

양돈장 발생 악취의 확산특성 연구

김두환^{1*} · 하덕민¹ · 이인복² · 최동윤³ · 송준익⁴

¹경남과학기술대학교, ²서울대학교, ³국립축산과학원, ⁴천안연암대학

A Study on Dispersion Characteristics of Odor from Swine Farms

Doo-Hwan Kim^{1*}, Duck-Min Ha¹, In-Bok Lee², Dong-Yun Choi³, Jun-Ik Song⁴

¹Department of Animal Resources Technology, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea,

²Department of Rural Systems Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea,

³National Institute of Animal Science, R.D.A., Suwon, 441-706, Korea,

⁴Department of Animal Science, Cheonan yonam College, Cheonan 331-709, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the dispersion prediction of odor from swine farms in Korea. Gaussian Plume model used in considering of farm size, wind velocity, atmospheric stability and threshold odor unit to prediction of odor dispersion based on the survey on current state of odor emission and control from 48 site of swine farms. Farm size, wind velocity and atmospheric stability were affected the distance of odor dispersion, showed longer distance in cases of large farm, low wind velocity and stable atmospheric condition. We will suggestion the adjusted distance of odor dispersion according to farm size was estimated to 180 m in small farm and 320 m in large farm when apply the 3 OU, 5 m/s wind velocity and stable atmospheric condition.

(Key words : Swine farm, Odor, Dispersion, Atmospheric condition)

서 론

양돈산업은 돼지고기의 높은 자급율 유지와 비교적 양호한 수익성을 확보하고 있는 산업임에도 불구하고 악성 대형 전염병과 더불어 돈사와 분뇨처리 과정에서 발생하는 악취와 환경오염 가능성 때문에 불안한 경영을

지속하고 있으며 국민의 건강에 기여하는 공익적 기능은 무시되고 오히려 큰 비난과 감시를 받고 있는 실정이다.

양돈농가 수는 급격하게 감소하였지만, 개별 농장의 경영규모는 점차 커져 가고 시설과 관리형태가 보다 집약적으로 되어 감에 따라 농장관리와 환경제어가 용이한 밀폐형

*Corresponding author : Kim, Doo Hwan, Department of Animal Resources Technology, Gyeongnam National University of Science and Technology, 660-758, Jinju, Korea.

Tel : +82-55-751-3284, E-mail : dhkim@gntech.ac.kr

2014년 4월 20일 투고, 2014년 5월 28일 심사완료, 2014년 6월 7일 게재확정

무창돈사가 확대되어 가고 있다. 밀폐형 무창돈사는 밀폐되고 한정된 공간에 많은 수의 돼지를 수용하게 됨으로 인해 사료 먼지와 분뇨가 돈사 내부에 집적되고 돼지와 사람에게 유해한 가스와 악취가 다량 발생되며 이 유해가스와 악취물질이 외부로 배출, 확산되면 양돈장 주변의 악취 민원으로 이어지게 된다(Ni et al., 2000).

악취는 자극성 있는 기체상 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로 악취물질은 그 종류에 따라서 발생원이 다르며 발생량을 어느 정도 저감시킨다 할지라도 아주 작은 양으로도 취기를 유발하기 때문에 이에 대한 대책과 방지에는 많은 어려움이 따르고 있다. 사람의 후각 감각은 개인마다 다르기 때문에 감지한 악취의 질과 강도를 객관적으로 평가 분석하는 것은 쉽지 않다. 일반적으로 악취에 노출되면 악취의 강도와 지속시간에 따라 정도의 차이는 있지만, 신체 알러지 반응, 식욕 감퇴, 음수량 저하, 호흡기 장애, 설사와 구토, 정신적 스트레스 등의 심미적 환경공해 요인으로 작용한다고 알려져 있으며(Yasuhara et al, 1984), 대규모 양돈장 주변에서 이러한 증상과 고통을 호소한다는 보고도 있다(Schiffman, 1998).

2013년 2월부터 축산업 허가제가 시행되고 있으며 가축사육 제한구역 또한 계속 확대되고 있는 추세이다. 가축사육 제한구역의 확대는 기본적으로 축산시설에서 발생하는 악취에 기인된 것이다. 축사 주변 정주민의 쾌적한 생활환경에 대한 요구와 축산물 생산자의 안정적인 축산기반 확보가 서로 충돌하지 않는 범위를 정하자는 취지이긴 하지만, 현실적으로 축산기반이 축소되는 결과를 가져오고 있는 것이 현실이다(Kim et al, 2006).

따라서 본 연구는 양돈장의 악취발생과 관리에 관한 실태조사(Kim et al, 2013)를 바탕으로 양돈장 발생 악취가 어떻게 확산되는가를 추정하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

1. 조사 양돈장

악취의 확산특성 연구를 위하여 조사한 19개 양돈장의 일반 현황은 Table 1과 같다.

2. 조사내용 및 방법

(1) 악취 측정

양돈장에서 발생하는 악취 정도를 조사하기 위하여 농장의 부지경계선 상에서 복합악취는 직접관능법으로 측정하였으며, 악취민원 기여도가 가장 높은 암모니아 가스 농도는 검지관능법으로 측정하였다.

복합악취는 직접관능법인 6단계 악취세기법으로 악취를 측정하였는데, 6단계 악취세기법은 사람의 후각으로 느낀 바를 세기별로 표현하는 방법으로 주로 배출원이 아닌 환경중 악취를 평가하는 방법으로 공인된 악취평가 방법 중 하나이다. Table 2와 같은 기준에 따라 평가자 5명이 측정 대상 사업장 부지경계선에서 6단계 냄새 세기 수준에 따라 악취를 평가하여 평가자의 평균을 적용하였다.

(2) 확산 추정

양돈장에서 발생된 악취의 주변 환경으로의 확산은 양돈 규모, 돈사 형태, 분뇨처리 방법 등 농장 특성 뿐 아니라 위치, 지형적 특성, 실시간 기상현황 등 여러 환경 인자들의 영향을 받게 되며, 이러한 환경 인자들은 예측이 어렵고 끊임없이 변하기 때문에 악취의 확산 원인과 확산 정도 등 확산 특성의 정량적 평가가 어려운 실정이다. 본 연구에서는 전 세계적으로 대기 중 확산을 모의하기 위하여 가장 활발하게 사용되고 있는 Gaussian 확산모형에 기반을 둔 가우시안 모델들 중 Gaussian Plum Model을 사용하여 악취 확산을 추정하였다.

Table 1. General conditions of swine farms in study.

Region†	No. of animals	Location conditions	Distance of boundary line between building (m)
Kimpo, GG	5,500	Middle of hillside	3
Yeonchun, GG	2,750	Flatland the end of hillside	5
Pochun, GG	2,900	Flatland the end of hillside	14
Pochun, GG	1,800	Flatland near farmlands	5
Yeoju, GG	4,500	Some sloped hillside	3
Hwsung, GG	3,400	Flatland in middle of hillside	8
Jinju, GN	3,500	Border in hillside and farmlands	15
Changyeong, GN	4,900	Valley near owned farmland	8
Changyeong, GN	11,000	Middle of hillside, passing the irrigation canal	27
Haman, GN	2,800	Isolated park area	16
Haman, GN	4,000	Flatland near national road	5
Sacheon, GN	3,000	Flatland near village	5
Jinju, GN	1,500	Distance of 1.5 km from water quality protection area	7
Miryang, GN	4,000	Middle of hillside near farmlands	10
Sunchang, CB	4,000	Border in hillside and road, near reservoir	7
Gochang, CB	4,500	End of hillside near several village	72
Geochang, GN	4,000	In the mountain area far village	19
Yeongi, CN	3,000	In the mountain and water quality protection area	4
Hongsung, CN	6,300	Flatland in the middle of some sloped hillside	4

† GG: Gyeonggi, GN: Gyeongnam, CB: Chungbuk, CN: Chungnam.

Table 2. Criteria for odor strength.

Degree of strength	Definition
0 (None)	Not detectable odorless state
1 (Threshold)	Barely detected odor
2 (Moderate)	Moderate odor
3 (Strong)	Strong odor
4 (Very strong)	Very strong odor
5 (Over strong)	Difficult to bearing strong odor

Gaussian Plume Model의 기본 설계조건은 다음과 같다.

① 난류는 random 운동이므로 난류에 의한

확산도 random하게 된다.

② 농도는 정규분포하게 된다는 Gaussian 확산 가정을 적용한다.

③ 특정 배출구에서 지속적으로 배출된다.

④ 배출량의 변화나 기상조건의 변화가 없는 정상상태로 가정한다.

Gaussian Plume Model의 세부 가정은

① 풍하방향을 x축으로 할 경우, $v=0, w=0$

② x축 방향 이류가 확산보다 현저히 커 확산은 무시하여 $kx=0$

③ 정상상태이므로, $\partial C / \partial t = 0$

④ 돼지 마리당 악취발생량은 6 OU(DEPP, 2002)로 적용

결과 및 고찰

1. 양돈장 악취 발생특성

조사한 19개 양돈장의 경영규모에 따라 5천 두 이상을 대규모 농장, 2천 두에서 5천 두 까지를 중규모 농장, 2천 두 이하의 농장을 소규모 농장으로 구분하여 규모에 따른 부지 경계선에서의 악취세기와 암모니아 농도를 조사한 결과는 Table 3과 같다.

양돈장의 경영규모에 따른 악취세기와 암모니아 농도의 차이는 뚜렷하게 나타나지 않았으며, 악취 확산에 크게 영향을 미치는 풍속은 0.3 m/s에서 2.8 m/s의 범위로 조사되었으며 평균 풍속은 1.06 m/s로 조사되었다.

악취세기는 낮게는 0.4, 높게는 3.6으로 평가되었고 평균 1.91로 나타나 2를 넘지 않았다. 검지관에 의한 암모니아 농도는 평균 2.89 ppm으로 나타나 3 ppm을 초과하지는 않았다. 직접관능법에 의한 악취세기와 검지관에 의한 암모니아 농도를 종합하면 “무슨 냄새인지 알 수 있는”, 6단계 악취세기법 기준으로 “moderate” 혹은 “비교적 양호한” 정도로 평가할 수 있을 것이다.

2. 악취확산 추정

Gaussian Plume Model을 이용하여 현장의

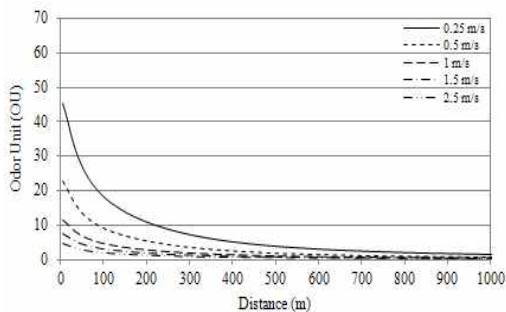
Table 3. Odor emission characteristics of depending on the swine farm size.

Farm size	Wind velocity (m/s)	Odor strength	Ammonia (ppm)
Large	1.4	1.0	2
	1.0	2.2	5
	2.8	1.4	1
Medium	0.3	2.4	3
	0.8	1.4	3
	0.8	3.0	5
	0.7	2.0	3
	0.6	2.6	5
	0.8	0.4	1
	0.7	0.8	1
	0.9	1.8	2
	1.0	1.0	4
	1.2	2.4	2
	1.0	2.4	3
	0.8	2.6	4
	1.5	3.6	3
Small	1.1	2.4	4
	1.3	1.8	4
	1.4	1.0	1

실제조건을 반영하지 않은 상태에서 경영규모와 풍속 및 대기안정도에 따른 악취확산 추정 결과는 Fig. 1, 2와 같다.

대기안정도가 높을 때 악취확산 거리가 훨씬 긴 것으로 나타났으며, 이는 오전 일찍이

a) Small size



b) Large size

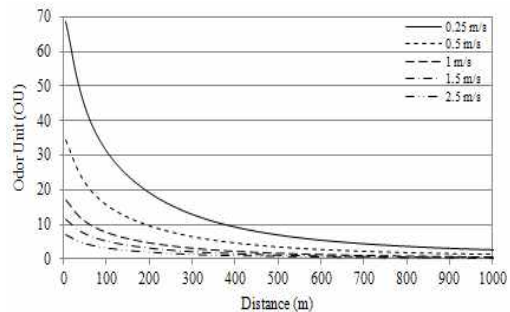
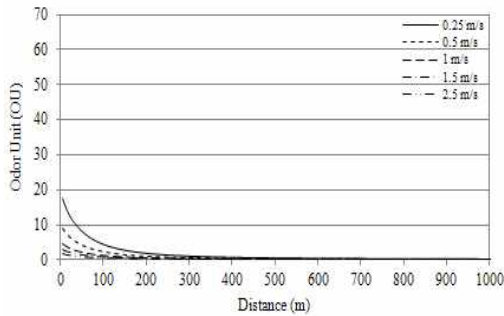


Fig. 1. Calculated odor dispersion at stable atmospheric conditions.

a) Small size



b) Large size

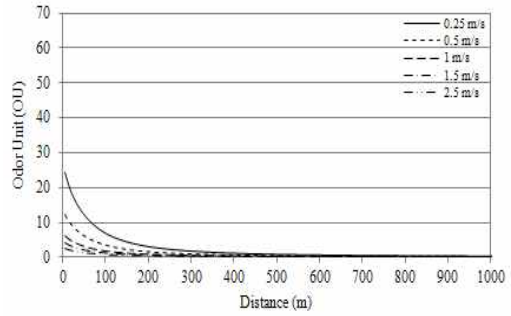


Fig. 2. Calculated odor dispersion at unstable atmospheric conditions.

나 늦은 오후에 양돈장 인근의 실제 민원 발생 동향과도 일치하는 결과로 대기안정도가 높고 민원인의 활동이 증가하며 풍향이 바뀌는 시점 등 복합적인 요인들의 영향으로 사료된다.

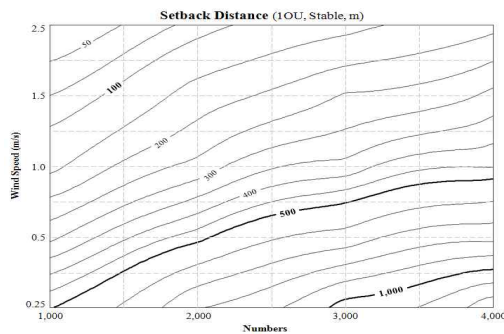
경영규모가 커질수록 발생하는 악취 농도도 증가하여 확산거리 증가에도 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한 풍속이 높은 경우보다는 낮은 경우에 확산 거리가 훨씬 더 긴 것을 알 수 있으며, 풍속이 높아질수록 좌우상하 확산효과가 증가하여 지표면을 따라서 확산되는 거리는 줄어드는 것으로 판단된다.

Gaussian Plume Model을 양돈장 경영규모별, 대기안정도별 및 풍속별 요인들을 복합적으로 고려하여 계산한 결과들을 이용하여 작성한 상관 곡선표는 Fig. 3, 4와 같다.

Kim et al.(2013)이 보고한 실태조사 결과를 보면 양돈장 악취 발생과 확산에 영향을 미치는 중요한 요인들이 있으며 대표적인 내용은 다음과 같다.

- ① 대부분의 양돈장이 산 속이나 야산 경계에 위치하고 있으며, 평지에서와 비교하여 상하 좌우로 비산시키는 역할을 하기 때문에 지표면에서의 악취 확산거리를 크게 줄일 수 있는 중요한 요인이다.
- ② 모든 양돈장에서 악취 저감을 위한 환경개선제를 사용하고 있었다.
- ③ 모든 양돈장에서 환경개선과 분진 저감을 위해 일상적이고 정기적인 청결유지, 청소 등 다양한 노력을 하고 있었다.
- ④ 기계식 강제환기 단사를 가진 많은 농장들이 측벽 배기가 아닌 지붕 배기를 통하

a) 1 OU



b) 3 OU

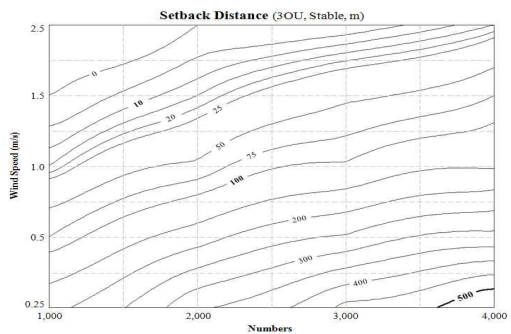
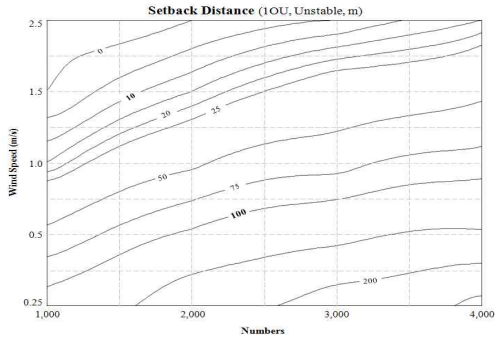


Fig. 3. Calculated correlation under the stable atmospheric conditions.

a) 1 OU



b) 3 OU

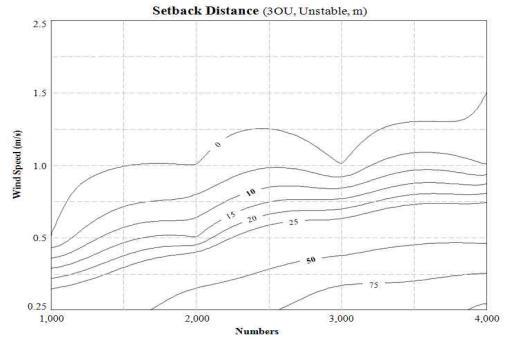
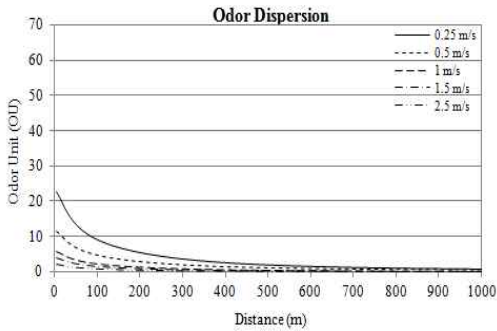


Fig. 4. Calculated correlation under the unstable atmospheric conditions.

a) Small size



b) Large size

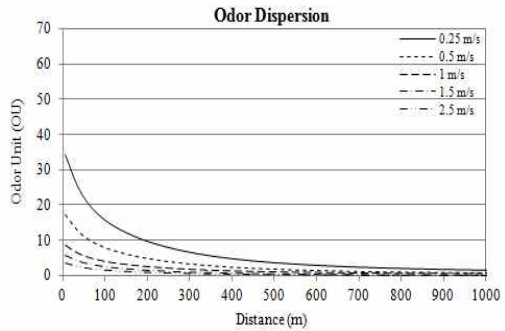


Fig. 5. Adjusted odor dispersion according to farm size.

여 수직으로 배기되는 공기를 쏘아 올리는 방식으로 인근으로의 악취 확산을 저감하고자 노력하였다.

⑤ 일부 양돈장은 배기구에 탈취 장치를 설치하여 배출되는 공기의 악취 농도를 저감하고자 노력하고 있었다.

조사 양돈장의 위와 같은 악취관리 실태를 바탕으로 대기 안정도와 악취 저감 농도 및 풍속 기준을 다음과 같이 적용하여 보정된 확산 추정을 실시하였다.

- ① 대기안정도 높을 때
- ② 악취감지 농도 3 OU
- ③ 풍속 0.5 m/s

Gaussian Plume Model을 이용하여 양돈장 경영규모에 따른 보정된 확산추정 결과와 상관 관계표는 Fig. 5, 6과 같다.

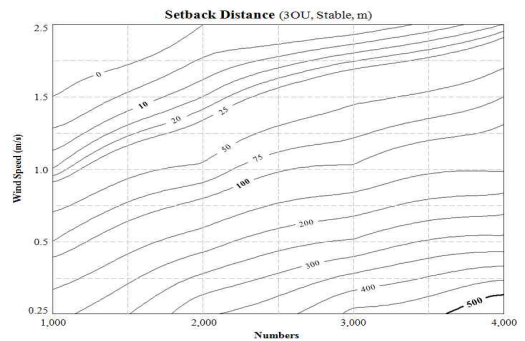


Fig. 6. Adjusted correlation of the odor dispersion.

결 론

양돈장 48개소의 악취 발생과 관리 실태조사 결과를 바탕으로 경영 규모와 풍속 및 대

기안정도를 고려하여 Gaussian Plume Model 을 사용하여 악취 확산을 추정하였다.

경영규모가 클수록 발생 악취 농도는 증가 하고 확산거리 증가에도 영향을 미치는 것으로 나타났다으며, 풍속이 낮을 때 확산거리가 크게 증가하고 풍속이 높아질수록 좌우 상하 확산 효과가 커져 지표면을 따라 확산되는 거리는 줄어드는 것으로 나타났다. 대기 안정도가 높을 때 악취의 확산거리가 현저하게 증가하는 것으로 추정되었다.

대기 안정도가 높은 상태, 악취감지농도 3 OU 적용 및 풍속 0.5 m/s 기준을 적용하고 조사 양돈장의 현장여건과 악취저감 노력을 반영하여 보정된 악취 확산 추정을 실시한 결과, 소규모 양돈장은 180 m, 대규모 양돈장은 320 m 정도까지 확산되는 것으로 추정되었다.

사 사

본 논문은 한국연구재단의 중점연구소(2009-0093813) 및 농촌진흥청 공동연구사업 (PJ009235)의 지원에 의해 수행된 것임.

인 용 문 헌

1. Arya, S., 1999. Air pollution meteorology and dispersion. Oxford University Press. New York.
2. Beyers, M., Waechter, B., 2008. Modeling transient snowdrift development around complex three-dimensional structures. J. Wind Eng. & Ind. Aerodynamics, 96, 1603-1615.
3. Chung, K.H., Han, J.C., Kwag, S.J., Chung, J.D., Lee, J.W., Kim, D.H., 2008. Effects of Enzyme Complex on Odor Emission from Swine Slurry and Swine Buildings. J. Anim. Environ. Sci. 14, 15-22.
4. Guo, H., Jacobson, L.D., Schmidt, D.R., Nicolai R.E., 2003. Evaluation of the influence of atmospheric conditions on odor dispersion from animal production sites. Transactions of ASAE. 46, 461-466.
5. Kim, D.H., Yang, C.B., Choi, D.Y., Gwack, J.H., Song, J.I., Gwack, S.J., 2006. Odor survey in swine farm and its reduction strategy. Korea Swine Producers Association.
6. Kim, D.H., Kim, I.B., 1999. A review of the odor control from inside of swine production facilities. J. Anim. Environ. Sci. 5, 203-216.
7. Kim, D.H., Lee, I.B., Choi, D.Y., Song, J.I., Jeon, J.H., Ha, D.M., 2013. A survey on current state of odor emission and control from livestock operations. J. Anim. Environ. Sci. 19, 123-132.
8. Kim, K.Y., Choi, J.H., 2013. Distribution characteristics of odorous compounds concentrations according to type of pig buildings. J. Kor. Soc. Odor Res. Eng. 12, 27-37.
9. Ni, J.Q., Heber, A.J., Lim, T.T., Diehl, C.A., Duggirala, R.K., Haymore, B.L., Sutton, A.L., 2000. Ammonia emission from a large mechanically ventilated swine building during warm weather. J. Environ. Quality 29, 751-758.
10. Park, G.H., Oh, G.Y., Jung, K.H., Jung, S.Y., Cha, G.S., 2005. The Odor characteristics of livestock raising facility J. Kor. Soc. Odor Res. Eng. 4, 207-215.
11. Schiffman, S.S., 1998. Livestock odors: Implications for human health and well-being. J. Anim. Sci. 76, 1343-1355.
12. Schiffman, S.S., Bennett, J.L., Raymer,

- J.H., 2001. Quantification of odors and odorants from swine operations in North Carolina. *Agric. Forest Meteor.* 108, 213-240.
13. Song, J.I., Jeon, J.H., Park, K.H., Yoo, Y.H., Kim, D.H., 2011. Conducted to verify the effect of chlorine dioxide(ClO₂) on odor reduction at a commercial swine facility. *J. Anim. Environ. Sci.* 18(suppl.), 43-50.
14. Yang, Y., Gu, M., Chen, S., Jin. X., 2009. New inflow boundary conditions for modelling the neutral equilibrium atmospheric boundary layer in computational wind engineering. *J. Wind Eng. & Ind. Aerodynamics.* 97, 88-95.
15. Yasuhara, A., Fuwa, K., Jimbu, M., 1984. Identification of odorous compounds in fresh and rotten swine manure. *Agri. & Biol. Chem.* 48, 3001-3010.