency(FCE)} = \frac{\text{Weight gain(g)}}{\text{Total feed intake(kcal)}}$$

② 시료 채취

5주일간 실험 사육이 끝난 동물은 12시간 절식시킨 후 단두하여 희생하였으며, 희생 직후 단두된 부위로부터 혈액을 채취하였다. 혈액은 20분간 얼음에 방치 후 4000 rpm으로 15분간 원심 분리한 후 상층액을 분리하고 이를 liquid nitrogen에 보관하여 지질분석에 이용하였다.

희생직 후 개복하고 간을 적출하여 간 무게를 측정하였으며 0.9 % NaCl 용액으로 세척한 후 10 mM potassium phosphate buffer(pH 7.4)로 균질화하여 liquid nitrogen에 보관하여 지질분석에 이용하였다.

③ 혈장과 간의 지질 분석

혈장과 간의 중성지방 및 총 콜레스테롤 함량은 kit(영동제약)를 사용하여 분석하였고 혈장의 HDL-콜레스테롤 함량분석은 효소 kit(국제시약, 일본)을 사용하였다. 혈장의 LDL-Cholestrol 함량은 Friedwald의 방법에 따라 계산하였다. 동맥경화증 유발의 지표가 되는 동맥경화지수(Atherogenic index, AI)는 다음의 공식으로 구하였다.

$$AI = (\text{총콜레스테롤} - \text{HDL-콜레스테롤}) / \text{HDL-콜레스테롤}$$

다. 결과

1) 식이 섭취량, 체중증가량, 식이효율

울무제품군의 식이 섭취량은 5주간의 총 합계가 2134.9 kcal로서 1835.8 kcal인 대조군에 비하여 높았고, 이에 따라 울무제품군의 체중증가량도 높았다(Table 2). 즉 울무시리얼이 없는 대조군을 섭취한 쥐의 체중증가량은 86 g이었으나 울무제품군을 섭취한 쥐의 체중증가량은 137 g을 나타냈다. 식이 기간 경과에 따른 쥐의 체중 증가와 식이 섭취량에 대한 변화를 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. 울무식이군의 체중은 시작시에는 172g에서 5주후에는 309g으로 증가하였으나, 비식이군은 258g으로 증가하였다. 울무 섭취시에 보다 많은 체중의 증가가 관찰되었다. Energy 섭취량은 울무섭취군이 초기에는 높았지만, 5주후에는 거의 유사한 값이 나타났다. 또한 식이 이용

효율(FCE)은 각각 0.048과 0.066 g/kcal를 나타내 에너지 단위당 체 중증가량은 유사한 것으로 나타났다.

2) 울무시리얼을 섭취한 쥐의 혈청지질

대조군과 울무시리얼을 섭취한 쥐 혈청에서의 중성지방농도(TG), 총 cholesterol 함량, HDL-cholesterol 및 LDL-cholesterol 함량과 동맥경화지수(AI)는 Table 3과 Fig 3에 나타내었다. 혈액 내 중성지방 (TG) 농도는 대조군에서는 132.2 mg/g을 나타내었고 울무제품군을 섭취한 쥐에서는 101.4 mg/g의 낮은 값을 나타내 두 군간에 유의차를 나타내었다. 총 콜레스테롤의 경우와 LDL-콜레스테롤의 경우 대조군을 섭취한 쥐의 경우, 91.1과 27.7 mg/dl를 나타낸 반면, 울무시리얼을 섭취한 쥐의 경우 88.2와 25.0 mg/dl를 나타내어 역시 울무제품군에서 낮아지는 경향을 보였다. 그러나 HDL-콜레스테롤의 경우 대조군을 섭취한 쥐에게서는 38.9 mg/dl을 나타내었고 울무제품 섭취한 쥐에게서는 42.9 mg/dl를 나타내어 울무시리얼을 섭취한 쥐에게서 더 높아지는 경향을 나타내어 고지방 섭취로 인한 혈액 내 지질성상을 호전시키는 결과를 보였다. 또한 동맥경화 유발의 좋은 지표로 사용되는 동맥경화지수 (Atherogenic index, AI) 역시 5주간의 울무제품 섭취로 대조군의 0.048 g/kcal보다 높은 0.066 g/kcal를 나타내어 유의적으로 낮아져 울무제품을 섭취 시 좋은 결과를 나타내었다. (Table 2)

3) 간 지질함량과 cholesterol 함량

울무제품을 5주간 섭취한 동물의 간지질 함량은 16.8 mg/g의 대조군에 비해 울무시리얼을 섭취한 쥐의 간지질 함량은 16.3mg/g을 나타내어 유의적 차이를 나타내지 않았다(Table 4, Fig. 4). 또한, 간의 총 cholesterol의 경우도 대조군과 울무시리얼을 첨가한 식이를

섭취한 쥐의 경우 각각 7.8과 8.3 mg/g을 나타내어 유의차를 보이지 않았다. 즉, 간지질의 경우에 있어서는 혈청과는 달리 지질함량과 총 콜레스테롤 함량에 올무의 첨가가 영향을 미치지 않았다.

라. 참고문헌

류시형, and Mulvaney, S.J. : 탄산가스 주입에 의한 유제품 강화 옥수수 압출성형물의 성질과 기계적 에너지 투입량의 분석. 한국식품과학회지, 29(5) 947-954 (1997)

Chung, B.S., Suzuki, H., Hayakawa, S., Kim, J.H., and Nishizawa, Y. : Studies on the plasma cholesterol-lowering component in Coix. Nippon Shokukin Kogyo Gakkaishi, 35(9), 618-623 (1988)

김병도 : 올무 생산의 현황과 그 경제성, 영남대학교 천연물화학연구소 연구보고, 4, 44-51 (1977)

Carpez, A., Arrigoni, E., Amado, R. and Neukom, H. : Influence of different types of thermal treatment on the chemical composition and physical properties of wheat bran. *J. Food Sci.*, 4, 233 (1986)

Smith, O.B. and Ben-Gera, I. : The application of high temperature short time extrusion cooking in the food industry,

Ed. by Linko, P., Malkki, Y. and Oikku, J., In "Food processing engineering", Applied Science Publishers, 726-744 (1980)

김종태, 황재관, 조성자, 김철진, 김해성 : 스크류 조합과 공정변수 조절에 따른 밀기울 압출물의 특성. 한국식품과학회지, 28(1), 169-178 (1996)

하태열, 이상호, 이현우 : 미강추출물이 고지방 식이를 섭취한 흰쥐의 혈청과 간조직의 지질농도에 미치는 영향. 한국식품과학회지, 29(1), 178-182 (1997)

Table 1. 대조군과 올무시리얼 제품을 이용한 실험식이 조성

	control	coix, L product
	g/100g	g/100g
Casein	20.0	11.0
DL-methionine	0.3	0.3
Min-mix ¹	4.0	3.0
Vit-mix ²	1.0	1.0
Choline-bitartarate	0.2	0.2
Cellulose	2.0	1.0
Lard	25.0	20.5
Sucrose	10.0	3.0
Corn starch	37.5	10.0
coix.L product	-	50.0
Total	100	100

1. AIN-76 mineral mix

2. AIN-76 vitamin mix

Table 2. 대조군과 울무 시리얼을 섭취한 쥐의 식이 섭취량, 체중증가량, 및 식이 효율

	Energy intake (Kcal)	Weight gain (g)	FCE (g/Kcal)
대조군	1835.8±134 ^a	86±8 ^a	0.048±0.008
울무제품군	2134.9±164 ^b	137±14 ^b	0.066±0.012

· FCE : Food conservation efficiency

Weight gain (g) / Energy intake (Kcal)

* Mean ±SE

* values with different superscripts are significantly different (p<0.05)

Table 3. 대조군과 올무시리얼을 섭취한 쥐의 혈청지질수준

	대조군	올무시리얼군
TG (mg/dl)	132.2±14.9 ^a	101.4±17.2 ^b
Cholesterol (mg/dl)	91.1±5.2	88.2±6.4
HDL-Cholesterol (mg/dl)	38.9±3.5	42.9±3.3
LDL-Cholesterol (mg/dl)	27.7±5.5	25.0±3.4
AI	1.39±0.4	1.09±0.4

* Mean ±SE

* values with different superscripts are significantly different (p,0.05)

Table 4. 대조군과 울무시리얼을 섭취한 쥐의 간 지질 함량

	TG mg/g	Cholesterol mg/g
대조군	16.8±3.1	7.8±1.2
울무제품군	16.3±0.9	8.3±1.2

* Mean ±SE

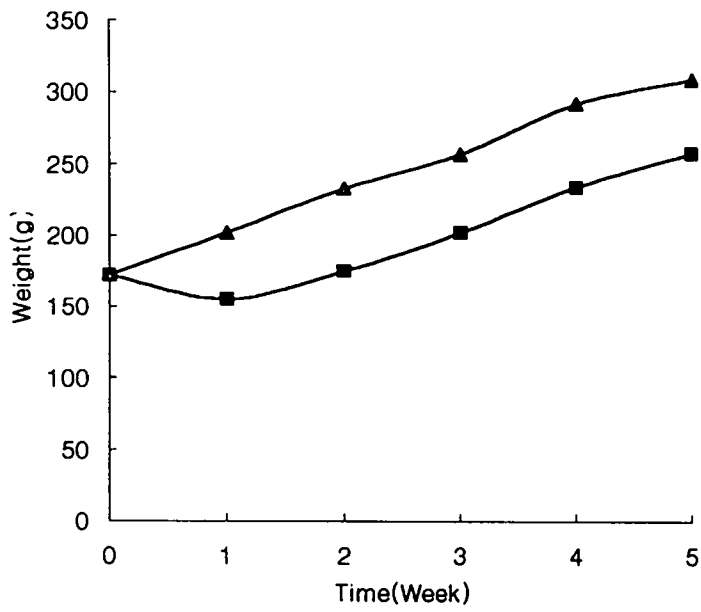


Fig. 1. 울무식이군과 비식이군간의 weight gain
 ▲ : 울무 식이군, ■ : 비식이군

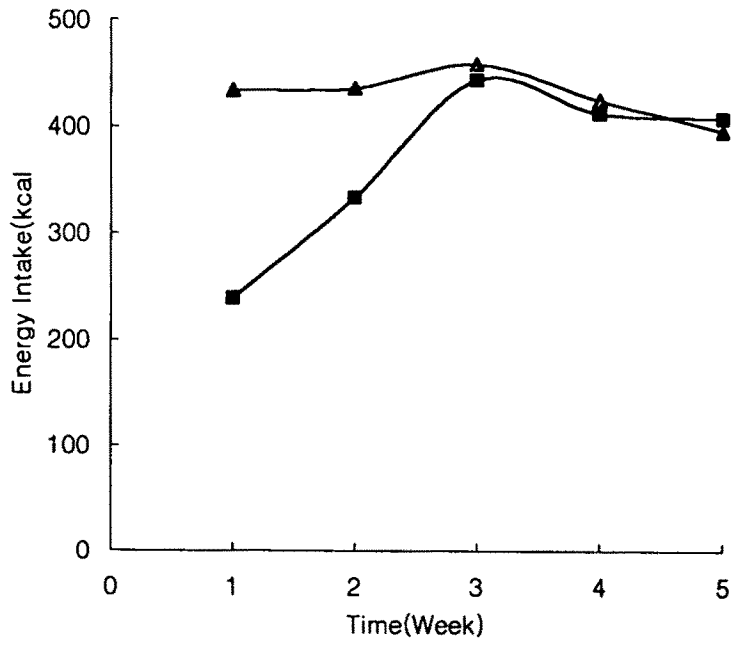


Fig. 2. 울무식이군과 비식이군간의 Energy intake
 ▲ : 울무 식이군, ■ : 비식이군

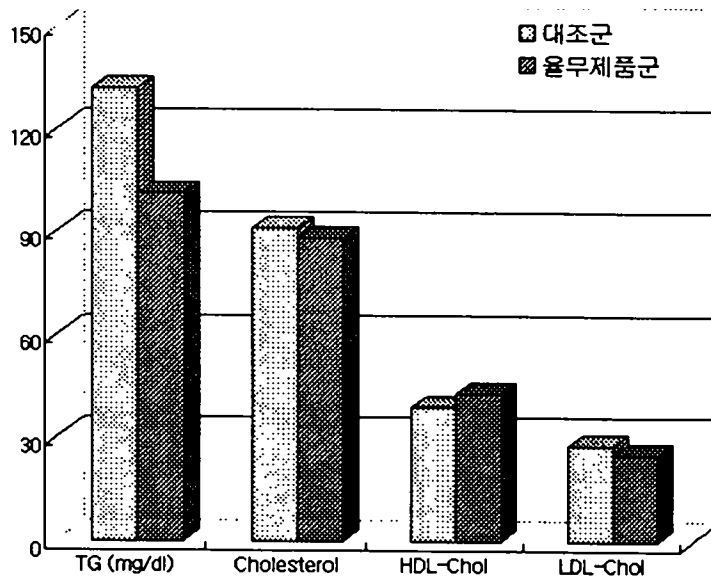


Fig. 3. 올무식이군과 비식이군간의 혈청지질수준

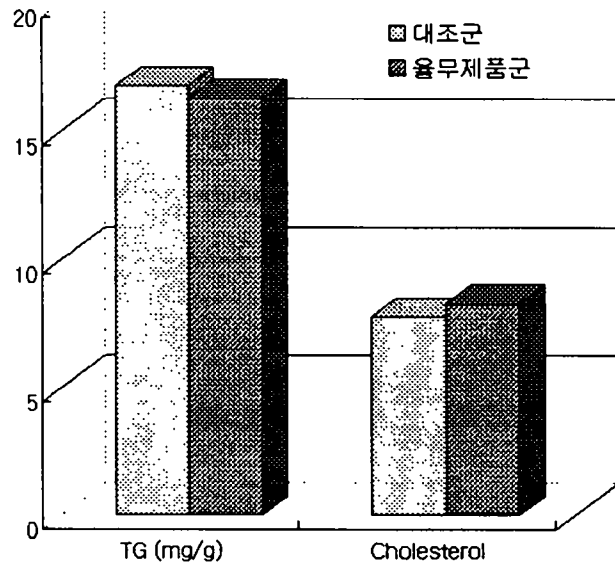


Fig. 4. 울무식이군과 비식이군간의 간 지질 함량

4. 압출성형에서 나온 올무시리얼의 저장성에 관한 연구

가. 서 론

한국과 중국 등 동남아 지역에 널리 분포되어 있으면서 척박한 지역에서도 잘 자라는 벼과의 1년생 초본인 올무는 한방에서 건위제, 이노제 등의 약용으로 사용되어 왔다.(김병도, 1977) 최근 식용으로 취반에 대한 이용 연구가 있었으나,(최경수, 1974) 관능성이 미흡하여 이를 가공이용 및 건강식으로 이용하고자 하는 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 그러나, 올무가루나 올무차등의 단순가공의 수준을 벗어나지 못하고 있었다.(최경수, 한재숙, 1977) 또한 가공제품화 한 올무의 저장 및 유통 과정 중의 변화에 대한 연구는 포장재질에 따른 볶은 올무가루와 볶지 않은 올무의 shelf-life에 관한 연구(김덕용, 1984, 1985)와 저장 중의 지방산 조성의 변화 등에 관한 연구가 있었다.(Han 등, 1989) 식품의 보존기간은 식품 자체의 변화 또는 외부 환경사이의 상호작용에 의해 품질이 저하되지 않는 기간이다. 일반적인 제과제빵에 관한 저장성 연구는 복합 초콜렛 제품에서의 수분이동에 의한 수분활성도 변화에 따른 곰팡이 발생에 대한 연구(김 등, 1997), 빵에 chitosan등을 첨가한 연구(이와 이, 1997) 등이 국내에서 이루어졌다. 포장재료는 그 종류와 성질이 다양한데 이들을 적절히 사용하지 않으면 식품의 변화를 촉진시킬 뿐만 아니라 경제성을 저하시키는 경우가 발생하게 된다. 그러나 국내에서의 포장재질에 따른 제과제빵 제품의 저장성에 대한 연구는 전무하다. 본 연구에서는 각기 다른 포장재를 사용하며 미생물 수와 물성학적 특성의 변화를 측정하여 올무 cereal류의 저장성을 측정하였다.

나. 재료 및 방법

1) 재료

올무가루는 경기도 연천군에서 1997년에 재배한 것을 도정하여 600 μm 이하의 것을 사용하였다. 저장성실험에 사용한 paper는 일반 신문용지를 사용하였으며, PVC wrap은 LG사의 항균 싱싱랩을 일반 시장에서 구하여 사용하였다.

2) 방법

가) 압출기를 이용한 올무시리얼류의 제조

전보의 연구에서 구하여진 최적수분함량 및 screw speed를 적용한 동방향 쌍축 압출성형기를 사용하여 올무가 포함된 시리얼류를 제조하였고 제조한 올무시리얼류는 여러 포장방법으로 저장하였다. 즉, 압축 성형된 올무 시리얼류는 뚜껑이 없는 플라스틱 용기(가로 25 cm×세로 21 cm×높이 16cm)에 담아 뚜껑이 없는 것, 종이로 덮은 것, PVC wrap으로 씌운 것을 각각 10℃와 25℃에 저장하였다.

나) 압출성형된 올무시리얼류의 미생물 측정

올무제품을 한 달간 저장한 것을 분쇄하여 1 g을 취한 후 100 ml 멸균 된 생리식염수 (8.5 g sodium chloride/ 1 liter 증류수)에 녹였다. 녹인 시료를 여과한 후 100 μl 를 추출하여 LB medium에 접종하였다. 37℃에서 24시간 동안 배양 후 aerobic plate count (APC)로 전체 호기성 세균 수를 측정하였다. LB medium은 Trypton 1%, Yeast extract 0.5%, NaCl 1%, Agar 1.5% 로 조성하였다.

다) 압출성형 올무시리얼류의 texture 측정

압출성형되어 나온 올무 시리얼의 강도를 측정하기 위해 bending force를 rheometer(Sun Co., CD-200D, Japan)을 사용하였다. 압축

성형 울무시리얼을 7 cm로 자른 후 10 kg load cell내에 설치한 후 200 mm/min의 cross head speed를 사용하여 압축 파괴하였다. 이때 deformation을 5 mm로 고정하고 failure 상태의 bending force(N)를 구하였으며 이때 chart speed는 300 mm/min 이었다. Bending force는 다음의 식에 의해 구해졌다.

$$\text{Bending failure stress } (\sigma) = P.L / \pi R^3$$

여기서 P: applied force, L: 시료의 길이, R: 시료의 반지름

라) 울무시리얼류의 수분함량 및 색도측정

저장동안 변화하는 울무시리얼의 수분함량은 울무시리얼을 mixer(waring, 31BL92, USA)를 사용하여 갈아서 600 μ m이하의 것을 사용하여 110℃의 dry oven에 24시간 방치하여 그 함량을 구하였다.

저장동안의 울무시리얼류의 L값(lightness)는 색차계(Color techno. system, JC801, Japan)을 사용하여 구하였으며 10회 측정값의 평균값으로 나타내었다.

다. 결과

1) 울무시리얼의 저장동안의 강도 변화

여러 포장재질을 이용하여 10℃와 25℃에 저장한 울무시리얼의 bending force의 변화는 Table 1과 2에 나타내었다. 10℃에서 저장한 울무시리얼의 경우, 초기 9.56 N의 파손 bending force를 나타내고 저장기간이 21일 경과동안 큰 변화를 보여주지 않고 11~14 N의 bending force의 변화를 보여 주었다(Table 1). 무포장의 시리얼의 경우 종이나 PVC 포장에 비해 저장동안의 변화폭이 초기에 더 큼을

보여주었다. 25℃에 저장한 울무시리얼의 경우 10℃에 저장한 울무시리얼에 비해 변화 폭이 훨씬 더 커 9.56에서 18.77 N의 변화폭을 나타내어 저장온도가 높아짐에 따라 강도의 변화 폭은 더 커짐을 알 수 있었다(Table 2). 포장재질의 경우는 변화의 일정한 pattern을 보여주지 않아 시리얼의 경우 종이포장이거나 무포장 혹은 PVC 포장조차 비슷한 영향을 미치는 것으로 사료된다.

2) 저장동안의 미생물 변화

울무시리얼을 한달간 저장한 후 측정된 호기성 세균수의 변화는 검출되지 않았으며 1×10^2 보다 적게 나온 것으로 평가되어 안전성에는 문제가 없는 것으로 사료된다. 울무시리얼류의 저장동안 coliform, yeast 및 mold의 변화는 현재 계속적으로 실험이 진행중이고 최종 보고서에 첨가할 예정이다.

3) 울무시리얼의 저장동안의 수분함량 및 색 변화

10℃에서 저장한 울무시리얼의 수분함량변화는 초기 10.3%에서 저장기간이 지나감에 따라 21일 후에는 7.9%로 낮아졌고 포장재질에 따라 약간의 fluctuation을 보여주지만 15일 이후부터는 포장재질에 관계없이 일정한 수분감소를 나타내었다 (Fig. 1). 이는 수분측정 시 일정한 온도로 유지하기 위해 항온 dry oven을 사용한 이유로서 수분감소가 나타나며 15일 이후부터는 포장재질에 상관없이 일정하게 나타남을 보여주었다.

25℃에서 저장한 경우도 10℃에서 저장한 경우와 마찬가지로 초기 10.3%의 수분함량이 8% 정도로 같은 감소를 보여주었으나 저장과정중의 울무시리얼의 강도변화 폭은 고온에서 저장 시 더 컸다(Fig. 2). 위의 Table 1과 2 및 Fig. 1과 2를 살펴볼 때 울무저장 시 온도의 효과는 크지 않았으나 높은 온도에 저장 시 강도 및 수분함량의

변화 폭이 더 큼을 보여주었다.

올무 시리얼의 저장동안의 색도변화는 온도(10 및 25℃)에 상관없이 또한 포장재질(무포장, 종이포장 및 PVC wrap)에 상관없이 65-70의 범위를 나타내었다. 따라서 올무 시리얼의 물성 및 성질변화에 저장온도는 큰 차이를 보여주지 않음을 나타냈고, 무포장과 종이나 PVC 포장사이에서는 큰 차이가 없음을 보여주었다. 그러나 실험진행 상 본 연구에서 간과한 올무시리얼의 저장동안 습도의 영향과 개스 충전 포장 및 진공포장에 의한 저장성에 대한 연구의 필요성이 대두되었다.

라. 참고문헌

Han, J.-S., Rhee, S.-H. and Cheigh, H.-S. : Changes of lipids in raw and processed Adlay powder during storage, Korean J. Food Sci. Technol., 20(5), 691-698 (1988)

김덕용 : 볶은 율무가루의 포장재질별 shelf-life에 관한 연구, J. Hanyang Women's Junior College, Vol. 7, 279-289 (1984)

김덕용 : 볶지 않은 율무가루의 포장재질별 shelf-life에 관한 연구, J. Hanyang Women's Junior College, Vol. 8, 373-383 (1985)

김병도 : 율무생산의 현황과 그 경제성, 천연물화학연구소연구보고서 Vol. 4, 영남대학교 (1977)

김상용, 노봉수, 오덕근 : 복합 초콜렛 제품에서의 수분이동에 의한 곰팡이의 발생, 한국식품과학회지 29(5) 1033-1037 (1997)

이경혜, 이영춘 : 발효빵에 첨가한 Carboxymethyl Chitosan이 품질에 미치는 영향, 한국식품과학회지, 29(1), 96-100 (1997)

이경수 : 의이인의 식품화이용, 영남대논문집, Vol.8 23-41(1974)

최경수, 한재숙 : 율무쌀을 이용한 비상대체식품의 개발, 영남대학교 천연물화학연구소 연구보고 제4권, 16-30 (1977)

Table 1. Changes in bending force of extruded Yulmu cereal wrapped up in non, paper or PVC wrap at 10°C

Package \ Days	0	3	7	10	14	21
Non-Package	9.56	14.41	13.52	14.41	11.86	11.52
Paper	9.56	15.78	11.76	13.62	13.03	12.35
PVC Wrap	9.56	13.43	12.81	14.85	12.94	14.01

Table 2. Changes in bending force of extruded Yulmu cereal wrapped up in non, paper or PVC wrap at 25°C

Package \ Days	0	3	7	10	14	21
Non-Package	9.56	15.44	10.71	12.81	14.46	13.65
Paper	9.56	14.44	13.20	15.03	14.99	10.06
PVC Wrap	9.56	18.77	12.01	12.61	13.03	14.70

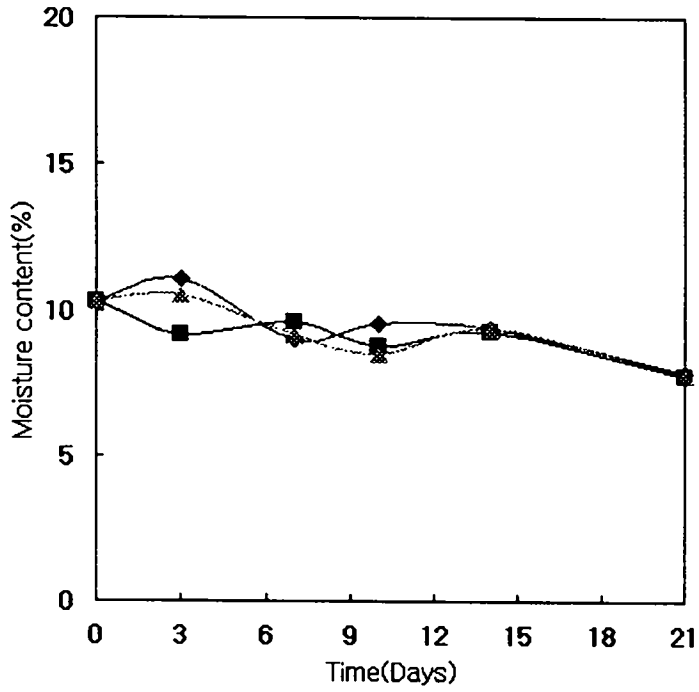


Fig. 1. Changes in moisture content of extruded Yulmu cereal wrapped up in control, paper or PVC wrap at 10°C.

◆ : Control (Non-package), ■ : Paper package,
 ▲ : PVC wrap package

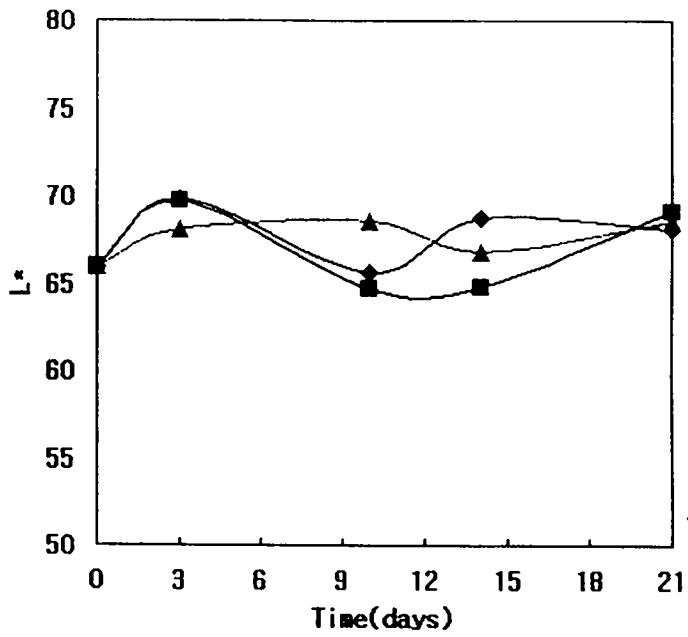


Fig. 2. Changes in moisture content of extruded Yulmu cereal wrapped up in control, paper or PVC wrap at 25°C.

◆ : Control (Non-package), ■ : Paper package

▲ : PVC wrap package

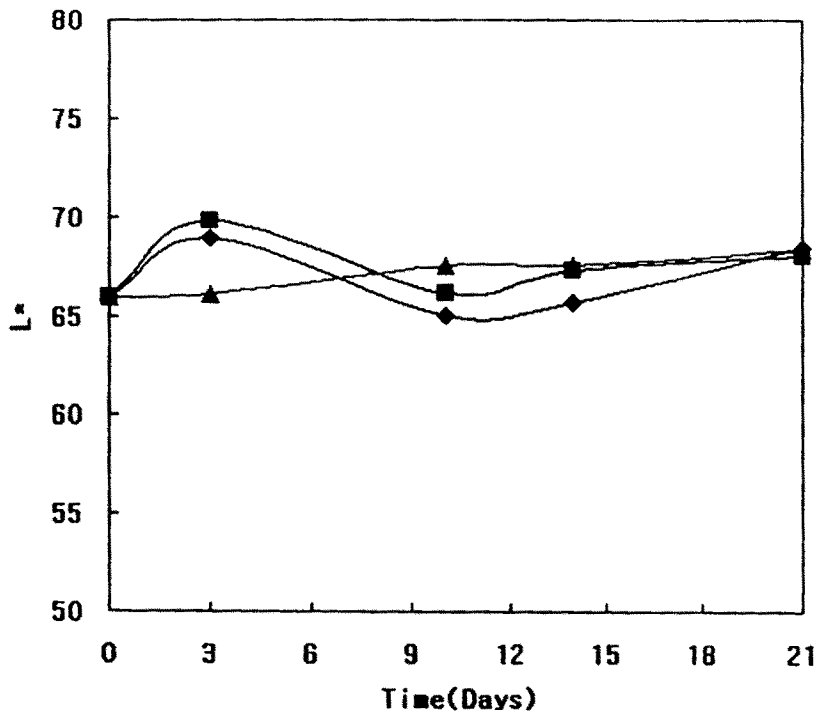


Fig. 3. Changes in L*(lightness) of extruded Yulmu cereal wrapped up in control, paper or PVC wrap at 10°C.

◆ : Control (Non-package), ■ : Paper package
 ▲ : PVC wrap package

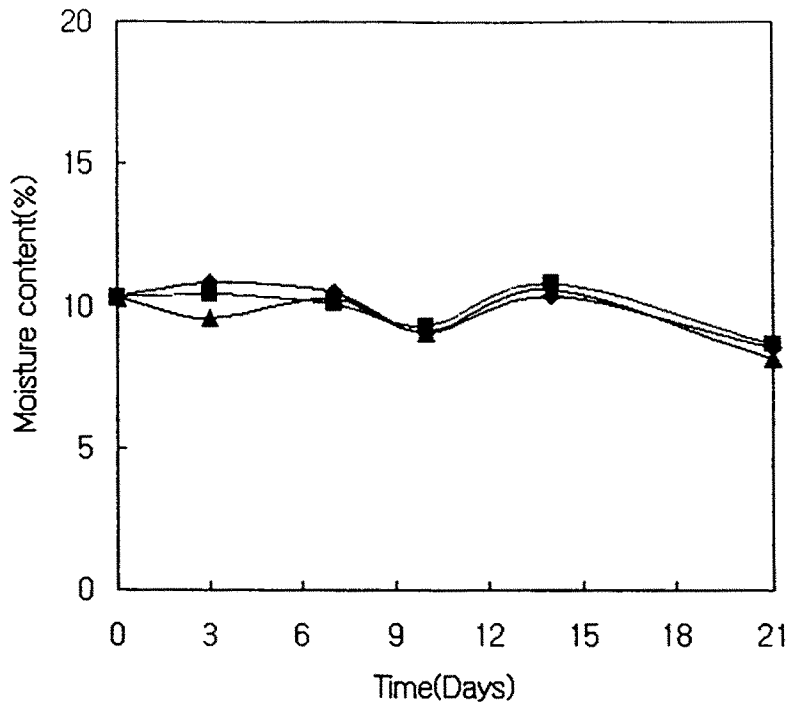


Fig. 4. Changes in L*(lightness) of extruded Yulmu cereal wrapped up in control, paper or PVC wrap at 25°C.

- ◆ : Control (Non-package), ■ : Paper package
- ▲ : PVC wrap package

제 3 장. 울무의 생리 활성 효과에 대한 연구

제 1 절. 서설

오랫동안 울무는 인간과 가축의 식품으로서 또는 동양의 민간 요법으로서 이뇨제, 위장약, 진통제, 항경련제, 저혈당제로서 이용되어져 왔다. 최근에는 항염, 항 종양활성을 지닌 생리활성이 분리되기는 하였으나 약리 효능에 대한 과학적 입증은 이루어지지 않은 상태이다. 인체와 동물에 관한 실험에서 식이섭유가 고혈당과 당뇨병환자나 정상인 모두에게서 인슐린 반응을 낮춘다고 보고된 바 있다. 울무의 식이 섭유 함량은 다른 보리, 기장, 수수보다 더 낮고 울무는 경제적으로 유용한 곡류가 아니며, 울무의 식이섭유를 제외하고는 저혈당 활성성분은 울무로부터 추출된바 없다. 그러므로 총 식이섭유 섭취량을 같게하였을 때 저혈당 활성을 보이는가를 밝히는 것은 중요하다. 혈당 수준은 일반적으로 전분, 단백질, 지질, 식이섭유, 항영양소에 의해 영향을 받는 소화성에 의존한다. 특히 조리법은 식후 대사 반응의 중요한 영향을 미치는 요소이기도 하다. 그러므로 울무 고유의 생리활성 물질을 탐색하기 위해 총 섭유소섭취량을 같게하였을 때, 각기 다른 방법으로 조리된 울무의 잠재적 저혈당 활성을 연구하였다.

울무의 생리활성 연구에서 울무 식이에 의한 지질 성분 조성

울무는 비록 어떠한 과학적 입증은 없으나 동양에서 민간 요법으로 이뇨제, 건위제, 진통제, 항경련제, 저혈당제로서 이용되어져왔다. 최근에는 항염증, 항종양 촉진 활성을 지닌 생리활성물질이 분

리 보고되기도 하였다. 그러나 울무로부터 식이 섬유외에 당뇨치료에 관련한 어떠한 활성성분도 분리된 것은 없다. 인체나 동물에 관한 연구에서 식이섬유 함량이 높은 복합탄수화물을 많이 포함한 식이를 이용시 당뇨와 고지혈증의 경우 정상 혈당과 정상 지질 수준이 됨은 널리 알려져 있다. 울무의 식이섬유 함량은 보리, 기장, 수수와 같은 다른 잡곡류에 비해 낮고, 울무는 경제적으로 선호되는 곡류가 아니기에 식이섬유를 제외한 울무의 당뇨에 대한 치료제로서 가능성을 결정하는 것은 중요하다. 전 연구에서, 우리는 총 섬유소 섭취량을 같게하였을 때 울무 식이의 저혈당 효과는 유의하지 않은 것으로 보고하였다. 그러나 비록 울무의 저혈당 활성이 유의하지 않음에도 불구하고 만약 울무식이 당뇨 합병증의 유용한 지표로서 가정되어 온 지질 성상을 개선시킬 수 있는지는 연구해볼만한 가치가 있을 것이다. 특히 전분 식품의 소화성은 조리법에 의해 영향 받고, 이러한 소화성은 혈중 지질 성상에 영향할 수 있다. 그러므로 천연물에 대한 생리활성의 연구의 일환으로서 울무의 각기 다른 조리법에 따른 당뇨에 대한 잠재적 치료 활성을 연구하였다.

2차년도 울무의 생리활성 연구

울무는 비록 어떠한 과학적 입증은 없으나 동양의 민간요법으로 이뇨제, 건위제, 진통제, 항 경련제와 저혈당제로서 이용되어져 왔다. 최근 항염, 항종양 활성을 보이는 생리활성 물질이 분리되었다. 그러나 울무로부터 식이 섬유를 제외한 당뇨의 치료와 관련된 어떠한 활성성분은 분리된 것이 없다. 1차년도 연구에서 총 섬유소 섭취량을 같게하였을 때 울무식이의 저혈당 효과는 유의하지 않았으나 전 울무와 볶음 울무의 경우, 당뇨의 지질성상(lipid profile)을

개선하는데 매우 효과적이었다. 또한 울무와 영양조성이 유사한 귀리의 경우, 몇몇 연구에서 혈중 지질을 낮추는데 효과적임을 보였고, 지질저하물질로서 제시되어져 왔다. 전분성 식품의 소화가 조리법에 영향을 받고, 울무 씨로부터 얻은 lauric acid, myristic acid, oleic acid, palmitic acid와 같은 지질성분은 당뇨병에 대해 실제적인 치료제로 쓰이기도 한다. 그러므로 울무의 각기 다른 지용성 추출물을 이용하여 당뇨에 대한 울무의 유력한 치료 활성을 연구하였다.

3차년도 울무 생리활성 연구

울무의 많은 생리 활성 중에서 수용성 성분이 갖고 있는 기능성 성분을 연구하였다. 울무를 물추출 하였을때의 물추출에서의 항산화능을 건강한 실험쥐의 간과 신장에서 glutathione, glutathione-s-transferase, glutathione -peroxidase의 효소 활성도를 측정하였고 간과 혈장에서 지방의 조성을 검사하였다. 건강한 이유기의 4주된 웅성 흰쥐에 대조군, 실험군으로는 울무의 물추출과 울무의 잔사군으로 나누어 각각의 식이를 3주간 섭취시켰다. 실험의 결과로 물추출군에서는 혈장에서 LDL를 저하시키고 HDL를 증가시켰으며 항산화효소 활성도에서도 간과 신장에서 항산화능을 증진시키는 고무적인 결과를 얻었다. 울무 물추출에서 보였던 항산화효능의 증진은 구체적인 메카니즘을 밝히는 연구가 수행되어야 할것으로 보인다.

울무부산물

현 경기도 연천군에서 재배 생산되고 있는 울무는 우리나라 생산

량의 85%를 차지하고 있으나, 생산에서 유통과정에 이르기까지 영세성을 벗어나지 못하고 있으며, 생산량 대부분을 부가가치가 낮은 1차 농산품인 울무쌀로 판매하고 있는 실정으로 가공에 의한 고부가제품의 개발은 미비 또는 전무한 상태에 머물고 있어, UR 협상 타결에 따른 외국 농산물 수입 개방에 대처할 기술 축적 및 연구가 시급히 요구되고 있다. 또한 도정시 나오는 등겨, 싸라기 등의 부산물이 상당량에 이르나 돼지, 소 등에서는 설사를 일으키고, 임신 가축에서는 임신 장애가 우려되어 가축의 사료로 사용되지 못하고 있어 그 활용 방안 대책이 시급한 실정에 있다. 그러므로 본연구는 울무 부산물의 생리활성 효과 확립하여 울무 부산물의 재활용 방안 확립하고자하였다.

울무부산물 추출물

울무는 비록 어떠한 과학적 입증은 없으나 동양에서 민간 요법으로 이노제, 건위제, 진통제, 항경련제, 저혈당제로서 이용되어져왔다. 또한 울무는 도정시 나오는 등겨, 싸라기 등의 부산물이 상당량에 이르나 돼지, 소 등에서는 설사를 일으키고, 임신 가축에서는 임신 장애가 우려되어 가축의 사료로 사용되지 못하고 있어 그 활용 방안 대책이 시급한 실정에 있다. 전년도 연구에서 울무부산물식이 지질성상(lipid profile)을 개선하는데 매우 효과적이었으므로 울무 부산물의 재활용 방안 확립하고자 울무부산물의 울무 부산물에서 추출된 지용성 및 비지용성 성분이 지질대사에 미치는 영향 분석하였다.

제 2 절. 울무의 이화학적 성분 분석 및 저당뇨 효과에 관한 연구

1. 울무의 이화학적 성분 고찰

가. 연구내용

울무의 일반 성분 및 식이 섬유소 함량은 문헌 고찰을 통하여 종합 정리하여 동물실험을 위한 기초 자료로 이용하였다. 섬유소의 효과이외의 울무의 생리활성 효과에 관한 연구를 하기 위하여 울무와 표준식이의 일반성분 조성을 같게 하였다. 이를 위하여 울무 식이 조제시는 울무를 50%첨가함에 따른 섬유소 회분, 탄수화물, 회분의 함량을 표준식이과 같게 보정하였다.

나. 연구결과

울무의 이화학적 성분은 Table 1과 같다.

Table 1. Proximate Composition of Coix L.

	Moisture	Crude Protein	Crude Fat	Starch	Ash	Fiber	
						Crude	Dietary
진갑덕 (1980)	8.5	17.6	7.2	51.9	2.3		
최경주등 (1979)		14.5	4.3	76.1	1.5	0.6	
박양자등 (1988)	8.02	15.51	3.91		1.68	4.66	
우지원등 (1989)	11.14	14.71	2.02	71.04	0.50	0.59	2.70
	10.62	14.38	7.62	64.40	2.14	0.80	3.86
	12.24	13.97	7.09	64.86	1.62	0.64	4.33
Range	8.02 ~12.24	13.91~ 17.6	2.02~ 7.62	51.9 ~76.1	0.50 ~2.3	0.59~4.66	

2. 울무 식이가 저당노 효과에 관한 연구

가. 연구내용

160~180g의 Sprague-Dawley(삼육실험동물)60마리를 AIN-76식이를 1주일간 섭취시켜 분말식이에 적응시키고 유사한 대사 상태를 만든 다음, 이중 50마리를 공복시 미정맥으로 Streptozotocin을 주사한 하루후 혈당을 조사하여 당뇨 발생여부를 확인하였다. 이들 동물을 정상대조군, 당뇨대조군, 당뇨-날울무군, 당뇨-볶은 울무군, 당뇨-전울무군, 당뇨-날현울무군으로 나누었다. 실험식이는 대조군식이(AIN-76)와 그 일반 성분이 유사하도록 성분조정을 하여(Table 2) 3주간 공급하였다.

시료 채취는 매주 화요일에 섭식 상태에서 안구정맥에서 채혈하여 혈당과 총 콜레스테롤을 분석하였으며, 3주말에 공복시 내당성 검사를 하였고 3주간의 실험 사육이 끝난 동물은 12시간 절식시킨 후 단두로 희생하였다. 희생 직후 Heparinized tube에 혈액을 모아 원심분리하여 혈장을 취하고 장기와 뒷다리 상단부의 백색근육을 적출 하였다. 혈액과 조직은 분석할 때까지 -40℃에서 냉동 보관하였다.

식이 섭취량은 매일, 체중 변화량은 일주일 단위로 같은 시간에 측정했으며, 식이 이용효율은 총식이 섭취량에 대한 체중 증가량의 비율로 구하였다.

나. 연구결과

당뇨의 상태에 대한 간접적이나 장기간 효과 측정 방법으로 체중

증가량 및 식이 이용 효율을 측정하였고 직접 측정 법으로는 섭식시 혈액의 포도당 수준 및 인슐린 수준, 공복시 혈액의 내당성(Glucose Tolerance Test)등을 측정하였다.

1) 체중증가량 및 식이 이용 효율(Table 3)

정상군과 당뇨군 식이 조성은 섬유소의 양을 포함하여 영양성분을 같게 하였음에도 불구하고 당뇨군의 체중증가는 정상군 보다 유의하게($P < 0.05$) 낮았으며 당뇨군 중에서는 당뇨-대조군과 당뇨-올무군 사이에 유의한 차이가 없었다. 열량 및 섬유소 섭취량은 일정하게 하였을 때 당뇨-낱올무군, 당뇨-찜올무군, 당뇨-볶은 올무군, 당뇨-현올무군, 당뇨-쌀군 사이에 체중증가에 차이가 없었다. 그러므로 당뇨군이 정상군에 비해 체중 증가는 낮았으나 당뇨군내에서 섬유소의 섭취량이나 열량을 포함한 영양소 섭취량을 같게 하였을 때에는 올무식이 체중 증가나 식이 이용 효율에 영향을 미치지 않았다.

2) 혈장 포도당 수준, 인슐린 수준, 당내성 검사

섭식시, 찜올무와 볶은 올무군에서 올무식이 2주까지는 혈장 포도당 수준이 감소되는 경향을 보였으나 올무식이 3주째에는 이들 두 군에서도 당뇨 대조군과 유의한 차이를 않았다.(Fig 1) 올무식이 3주후의 섭식시 혈장 포도당 수준 및 인슐린 수준을 보면(Table 4) 섭식시 혈당포도당 수준과 인슐린 수준이 낱현올무와 볶은 올무군에서 유의적인 차이는 아니나 오히려 낮은 경향을 보였으며 혈장 포도당 수준은 차이가 없었다.

공복시 내당성검사(Glucose Tolerance Test)는 Fig 2에서 당뇨군은 정상군에 비해 포도당 경구 투여후 정상수준으로 돌아오지 않았다. 당뇨-올무 식이군 중에서 당뇨-볶은 군의 평균 혈당이 포도당 경구투여 120분 후에 정상군의 수준으로 돌아온 것으로 보이나 30,

60분 후의 혈당 수준이 정상군에 비해 높고 120분 후에도 군내 동물간 편차가 커서 볶은 울무가 내당성이 좋아졌다고 할 수는 없는 것으로 생각이 된다. 그러므로 섬유소의 섭취량을 포함한 영양소 섭취량을 일정하게 하였을 때에는 울무식의 저당뇨 효과를 명확하게 밝혀 낼 수 없었으므로 민간에서 상용되는 당뇨식에서 울무섭취는 울무에 함유된 식이 섬유소의 효과라고 추정된다.

울무식이 간장과 근육의 글리코겐 수준에 미치는 영향은 Table 5에 나타내었다. 정상군에 비하여 당뇨군의 간장 글리코겐 수준이 유의하게 낮았고 당뇨군에서는 날울무군과 날현울무군의 간장 글리코겐수준이 당뇨 대조군보다 낮았다. 볶은 울무군과 찐울무군의 간장 글리코겐 수준은 유의한 당뇨 대조군과 유의한 차이를 보이지 않았다. 근육 글리코겐은 개체간의 변이가 커서 통계적으로 유의한 차이를 볼 수 없었다. 당뇨대조군의 간장과 근육의 단백질 수준은 정상군과 차이를 보이지 않았다. 그러나 조리 방법에 관계없이 울무식이 섭취군의 근육 단백질 수준이 당뇨대조군이나 정상군 보다 낮았고 간장 단백질은 차이가 없었다.

다. 참고문헌

Otsuka H, Hirai Y, Nagao T, Yamasaki K. Anti-inflammatory activity of benzoxazinoids from roots of *Coix Lachryam-Jobi* Var. Ma-Yuen, *J Natural Products* 51 : 74-79, 1988

Tokuda H, Matsumoto T, Konoshima T, Kozuka M, Nishino H, Iwashima A. Inhibitory effects on Epstein-Barr virus activation and anti-tumor promoting activities of coix seed. *Planta Med* 56 : 653-654, 1990

Numata M, Yamamoto A, Moribayashi A, Yamada H. Antitumor components isolated from the chinese herbal medicine *Coix Lachryma-Jobi*. *Planta med* 60 :356-358, 1994

Takahshi M, Konno C, Hikino H. Isolation and hypoglycemic activity of Coixans A, B and C, glycans of *Coix Lachryma-Jobi* Var, Ma-Yuen seeds. *Plant Med* 52 : 64-65, 1986

Anderson JW. Dietary fiber and diabetes. In Spiller GA, Kay RM, eds. *Medical aspects of dietary fibre*. pp. 193-221, Plenum medical book Co, New York, 1980

Jenkins DJA, Wolever TMS, Jenkins AL, Taylor RH. Dietary fibre, carbohydrate metabolism and diabetes, *Mol Aspects Med*, 9 : 97-112, 1987

Dreher ML. Dietary fiber and its physiological effects. In : Dreher ML, ed. *Handbook of Dietary fiber, an approach*, pp.199-279, Marcel Dekker Inc, New York, 1987

Woo JW, Lee MS, Lee HJ, Kim HS. Comparative studies on the dietary fiber, amino acids and lipid components of Yullmoo and Yeomjoo. Kor J Food Sci Technol 21 : 269-275, 1989

Hwang SH, Sung CJ, Keim JI. Analysis of dietary fiber content of common Korean foods. J Kor Soc Food Nutr 24 : 396-403, 1995

Thorne MJ, Thompson LU, Jenkins DJA. Factors affecting starch digestibility and the glycemic response with special reference to legumes. Am J Clin Nutr 38 : 481-488, 1983

In SS, Kim MH, Sung CJ, Lee JH. The effect of cooking form of rice and barley on the postprandial serum glucose and insulin responses in normal subject. J Kor Soc Food Nutr 20 : 293-299, 1991

Junod A, Lambert AE, Stauffacher W. Diabetogenic action of streptozotocin : Relationship of dose to metabolic response. J Clin Invest 48 : 2129-2139, 1969

American Institute of Nutrition. Report of the American Institute of Nutrition. Ad Hoc Committee on standards for nutritional studies. J Nutr 107 : 1340-1348, 1977

American Institute of Nutrition. Report of the Ad Hoc Committee on standards for nutritional studies. J Nutr 110 : 1726, 1980

Hassid WZ, Abraham X. Chemical procedures for analysis of polysaccharides. In : Colusick SP, ed. Methods in enzymology Vol III, pp. 34-50, Academic Press, 1957

Miller JB, Pang E, Bramall L. Rice : a high or low glycemic

index food. Am J Clin Nutr 56 : 1034-1036, 1992

Jenkins DJA, Wolever TMS, Thorne MJ. The relationship between glycemic response, digestibility, and factors influencing the dietary habits of diabetics. Am J Clin Nutr 40 : 1175-1191, 1984

Braaten JT, Wood PJ, Scott FW, Riedel KD, Poste LM, Collins MW. Oat gum lowers glucose and insulin after an oral glucose load. Am J Clin Nutr 5 : 1425-1430, 1991

Kim EH, Vladimir V, Evelyn W. The relationship between viscosity of soluble dietary fiber and their hypoglycemic effects. J Kor Nutr 29 : 615-621, 1996

Ahn SW, Lee SW, Choi HS. A study on nutrition constituents and physical characteristics of adlay. J Kor Living Sci Res. 1 : 181-194, 1983

Yamada H, Yanahira S, Kiyohara H, Cyong J, Otsuka Y. Water-soluble glucans from the seed of Coix Lacryma-Jobi Var, Ma-Yuen Phytochemistry. 25 : 129-132, 1986

McHardy KC, McNurian MA, Milne E, Calder AG, Fearn LM, Broom J, Garlick PJ. The effect of insulin suppression on postprandial nutrient metabolism : studies with infusion of somatostatin and insulin. Eur J Clin Nutr 45 : 515-526, 1991

Ohtsubo K, Yanagi SO, Yanase H. Properties of a trypsin inhibitor from Job's-tears. Agric Biol Chem 49 : 1985-1991, 1985

Ohtsubo K. Effects of salts, protease digestions, chemical

modifications and heat treatment on the trypsin inhibitory activity of the protease inhibitor from Job's-tears. Agric Biol Chem 53 : 333-339,1989

Table 1. The composition of experimental diet (%)

구 분	Control	Coix	Coix, whole grain
Casein	20.00	12.65	12.81
DL-Methionine	0.30	0.30	0.30
Sucrose	50.00	24.96	29.00
AIN.Vitamin Mixture	1.00	1.00	1.00
AIN.Mineral Mixture	3.50	3.25	2.43
Cellulose	5.00	3.65	3.07
Con. oil	5.00	3.99	1.19
Choline-Bitartrate	0.20	0.20	0.20
Corn Starch	15.00	-	-
Coix L.	-	50.00	50.00
Total	100	100	100

Table 2. Composition of diet (%)

	Control	Milled adlay Raw, Roasted, Steamed	Whole grain adlay Raw
Casein (vitamin-free)	20.00	12.65	12.81
DL-Methionine	0.30	0.30	0.30
Sucrose	50.00	24.96	29.00
AIN. Vitamin Mixture	1.00	1.00	1.00
AIN. Mineral Mixture	3.50	3.25	2.43
Cellulose	5.00	3.65	3.07
Corn oil	5.00	3.99	1.19
Choline Bitartrate	0.20	0.20	0.20
Corn starch	15.00	-	-
Adlay	-	50.00	50.00

Table 3. The effect of adlay diet on body weight gain(g) and feed efficiency ratio(FER) ^{1) 2)}

	1st week	2nd week	3rd week	FER
Normal	50.14±13.27	32.57± 9.59	8.71± 8.77	0.270±0.04 ^{a2)}
Diabetic				
control	17.40±14.70	16.20±18.29	-2.60±12.41	0.076±0.08 ^b
Raw	22.00± 9.97	9.86±15.69	-11.43±13.10	0.029±0.06 ^b
Roasted	12.67±19.67	18.22±19.85	-10.44±12.67	0.047±0.10 ^b
Steamed	18.00± 9.67	7.38±12.09	-12.63±10.27	0.018±0.06 ^b
Raw, whole grain adlay	7.56±15.26	12.89±11.20	-19.67± 6.18	0.006±0.03 ^b

1) Values are mean ± SEM, n=8

2) Within a given column, those values with different superscripts are significantly different (P<.05)

Table 4. The effect of 3 weeks' adlay diet on the level of plasma glucose and insulin in fed rats^{1) 2)}

	Glucose(mg/100ml)	Insulin(μ /ml)
Normal	142.28 \pm 36.61 ^{b1)}	9.53 \pm 5.24 ^a
Diabetic		
-control	591.99 \pm 286.55 ^a	6.40 \pm 2.72 ^a
-Raw, milled adlay	783.31 \pm 148.60 ^a	6.10 \pm 3.18 ^a
-Roasted, milled adlay	676.34 \pm 218.35 ^a	6.81 \pm 5.84 ^a
-Steamed, milled adlay	662.33 \pm 219.67 ^a	4.06 \pm 1.31 ^a
-Raw, whole grain adlay	653.53 \pm 273.66 ^a	4.05 \pm 3.08 ^a

1) Values are mean \pm SEM, n=8

2) Within a given column, those values with different superscripts are significantly different (P<.05)

Table 5. The effect of 3 weeks' adlay diet on the level of glycogen and protein of liver and muscle in fed rats¹⁾

2)

	Glycogen($\mu\text{g/g}$)		Protein(mg/g)	
	Liver	Muscle	Liver	Muscle
Normal	88834 \pm 27157 ^a	2050 \pm 1713 ^b	474 \pm 251 ^a	357 \pm 75 ^a
Diabetic-control	44333 \pm 16538 ^b	834 \pm 407 ^a	399 \pm 119 ^a	350 \pm 282 ^a
-Raw, milled adlay	31431 \pm 16466 ^{cd}	1642 \pm 613 ^a	390 \pm 190 ^a	153 \pm 38 ^b
-Roasted, milled adlay	34944 \pm 14141 ^{bc}	1511 \pm 944 ^a	330 \pm 251 ^a	208 \pm 162 ^{ab}
-Steamed, milled adlay	48884 \pm 17704 ^b	3064 \pm 1172 ^b	285 \pm 81 ^a	184 \pm 55 ^b
-Raw, whole grain adlay	19053 \pm 6702 ^d	1715 \pm 1374 ^a	343 \pm 96 ^a	238 \pm 185 ^{ab}

1) Values are mean \pm SEM, n=8

2) Within a given column, those values with different superscripts are significantly different (P<.05)

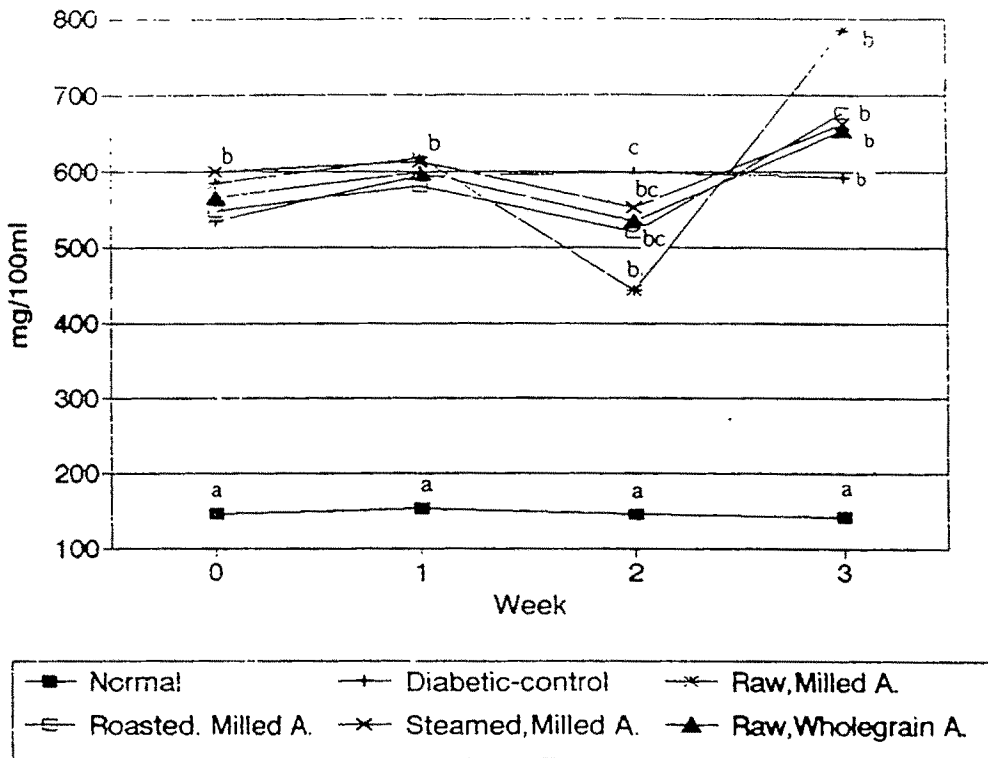


Fig. 1. Effect of adlay diet on the change of plasma glucose level in fed rats.

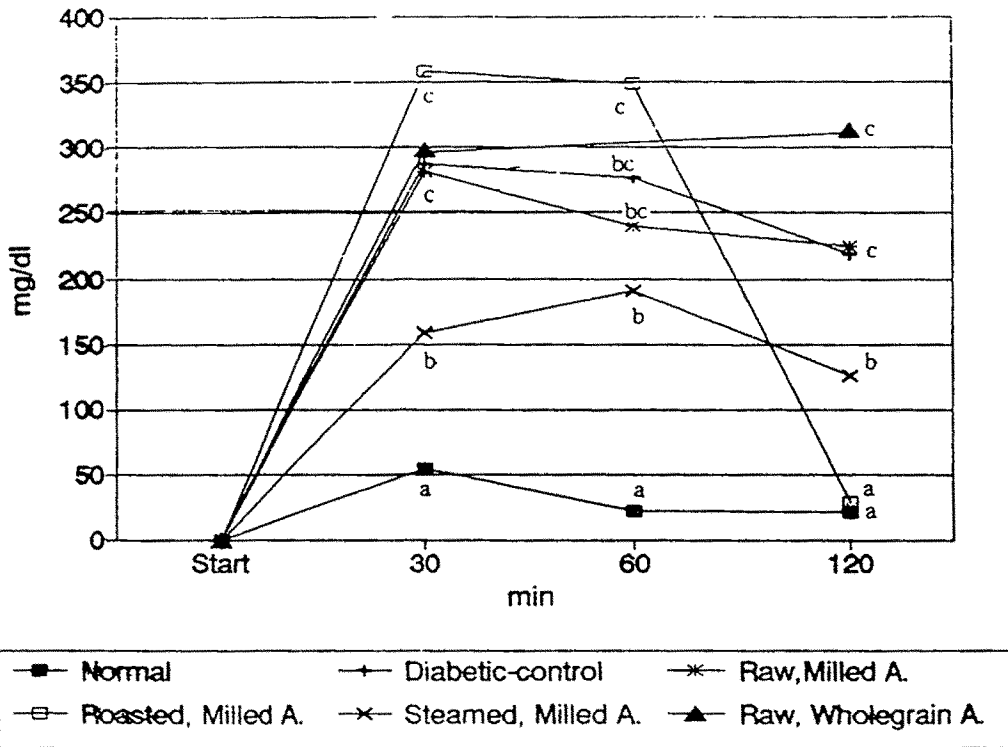


Fig. 2. Effect of adlay diet on plasma glucose increment after glucose loading(1g/kg BW)(within a given column, those values with different superscripts are significantly different ($p < .05$))

3. 울무 식이가 혈중 콜레스테롤 강하에 미치는 영향 연구

가. 연구내용

Streptozocin유발 당뇨 흰쥐에서 당뇨의 대표적인 합병증 중의 하나로서 심장순환계 질환의 위험요소인 혈액 총콜레스테롤 수준과 혈액콜레스테롤 성상을 조사하고자 하였다.

나. 연구 결과

볶은 울무와 찐 울무를 섭취시킨 당뇨군에서 혈중 총콜레스테롤이 계속 감소하는 경향을 보여 3주째에는 비록 유의 적인 차이는 아니나 정상군의 수준보다도 오히려 낮은 경향을 보였다.(Fig. 1.) 날현울무군은 2주째까지는 낮아지는 경향을 보였으나 3주말에는 높아져 당뇨-대조군보다 높은 수준을 나타내었다.

LDL-콜레스테롤 수준도 3주말에는 날울무군, 볶은 울무군, 찐울무군에서 낮아져 정상군의 LDL-콜레스테롤 수준까지 돌아갔다. 날현울무군도 비록 유의 적인 차이는 아니라 낮은 경향을 띄었다.(Table 1.) 그러므로 울무식이는 당뇨병에서의 중요 합병증중의 하나인 혈중 콜레스테롤을 강하시키는 효과가 있을 뿐 아니라 LDL-콜레스테롤까지 낮추는 효과가 있어 혈중 콜레스테롤 성상 개선에 큰 효과가 있어 당뇨병의 합병증 예방에 울무식이가 효과적인 것으로 추정된다. 이러한 목적을 위한 울무의 조리법으로는 찌는 법(예: 밥)이나 볶는 법(예: 미수가루)이 날 것보다는 좋을 것으로 생각된다.

울무식이가 혈장 및 조직의 유리지방산과 중성지방 수준에 미치는 영향은 Table 2에 나타내었다. 유리지방산은 당뇨대조군에 비해 날울무군, 찐울무군, 날현울무군이 유의하게 낮았으며 볶은울무군에서

도 낮은 경향을 띄었다. 특히 날울무군과 날현울무군의 유리지방산 수준은 정상군에 가까웠다. 혈장 및 간장중성지방 수준은 당뇨대조군에 비해 50-70% 낮았으며 거의 정상군 수준에 가까웠다. 근육중성지방 수준은 모든군에서 유의적인 차이를 보이지 않았다.

다. 참고문헌

Otsuka, H., Hirai, Y., Nagao, T. and Yamasaki, K. :
Anti-inflammatory activity of benzoxazinoids from roots of Coix
Lachryam-Jobi Var. Ma-Yuen. *J. Nat. Prod*, **51**, 74(1988)

Tokuda, H., Matsumoto, T., Konoshima, T., Kozuka, M.,
Nishino, H. and Iwashima, A. : Inhibitory effects on
Epstein-Barr virus activation and anti-tumor promoting
activities of coix seed. *Planta Med.*, **56**, 653(1990)

Numata, M., Yamamoto, A., Moribayashi, A. and Yamada, H. :
Antitumor components isolated from the chinese herbal medicine
Coix Lachryma-Jobi. *Planta med.*, **60**, 356(1994)

Anderson, J. W. : Dietary fiber and human health. *Hort.
Science*, **25**, 1488(1990)

Schinnick, F. L., Mathews, R. and Ink, S. : Serum cholesterol
reduction by oats and other fiber sources. *Cereal Foods World*,
36, 815(1991)

Ripsin, C.,M., Keenan, J. M., Jacobs, D. R., Elmer, P. J.,
Welch, R. R., VanHorn, L., Turnbull, W. H., Thyre, F. W.,
Kestin, M., Hested, M. M., Davidson, D. M., Davidson, M. H.,
Dugan, L. D.,Denmark-Wahnefried, W. and Deling, S. : Oat
products and lipid lowering., *JAMA*, **267**, 3317(1992)

Mackay, S., Ball, M. J. : Do beans and oat bran add to the
effectiveness of a low-fat diet?, *Euro. J. Clin. Nutr.*, **46**,

641(1992)

Jenkins, D. J. A., Spadafora, P. J., Jenkins, A. L. and Rainey-Macdonald, C. G.: Fiber in the treatment of hyperlipidemia. In "CRC handbook of dietary fiber in human nutrition" In Spikker GA (ed), CRC press, Ann Arbor, MI, p 419(1993)

Woo, J. W., Lee, M. S., Lee, H. J. and Kim, H. S. : Comparative studies on the dietary fiber, amino acids and lipid components of Yullmoo and Yeomjoo, *Kor. J. Food Sci. Technol.* **21**, 269(1989)

Hwang, S. H., Sung, C. J. and Kim, J. I. : Analysis of dietary fiber content of common Korean foods, *J. Kor. Soc. Food Nutr.*, **24**, 396(1995)

Cho, Y., and Lee, M. : The hypoglycemic effect of job's tears diet is not significant when the amount of total fiber consumption is controlled. *Kor. J. Nutr.* **30**, 1055(1997)

Thorne, M. J., Thompson, L. U. and Jenkins, D. J. A. : Factors affecting starch digestibility and the glycemic response with special reference to legumes. *Am. J. Clin. Nutr.*, **38**, 481(1983)

In, S. S., Kim, M. H., Sung, C. J. and Lee, J. H. : The effect of cooking form of rice and barley on the postprandial serum glucose and insulin responses in normal subject. *J. Kor. Soc. Food Nutr.*, **20**, 293(1991)

Junod, A., Lambert, A. E. and Stauffacher, W. : Diabetogenic

action of streptozotocin : Relationship of dose to metabolic response. *J. Clin. Invest.*, **48**, 2129(1969)

American Institute of Nutrition : Report of the American Institute of Nutrition. Ad Hoc Committee on standards for nutritional studies. *J. Nutr.*, **107**, 1340(1977)

American Institute of Nutrition : Report of the Ad Hoc Committee on standards for nutritional studies. *J. Nutr.* **110**, 1726(1980)

Anderson, J. and Geil, P. : Nutritional management of diabetes mellitus. In " Modern nutrition in health and disease" Shils ME, Olson JA, Shike M(eds.), Lea & Feibiger, PA, p1266(1994)

Aoki, M. and Tuzihara, N. : Effects of the hatomugi(Coix lacryma L. var. ma-yuen) on the blood pressure, cholesterol absorption and serum lipids level. *Japan J. Home Economics* **35**, 89(1984)

Wuo, J., Kang, J., Park, P. and Chung, S. : Influence of dietary job's tears(Coix lacrymajobi) on lipid components in serum and liver of rats on hypercholesterolemic diet. *J. Gyeonsang Nat. Univ.*, **25**, 201(1986)

Park, Y., Lee, Y. and Hiramitsu, S. : Effect of Coix on plasma cholesterol and lipid metabolism in rats. *Kor. J. Nutr.*, **21**, 88(1988)

Hopewell, R., Yeater, R. and Ullrich, I. : Soluble fiber: effect on carbohydrate and lipid metabolism. *Prog. Food Nutr.*

Sci., 17, 182(1993)

Cassidy, M. M. and Calvert, R. J. : Effect of dietary fiber on intestinal absorption of lipids. In "CRC Handbook of dietary fiber in human nutrition" Spiller, G. A.(ed.), CRC Press, Ann Arbor, MI, p162(1993)

Ahn, S. W., Lee, S. W. and Choi, H. S. : A study on nutrition constituents and physical characteristics of job's tears. *J. Kor. Living Sci. Res.*, 1, 181(1983)

Yamada, H., Yanahira, S., Kiyohara, H., Cyong, J. and Otsuka, Y. : Water-soluble glucans from the seed of Coix Lacryma-Jobi Var, Ma-Yuen. *Phytochemistry*. 25, 129(1986)

Jenkins, D. J. A., Wolever, T. M. S. and Thorne, M. J. : The relationship between glycemic response, digestibility, and factors influencing the dietary habits of diabetics. *Am. J. Clin. Nutr.* 40, 1175(1984)

Braaten, J. T., Wood, P. J., Scott, F. W., Riedel, K. D., Poste, L. M. and Collins, M. W. : Oat gum lowers glucose and insulin after an oral glucose load. *Am. J. Clin. Nutr.* 5, 1425(1991)

Table 1. The effect of job's tears on plasma cholesterol profile in rats.1)

	TC ²⁾ (mg/100ml)	HDL-C (mg/100ml)	Atherosclero- tic Index
Normal	78.11 ± 14.44 ^{b3}	38.99 ± 11.18 ^a	1.00 ± 0.20 ^b
	101.13 ± 25.02 ^{ab}	40.96 ± 13.12 ^a	1.46 ± 0.37 ^{ab}
Diabetic-control			
-RMJ ⁴⁾	104.44 ± 33.62 ^{ab}	40.89 ± 8.02 ^a	1.55 ± 0.57 ^{ab}
-OMJ	67.85 ± 43.60 ^b	32.83 ± 9.62 ^a	1.06 ± 0.64 ^b
-SMJ	63.80 ± 8.48 ^b	42.85 ± 9.15 ^a	0.48 ± 0.07 ^c
-RWJ	124.43 ± 31.08 ^a	44.26 ± 8.58 ^a	1.81 ± 0.45 ^a

1) Values are mean ± SEM, n=8

2) TC : Total cholesterol, HDL-C : High density lipoprotein cholesterol,

3) Within a given column, those values with different superscripts are significantly different at p<0.05

4) RMJ : Raw, milled job's tears, OMJ : Roasted, milled job's tears, SMJ : Steamed, milled job's tears, RWJ : Raw, whole grain job's tears

Table 2. The effect of job's tears on the level of free fatty acid and triglyceride of plasma and tissues in rats.1)

	Plasma		Liver	Muscle
	FFA ²⁾ (mg/100ml)	TG (mg/100ml)	TG (mg/g)	TG (mg/g)
Normal	42.7±8.5 ^{b3)}	107.0±68.3 ^b	19.9±11.9 ^{ab}	15.2±6.8 ^a
Diabetic -control	97.3±56.6 ^a	334.2±258.4 ^a	34.2±18.4 ^a	15.8±9.7 ^a
-RMJ ⁴⁾	52.1±18.5 ^b	128.0±51.0 ^b	6.4±0.3 ^b	13.9±5.4 ^a
-OMJ	70.0±21.0 ^{ab}	125.0±116.7 ^b	11.5±5.8 ^b	13.7±7.2 ^a
-SMJ	63.7±23.3 ^b	178.9±89.0 ^b	9.9±4.5 ^b	13.4±5.6 ^a
-RWJ	53.5±25.1 ^b	124.0±84.1 ^b	8.6±4.6 ^b	10.8±7.7 ^a

1) Values are mean ± SEM, n=8

2) FFA : free fatty acid ; TG : triglyceride

3) Within a given column, those values with different superscripts are significantly different at p<0.05

4) RMJ : Raw, milled job's tears, OMJ : Roasted, milled job's tears, SMJ : Steamed, milled job's tears, RWJ : Raw, whole grain job's tears

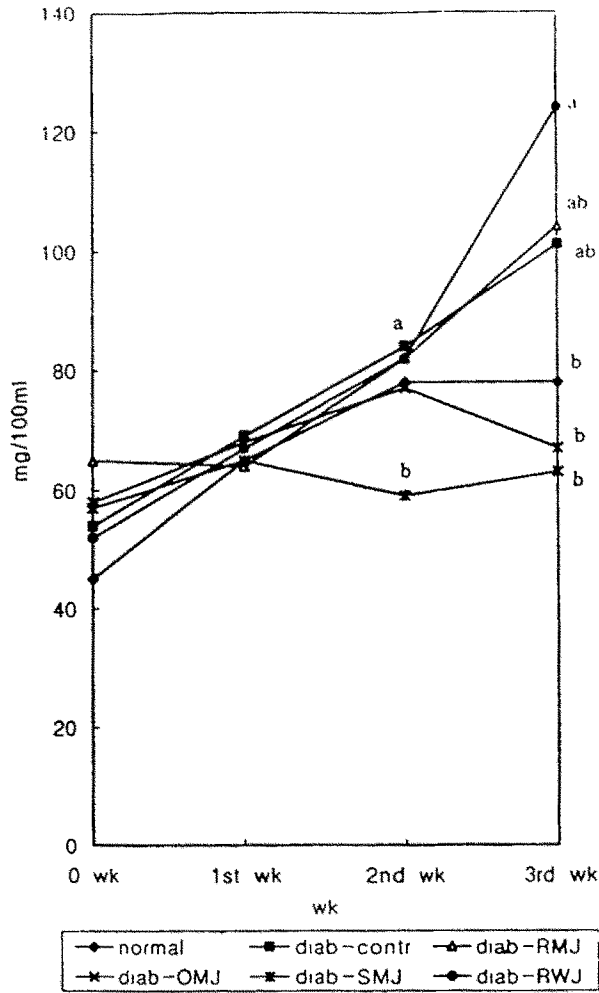


Fig. 1. The effect of job's tears on the change of plasma cholesterol in rats.(within a given column, those values with different letters are significantly different at $p < 0.05$: RMJ=raw, milled job's tears: OMJ=roasted, milled job's tears: SMJ=steamed, milled job's tears: RWJ=raw, whole grain job's tears)

제 3 절. 울무의 생리활성 효과에 관한 연구

1. 울무의 지용성 및 수용성 성분 추출방법 확립

가. 연구내용

문헌조사를 통해 울무의 유효성분을 지용성 성분과 수용성 성분으로 추정을 하여 추출 용매를 chloroform + methanol 혼합물 과 methanol 로 나누어 실험을 통하여 추출방법의 적정조건을 확립하였다.

나. 연구결과

1) Methanol 추출법

가) 울무가루 20 Kg을 2 Kg씩 나누어, 울무가루 2 kg를 5kg 이상 들이 유리병에 담고 methanol을 울무가 잠기도록 충분히 부어 하루동안 방치한다.

나) 환류냉각기를 연결한 후 3시간 이상 증탕을 한 후 냉각시킨 후 상등액을 따라낸다. 이 과정을 4 회 반복한다.

다) 위 상등액을 여과지에 여과시켜 순수액체 성분만을 얻은 후 감압상태에서 1 차 농축시킨다.

라) 1 차 농축액을 동결건조기에서 2 차 농축하여 고체상태로 만든 후 마쇄하여 분말 상태로 만든다.

2) Chloroform + methanol 추출법

가) 울무가루 20 Kg을 2 Kg씩 나누어, 울무가루 2 kg를 5kg 이상 들

이 유리병에 담고, chloroform과 methanol을 2:1로 혼합한 혼합액을 울무가 잠기도록 충분히 부어 하루동안 방치한다.

- 나) 환류냉각기를 연결한 후 3시간 이상 증탕을 한 후 냉각시킨 후 상등액을 따라낸다. 이 과정을 4 회 반복한다.
- 다) 위 상등액을 여과지에 여과시켜 순수액체 성분만을 얻은후 감압 상태에서 1 차 농축시킨다.
- 라) 1 차 농축액을 동결건조기에서 2 차 농축하여 고체상태로 만든 후 마쇄하여 분말 상태로 만든다.

2. 울무 추출물 식이가 당뇨병의 지질 대사에 미치는 영향 연구

가. 연구내용

160~180g의 Sprague-Dawley(삼육실험동물)56마리를 AIN-76식이를 1주일간 섭취시켜 분말식이에 적응시키고 유사한 대사 상태를 만든 다음, 이중 49마리를 공복시 미정맥으로 Streptozotocin을 주사한 하루후 혈당을 조사하여 당뇨 발생여부를 확인하였다. 이들 동물을 정상대조군, 당뇨대조군, 당뇨-methanolx4군, 당뇨-methanolx2군, 당뇨-methanolx1군, 당뇨-chloroform-methanolx4군, 당뇨-chloroform-methanolx2군, 당뇨-chloroform-methanolx1군으로 나누었다. 실험 식이는 대조군식이(AIN-76)와 울무추출물 첨가(Table 1)를 제외한 일반 성분이 같게 하여 3주간 공급하였다.

시료 채취는 매주 화요일에 섭식 상태에서 안구경총맥에서 채혈하여 혈당, 총콜레스테롤, 중성지방을 분석하였으며, 3주말에 단두로 희생하였다. 희생 직후 Heparinized tube에 혈액을 모아 원심분리하여 혈장을 취하고 장기와 뒷다리 상단부의 백색근육을 적출 하였

다. 혈액과 조직은 분석할 때까지 -40℃에서 냉동 보관하였다. 식이 섭취량은 매일, 체중 변화량은 일주일 단위로 같은 시간에 측정했으며, 식이 이용효율은 총식이 섭취량에 대한 체중 증가량의 비율로 구하였다.

나. 연구결과

당뇨의 상태에 대한 간접적이나 장기간 효과 측정 방법으로 체중 증가량 및 식이 이용 효율을 측정하였고 직접 측정 법으로는 섭식시 혈액의 포도당 수준을 측정하였다.

1) 체중증가량 및 식이이용효율(Table 2)

모든 군의 식이 조성은 섬유소의 양과 열량을 같게 하였음에도 불구하고 당뇨군의 체중증가는 정상군보다 유의하게 낮았으며 당뇨군 중에서는 유의한 체중 차이가 없었다. 그러므로 당뇨군이 정상군에 비해 체중증가 정도가 낮았으며, 울무추출물식은 당뇨 군에서의 체중증가나 식이 이용 효율에는 영향을 미치지 않았던 것으로 생각된다.

2) 기간에 따른 혈장 포도당 수준 변화(Table 3)

Streptozotocin 유발 당뇨쥐에서 울무 추출물 식이 섭취에 의한 생리 활성 효과를 섭식시의 혈당 수준의 변화를 측정한 결과, methanol 추출물 식이나 chloroform + methanol 추출물 식이에 의한 저당뇨 효과는 배합비율에 관계없이 통계적으로 유의하지 않았으므로 1차년도 결론과 같이 민간에 알려진 울무에 의한 저당뇨 효과는 울무에 함유되어 있는 식이 섬유소의 효과로 추정된다.

3) 기간에 따른 혈장 콜레스테롤 수준 변화(Table 4)

혈장 콜레스테롤 수준은 정상군이 실험 전 기간을 통하여 변화가

없었으나 당뇨군은 모두 당뇨 유발 직후에는 급격히 증가되었으나 당뇨 기간이 길어질수록 점차 감소하는 추세였으며 같은 군내의 동물간의 변이가 심하여 올무추출물 첨가효과에 대한 유의한 결론을 내리기 어렵다.

4) 기간에 따른 혈장 중성지방 수준 변화(Table 5)

혈장 중성지방 수준은 당뇨군이 정상군에 비해 실험 전 기간을 통하여 현저히 높았다. 당뇨 대조군은 당뇨 기간이 길어질수록 현저하게 증가하였으나 CM군은 첨가 비율에 관계없이 증가하지 않았으며, M군은 첨가비율이 증가할수록 당뇨 기간이 길어짐에 따른 증가 비율이 둔화되었다.

5) 혈장 지질 성상(Table 6)

혈장 유리지방산 수준은 당뇨 대조군에 비해 첨가 비율에 관계없이 CM군은 영향을 받지 않았으며, M군은 오히려 높았다. 혈장 중성지방수준은 당뇨 대조군에 비해 CM군은 첨가 비율에 관계없이 낮았으며, M군은 첨가 비율이 높을수록 낮아진 정도가 현저하였다. 혈장 콜레스테롤 수준은 같은 군내의 동물간의 변이가 심하여 올무추출물 첨가효과에 대한 유의한 결론을 내리기 어려웠으며, HDL-콜레스테롤은 CM군은 첨가 비율에 관계없이 당뇨 대조군에 비해 현저히 낮았다.

6) 조직의 콜레스테롤 및 중성지방 수준(Table 7)

간장 콜레스테롤 수준은 당뇨 대조군에 비해 첨가 비율에 관계없이 M군과 CM군 모두 영향을 받지 않았다. 간장 중성지방 수준은 당뇨 대조군에 비해 M군은 첨가 비율이 가장 높은 Mx 4군이 낮았으며, CM군은 첨가 비율에 관계없이 영향을 받지 않았다. 근육 중성지방 수준은 당뇨 대조군에 비해 M군과 CM군 모두 첨가 비율이 증가할수

록 낮아졌다.

7) 혈액 및 조직의 단백질 수준(Table 8)

혈액의 단백질 수준은 당뇨 대조군에 비해 CM군은 첨가 비율에 관계없이 높았으나 M군은 영향을 받지 않았다. 간장 및 근육의 단백질 수준은 같은 군내의 동물간의 변이가 심하여 울무추출물 첨가효과에 대한 유의한 결론을 내리기 어려웠다.

Table 1. The amount of Coix L. extract

	Methanol extract (g/kg)	Chloroform -Methanol extract (g/kg)
M ×1	10	
M ×2	20	
M ×4	40	
CM ×1		10
CM ×2		20
CM ×4		40

Table 2. The effect of Coix L. extract on the body weight change & food intake

	BW change (g)	Total food intake (g)
Normal	96.2±17.4	334.7
Diabetes -Control	-5.7±25.4	451.3
-M×1	-11.3±13.2	374.7
-M×2	-6.1±9.9	409.9
-M×4	-0.9±29.5	483.2
-CM×1	-0.8±26.2	498.4
-CM×2	3.5±15.2	404.1
-CM×4	2.8±25.3	476.9

Table 3. The effect of Coix L. extract on the level plasma total glucose in fed rats(mg/100ml)

	0 wk	1st wk	2nd wk	3rd wk
Normal	103 ± 15	129 ± 28	153 ± 27	139 ± 48
Diabetes-Control	432 ± 134	396 ± 82	282 ± 43	405 ± 145
-M × 1	467 ± 80	327 ± 38	353 ± 110	409 ± 26
-M × 2	570 ± 175	380 ± 106	364 ± 47	415 ± 89
-M × 4	604 ± 95	379 ± 89	367 ± 31	484 ± 148
-CM × 1	474 ± 147	322 ± 122	375 ± 38	513 ± 112
-CM × 2	544 ± 190	450 ± 146	407 ± 50	438 ± 78
-CM × 4	514 ± 55	442 ± 11	455 ± 132	563 ± 113

Table 4. The effect of Coix L. extract on the level plasma total cholesterol in fed rats(mg/100ml)

	0 wk	1st wk	2nd wk	3rd wk
Normal	94.0 ± 15.7	67.4 ± 9.6	79.4 ± 12.8	89.6 ± 10.3
Diabetes-Control	157 ± 67	97 ± 43	92.3 ± 18.4	97.8 ± 21.9
-M × 1	144 ± 26.5	126 ± 53.2	141 ± 63.6	126 ± 53.2
-M × 2	165 ± 52.1	98.5 ± 34.6	91.5 ± 36.1	128.5 ± 47.4
-M × 4	139 ± 35.7	168 ± 61.9	142 ± 70.1	118 ± 10.8
-CM × 1	151 ± 36.6	156 ± 45.6	98 ± 10.4	132 ± 54.7
-CM × 2	158 ± 36.4	156 ± 22.9	119 ± 18.3	115 ± 12.0
-CM × 4	163 ± 56	76.9 ± 14.2	77.5 ± 27.3	116.6 ± 13.7

Table 5. The effect of Coix L. extract on the level plasma triglucoside in fed rats(mg/100ml)

	0 wk	1st wk	2nd wk	3rd wk
Normal	175 ± 7.5	174 ± 57.4	182 ± 14.0	136 ± 36.7
Diabetes-Control	230 ± 44.4	250 ± 158	344. ± 195	412 ± 301
-M × 1	218 ± 79.5	236 ± 117	355 ± 102	439 ± 276
-M × 2	279 ± 175	171 ± 21.2	227 ± 89.1	383 ± 9.8
-M × 4	231 ± 103	285 ± 126	342 ± 132	275 ± 161
-CM × 1	202 ± 19.8	200 ± 54.9	258 ± 74.9	180 ± 122
-CM × 2	213 ± 64.5	179 ± 95.5	242 ± 87.8	190 ± 61
-CM × 4	215 ± 48.8	147 ± 48.0	208 ± 78.4	184 ± 77

Table 6. The effect of Coix L. extract on the plasma lipid profile in fed rats

	FFA (mg/100ml)	TG (mg/100ml)	TC (mg/100ml)	HDL-C (mg/100ml)
Normal	429 ± 88	136 ± 36	89.6 ± 10.3	15.6 ± 3.78
Diabetes-Control	536 ± 155	497 ± 279	97.8 ± 21.9	12.2 ± 4.15
-M × 1	746 ± 222	439 ± 276	126 ± 53.2	16.6 ± 5.32
-M × 2	997 ± 139	383 ± 9.8	128 ± 47.4	13 ± 4.24
-M × 4	846 ± 398	275 ± 161	118 ± 10.8	9.2 ± 6.97
-CM × 1	578 ± 175	180 ± 122	132 ± 54.7	0.4 ± 0.55
-CM × 2	538 ± 127	190 ± 61	115 ± 12.0	0.43 ± 0.53
-CM × 4	580 ± 250	184 ± 77	116.6 ± 13.7	0.25 ± 0.46

Table 7. The effect of Coix L. extract on the level of triglyceride in fed rats

	Plasma (mg/100ml)	Liver (mg/g)	Muscle (mg/g)
Normal	136 ± 36.7	18.5 ± 4.10	11.0 ± 2.38
Diabetes-Control	497 ± 270	25.7 ± 5.29	26.5 ± 11.6
-M × 1	439 ± 276	32.0 ± 13.9	17.8 ± 4.7
-M × 2	383 ± 98	27.2 ± 3.0	18.2 ± 8.2
-M × 4	275 ± 161	19.3 ± 3.56	14.1 ± 6.8
-CM × 1	180 ± 122	35.8 ± 11.4	23.4 ± 4.26
-CM × 2	190 ± 61	30.7 ± 14.9	16.3 ± 5.7
-CM × 4	184 ± 77	25.8 ± 16.9	10.3 ± 6.79

Table 8. The effect of Coix L. extract on the level of protein
in fed rats

	Plasma (mg/100ml)	Liver (mg/g)	Muscle (mg/g)
Normal	6.08 ± 0.51	345 ± 78	206 ± 43
Diabetes-Control	6.09 ± 0.76	437 ± 73	312 ± 111
-M × 1	5.50 ± 0.67	321 ± 43	217 ± 45
-M × 2	6.65 ± 0.49	346 ± 104	293 ± 78
-M × 4	6.99 ± 1.28	385 ± 91	273 ± 74
-CM × 1	7.56 ± 0.94	317 ± 137	246 ± 64
-CM × 2	7.37 ± 0.66	471 ± 193	290 ± 36
-CM × 4	7.30 ± 0.50	478 ± 107	221 ± 53

제 4 절. 울무의 물추출을 섭취한 건강한 실험쥐 의 간과 신장에서 항산화 효소 활성 효 과와 혈장의 지방 성분 변화

1. 서론

산소를 필요로 하는 호기성 생물에서는 산소의 대사 과정에서 superoxide 음이온 ($O_2\cdot^-$), hydroxy radical ($HO\cdot$), hydrogen peroxide(H_2O_2), singlelet oxygen(1O_2) 등과 같은 유리기들을 생성하게 되고 이것은 일단 생성된 후 즉시 제거되지 않으면 필연적으로 세포에 손상을 주게 된다고 알려져 있다. 유리기는 산소를 이용하는 생물체의 전자 전달계 및 여러 효소들에 의해 정상 대사 과정에서 생기기도 하고 X 선, 자외선, 약물, 화학발암 물질, 세균등 외부요인에 의하여 주로 세포내 미토콘드리아, 식균 세포 (phagocytes), peroxisome등에서 생성되며 이들이 생체 거대분자들인 지질, 단백질, 핵산 등을 공격하여 손상시키므로 노화와 암, 당뇨병, 관절염, 동맥경화증, 백내장등 노화관련 퇴행성 질환의 원인이 된다고 추정되고 있다. 생체 내에서의 유리기에 의한 생체 거대분자들의 손상이 주로 지질 과산화 (lipid peroxidation) 에 의해 시작된다는 가설이 제기되는데 이는 생체막을 구성하는 주된 성분인 인지질의 불포화 지방산 곁가지가 유리기에 의해 쉽게 손상되어 지질과산화물의 생성을 유도하거나 prostaglandin 의 생합성 등의 효소적 과정에 다량의 지질과산화물이 생성되기 때문으로 보고되고 있다. 지질과산화의 결

과로 생성된 지질과산화물 (lipid peroxide, LPO)은 분자내에 peroxide 결합 (-O-O-) 을 갖는 지질의 총칭으로서 hydroperoxide (ROOH) 가 일반적이기는 하나, 이 외에도 epiperoxide, polyperoxide, cyclic peroxide등이 알려져 있다. 이들은 모두 지질의 과산화반응의 초기 생성물인데 이들의 분해 또는 중합으로 생긴 malondialdehyde(MDA) 또는 steroid, lipofuscin도 LPO의 범주에 속한다. 생성된 지질 과산화물이나 유리기들은 효소와 핵산을 비롯한 세포의 구성 성분을 공격하여 세포의 구조적 및 기능적 손상을 초래하게 되고 이에따라 뇌졸중이나 심근 경색과 같은 심혈관계 질환을 일으키기 쉬워진다고 알려져 있다. MDA는 반응성이 높은 물질로 세포의 기능을 손상시키고 Lipofuscin의 축적을 초래하여 생체에 해로운 영향을 미치며 또한 세포에서 세포로, 조직에서 조직으로 이동할 수 있어 인접한 생체 분자를 연속적으로 손상시킬 수 있다. 그러나 다행히도 생체는 세포의 정상적인 대사 과정 중 생기는 반응성 산소 대사물과 이를 제거하기 위한 세포내외의 항산화 물질이 서로 균형을 유지하고 있다. 생물학적 반응으로 생성된 산소 유리기를 제거시켜 생물체를 보호하는 효소적 방어계로는 catalase, superoxide dismutase, glutathione peroxidase, glutathione-s-transferase가 있으며 비효소적 방어계로는 glutathione, transferrin, albumin, lactoferrin, ceruloplasmin 등의 단백질성 물질과 ascorbic acid, tocopherol, beta-carotene, 및 selenium 등의 비단백질성 물질이 있다.

GSH-peroxidase는 GSH 를 매개로 여러 종류의 peroxide를 제거하는 일을 담당하며 glutathione-s-transferase는 이물질등의 독성물질을 conjugate 하여 비독성화하여 배설하는 효소이며 glutathione

은 자체가 갖는 항산화능과 더불어 다른 항산화효소의 활성을 유지하도록 도와주는 중요 항산화제의 하나이다. Catalase 는 H₂O₂를 H₂O와 O₂로 분해시키는 catalytic activity와 1 mol 의 과산화물(peroxide)을 소비시켜서 수소 공여체(methanol, ethanol, formic acid, phenol 등)를 산화시켜주는 peroxidic activity 를 나타내는 생체내 주요 항산화 효소이고 SOD 는 superoxide 음이온을 H₂O₂를 전환시켜 제거 시키는 효소이다. 이효소들이 유기적으로 연계되어 효율적인 방어계를 구축함으로써 효소 및 단백질, DNA 등의 손상을 방지한다고 제안되고 있다. 그러나 이러한 유리기 제거계의 활성이 저하되거나 혹은 유리기 생성의 촉진 등으로 인해 이들간에 균형이 깨어졌을 때 조직은 지질과산화에 의한 과산화적 손상을 입게 되어 노화나 염증 반응, 성인병을 촉진시키게 되고 나아가 암과 같은 퇴행성 질환을 유발하게 된다.

최근 건강식품 소재로 사용되고 있는 울무의 약효 성분은 주로 뿌리와 종자에 있으며, 건위, 이뇨, 진통, 진경 및 자양 등에 효과가 있다. 이러한 약효 성분중 뿌리에서 분리된 Coixol 이라는 성분은 진통작용을 갖고 있다. 종자에서 추출한 coixenolide 성분은 항종양 효과가 있다고 보고되고 있다. 이 성분은 정백 울무에는 0.25% 정도 함유되어 있고, 현미 울무에는 정백 울무보다 약간 많은 0.35% 정도 함유되어 있다고 보고 되었다. 또한 울무는 혈장 콜레스테롤 및 트리글리세라이드 함량을 저하시키고, HDL-콜레스테롤 함량을 증가시키는 효과가 있는데, 혈장 콜레스테롤치 저하작용은 간장에서 콜레스테롤 합성을 억제하는 것이 주 요인이라고 보고되고 있다.

민간요법에 이용되는 경우로는 이뇨, 건위제, 각기, 근육통과 신경통 등의 치료 효과를 나타낸다고 보고 됐다. 이와 더불어 이나 잇몸

이 아플 때 울무 뿌리를 물고 있으면 유효하다는 발표도 있다. 이와 같은 많은 기능을 가진 울무이지만 정작 울무의 물추출에서 항산화 성 생리 활성의 효과에 대한 연구가 전무한 형편이다. 그리하여 울무를 물에 침지하여 물추출을 섭취한 실험쥐의 간과 신장에서 항산화 효소 활성도와 혈장에서의 지방조성을 측정하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 실험 재료

울무는 경기도 연천군 전곡면 농협 소속 울무 가공 공장으로 부터 확보하여 사용하였다. 울무 가루 와 증류수를 1:1 비율로 혼합한 다음 침지한 후 여과액을 분리된 물성분으로 하여 사용하였다.

나. 실험 계획

실험 동물은 Sprague-Dawley 종으로 이유를 시작한 4주짜리 수컷 흰쥐를 10일간 기본식으로 적응시킨 후, 평균체중이 $120 \pm 10g$ 인 것을 무작위로 추출하여 각 군당 15마리씩 나누어 stainless steel cage 에 한 마리씩 분리하여 3주간 사육시켰다. 실험 동물은 대조군, 울무 물추출군, 울무 잔사군으로 나누었다(Table 1). 사육실의 온도는 $20 \pm 2^{\circ}C$ 로 유지하였으며 조명은 12시간 주기로 조절하였다.

본 실험에서 사용한 기본 식이는 AIN-76 식이 조성에 준하였다.

다. 울무의 수용성 성분 및 수용성 추출 잔사의 성분 분리

울무의 수용성 성분의 추출을 용이하게 하기 위해 분말로 만들었다. 울무 섭취시 울무를 침지 후 사용하는 과정을 통하여 발생하는

영양소 손실과 생리활성 성분의 손실을 고려하여 울무 분말 2 Kg 당 물 2l 에 5시간을 침지 상등액을 취하여 울무 물추출로 하고 잔사는 상온에서 건조하였다.

라. 동물 실험을 통한 생리 활성 분리

1) 실험 동물 식이 및 사육

실험 동물은 Sprague-Dawley 종으로 이유를 시작한 4주짜리 수컷 흰쥐를 10일간 기본 식이로 적응 시킨후, 평균체중이 $120 \pm 10g$ 인 것을 무작위로 추출하여 각 군 당 15마리씩 나누어 stainless steel cage 에 한 마리씩 분리하여 3주간 사육시켰다. 실험 동물은 대조군, 울무 물추출군, 울무 잔사군으로 나누었다(Table 2). 사육실의 온도는 20 ± 2 °C로 유지하였으며 조명은 12시간 주기로 조절하였다. 본 실험에서 사용한 기본 식이는 AIN-76 식이 조성에 준하였다.

울무 물 추출물은 pellet 형태의 쥐 먹이를 만들 때 중류수를 대신하여 첨가되었으며 울무 잔사의 경우는 정상군의 식이에서 탄수화물의 20%로 대체시켰다.

2) 시료채취

사육기간 완료 전날 밤 실험동물을 12시간 절식시킨 후 에테르에 마취시킨 후 단두대에서 희생 시켰다. 혈액은 heparin (100 units/ml) 처리가 된 주사기에 수집해서 실온에 30분간 방치한 후 1500 rpm 에서 20 분간 원심 분리하여 혈청을 분리하였으며 분리된 혈청은 분석시까지 -40 °C에서 냉동 보관하였다. 장기는 (신장, 심장, 비장, 간장)이 희생직후 제거한 후 0.9 %식염수에 씻은 후 여과지에서 가볍게 수분을 제거한 후 무게를 측정하였다.

3) 혈장 중 지질 농도의 측정

가) 중성 지방 (Triglyceride, TG)

혈장 중성 지방은 Bucolo 방법에 준한 효소법에 의한 kit(신양화학약품)를 사용하여 측정하였다. 중성 지방에 lipoprotein lipase를 작용시켜 glycerol 을 유리한 후, glycerol kinase를 작용시켜 생성된 L-r-glycerol-3-phosphate를 L-r-glycerol phosphate oxidase, amino antipyrin과 peroxidase와 반응시켰다. 이때 생성된 quinone 형의 색소의 흡광도를 505nm에서 측정하였다.

나) 총콜레스테롤 (total cholesterol, TC)

혈중 총 콜레스테롤은 효소법(Allain)에 의한 kit(신양화학약품)를 사용하여 정량하였다. 즉 혈장 중 ester형의 cholesterol을 cholesterol esterase로 반응시켜 유리형 cholesterol로 만든 다음 이에 cholesterol oxidase를 작용시켜 형성된 cholest-4-en-one 을 peroxidase와 4-aminoantipyrine과 작용시켜 quinone 형 적색 색소를 생성시킨 후 500nm 에서 흡광도를 측정하였다.

다) HDL-cholesterol

HDL콜레스테롤은 효소법(Finley)에 의한 kit(신양화학약품)를 사용하여 측정하였다. Dextran-sulfate-Mg(II)을 혈장과 반응시켜 혈장내 HDL분획을 제외한 LDL과 VLDL을 침전시킨 후 상층액을 검체로 하여 cholesterol oxidase 방법으로 cholesterol 농도를 측정하였다.

라) 동맥경화지수 (Atherogenic index)

효소법에 의하여 측정된 total cholesterol 과 HDL-cholesterol로부터 다음식에 의해 산출하였다.

$$\text{Atherogenic index} = (\text{total cholesterol} - \text{HDL cholesterol}) / \text{HDL}$$

-cholesterol

4) 항산화효소 활성도 측정

가) 효소원의 제조

간조직은 채혈후 즉시 적출한 후 0.9% 생리식염수로 수회 세척하고 물기를 제거한후 무게를 측정하였다. 각 간엽에서 고르게 일정량 (2g)을 취하여 조직 1g 당 0.25M sucrose 용액을 5배 가하고 빙냉상태에서 glass teflon homogenizer(Kinematica,Switzerland)로 마쇄하였다. 마쇄액은 100,000 x g 에서 1 시간 원심분리하여 cytosol 분획을 Glutathione peroxidase, glutathione -s-transferase의 활성 측정에 사용하였다.

나) Glutathione peroxidase 측정

Glutathione peroxidase 활성도는 Paglia 와 Valentine 의 방법 (1967)으로 산화형 glutathione 이 glutathione reductase 와 NADPH에 의하여 환원될 때 NADPH의 흡광도가340nm 에서 감소하는 정도를 측정하였다. 즉 0.1M Tris HCl (pH 7.2) buffer 2.6 ml와 30 mM glutathione 0.1ml 를 넣고 6mM NADPH 용액 (0.1M Tris buffer NADPH, 5ug/ml) 0.1 ml 에 6.25uM H2O2 를 넣은 뒤 25℃ 에서 5분간 먼저 preincubation 시킨 뒤 여기에 0.1ml의 시료를 혼합하여 25℃ 에서 5분간 incubation 시킨 뒤 340nm에서 흡광도 변화를 측정하였다. 효소 활성의 1단위는 1분간 1 nmol의 산화형 NADPH 를 생성하는 효소의 양을 나타낸다.

다) Glutathione -S-transferase 측정

Glutathione-S-transferase 활성도는 Habig의 방법으로 1-chloro-2,4-dinitrobenzene과 glutathione이 반응하여 생성된 GSH-DNCB conjugate 를 이용하여 산출하였다. 즉 시료와

glutathione이 37 °C에서 2분동안 preincubation 시킨 뒤 여기에 5ul의 CDNB를 첨가하여 반응을 시킨다. 5분후 33% TCA를 25ul 첨가한다. 다시 5분간 600rpm에서 원심분리하여 340nm 에서 흡광도를 측정한다.

라) Glutathione 측정

Glutathione은 Tietz의 방법을 사용하여 glutathione이 DTNB와 binding 함으로써 oxidized glutathione으로 치환시킨후 glutathione reductase를 첨가하여 oxidized form을 reduced form으로 변환한 양을 측정하는 것으로 412 nm에서 흡광도를 측정한다. 즉 0.5g의 간, 신장 조직에 5% TCA 용액에 넣고 30초간 마쇄시킨다. 마쇄된 시료는 10,000 x g에서 5분간 원심분리하여 그 상등액을 시료로 사용한다. 준비된 시료에 DTNB, glutathione reductase, NADPH를 혼합한후 5분간 증가되는 흡광도를 측정한다.

5) 자료의 통계처리

실험결과는 SAS 통계 package를 사용하여 평균치와 표준 오차를 구하였으며, 대조군과 실험군간의 차이는 one-way ANOVA와 Tukey's test에 의해 $p < 0.05$ 수준에서 검증하였다.

3. 결과

가. 체중 변화 및 조직 중량의 변화

1) 체중변화

울무 물 추출 및 잔사 식이가 체중 증가에 미치는 영향은 Table 3에 나타난 바와 같이 처음부터 식이 2주까지는 울무 물추출군도 대조군과 유의한 차이를 나타내지 않았다. 그러나 3주에는 울무 물 섭

취군이 울무 잔사 섭취군과 더불어 대조군 보다 낮은 체중 증가를 보였다.

2) 조직 중량의 변화

간과 신장, 비장, 및 심장 조직의 체중은 각 실험 동물에서 적출된 상태의 것을 표로 나타내었다. 실험 전기간에 걸쳐 모든 조직의 체중은 체중 100g당의 상대적 중량에서는 실험군이 대조군보다 높은 경향을 보였다.

울무 물추출 및 잔사 식이가 장기 무게에 미치는 영향은 Table 4에 나타냈다. 장기 무게에 있어서 울무의 물섭취군과 울무 잔사의 섭취군이 대조군과 비교하여 유의적이 차이를 보이지 않았지만 비장에 있어서 실험군이 대조군보다 다소 큼을 보였다.

울무 물추출과 울무 잔사 식이가 식이 효율에 미치는 영향은 Table 5에 나타난 바와 같다. 울무 잔사의 섭취가 가장 낮은 식이 효율성을 보였다.

본 실험에서 체중변화 (Table 5)를 관찰한 결과, 실험 전기간에 걸쳐 대조군이 실험군보다 유의적으로 높은 체중을 보였다. 3주간의 실험 기간동안 대조군의 경우 15 마리당 92 g에서 50g의 증가를 보인 반면 실험군의 경우 울무 물추출군에서는 87g 에서 41g, 울무 잔사군 에서는 38g 에서 88g였다. 울무와 관련된 군에서는 많은 음식 섭취에도 불구하고 낮은 체중증가로 인해 식이 효율성이 낮게 나타났다.

나. 혈장 지질 수준의 변화

본 실험에서의 혈장 중 지질 농도 측정 결과는 Table 6 과 같다. 혈중 중성지방 함량은 울무 물 추출군에서 가장 낮게 나타났다. 대

조군과 울무 잔사군 에서는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 총 콜레스테롤에서도 울무 물추출군에서 가장 낮게 나타났으나 울무 잔사군에서는 대조군보다 높게 나타난 것을 볼 수 있었다. HDL과 LDL 의 비율에 있어서도 HDL은 높고 LDL은 낮게 보여짐으로 실험 동물에 있어서 울무 물추출군이 혈장의 지질성상을 좋게 하는 것으로 나타났다. 그러나 울무 잔사군은 HDL과 LDL level에 대조군과 유사한 결과를 나타냈다. HDL level에서는 울무 잔사군이 대조군보다 통계적인 유의차는 없었지만 숫적으로 높게 나타났으나 LDL level 에서도 대조군보다 높게 나타냄으로 울무 잔사군은 대조군과 비교했을 때 혈장에서의 지질성상을 좋게 할 수 있는 효과가 있다고는 볼 수 없었다.

특히 울무 물추출군은 동맥경화 지수에서도 낮은 수치를 보임으로 현재와 같이 과도한 지질의 섭취로 생기는 병에 예방 효과가 있음을 시사한다고 할 수 있겠다.

다. 항산화 방어계의 변화

1) 간, 신장 조직에서 glutathione 변화

간과 신장 조직중의 항산화효소 활성을 측정한 결과는 Table 7과 같다.

간에서는 실험군과 대조군 사이에 글루타티온 함량에 있어서 통계적인 유의차를 볼수 있었다. 신장조직에서는 통계적인 유의차를 대조군과 실험군 사이에서 볼수는 없었지만 울무 물 추출군에서 가장 높은 Glutathione을 양을 볼수 있었다. 울무의 물 추출군이 생체내의 항산화성을 높여줄 수 있음을 보여주고 있다. 이러한 증진된 항산화효과는 생체에서 스트레스나 많은 유리기와 반응하여 건강한 생

체를 유지할 수 있도록 도와준다고 할 수 있다.

2) 간, 신장에서 glutathione peroxidase 변화

간과 신장에서 glutathione peroxidase의 활성도 측정 결과는 Table 8과 같다.

울무 물 추출군은 신장에서 glutathione peroxidase의 높은 활성도를 보였다. 생체에서 가장 우선하는 방어체계인 glutathione peroxidase의 활성도를 높인다면 생체가 유리기나 이물질, 스트레스에 의한 생체 약화, 그외 독성으로부터 생체를 건강할수 유지할 수 있게된다. 그와 같은 시점에서 울무 물 추출군에서이 glutathione peroxidase의 증진 효과는 고무적인 결과라 할 수 있다.

3) 간, 신장에서 glutathione-S-transferase 변화

간과 신장에서 glutathione-S-transferase의 활성도 측정 결과는 Table 9와 같다.

Glutathione-S-transferase는 생체내에서 독성화 물질과 결합하여 무독화하여 배설시키도록하는 중요한 효소로서 이러한 효소의 활성화증진은 건강한 생체를 유지하기 위한 주요 체계라 할 수 있다. 울무 물 추출군에서는 간과 신장에서 증진으로 고무적인 결과를 얻을 수 있었으나 울무 잔사군에서는 대조군과 비교하여 간에서는 아주 낮은 수치를 보였다. 그러나 신장에서는 대조군과 비교하여 유의적인 차이는 없었지만 다소 높게 나타났다. 울무 물추출군이나 울무 잔사군 모두 신장에서 glutathione -s-transferase 의 활성도를 증진 효과가 있음을 알 수 있었다.

라. 간에서 콜레스테롤치와 중성 지방의 함량 변화

1) 간에서의 콜레스테롤치의 변화

아래의 Table. 10은 실험군과 대조군에 있어서의 콜레스테롤 치를 수치로 나타내고 있다. 간에서 콜레스테롤치가 울무 물 추출군에서 가장 낮게 나타났다. 이러한 낮은 수치는 울무의 물추출군이 간에서 항산화효소효소 활성도를 높이고 글루타티온의 활성을 높임과 동시에 콜레스테롤치를 낮춤으로서 현대의 급증하는 성인병을 감소시킬 수 있음을 시사한다고 할수 있다. 전체적 간의 무게로 했을때는 울무의 물추출군이 가장 좋은 효과를 보였고 울무 잔사군은 대조군과 유의차를 없음을 보였다. 간의 무게 그램당으로 환산을 했을때는 울무 물추출군이 가장 낮은 값을 보임에도 불구하고 통계적인 유의차가 없었다.

2) 간에서 중성지방의 함량 변화

Table 11에서는 간에서 중성지방의 함량을 간 전체 무게당과 간의 1그램당의 무게로 나타내고 있다.

간의 전체 무게당이나 1그램당에서는 실험군과 대조군에서 통계적인 유의차를 보이지 않았지만 숫자상으로는 가장 낮은 값을 보이고 있다. 울무 잔사군에서는 대조군보다 다소 높은 수치를 보이고 있다. 이같은 울무 물 추출군과 울무 잔사군에서 나타나는 차이의 메카니즘을 아직 정확히 밝혀지지 않았으므로 더 많은 연구가 수행되어야 하리라 사료된다.

4. 참고문헌

Fries JF. Crapo LM. Vitality and aging: Implications of the rectangular curve. WH Freemans. San Francisco. 1981

McDonald-Gilbson RG. Nigam S, Slater TF. ed. Prostaglandins and related substances, IRL. press : 243-257.1987

Tappl, A.L. in Biochemical and clinical aspect of oxygen. ed. Caughey, WS. Academic press, New York : 679-698, 1983

Tietze, F. Enzymatic method for quantitative determination of nanogram amounts of total and oxidized glutathione : applications to mammalian blood and other tissues. Anal. Biochem. 27. 502-522. 1969

Bradford, M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem. . 72, 248-254. 1972

Paglia DE. Valentine WN. Studies on the quantitative and qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase. J. Lab. Clin. Med. 70.158-159. 1967

Habig WH. Pabst MJ. Jakoby WB. Glutathione-S-transferase: the first enzymatic step in mercapturic acid formation. J. Biol. Chem. 249, 7130-7139. 1974

Table 1. Experimental groups

group	Diet
control	AIN 76 Normal diet
H2O extract	AIN 76 + yulmu H2O extract
Yulmu residue	Yulmu residue replaced 20% in AIN76
Diet	

Table 2. 식이 조성표

	control	H ₂ O extract	residue
Casein	20	20	20
DL-Methione	0.3	0.3	0.3
Corn oil	10	10	10
Mineral mixture	3.5	3.5	3.5
Vitamin mixture	1.0	1.0	1.0
choline bitartrate	0.2	0.2	0.2
cellulose	5	5	5
rice powder	60	60	48
yulmu residue	0	0	12
total	100	100	100
yulmu H ₂ O extract	0l	2l	0l
distilled H ₂ O	2l	0l	2l

Table 3. 체중 증가

기 간	0 wk	1 wk	2 wk	3 wk
control	87.5±20.2	132.4±27.5	144.1±21.1	160.3 ± 21.7
H ₂ O extract	85.9±22.7	136.1±16.4	147.2±20.6	150.7 ± 24.5
residue	86.7±19.9	135.8±23.7	141.5±21.2	145.4 ± 21.5

Table 4. 장기 무게

	liver	kidney	spleen	heart
control	4.75±0.8	2.0±0.1	0.55±0.15	1.20±0.3
H ₂ O extract	4.54±0.7	1.9±0.8	0.61±0.2	1.15±0.7
residue	4.84±0.9	2.1±0.9	0.63±0.18	1.28±0.9

FER (Food Efficiency Rate): 식이효율성 (체중 증가/식이섭취량)

Table 5. 체중증가와 식이섭취에 의한 식이효율성

	weight gain(g/3wk)	feed intake(g/3wk)	FER
control	72.8 ± 20.8	604.8 ± 67.2	0.12
H ₂ O extract	64.8 ± 23.8	623.7 ± 31.5	0.10
residue	58.7 ± 20.5	621.6 ± 57.8	0.09

Table 6. 쥐의 혈장에서 지방 조성비율표

mg/dl-bld	TG(mg/dl)	Cholesterol	HDL-Chol	LDL	A.I
control	105.60 ± 8.94a	84.54 ± 4.30ab	10.86 ± 2.53ab	52.2 ± 4.7a	6.78
H ₂ O extract	79.78 ± 8.85b	77.50 ± 5.53b	45.82 ± 9.56b	32.5 ± 6.6b	0.69
residue	105.70 ± 10.12a	107.23 ± 21.1a	17.47 ± 4.66a	60.4 ± 14.7a	5.13

Table 7. 간과 신장에서 glutathione 함량

GSH(μ mol/g tissue)	Liver	Kidney
control	11.95 \pm 0.58a	2.49 \pm 0.15a
H ₂ O extract	16.23 \pm 0.45b	2.58 \pm 0.12a
residue	14.64 \pm 0.26ab	2.54 \pm 0.18a

Table 9. 간과 신장에서 glutathione -s-transferase 의 활성도

GST(μ mol/g tissue/min)	Liver	Kidney
control	603.05 \pm 25.27b	127.34 \pm 19.29a
H ₂ O extract	731.18 \pm 46.12b	217.81 \pm 48.61b
residue	241.65 \pm 18.17a	134.67 \pm 35.76a

Table 9. 간과 신장에서 glutathione peroxidase의 활성도

GSH-Px(μ mol/g tissue/min)	Liver	Kidney
control	15.76 \pm 0.45a	3.34 \pm 0.36a
H ₂ O extract	17.16 \pm 1.48a	8.91 \pm 0.49b
residue	15.18 \pm 1.80a	4.29 \pm 0.41a

Table 10. 간에서의 cholesterol 함량 측정

Cholesterol	mg/liver	mg/g liver
control	21.24±2.04a	4.43±1.8a
H ₂ O extract	17.69±1.23b	3.95±0.23a
residue	22.55±1.81a	4.70±0.32a

Table 11. 중성지방의 함량 변화

TG	mg/liver	mg/g liver
control	32.19±3.55a	6.88±0.23a
H ₂ O extract	31.00±2.44a	6.82±0.45a
residue	34.59±4.37a	6.93±0.56a

제 4 장. 을무 부산물의 생리활성 효과

제 1 절. 울무 부산물의 식이가 혈중 콜레스테롤 강하 효과 및 지질대사에 미치는 영향 분석

1. 울무 부산물의 이화학적 성분 분석

가. 연구내용

본 실험에 사용된 울무부산물은 연천군 전곡농협에서 제공받은 것을 사용하였다. 울무 부산물의 일반 성분 분석은 AOAC¹⁷법에 의하여 분석하였다.

수분은 105℃에서 건조하였으며, 회분은 550℃에서 회화하였고, 단백질은 Kjeldahl법, 지방은 Soxhlet법, 당질은 anthrone¹⁸법, 조섬유는 AOAC법 (Hemne-berg-Stohman 개량법)¹⁵에 의해 측정하였다.

나. 연구결과

울무 부산물의 이화학적 성분을 분석한 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. 울무부산물의 이화학적 성분 함유량

성 분	함유량 (%)
수 분	5.8
단 백 질	2.3
당 질	70.4
지 방	1.5
회 분	20.0
조 섹 유	40.8*

2. 울무 부산물의 식이가 혈중 콜레스테롤 강하 효과 및 지질 대사에 미치는 영향 분석

가. 연구내용

실험 동물은 3주령의 Sprague-Dawley rat 수컷으로 일주일간 고품 사료로 예비 사육한 후 4군으로 임의 배치하였다. 실험 식이는 시판 고품사료 (삼양사료 주식회사)를 급여한 ① 정상대조군 (control, C)과 여기에 20% 울무겨를 첨가한 ② 정상울무겨군 (control coix vran, CB)의 경우 pellet 형태로 만들어주었고 ③ 고지방군 (High fat, F)과 여기에 20% 울무겨를 첨가한 ④ 고지방 울무겨군 (High fat bran, FB)은 Semipurified diet로 powder형의 식이었다.

시료 채취 및 분석방법은 12주간의 실험 사육이 끝난 동물은 12시간 절식시킨 후 단두로 희생하였고, 희생직후 단두된 부위로부터 혈액을 채취하였다. 혈액은 얼음에서 30분간 방치 후 3000rpm으로 20분간 원심분리하여 혈청을 얻었고 분석 전까지 -70℃에 냉동보관하였다. 희생직후 개복하여 간을 적출하여 생리식염수로 세척한 후, 약 3g을 KCl-PO₄ buffer (pH 7.4)로 균질용액을 만든 후 liquid nitrogen에 냉동 보관하였다. 혈청의 중성지방, 총 Cholesterol, HDL-cholesterol은 효소법에 의한 Kit를 이용하여 측정하였고 LDL-cholesterol은 Friedwald등이 발표한 LDL-cholesterol 산출방정식을 이용하여 계산하였다. 간의 중성지방, 총 Cholesterol은 Folch 법에 의해 lipid를 추출한 후 혈청과 같이 Kit를 이용하여 측정하였다

나. 연구결과

1) 식이 조성

정상대조군으로 사용한 고탄사료의 일반성분은 AOAC법에 의하여 분석하였고 총 에너지 중 당질 61%, 단백질 27%, 지방 12%로 구성되어 있으며 조섬유가 1.2% (wt %)이었다. 정상울무겨군은 고탄사료를 곱게 빻은 건조가루에 울무겨를 25% 첨가한 혼합물을 골고루 섞고 소량의 증류수를 첨가하여 stiff paste를 만든 틀에 부어서 pellet 으로 만들어 사용하였다. 에너지 구성비는 당질 63%, 단백질 25%, 지방 12%로 구성되었으며 조섬유가 9% (wt %)이었다.

고지방군의 에너지 구성비는 당질 38%, 단백질 16%, 지방 46%이며 섬유소는 2% (wt %)이었다. 고지방울무겨군의 에너지 구성비는 당질 39%, 단백질 18%, 지방 43%이며 섬유소는 10% (wt %)이었다. 식이 조성은 Table 1에 나타내었다.

2) 증체량, 식이섭취량 및 식이효율

12주간의 식이 섭취량은 각 실험군 사이의 유의적인 차이는 없었지만 고지방식이군의 경우 울무첨가군(FB)이 7주 이후부터 다른 식이군에 비해 약간 낮은 섭취량을 보여 12주 후의 총 에너지 섭취량이 F군에 비해 10% 정도 낮았다.

체중증가량은 정상식이군 및 고지방식이군 모두에서 울무겨 첨가군이 25-30% 낮아서 유의적인 차이를 보였다 (Table 2). 그러므로 울무겨 첨가군의 낮은 체중증가량은 에너지 섭취량 차이가 아닌 다른 원인이 있을 것으로 보인다. 또한 한동의 보고에서 고지방식이 및 정상식이군에 pectin이나 cellulose를 첨가해도 8주간의 식기급여 후 섬유소 무첨가군과 체중증가량에 차이가 없었음이 보고되어 울무겨군에서의 체중 차이가 단순히 섬유소뿐만은 아닐 것으로 사료

된다.

3) 혈청 지질수준

혈청 중성지방의 경우 통계적으로 유의적인 차이는 없었지만 정상식이군에서 올무겨 첨가가 약 20% 정도의 혈청중성지방이 감소되었다.

혈청 콜레스테롤 및 HDL-cholesterol의 경우 정상식이군 (C 및 CB) 및 고지방식이군 (F 및 FB) 모두에게 올무겨의 첨가효과는 볼수 없었다. 그러나 HDL- cholesterol과 total-cholesterol에서부터 동맥경화지수 (Atherogenic Index, TC- HDLcholesterol, AI)의 경우 올무겨 첨가가 정상식이군에서 약 35%, 고지방식이군에서 약 20%정도 감소하였다 (Table 3).

4) 간지질 함량

정상식이군의 경우 올무겨 첨가 식이가 간의 단위무게당 중성지방과 콜레스테롤 함량 및 전체간의 중성지방과 콜레스테롤 함량에 영향을 미치지 않았다. 그러나 고지방식이군의 경우 올무겨 첨가는 단위무게당 및 전체간에서 중성지방과 콜레스테롤 함량이 45-55% 정도로 감소되어 큰 영향을 주었다. 그러나 간무게는 영향이 없었다 (Table 4).

Table 1. Composition of stock diet (commercial chow diet) and experiments diets (g/100g diet)

	<u>Control</u>	<u>Kcal</u>	<u>Control-bran</u>	<u>Kcal</u>
	stock	%	stock diet +	%
	diet		25% coix bran	
Total sugars	53.5	60.9	47.5	63.6
Protein	23.5	26.8	18.2	24.4
Total lipid	4.8	12.3	4.0	12.0
Crude fiber	1.2		9.1	

<u>Ingredients</u>	<u>High</u>	<u>Kcal</u>	<u>High fat-bran</u>	<u>Kcal</u>
	fat	%	High fat + 25%	%
			coix bran	
Corn starch	37.5	38.4	28	42.3
Sucrose	10		7	
Casein	20	16.2	15	15.3
DL-Met	0.3		0.2	
Lard	25		20	
Salt mixture ¹⁾	4		3	
Vitamine mixture ²⁾	1	45.5	1	42.4
Cellulose	2		1	
Choline biotaratite	0.2		0.2	
Coix bran			20	

1) AIN - 76 vitaimime mix

2) AIN - 76 mineral mix

Table 2. Energy intake, weight gain and food conservation efficiency

	Energy intake	wt gain	FCE
	Kcal/12wk	g/12wk	g/Kcal
C	6241 ± 202	337 ± 28	5.5 ± 1.4
CB	6233 ± 93	234 ± 7	3.8 ± 0.3
F	6098 ± 91	319 ± 8	5.2 ± 0.3
FB	5463 ± 205	242 ± 6	4.4 ± 0.2

*

FCE : food conservation efficiency
 weight gain (g)/energy intake (Kcal)

* Mean ± SE

Table 3. Serum triglyceride, cholesterol, HDL-cholesterol and atherogenic index

Group	TG(mg/dl)	TC(mg/dl)	HDL-C(mg/dl)	AI
C	108.2 ± 9.8	64.8 ± 8.1	36.8 ± 4.5	0.8 ± 0.1
CB	80.0 ± 6.1	59.0 ± 4.9	39.6 ± 3.9	0.52 ± 0.1
F	78.4 ± 9.8	86.7 ± 6.5	41.4 ± 2.6	1.45 ± 0.1
FB	83.8 ± 4.1	85.1 ± 7.7	39.5 ± 2.9	1.17 ± 0.1

* values are expressed as mean ± SE

Table 4. liver triglyceride and cholesterol concentration

Group	liver wt(g)	TG (mg/g)	TG (g/liver)	Cholesterol (mg/g)	Cholesterol (g/liver)
C	4.0 ± 0.3	40.9 ± 3.8	5.7 ± 0.1	59.1 ± 3.8	
CB	3.5 ± 0.3	37.6 ± 3.5	5.3 ± 0.3	54.5 ± 2.6	
F	16.4 ± 1.2	150.2 ± 8.8	16.8 ± 1.5	152.7 ± 9.8	
FB	9.3 ± 1.4 ^a	74.9 ± 9.8 ^a	8.5 ± 1.3 ^a	68.2 ± 9.	

3. 울무 부산물 식이가 저당뇨에 미치는 영향

가. 연구내용

실험동물에 streptozotocin을 복강 주사하여 당뇨병을 유발시킨다. 정상대조군은 buffer만을 주사한다. 실험군은 정상대조군 (Normal control, NC), 당뇨대조군 (Diabetic control, DC), 당뇨울무겨군 (Diabetic coix bran, DB)으로 나누어 4주간 사육하였다. 대조군은 시판 고탄사료를 공급하였고 울무겨군은 고탄사료에 울무겨 25%를 섞어 고탄사료와 같은 pellet의 형태로 만들어 공급하였다.

나. 연구결과

실험동물은 4주경의 sprague-dawley rat 수컷으로 일주일간 고탄사료로 사육한 후 0.1M citrate buffer (pH 4.5)에 용해시킨 streptozotocin을 1회 (65mg/Kg BW) 복강 주사하여 당뇨병을 유발시켰다. 정상대조군은 buffer만을 주사하였다. 당뇨병의 확인은 주사 5일 후 16-20시간 절식시키고 꼬리에서 혈액을 취하여 혈장중 포도당 농도가 300mg/dl이상인 것만을 당뇨병이 유발된 것으로 간주하였다.

4주간의 실험 사육이 끝난 동물은 16-20시간 절식시키고 꼬리에서 혈액을 채취하여 혈청을 분리하였다. 당내성 (glucose tolerance test, GTT) 시험을 위해 위의 혈액을 채취한 것을 0분 sample로하고 혈액 채취직후 포도당을 복강주사하고 30분, 60분, 120분 후에 다시 꼬리에서 혈액채취하고 단두하여 희생하였다. 희생직후 혈액 및 간

을 채취하여 분석하였다.

또한 울무겨의 첨가는 당뇨병 쥐에서 당내성을 호전시켜 glucose tolerance test에 좋은 결과를 나타내어 당을 섭취한 60분 후부터 혈당이 현저히 감소되는 경향으로 나타났다 (Fig. 1) .

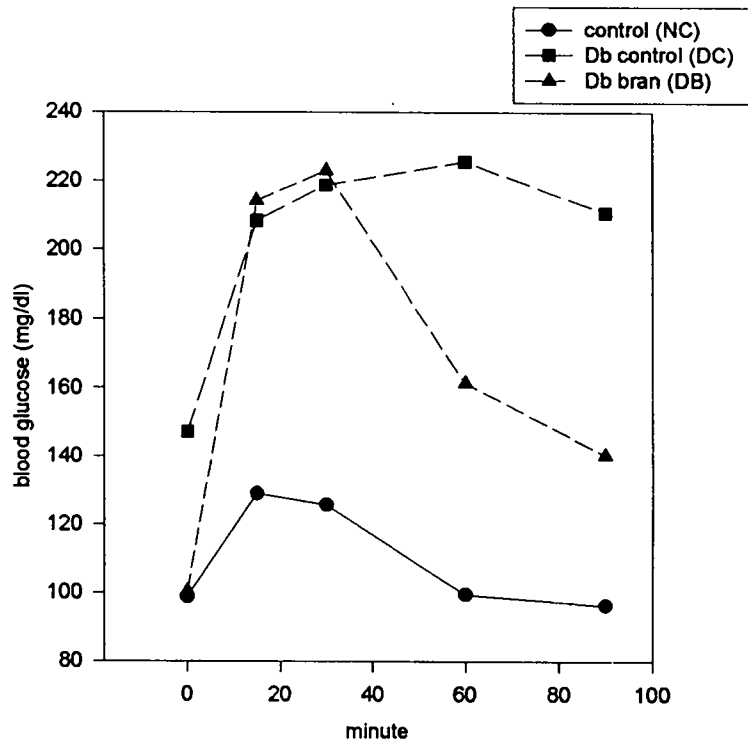


Fig. 1. Glucose tolerance test of normal and dibetic rats

제 2 절. 울무부산물의 생리활성 효과 연구

1. 울무부산물에서 추출된 지용성 및 비지용성 성분이 지질대사에 미치는 영향 분석

가. 연구내용

울무부산물의 지질 성분 함량은 1.5%로 매우 낮아서 추출된 지용성 성분은 양적으로 매우 적은 양이었기 때문에 식이로 급여하지 못하고 복강 주사하였다. 비지용성 성분인 잔사군은 Semipurified diet로 급여하였다.

3주된 Sprague-Dawley종 수컷을 일주일간 고탄사료로 예비사육 후 4군으로 임의 배치하였다. 실험군은 ①3주간 고지방식으로 사육한 후 5% Tween 0.5ml를 4일간 복강주사한 지용성 성분 대조군(LC) ②3주간 고지방 식이로 사육한 후 울무부산물에서 추출된 지용성 성분을 300mg/Kg 체중으로 4일간 복강주사한 지용성 성분군(LL) ③고지방식이를 3주간 급여한 비지용성 성분 대조군(NC) ④고지방식이에 25%의 울무부산물 잔사 (비지용성 성분)를 첨가한 비지용성 성분군(NN)으로 나누었다.

실험사육이 끝난 후 공복상태에서 단두로 희생하여 혈액을 채취하여 혈청을 분리하였다. 희생직 후 간을 적출하여 KCl-PO₄ buffer pH 7.4로 균질용액을 만든 후 액체질소에 보관하였다. 혈청의 중성지방, 총콜레스테롤, HDL-콜레스테롤은 효소법에 의한 Kit를 이용하여 측정하였고, LDL-콜레스테롤은 Friedwald법에 의하여 계산하였

다. 간의 중성지방, 총콜레스테롤은 Folch법에 의하여 Lipid를 추출한 후 혈청과 같은 방법으로 측정하였다.

나. 연구 결과

1) 식이조성, 증체량 및 식이섭취량

고지방식이의 에너지 구성비는 당질 30%, 단백질 18%, 지방 52%이며 섬유소는 8% (wt %)이며, 식이조성은 Table 1에 나타내었다.

3주간의 식이섭취량 및 체중증가량은 각 실험군 사이의 유의적인 차이는 없었다.

2) 혈청에서의 지질 수준

올무 부산물의 지용성 추출물 투여 (LL)는 대조군 (LC)에 비해 혈청 콜레스테롤 함량을 약 40%로 감소시켰으나 중성지방이나 HDL-콜레스테롤 함량에는 영향을 주지 못하였다. 올무 부산물의 비지용성 잔사 급여 (NN)는 대조군 (NC)에 비해 혈청 중성지방 함량을 44% 감소시켰으나 혈청 총 콜레스테롤 및 HDL-콜레스테롤 함량에는 효과가 없었다 (Table 3).

3) 간지질 함량

올무겨의 첨가는 당뇨병이 유발된 쥐에서 간의 중성지방과 콜레스테롤 함량을 감소시켜 정상쥐의 수준으로 낮추는 효과를 나타내었다.

올무 부산물의 지용성 추출물 투여 (LL)는 대조군 (LC)에 비해 간의 중성지방 함량을 약 15-20% 감소시켰으나 콜레스테롤 함량에는 영향을 주지 못하였다. 올무 부산물의 비지용성 잔사 급여 (NN)는 대조군 (NC)에 비해 간의 중성지방이나 콜레스테롤에 영향을 주지 못하였다.

Table 1. Composition of experimental diet (g/100g diet)

Ingredients	고지방군 (CL, LL,CN)	울무부산물 잔사 (비지용성 성분)
Casein	20	20
DL-Met	0.3	1.3
*Min-Mix	4	4
**Vit-Mix	1	1
Cholin-bitartrate	0.2	0.2
Lard	2.5	25
Cellulose	8	0
Sucrose	10	10
Corn Starch	31.5	20
Coix Bran-remnants	0	25

* AIN-76 Vitamin mix ** AIN-76 Mineral mix

Table 2. Energy intake and Weight gain

Group	Energy intake (kcal/3wk)	W.T gain (g/3wk)
LC	1447.7 ± 23.5	137.5 ± 3.5
LL	1386.5 ± 38.9	135.8 ± 4.1
NC	1478.5 ± 34.6	141.7 ± 5.7
NN	1451.7 ± 44.2	130 ± 10.6

Table 3. Serum TG, TC, HDL-chol. (mg/dl)

Group	TG	TC	HDL-chol.
LC	101.4 ± 10.1	111.2 ± 12.7	48.2 ± 8.3
LL	147.6 ± 23.9	70.1 ± 8.4*	51.4 ± 7.5
NC	221.4 ± 36.4	87.9 ± 17.5	59.7 ± 5.3
NN	124.9 ± 16.9*	104.2 ± 7.3	58.4 ± 7.2

* Significantly different at $p < 0.05$

Table 4. Liver TG and TC

	TG(mg/g)	TG(mg/liver)	chol.(mg/g)	chol.(mg/liver)
LC	4.3±0.6	47.8±8.7	1.7±0.2	18.7±3.7
LL	3.7±0.6	37.2±7.5	2.3±0.5	23.0±5.7
NN	5.2±1.1	55.4±11.8	1.5±0.3	16.2±3.7
NC	4.5±0.5	49.6±9.1	1.6±0.2	18.1±2.7

2. 올무 부산물 식이가 저당뇨에 미치는 영향

가. 연구 내용

실험 동물에 streptozotocin을 복강 주사하여 당뇨병을 유발시킨다. 정상대조군은 buffer만을 주사한다. 실험군은 정상대조군 (Normal control, NC), 당뇨 대조군 (Diabetic control, DC), 당뇨 올무겨군 (Diabetic coix bran, DB)으로 나누어 4주간 사육하였다. 대조군은 시판 고품사료를 공급하였고 올무겨군은 고품사료에 올무겨 25%를 섞어 고품사료와 같은 pellet의 형태로 만들어 공급하였다. 실험 동물은 4주령의 sprague-dawley rat 수컷으로 일주일간 고품사료로 사육한 후 0.1M citrate buffer (pH 4.5)에 용해시킨 streptozotocin을 1회 (65mg/Kg, BW) 복강 주사하여 당뇨병을 유발시켰다. 정상대조군은 buffer만을 주사하였다. 당뇨병의 확인은 주사 2일 후 16-20시간 절식시키고 꼬리에서 혈액을 취하여 혈장중 포도당 농도가 300mg/dl이상인 것만을 당뇨병이 유발된 것으로 간주하였다.

4주간의 실험 사육이 끝난 동물은 16-20시간 절식시키고 75mg/kg의 glucose를 복강 주사한 후 0, 15, 30, 60, 90분후의 혈액을 안구 정맥에서 채취하여 glucose tolerance test 시료로 한 후 단두하여 희생한다. 희생직 후 혈액을 받아 3,000rpm에서 20분간 원심분리하여 혈청을 분리하고 간은 적출하여 KCl-PO₄ buffer로 균질화 한 후 액체질소에 분석 시까지 보관한다.

간의 지질함량은 folch 법으로 지질을 추출한 후 중성지방, 총 콜레스테롤 함량을 효소를 이용한 kit를 사용하여 분석하였다. Glucose tolerance test를 위한 혈당은 효소법에 의한 kit (영동제

약)를 사용하였다.

나. 연구 결과

1) 혈청 지질 함량

울무겨의 첨가는 당뇨병이 유발된 쥐에서 간의 중성지방과 콜레스테롤 함량을 감소시켜 정상쥐의 수준으로 낮추는 효과를 나타내었다.

울무겨의 첨가는 당뇨병이 유발된 쥐에서 혈청 중성지방 함량을 감소시켜 정상쥐의 수준으로 낮추는 효과를 나타내었고 그러나, 분석된 다른 지질 함량에서는 유의적인 효과를 나타내지 못하였다.

Table 1. Liver TG and TC

Group	TG (mg/g)	TC (mg/g)
NC	14.7± 1.5	1.1 ± 0.2
DC	18.7 ± 1.7	1.8 ± 0.3
DB	15.3 ± 2.7	1.1 ± 0.2

Table 2. Serum TG, TC, HDL-, LDL-cholesterol and atherogenic index

Group	TG (mg/dl)	TC (mg/dl)	HDL-cholesterol (mg/dl)	LDL-cholesterol (mg/dl)	A.I.
NC	69.2 ± 6.5	68.8 ± 6.5	44.8 ± 0.7	17.2 ± 1	0.7 ± 0.1
DC	90.9 ± 6.3	84.1 ± 2.1	53.3 ± 5.3	17.2 ± 2.9	0.6 ± 0.1
DB	75.0 ± 1.8*	89.8 ± 10.8	53.1 ± 8.8	21.7 ± 1.7	0.7 ± 0.1