

원자력 사고후 오염 음식물을 가축의 사료로 이용에 대한 최적기간 결정 방법론 및 적용연구

A Methodology for Determining the Optimal Durations of Use Contaminated Foodstuffs As Feedstuffs of Cattle Following a Nuclear Accident and Its Application

황원태 · 서경석 · 김은한 · 최영길 · 한문희 · 최용호 · 조규성*

한국원자력연구소

*한국과학기술원

요 약

오염 음식물을 가축의 사료로 이용에 대한 최적기간 결정 방법론을 비용-편익 분석법에 근거하여 고안하였다. 많은 농작물의 왕성한 성장시기인 8월 15일을 방사성물질의 침적시점 (사고시점)으로 가정하여 잡식성 가축인 돼지에 대해 적용하였다. 또한 오염 음식물을 사람이 소비하지 않고 폐기시켰을 경우와 순이득을 비교하므로써 오염 음식물을 가축의 사료로 이용의 상대적 비용-효율을 고찰하였다. 침적후 음식물내 방사성물질의 농도는 동적 섭취경로모델 DYNACON으로부터 예측되었다. 대응행위에 따른 순이득은 폐폭부담과 금전비용에 의해 정량적으로 평가하였다. 오염 음식물을 가축의 사료로 이용에 대한 순이득은 핵종, 공급 음식물의 다양성, 공급기간 등에 따라 다양하게 나타났다. 이러한 대응행위는 ^{137}Cs 침적에 비해 ^{90}Sr 또는 ^{131}I 침적의 경우에 비용측면에서 보다 효과적이었다. 가능한 오염이 적은 음식물을 많이 공급하였을 때 최적기간은 길었다.

Abstract

A methodology for determining the optimal durations of use contaminated foodstuffs as feedstuffs of cattle was designed based on cost-benefit analysis. The results of application for pigs, an omnivorous cattle, were discussed for the hypothetical deposition of radionuclides on August 15 when a number of crops are fully developed in Korean agricultural conditions. Also, comparing with the case of the disposal of contaminated

foodstuffs without human consumption in terms of net benefit, the cost-effectiveness of use contaminated foodstuffs as feedstuffs was investigated. The time-dependent radioactivity in foodstuffs after the deposition was predicted using a dynamic food chain model DYNACON. The net benefit of the actions was quantitatively evaluated in terms of cost equivalent of doses and monetary costs. It depended on a number of factors such as radionuclides, variety of foodstuffs supplied as feedstuffs and duration of the actions. The use contaminated foodstuffs as feedstuffs was more cost effective for ^{90}Sr or ^{131}I depositions than for ^{137}Cs deposition. The relatively much supply of low-level contaminated foodstuffs made longer the optimal duration.

서 론

원자력 사고시 환경으로 방출된 방사성물질은 광범위하게 농작물을 오염시킴으로써 오염된 음식물섭취에 의한 인체의 방사능 위해 뿐 아니라 막대한 경제적, 사회적 피해를 주게 된다. 따라서 주민에 대한 피해를 줄이기 위해서는 적절한 대응조치가 요구되는데 국제원자력기구 (IAEA), 국제방사선방호위원회 (ICRP)와 같은 국제기관에서는 방사선 방호의 기본 원칙인 개입의 정당화와 방호의 최적화에 입각하여 체계적인 방법을 사용하여 사고에 대비하도록 권고하고 있다[1,2]. 방사성물질에 의한 음식물의 오염준위는 방호계획을 수립할 때 요구되는 필수정보로 직접 시료를 분석하거나 환경내 핵종이동 모델예측을 통해 알 수 있다. 모델예측에 의한 방법은 신속한 대응행위의 결정 뿐 아니라 장기 대책수립에 있어 보다 효과적이다. 사고시와 같이 단기간에 다량의 방사성물질이 농경지에 침적되어 음식물을 오염시키는 경우 방사성물질의 침적시점에 따른 농업 및 환경조건의 영향으로 환경내 방사성물질의 농도는 침적후 시간에 따라 매우 다양한 변화를 나타낸다. 따라서 환경내 방사성물질의 농도가 항상 일정하다고 가정하는 평형모델 (equilibrium model)로는 사고시 적절하게 대처할 수 없기 때문에 침적시점과 침적후 시간에 따른 방사성물질의 농도의 변화를 해석할 수 있는 동적모델 (dynamic model)이 요구된다. 우리나라의 농업 및 환경특성을 고려한 동적모델 DYNACON[3]이 한국원자력연구소에서 개발한 실시간 방사선피폭해석시스템 (FADAS : Following Accident Dose Assessment System)[4]에서 고려되는 여러 피폭경로중 음식물섭취에 의한 내부피폭을 평가하기 위한 모듈로서 개발된 바 있다.

본 연구에서는 비용-편익 분석법 (cost-benefit analysis)에 근거하여 원자력 사고시 경제성 측면에서 효과적이며 수행하기 용이한 대응조치의 한 방안으로 오염 음식물의 가축의 사료로 이용 방안에 대한 최적기간 결정 방법론을 고안하였다. 사고 시나리오를 가정하여 고안된 방법론의 적용결과를 잡식성 가축인 돼지에 대해 논의하였다. 또한 오염 음식을 사람

이 소비하지 않고 폐기시켰을 경우와 순이익을 비교함으로써 오염 식품물의 사료로 이용에 대한 비용측면에서의 효과를 고찰하였다. 대응행위에 따른 비용은 피폭부담과 금전비용만을 고려하여 평가하였으며, 최종 대응행위 결정에서 중요하게 고려해야 하는 정치·사회적 요소는 고려하지 않았다.

재료 및 방법

1. 육류성 식품내 방사성물질의 농도

DYNACON은 환경구성요소를 구간 (compartment)으로 나누고 구간간 핵종 이동을 해석하는 구간모델로 구간 i 에서의 방사성물질의 농도 X_i (Bq dry-kg⁻¹ 또는 Bq m⁻²)는 구간 i 로 방사성물질의 유입율과 유출율의 차이로써 표현된다.

$$\frac{dX_i}{dt} = \sum_{j=1}^n \lambda_{ji} X_j - X_i \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} \quad (1)$$

여기서,

λ_{ij} = 구간 i 에서 구간 j 로의 핵종 이동율 (d⁻¹),

n = 구간 i 의 오염에 영향을 미치는 구간수.

방사성물질의 침적시점과 지표위 방사성물질의 농도 (Bq m⁻²)의 자료가 입력되면 구간에 대한 연립 미분방정식의 수치해로부터 가축의 사료내 방사성물질의 농도를 얻는다. 육류성 식품내 방사성물질의 농도 $C(t)$ (Bq kg⁻¹)는 구간에 대한 수치해로부터 다음과 같이 해석적으로 얻을 수 있다.

$$C(t) = C(t-\Delta t) e^{-(\lambda_b + \lambda_d) \Delta t} + T_f \sum_k V_k \cdot X_{A,k}(t) \quad (2)$$

여기서,

Δt = 계산시간간격 (d),

λ_b = 가축의 생물학적 배설율 (= ln2/ $T_{1/2,b}$, d⁻¹),

λ_d = 방사능 붕괴상수 (= ln2/ $T_{1/2,d}$, d⁻¹),

$T_{1/2,b}$ = 가축의 생물학적 반감기 (d),

$T_{1/2,d}$ = 핵종의 물리적 반감기 (d),

T_f = 오염된 사료섭취에 의한 육류성 식품으로의 핵종 전이계수 ($d \text{ kg}^{-1}$),

V = 가축의 오염사료 섭취율 (dry-kg d^{-1}),

X_A = 사료내 방사성물질의 농도 (Bq dry-kg^{-1}),

k = 사료의 종류.

식 (2)의 오른쪽 첫번째 항은 오염사료 공급시작 시점부터 $t-\Delta t$ 까지 오염사료의 섭취로 인한 육류성 식품의 오염을, 두번째 항은 시간 t 에서 오염사료의 섭취로 인한 육류성 식품의 오염을 나타낸다. 만일 일정한 기간동안 오염사료를 공급한 후 도살 등을 위해 비오염사료로 공급하는 경우 육류성 식품내 방사성물질의 농도는 가축의 배설과 방사능 붕괴에 의해 다음 식에 따라 감소한다.

$$C(t) = C(t_f) e^{-(\lambda_r + \lambda_d)t} \quad (3)$$

여기서 $C(t_f)$ 는 비오염 사료공급 시작시점 t_f 에서 육류성 식품내 방사성물질의 농도 (Bq kg^{-1})를 나타낸다.

2. 최적기간 결정 방법론

원자력 사고시 비상대응 결정지원을 위해 여러 정량적 기법이 이용될 수 있는데 경제적인 이론에 입각하여 잘 확립되어 있고 가장 오랫동안 널리 이용되고 있는 기법은 비용-편익 분석법으로 대응행위를 수행함에 따른 비용은 피폭부담과 금전비용으로 표현된다. 오염된 음식물에 대한 경제·사회적 피해를 최소화하기 위해 다양한 대응행위가 고려될 수 있다. 그 중 오염된 음식물을 사람이 소비하지 않고 폐기시키는 것은 여러 대응행위 중 수행하기 용이하고 피폭부담 측면에서 가장 효과적이지만 경제적 측면에서는 많은 비용이 소요되는 단점이 있다. 다른 한 대안으로서 경제·사회적 피해를 줄이면서 수행하기 용이한 대응행위로 오염 음식물을 폐기하지 않고 가축의 사료로 이용하는 방안이 고려될 수 있다.

그림 1은 오염 음식물을 가축의 사료로 이용방안을 정량적으로 평가하기 위한 도식도를 보여준다. 오염 음식물을 공급하기 전까지는 수입사료와 같은 비오염사료가 가축에 공급되어 육류성 식품의 오염은 없다고 가정하였다. 오염 음식물은 수확후 임의의 기간 (r, d) 까지 일정하게 가축의 사료로 이용되며, 가축의 도살전 일정기간 (r', d)은 사람의 소비를 위해 비오염사료로 공급된다고 가정하였다. 비용-편익 분석법에 근거하여 한마리의 가축

에 대해 오염 식품물을 사료로 이용에 따른 순이익 (ΔB , \$)은 다음과 같이 모델링될 수 있다.

$$\Delta B = V_d \cdot b_d \cdot \tau - \alpha \cdot e \cdot M \sum_k C_k(t_s) \quad (4)$$

여기서,

V_d = 오염 식품물로 대체 가능한 가축의 바이오매스 사료섭취율
(dry-kg (animal · d)⁻¹),

b_d = 바이오매스 사료의 단가 (\$ dry-kg⁻¹),

α = 단위 선량당 금전가 (\$ Sv⁻¹),

e = 예탁 유효선량환산인자 (Sv Bq⁻¹),

M = 가축당 사람이 소비할 수 있는 육류성 식품의 양 (kg animal⁻¹),

$C_k(t_s)$ = 오염 식품물 k 의 공급으로 도살시점 t_s 에서 육류성 식품내 방사성물질의 농도 (Bq kg⁻¹).

식 (4)에서 오른쪽 첫번째 항은 바이오매스 사료대신 오염 식품물을 사료로 공급함으로써 얻는 금전적 이익을 나타내며, 두번째 항은 오염 식품물을 사료로 이용함으로써 육류성 식품내 방사성물질 농도의 증가에 따른 피폭의 금전적 부담을 나타낸다. 오염 식품물의 사료로 이용에 대한 정당화 및 최적기간은 수학적으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{정당화 : } \Delta B(\tau) > 0 \quad (5)$$

$$\text{최적화 : } \frac{\Delta B(\tau)}{d\tau} = 0 \quad (6)$$

오염 식품물을 가축의 사료로 이용에 따른 상대적 효과를 비교하기 위해 오염 식품물을 사람이 소비하지도 않고 그대로 폐기시키는 경우 순이익은 다음과 같이 모델링될 수 있다.

$$\Delta B = \alpha \cdot e \cdot \tau \sum_k V_k \cdot \bar{X}_{A,k} - \tau \sum_k V_k \cdot b_k \quad (7)$$

여기서 b 는 식품물의 단가 (\$ dry-kg⁻¹), \bar{X}_A 는 오염 식품물이 사료로 이용되는 기간 τ 동안 식품물내 평균 방사성물질의 농도 (Bq dry-kg⁻¹)이며 다음 식으로 평가할 수 있다.

$$\bar{X}_{A,k} = \frac{\int_{\tau} X_{A,k}(t) dt}{\tau} = \frac{\int_{\tau} X_{A,k}(t_k) \cdot e^{-\lambda_d t} dt}{\tau} \quad (8)$$

여기서 $X_{A,k}(t_k)$ 는 음식물의 수확시점 t_k 에서 음식물내 방사성물질의 농도 (Bq dry-kg^{-1}) 를 나타낸다. 식 (7)에서 오른쪽 첫번째 항은 오염 음식물을 사람이 소비하지 않았을 때 퍼할 수 있는 선량의 금전적 이득을 나타내며, 두번째 항은 그대로 폐기하였을 때의 금전적 손실을 나타낸다.

결과 및 고찰

본 연구에서 고안된 오염 음식물을 가축의 사료로 이용에 대한 대응행위 방법론을 잡식성 가축인 돼지에 적용하였다. 또한 오염 음식물의 사료로 이용에 대한 효과를 고찰하기 위해 오염 음식물을 사람이 소비하지 않고 폐기시켰을 경우와 비용측면에서의 순이득을 비교하였다. 우리나라의 환경에서 많은 농작물이 왕성하게 성장하는 8월 15일을 사고시점으로 가정하였으며, 이 경우 쌀 (성장기간 : 5월 1일 ~ 9월 30일), 콩류 (성장기간 : 5월 1일 ~ 9월 30일), 과일류 (성장기간 : 5월 1일 ~ 10월 10일)가 상대적으로 오염도가 높은 주요 농작물이다. 사료의 공급량중 약 85%는 수입사료, 15%는 사람이 소비한 후 남은 음식물 찌꺼기로 구성된다고 가정하였다[5]. 수입사료 공급분은 오염 음식물로 대체 가능하며, 사람이 소비한 후 남은 음식물 찌꺼기는 오염되지 않았다고 가정하였다. 사료로서 오염 음식물의 다양한 공급에 따른 효과를 해석하기 위해 다음 3가지 경우에 대해 고찰하였다.

Case I : 쌀 70%, 콩류 10%, 과일류 20%

Case II : 쌀 40%, 콩류 40%, 과일류 20%

Case III : 쌀 40%, 콩류 20%, 과일류 40%

사료로 오염 음식물의 다양한 공급에 따른 돼지의 체중 및 육질의 변화 등은 없다고 가정하였다. 오염 음식물을 사료로 공급은 쌀과 콩류가 수확된 10월 1일부터 시작되며, 과일류는 쌀이나 콩류보다 늦게 수확 (10월 10일)되므로 과일류가 수확되기 전까지 오염 과일류의 공급분은 오염 쌀로 공급된다고 가정하였다. 돼지는 오염 음식물의 공급 시작시점으로부터 120일 후 도살된다고 가정하였다. 지표위 방사성물질의 농도는 0.8 MBq m^{-2} 으로 가정하였으며, 원자력발전소 사고시 중요한 장반감기 핵종인 ^{137}Cs ($T_{1/2}=30\text{년}$)과 ^{90}Sr ($T_{1/2}=29\text{년}$), 단반감기 핵종인 ^{131}I ($T_{1/2}=8\text{일}$)에 대해 결과를 고찰하였다. 1996년 소비자 물가자료에 근거하여 쌀은 $1.5 \text{ \$ dry-kg}^{-1}$, 콩류는 $2.0 \text{ \$ dry-kg}^{-1}$, 과일류는 $7.0 \text{ \$ dry-kg}^{-1}$ ($1.0 \text{ \$ fresh-kg}^{-1}$ 에 해당), 사료는 $0.2 \text{ \$ dry-kg}$ 으로 가정하였으며, 인적자본접근법 (human capital approach)에

근거하여 α 값은 $10,000 \text{ \$ (man} \cdot \text{Sv)}^{-1}$ 을 적용하였다[6]. 한마리의 돼지는 약 80 kg의 육류를 생산하며[7], 사료의 공급량은 약 $3.6 \text{ dry-kg d}^{-1}$ (대체 가능한 사료의 공급량 : $3.06 \text{ dry-kg d}^{-1}$ 로 가정하였다[6]. 성인에 대한 선량환산인자는 ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{131}I 에 대해 각각 1.3×10^8 , 2.8×10^8 , $2.2 \times 10^8 \text{ Sv Bq}^{-1}$ 을 적용하였다[8].

그림 2는 오염 식품물의 다양한 공급율과 공급기간에 따라 도살시점에서 육류내 ^{137}Cs 과 ^{131}I 의 농도에 대한 각 식품물의 기여를 보여준다. 두 핵종 모두 Case I에 대해 육류의 오염에 대한 기여는 공급량이 많은 쌀에 의한 오염이 지배적이었다. 두 핵종 모두 Case II는 콩류에 의한 육류의 오염이 가장 높았는데 이는 콩류의 오염이 다른 식품물에 비해 상대적으로 높기 때문이다. 두 핵종 모두 Case III에서는 콩류가 쌀의 공급량에 비해 50%에 불과하지만 상대적으로 콩류의 높은 방사성물질의 농도로 사료로 이용되는 두 식품물의 육류 오염에 대한 기여는 비슷하였다. 비록 과일류는 비교적 공급량은 많으나 과일류에 대한 핵종의 오염이 다른 식품물에 비해 낮아 돼지고기에 대한 오염 기여는 여전히 가장 낮게 나타났다. 육류의 오염은 콩류의 공급이 상대적으로 많은 Case II의 경우에 가장 높았다. Case III는 Case I에 비해 약간 높은 오염을 보여주는데, 비록 오염의 정도가 상대적으로 적은 과일류의 공급이 비교적 많지만 쌀의 오염 정도에 비해 그다지 높지 않으며 대신 오염 정도가 높은 콩류의 공급량이 상대적으로 많기 때문이다.

표 1은 오염 식품물의 공급분율 및 사료로 이용 기간별로 육류의 도살시점에서의 순이득(Action I)을 보여준다. 또한, 오염 식품물의 사료로 이용에 대한 효과를 고찰하기 위해 오염 식품물을 사람이 소비하지 않고 폐기시켰을 경우(Action II)와 비교하였다. ^{137}Cs 침적의 경우 모든 Case에 대해 사람이 소비하지 않고 폐기시키는 것이 이득 ($\Delta B > 0$)을 가져다주며, 또한 사료로 이용도 효과적이지 못하였다 ($\Delta B < 0$). ^{90}Sr 침적의 경우는 오염 식품물의 사료로 이용이 ^{137}Cs 침적의 경우보다 효과적이라는 것을 보여주는데, 이는 ^{137}Cs 에 비해 ^{90}Sr 의 육류내 생물학적 반감기 ($^{90}\text{Sr} : T_{1/2b} = 70 \text{ 일}$, $^{137}\text{Cs} : T_{1/2b} = 35 \text{ 일}$)는 길지만 사료에서 육류로의 핵종전이계수는 훨씬 낮기 때문이다 ($^{90}\text{Sr} : T_f = 2 \times 10^{-3} \text{ d kg}^{-1}$, $^{137}\text{Cs} : T_f = 4 \times 10^{-1} \text{ d kg}^{-1}$). 특히 Case II의 경우 사람이 소비하지 않고 폐기시키는 것이 이득이 있으며, 폐기될 오염 식품물을 적절한 기간동안 사료로 이용하면 효과를 볼 수 있다는 것을 확연히 보여준다. Case I에 대한 오염 식품물의 최적 공급기간은 약 50일, 정당화될 수 있는 기간은 약 90일로 나타났다. Case II의 경우는 사료로 오염 식품물의 최적 공급기간은 약 20일, 정당화될 수 있는 기간은 약 50일로 Case I에 비해 짧는데 이는 다른 식품물에 비해 콩류의 높은 방사성물질의 농도, 많은 공급량 등에 기인한다. 최적기간의 길다는 것은 대응행위를 위한 시간적 여유가 많다는 것을 의미한다. ^{131}I ($T_{1/2b} = 100 \text{ d}$, $T_f = 3 \times 10^{-3} \text{ d kg}^{-1}$) 침적의 경우는 다른 핵종과 달리 짧은 물리적 반감기로 사람이 소비하지

않고 폐기시키는 것은 비용측면에서 손실을 낳았다. 그러나 사람은 오염 음식물에 대한 막연한 심리적 불안감을 가질 수 있는데 이 경우 사료로 이용은 한 효과적인 방안이 될 수 있다는 사실을 보여준다. 모든 Case에 대해 오염 음식물을 사료로 이용하는 순이득에서 비슷한 값을 보여주는데 이는 비오염 사료의 비용에 비해 오염 음식물의 사료로 이용함으로써 증가되는 육류내 방사성물질의 농도가 매우 낮기 때문이다.

결 론

오염 음식물을 가축의 사료로 이용 방안에 대한 최적기간 결정 방법론을 비용-편익 분석법에 근거하여 고안되었으며, 많은 농작물의 왕성한 성장시기인 8월 15일을 방사성물질의 침적시점으로 가정하여 잡식성 가축인 돼지에 대해 적용하였다. 또한 오염 음식물을 사람이 소비하지 않고 폐기시켰을 경우와 순이득을 비교하므로써 오염 음식물의 사료로 이용에 대한 비용측면에서의 효과를 고찰하였다.

오염 음식물을 가축의 사료로 이용에 대한 순이득은 핵종, 공급 음식물의 다양성, 공급기간 등에 따라 다양하게 나타났다. 이러한 대응행위는 ^{137}Cs 침적에 비해 ^{90}Sr 과 ^{131}I 침적의 경우에 보다 효과적이었다. 또한 가능한 오염이 적은 음식을 많이 공급하였을 때 순이득이 많았으며, 최적기간은 길게 나타났다.

본 연구는 모델예측에 의한 결과로서 실제 원자력시설 사고의 경우 신뢰성있는 대응행위 결정을 지원하기 위해서는 환경내 방사성물질의 농도 측정치와 상호 보완되어야 할 필요가 있다. 본 연구에서 고안된 방법론은 원자력시설 사고시 오염 음식물에 대해 신속하고 적절한 대응행위의 결정지원을 위한 도구로 이용될 수 있다.

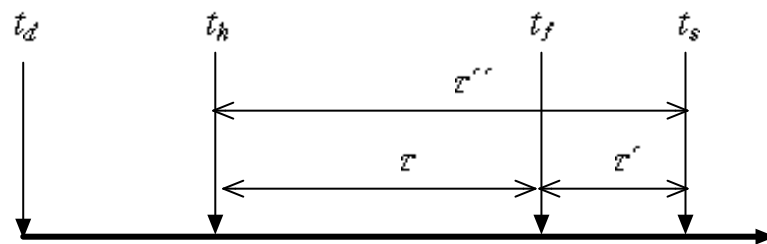
감사의 글 - 본 연구는 과학기술부가 주관하는 원자력 중장기 연구의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. International Atomic Energy Agency, *Intervention Criteria in a Nuclear or Radiation Emergency*, IAEA Safety Series No. 109 (1994).
2. International Commission on Radiological Protection, *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, ICRP Publication 60 (1991).
3. W. T. Hwang, G. S. Cho and M. H. Han, "Development of a Dynamic Food Chain Model DYNACON and Its Application to Korean Agricultural Conditions", *Journal of*

Nuclear Science and Technology, 35(6), 454-461 (1998).

4. 한문희 외, 실시간 방사선피폭해석시스템 구성연구, Korea Atomic Research Institute Report, KAERI/RR-1737/96 (1997).
5. 이정호 외, 설취 및 호흡에 의한 방사선 내부피폭선량평가 코드개발, Korea Atomic Research Institute Report, KAERI/RR-998/90 (1991).
6. 통계청, 1996년 한국통계연보 (1997).
7. G. Prähl, W. Friedland and H. Müller, "Potential Reduction of the Ingestion Dose After Nuclear Accidents Due to the Application of Selected Countermeasures", *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 50, Nos 2-4, pp 359-366 (1993).
8. International Atomic Energy Agency, *International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*, IAEA Safety Series No. 115 (1994).

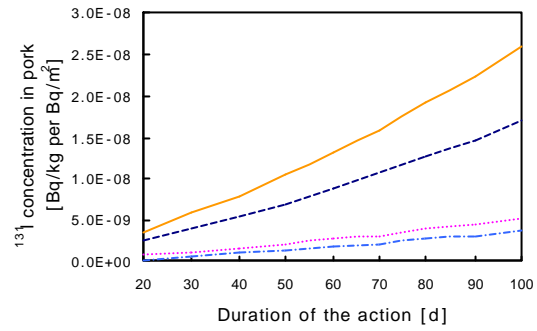
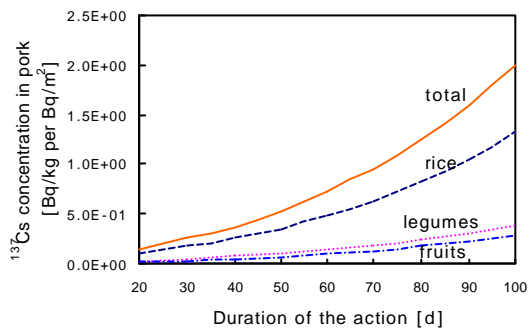


Legend

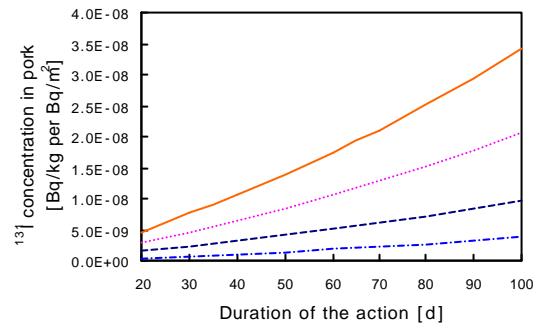
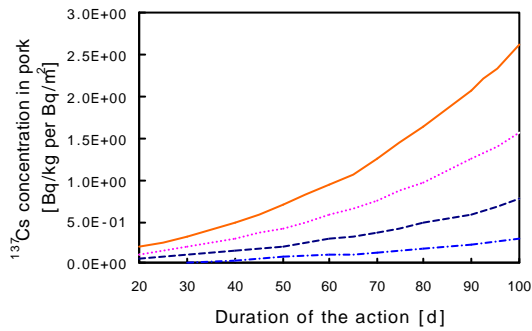
- t_d : deposition time of radionuclides
- t_h : harvest time of foodstuffs
(= starting time of the action)
- t_f : ending time of the action
(= starting time of normal feeding regime)
- t_s : slaughter time of cattle
- τ : duration of the action
- τ' : duration of normal feeding regime
- τ'' : duration from start of the action to slaughter of cattle

Fig. 1. Schematic diagram for determining the optimal duration of use contaminated foodstuffs as feedstuffs of cattle.

Case I



Case II



Case III

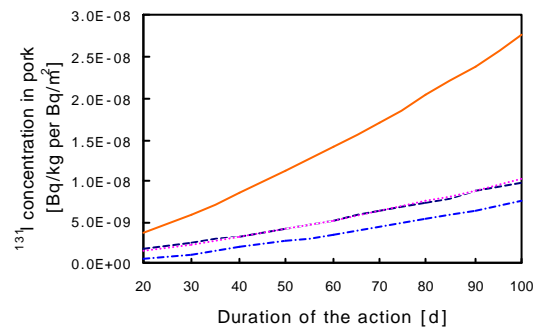
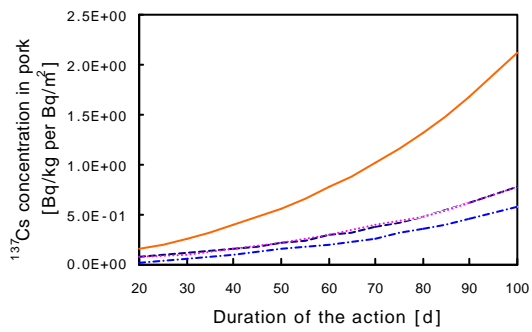


Fig. 2. Foodstuff contribution for the contamination of pork as a function of duration of the action at a slaughter time of pigs; the time of deposition is August 15; the starting time of the action is October 1; the slaughter time of pigs is 120th day after the start of the action (Case I: 70% rice, 10% legumes, 20% fruits; Case II: 40% rice, 40% legumes, 20% fruits; Case III: 40% rice, 20% legumes, 40% fruits).

Table 1. Net benefit from the actions (\$).

Type of action Duration of the action		Case I		Case II		Case III	
		Action I	Action II	Action I	Action II	Action I	Action II
¹³⁷ Cs	20	-1,210	243	-1,590	343	-1,250	235
	30	-2,080	303	-2,730	452	-2,170	229
	40	-3,140	404	-4,120	602	-3,300	305
	50	-4,440	504	-5,810	752	-4,680	381
	60	-6,030	605	-7,880	903	-6,360	458
	70	-7,960	705	-10,400	1,050	-8,410	533
	80	-10,300	805	-13,500	1,200	-10,900	609
	90	-13,200	906	-17,200	1,350	-14,000	685
	100	-16,700	1,010	-21,800	1,500	-17,700	760
⁹⁰ Sr	20	4.58	29.1	2.30	66.0	4.52	4.75
	30	5.95	-11.3	2.22	44.0	5.46	-103
	40	6.78	-15.1	1.48	58.7	5.99	-137
	50	7.06	-18.9	0.11	73.3	6.01	-172
	60	6.65	-22.7	-2.14	87.7	5.18	-206
	70	5.72	-26.7	-5.20	102	3.94	-241
	80	3.89	-30.5	-9.22	116	1.63	-275
	90	1.37	-34.4	-14.4	131	-1.30	-310
	100	-2.02	-38.5	-20.6	145	-5.41	-344
¹³¹ I	20	12.2	-122	12.2	-129	12.2	-158
	30	18.4	-236	18.4	-247	18.4	-341
	40	24.5	-317	24.5	-333	24.5	-457
	50	30.6	-398	30.6	-418	30.6	-574
	60	36.7	-479	36.7	-504	36.7	-690
	70	42.8	-560	42.8	-589	42.8	-806
	80	49.0	-641	49.0	-675	49.0	-922
	90	55.1	-722	55.1	-761	55.1	-1,040
	100	61.2	-803	61.2	-846	61.2	-1,160

Action I : use contaminated foodstuffs as feedstuffs of pigs

Action II : disposal the contaminated foodstuffs without human consumption

Case I : 70% rice, 10% legumes, 20% fruits

Case II : 40% rice, 40% legumes, 20% fruits

Case III : 40% rice, 20% legumes, 40% fruits