

旱耕人为土 N_2O 排放动力学特征及其影响因素^{*}

白红英, 耿增超, 张一平

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 以黄土高原南部典型旱耕地—休闲地土壤为对象, 研究了中等水分条件下(65%的田间持水量)土壤 N_2O 排放的动力学特征, 以及土壤深度和氮磷营养因子对 N_2O 排放量的影响。结果表明, 施肥和未施肥处理, 土壤 N_2O 排放累积量随时间 t 的变化均符合修正的Elovich方程 $y = b \ln(t) + a_0$ 。反应初始浓度(a)和表观反应速率(dy/dt)大多数随土壤深度增加而递增, 但15时以10 cm深处反应初始浓度最大; 25时, 表观反应速率以15 cm深处最高, 即在中等水分条件下, 随温度升高, 试验土壤10~15 cm深处为 N_2O 产生的活跃场所。磷素对土壤 N_2O 的减排效应不仅表现在排放总量上, 也存在于动力学参数初始浓度和表观反应速率之中。

[关键词] 土壤 N_2O 排放累积量; 动力学特征; 反应初始浓度; 表观反应速率

[中图分类号] S153.6⁺1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2003)02-0084-05

农田生态系统是 N_2O 的重要排放源, 其过程源于微生物活动引起的硝化反应和反硝化反应。耕层土壤是农田系统 N_2O 排放的主要场地^[1~3], 其排放大小不仅取决于气候变化和农事活动等外在条件, 同时也受土壤反应速率、阻滞作用等内部条件的影响, 造成 N_2O 排放时空上的多变性^[3], 给 N_2O 排放估算和减排措施实施带来很大困难。以往对 N_2O 排放影响因子的研究主要集中在气温、水分、施肥量、施肥方法、施肥种类等影响因子上^[2~7], 对土壤 N_2O 排放量的化学反应时间和依变过程研究较少, 而关于西北地区耕层不同层次土壤 N_2O 排放的化学动力学研究目前还未见报道。

本研究以西北地区的旱耕人为土壤—休耕地为研究对象, 研究了不同时期(温度)、不同土壤深度和不同养分条件下, 耕层土壤中 N_2O 排放量及其动力学特征, 旨在为氮肥的高效利用及农田土壤 N_2O 排放量估算提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试土样

试验土样取自黄土高原南部典型旱耕地, 为冬小麦—玉米轮作地, 为了观测在无作物耕种, 即休闲

时土壤 N_2O 的释放规律, 在玉米收获后, 将地翻匀、耙平休闲。进行试验时, 小区耕层土壤的平均容重为 1.23 g/cm^3 , 田间平均持水量22.0%; 有机质为 11.5 g/kg , 全氮为 1.25 g/kg , $\text{NO}_3\text{-N}$ 为 15.1 mg/kg , $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为 8.5 mg/kg , 速效磷为 10.1 mg/kg 。

1.2 试验方法

次年4~6月初, 取休闲地耕层土壤带回实验室, 一部分进行理化性质分析, 剩余鲜样过5 mm筛后混匀, 按耕层容重和不同处理调节水分后, 分别装于直径7 cm, 高为 $(20+I) \text{ cm}$ 的玻璃容器内(I 代表装入土样的高度, 分别为5, 10, 15, 20 cm), 密闭培养, 测定 N_2O 释放量。在中等水分条件下(65%的田间持水量), 试验设未施肥和施肥处理, 未施肥试验在15, 20, 25 3种温度下培养, 温度高低为采样时对应的田间平均温度, 每个温度又设4个深度(5, 10, 15, 20 cm)处理(3×4); 施肥试验仅在25下培养, 设同一深度下(5 cm)的对照、氮、磷和氮+磷及不同深度(5, 10, 15, 20 cm)的氮+磷处理。肥料加入量同小麦地施肥量, 氮肥 150 kg/hm^2 , 磷肥 40 kg/hm^2 。即本试验共有处理20个, 每个处理设3个重复。每隔24 h用2 mL注射器取样1次, 平衡气压30 min后, 重新密闭培养, 至培养后10 d。

1.3 N_2O 测定

将采集的气样迅速送入气相色谱室, 用美国造Varian GC3800气相色谱仪进行测定。

^{*} [收稿日期] 2003-01-15

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(39970459); 西北农林科技大学重点基金资助项目

[作者简介] 白红英(1962-), 女, 陕西凤翔人, 副教授, 在读博士, 主要从事环境保护—土壤环境生态及水环境保护研究。

2 结果与讨论

2.1 不同温度下传输路径变化对土壤 N₂O 排放的影响

图 1 为不同温度条件下、不同高度土壤 N₂O 排放累积量与时间 *t* 的依变情况。随着土壤深度的增

加, 培养器中土壤重量成倍增加, 土壤中 N₂O 排放亦应成倍增长。但由于 N₂O 逸出路径加长, 氧化还原电位降低, 土壤中 N₂O 排放并没有表现出此明显增长比例, 且 N₂O 排放量随深度的变化情况因温度的不同而有差异。

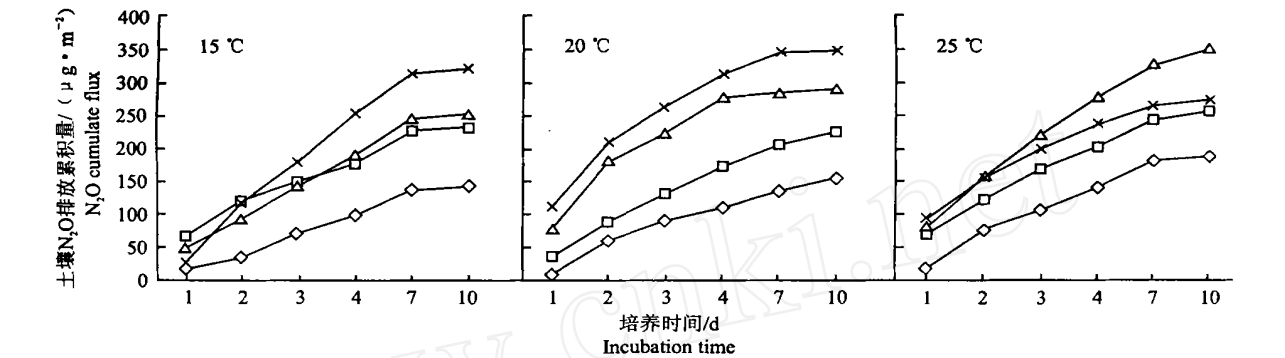


图 1 不同温度下不同深度未施肥土壤 N₂O 排放累积量与培养时间的关系

Fig 1 Accumulate curves of N₂O emission with the incubation time at different temperature and depths of the nonfertilized soil
- - - 0~5 cm; - □ - 0~10 cm; - △ - 0~15 cm; - × - 0~20 cm

对不同温度、不同高度土壤的 N₂O 释放累积量 *y* 与时间 *t* 回归, 知 N₂O 产生过程符合修正的 Elovich 方程(表 1)。由表 1 可知, 20, 25 时, 反应初始浓度随着土壤深度的增加而增加, 且二者间存在着显著正相关($r^{**} > 0.917 = r_{0.01}$), 即由于反应底物的增多, 土壤 N₂O 产生量增加; 另一方面, 土壤 N₂O 逸出量亦受输移能量即温度的影响, 如 15

时, 10 cm 土柱反应初始浓度(*a*)最大, 而更深层次的 N₂O 因低温不易逸出。在不同的温度下, 表观反应速率, 随土壤深度增加变化不一: 15 时, $(dy/dt)_{5\text{ cm}} (dy/dt)_{10\text{ cm}} (dy/dt)_{15\text{ cm}} (dy/dt)_{20\text{ cm}} = 1.125 \quad 1.612 \quad 2.26; 20$ 时, $(dy/dt)_{5\text{ cm}} (dy/dt)_{10\text{ cm}} (dy/dt)_{15\text{ cm}} (dy/dt)_{20\text{ cm}} = 1.134 \quad 1.47 \quad 1.68; 25$ 时, $(dy/dt)_{5\text{ cm}} (dy/dt)_{10\text{ cm}} (dy/dt)_{15\text{ cm}} (dy/dt)_{20\text{ cm}} = 1.111 \quad 1.60 \quad 1.06$ 。可见, 15 和 20 时, 表观反应速率以 $(dy/dt)_{20\text{ cm}}$ 最大; 而 25 时, 表观反应速率以 $(dy/dt)_{15\text{ cm}}$ 最高。随着温度增加, 表观反应速率的增幅 $\Delta(dy/dt)$ 为: 10 cm 时比较接近, 15 cm 时存在增加趋势, 而 20 cm 时则逐渐下降; 当温度增至 25 时, 表观反应速率 $(dy/dt)_{15\text{ cm}}$ 是 $(dy/dt)_{20\text{ cm}}$ 的 1.5 倍。这说明, 当温度增加至 25 时, 有利于土壤氮的硝化和反硝化反应, 使 15 cm 土壤 N₂O 产生量增加, 而土壤深度增至 20 cm 时, 可能因氧化还原电位变化, 使 N₂O 进

一步生成了 N₂, 或由于逸出路径延长而被土壤水吸收, 这种现象还需进一步研究证实。在排除 N₂O 初始浓度影响的情况下, 深度在 10~15 cm 的土壤 N₂O 产生量对 N₂O 逸出量的贡献较大, 这和文献 [2, 3] 的报道结果基本一致。本试验还发现, 20 cm 土柱的 N₂O 逸出量在开始培养前 2 d, 甚至低于 10 cm 土样的逸出量, 而后期逸出量迅速增加, 即由于路径的增加, N₂O 排放出现滞后现象。

表 1 不同深度土壤 N₂O 排放过程的回归方程

Table 1 Regressive equations of N₂O emission process at different temperature

温度/ Temperature	土壤深度/cm Depth	拟合方程 Fitting equations	相关系数 <i>r</i> ² Correlation coefficient
15	5	$y_5 = 60.83 \ln(t) + 7.6669$	0.9617**
	10	$y_{10} = 75.873 \ln(t) + 68.408$	0.9866**
	15	$y_{15} = 97.712 \ln(t) + 41.016$	0.9736**
	20	$y_{20} = 137.3 \ln(t) + 31.819$	0.9684**
20	5	$y_5 = 63.151 \ln(t) + 16.234$	0.9833**
	10	$y_{10} = 84.339 \ln(t) + 39.089$	0.9849**
	15	$y_{15} = 92.86 \ln(t) + 107.18$	0.8873**
	20	$y_{20} = 106.08 \ln(t) + 133.3$	0.9347**
25	5	$y_5 = 75.462 \ln(t) + 33.676$	0.9817**
	10	$y_{10} = 83.878 \ln(t) + 70.74$	0.9838**
	15	$y_{15} = 120.51 \ln(t) + 83.08$	0.9820**
	20	$y_{20} = 80.232 \ln(t) + 101.45$	0.9639**

注: *y* 为 N₂O 累积量 ($\mu\text{g}/\text{m}^2$), *t* 为培养时间 (d); $r_{0.05} = 0.811$; $r_{0.01} = 0.917$, *n* = 4。

Note: *y* stands for N₂O cumulate flux ($\mu\text{g}/\text{m}^2$); *t* means time (d); $r_{0.05} = 0.811$; $r_{0.01} = 0.917$, *n* = 4。

以上现象不仅表现在未施肥的土壤上,而且也表现在施肥的处理中(图 2)。从图 2 可以看出,不同深度处理中,15 和 20 cm 土样中 N_2O 的逸出量明显高于 5, 10 cm 处理。多重比较(PLSD 检验)发现,20 与 15 cm 处理间差异未达显著水平($P = 0.32 > 0.05$)。从图 2 拟合方程可知, N_2O 排放的初始浓度

$a_{20\text{ cm}} > a_{15\text{ cm}}$, 但反应速率 $(dy/dt)_{20\text{ cm}} < (dy/dt)_{15\text{ cm}}$ 。随着土壤深度增加,20 cm 处理土壤的重量比 15 cm 处理增加了 33.33%, 由于反应底物的增加,初始浓度 $a_{20\text{ cm}}$ 比 $a_{15\text{ cm}}$ 提高 18.7%, 而反应速率 $(dy/dt)_{20\text{ cm}}$ 比 $(dy/dt)_{15\text{ cm}}$ 降低了 24.45%, 这充分说明土壤中 N_2O 主要产生于 10~15 cm 土层中。

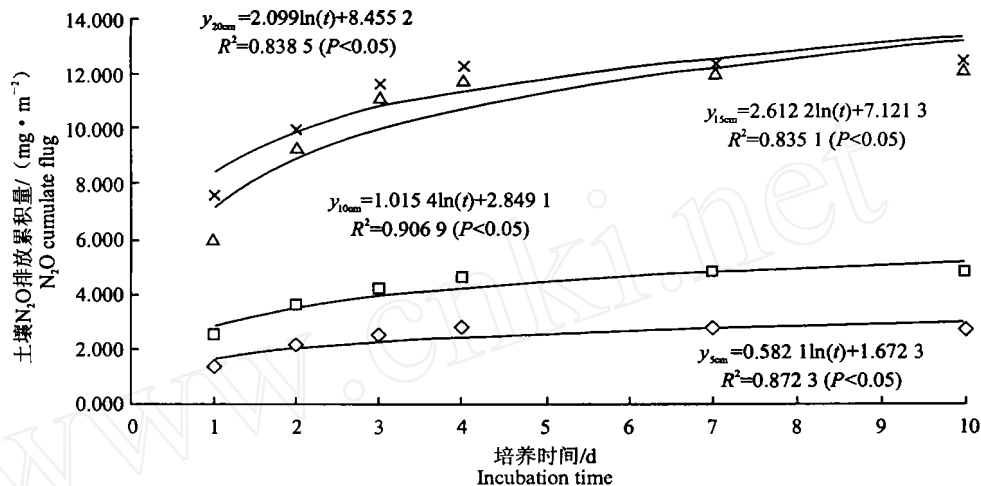


图 2 施 N、P 肥不同深度土壤 N_2O 排放累积量与时间的关系

Fig. 2 Accumulated curves of N_2O emission at the different soil depths after applying N and P fertilizer
 . 5 cm; □ 10 cm; . 15 cm; × 20 cm

2.2 氮、磷营养因子对 N_2O 排放量的影响

图 3 为同一土壤深度(5 cm)下, N, P, N+P 对土壤 N_2O 排放量影响的过程曲线, 同未施肥土壤(CK)一样, 施肥后土壤 N_2O 排放过程曲线仍符合修正的 Elovich 方程, 且 4 种处理所建立的回归方

程均达显著水平。经 F 检验, 4 个处理中, 土壤 N_2O 平均排放量具有极显著差异($P < P_{0.01}$), N, N+P, P 处理 N_2O 排放量分别是未施肥土壤(CK)的 18.68, 15.0 和 0.54 倍。

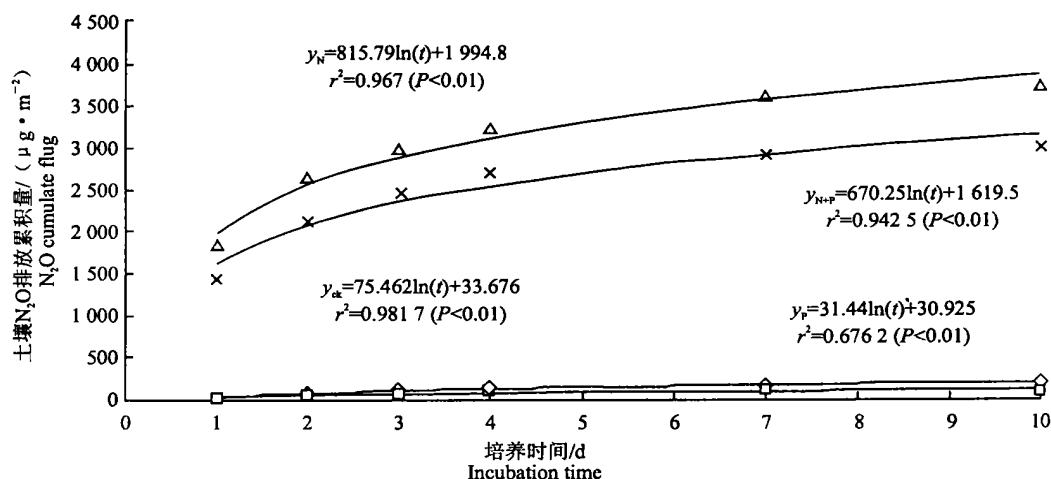


图 3 N、P 对土壤 N_2O 排放量影响的过程曲线

Fig. 3 Effects of N and P fertilizer on the amount of soil N_2O emission

. CK; □ P; . N; × N+P

用 PLSD 法进行多重比较, 结果列于表 2。从表 2 可知, 氮肥处理(N)和氮磷肥处理(N+P)与未施

磷肥处理(CK)和单施磷肥处理(P)间存在极显著差异; N 处理与 N+P 处理, CK 与 P 处理之间差异未

达显著水平。虽然 N 与 N + P、CK 与 P 之间未达显著性差异,但从图 3 可以看出这样一种趋势,即增施磷肥可减少土壤 N₂O 的排放量,有利于氮肥利用率的提高,这和许多研究结果一致^[8~12],但与文献^[13]结果存在差异,他们认为磷素加入可以增加土壤 N₂O 的产生,但源于 pH 值从 5.1 升至 6.8。磷素的减排效应不仅表现在排放总量之间,也存在于动力学参数初始浓度(*a*)和表观反应速率(*dy/dt*)之间: $a_N > a_{N+P} > a_{CK} > a_P$; $(dy/dt)_N > (dy/dt)_{N+P} > (dy/dt)_{CK} > (dy/dt)_P$ 。表明磷素对土壤 N₂O 排放的

影响,不仅来源于对初始浓度的影响,而且也来源于对反应速率的影响;亦反映出磷素不仅影响施入到土壤中氮肥的去向,也能影响土壤矿化态氮的去向。造成这种现象的原因可能有两种:一方面磷肥加入使石灰性土壤 pH 值降低,较低的 pH 值能使 N₂O 反应速率降低;另一方面,北方石灰性土壤中有效磷素普遍缺乏,磷肥加入促进了氮的吸收,更有利于生物物质的合成,不论是肥料氮还是土壤矿化氮都被生物竞相吸收,引起速效氮即反应底物减少,使得土壤 N₂O 排放量减少。

表 2 各处理土壤中 N₂O 平均排放量间的差异显著性(PLSD)检验

Table 2 Significance level of difference of soil N ₂ O emission among different treatments						
处理 Treatment	N ₂ O 平均排放量/ (μg m ⁻²) The average values	差数 Margin			0.05	0.01
		$\bar{X}_{i-69.84}$	$\bar{X}_{i-152.64}$	$\bar{X}_{i-2449.12}$		
N	3 004.52	2 934.68**	2 851.88**	555.4	669.65	909.95
N + P	2 449.12	2 379.28**	2 296.48**	0		
CK	152.64	82.8	0			
P	69.84	0				

3 结 语

不同温度条件下、不同高度土柱的 N₂O 排放累积量在施肥和未施肥时,随时间 *t* 的变化均符合修正的 Elovich 方程 $y = b \ln(t) + a_0$ 。

20 和 25 时,反应初始浓度 *a* 随着土壤深度的增加而增加,而 15 时以 10 cm 土柱反应初始浓度最大,即初始浓度不仅取决于反应底物的多少,也受输移能量即温度的影响;15、20 时,表观反应速

率 *dy/dt* 随土壤深度增加而递增,25 时,表观反应速率以 (*dy/dt*)_{15 cm} 最高。即在中等水分条件下,随温度升高,试验土壤 10~15 cm 深处为 N₂O 产生的重要场所。

磷素加入不仅影响施入土壤中氮肥的去向,也能影响土壤矿化态氮的去向。其对 N₂O 的减排效应不仅表现在排放量总量上,也存在于动力学参数初始浓度和表观反应速率之中。

[参考文献]

[1] Williams E J, Hutchinson G L, Fehsenfeld F C. NO_x and N₂O emissions from soil[J]. Cycles, 1992, 6: 351- 388

[2] 梁东丽, 同延安, Ove Emteryd. 菜地不同施氮量下 N₂O 逸出量的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2002, 30(2): 73- 77.

[3] 白红英, 韩建刚, 张一平. 不同土层土壤理化生性状与硝化酶活性及 N₂O 排放通量的相关性研究[J]. 农业环境保护, 2002, 21(3): 193- 196

[4] 侯爱新, 陈冠雄. 不同种类氮肥对土壤释放 N₂O 的影响[J]. 应用生态学报, 1998, 9(2): 176- 180

[5] 黄 耀, 焦 燕, 宗良纲, 等. 土壤理化性质对麦田 N₂O 排放影响的研究[J]. 环境科学学报, 2002, 22(5): 598- 602

[6] 白红英, 李春越, 张一平. 旱地土壤 N₂O 排放与土壤脲酶活性的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(1): 29- 33

[7] 梁东丽, 同延安, Ove Emteryd, 等. 有效碳源和氮源对黄土地土壤 N₂O 逸出量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(1): 43- 48

[8] 彭 琳, 彭祥林. 黄土地区土壤中磷的含量分布、形态转化与磷肥合理使用[J]. 土壤学报, 1989, 26(4): 344- 352

[9] 李生秀, 赵伯善. 土壤供氮水平对几种豆科作物和非豆科作物磷肥肥效的影响[J]. 土壤肥料, 1990, (4): 19- 23

[10] 赵伯善, 李生秀, 李世清. 豆科与非豆科作物对磷肥反应差异根源之探讨[J]. 干旱地区农业研究, 1995, 13(2): 45- 56

[11] 蒋伯藩. 石灰性土壤无机磷有效性的研究[J]. 土壤, 1992, 24(2): 61- 64

[12] 胡 华, 周 涛. 不同降水年型各农业生态系统氮、磷、降水配合效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(2): 63- 66

[13] 罗奇祥. 施氮肥的环境后果—综述[J]. 土壤学进展, 1994, 22(2): 29- 32

Kinetic characteristics and concerned factors of N₂O emission in the orthic anthro soils

BAI Hong-ying, GENG Zeng-chao, ZHANG Yi-ping

(College of Resources and Environment, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China)

Abstract: Kinetic characteristics of soil N₂O emission with the mediate moisture (65% of the field capacity) and the concerned factors (N, P and the different soil depths) were studied in the fallow field of Orthic Anthro soils in the south of Loess Plateau. Results showed that the accumulated curves of N₂O emission with the incubation time could be described by the revised Elovich equation of $y = b \ln(t) + a$ in both the fertilized treatment and the checks. The initial reactive concentration (a) and the apparent reactive rate (dy/dt) largely increased with the increase of soil depths. The initial reactive concentration (a) in the depth of 10 cm at 15 °C and the apparent reactive rate (dy/dt) in the depth of 15 cm at 25 °C reaches the highest. N₂O occurred mainly in the depth of 10~15 cm of the test soil with the increase of incubation temperature under the mediate soil moisture. The reduction effects of P fertilizer on the N₂O emission were showed in the total amount of N₂O emission and were reflected through the initial reactive concentration (a) and the apparent reactive rate (dy/dt).

Key words: accumulated amounts of soil N₂O emission; kinetic characteristics; initial reactive concentration; apparent reactive rate (dy/dt)

(上接第 83 页)

Influence of ecological-environmental conditions on soil phosphatase

HE Wen-xiang^{1,2}, JIANG Xin¹, YU Gui-fen¹, LANG Yin-hai¹

(1 Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, Jiangsu 210008, China;

2 College of Resource and Environmental Science, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Three kinds of soil phosphatase activities were studied under different ecological-environmental conditions. The results show as follows: the dominant enzyme in Lou soil and Red soil is alkaline and acidic phosphatase respectively, the ratio is from 1/2 to 2/3, it will not change with adding dimethypo and improving soil fertility. It suggests revealed that ecological environment has crucial effect on soil enzymatic characteristics. Soil enzyme activity increases with soil fertility among the same ecological zone. Acidic phosphatase is most sensitive to dimethypo; Neutral phosphatase was more bluntness to dimethypo.

Key words: soil phosphatase; enzyme activity; ecological environmental condition