

文章编号 :1003-8701(2004)01-0038-06

# 土壤氮素转化研究进展

张金波 ,宋长春

(中国科学院东北地理与农业生态研究所 ,吉林 长春 130012)

**摘 要 :**土壤氮素转化是生物-土壤生态系统中氮素循环的重要一环。论述了近年来有关氮素矿化作用、硝化作用-反硝化作用、微生物体氮方面的研究 ,并对未来的研究方向作了展望。

**关键词 :**土壤 ;氮素转化 ;矿化作用 ;硝化作用 ;微生物

**中图分类号 :**S158.3

**文献标识码 :**A

氮是植物生长和发育所需的大量营养元素之一,也是植物从土壤中吸收量最大的矿质元素,土壤氮库中的氮主要以有机氮的形式存在,无机氮仅占土壤总氮的1%弱,而植物所吸收的氮几乎都是无机形式,所以,土壤氮库中的有机氮必须不断的通过微生物的矿化作用转化为植物可吸收的有效态氮。因此,了解土壤中的氮素转化具有重要意义。

氮素的转化包括含氮有机质的矿化过程、硝化-反硝化过程、腐殖质的形成过程、植物和微生物对有效态氮的吸收固定作用以及粘土矿物对 $\text{NH}_4^+$ 吸收固定。氮矿化速率决定了土壤中用于植物生长的氮素的可利用性。氮的可利用性限制了植物对土壤氮素的养分利用效率,直接影响生态系统的生产力;氮的可利用性还与植物群落演替之间有着密切的联系,是群落演替的主要限制因素。硝化作用消耗了氨态氮,减少了氮的挥发损失,但是,硝化作用形成的硝态氮极易遭淋失而污染水体,反硝化作用可引起氮的气态损失而污染大气,这关系到环境污染和氮素经济利用;同时,氮氧化物是重要的温室气体。因此,氮素转化研究对于揭示生态系统功能、生物地球化学循环过程的本质有重要意义。

## 1 土壤有机氮矿化研究

氮矿化是指土壤有机碎屑中的氮素,在土壤动物和微生物的作用下,由难以被植物利用的有机态转化为可被植物利用的无机态(主要为氨态氮)的过程。土壤氮素矿化受土壤肥力、土壤基质、土壤水热条件和土壤微生物等因素的综合影响,可将其影响因素归成3类:环境因子、凋落物质量和土壤动物与微生物。其中环境因子中的土壤温度和湿度是影响土壤氮矿化的重要因子。

### 1.1 温度和湿度对氮矿化的影响

土壤氮素矿化是由微生物调控的生物过程,而微生物的种群大小和活性与土壤的温度和湿度等环境因素密切相关。土壤温度和水分含量对土壤氮素矿化的影响可分为直

收稿日期 :2003-06-23

基金项目 :中国科学院知识创新工程重大项目 (KZCX1-SW-01)、(KZCX1-SW-19)、(KZCX3-SW-332)支持。

作者简介 :张金波(1979-),男,硕士,研究方向为环境化学。

接影响和间接影响,水分的可利用性直接影响微生物活性,同时,水还通过控制土壤中 $O_2$ 的扩散来间接影响氮矿化和好氧微生物的活性;同样,温度也直接影响生物化学过程,间接的影响微生物的耗氧量和土壤好气环境。一般认为,最适于微生物活动的土壤湿度,相当于土壤最大持水量的60%~80%;在土壤温度0~35℃范围内,随着温度的增高,微生物活动明显增强。研究发现,在温度为5~35℃范围内,氮的矿化速率与温度呈正相关;在一定的持水量范围内(0.46~0.54 kg/kg),净矿化速率随湿度的增加而升高,当持水量超过该范围,净矿化速率则随持水量的升高而降低;温度和湿度对土壤的矿化和硝化过程存在较明显的交互作用,而氮素矿化的最优温度为20~25℃,最优持水量为30 kPa,干湿交替有利于氮矿化。但也有学者认为,在5~35℃范围内氮矿化一直上升,不存在最优温度。

全球变暖已被广泛证实,这无疑将会对氮素循环产生很大影响。近来,有研究者采用不同海拔间的比较和空间转移方法(将不同海拔的土壤交换位置)研究气候变化(温度)对氮矿化的影响。土壤从高海拔处移植至低海拔处培养一个生长季后,导致移植土壤中氮素的净矿化速率成倍提高,这种变化主要是温度引起的。Knoepp J. D. & Swank W. T.在用此法探讨气候变化对氮矿化的影响时发现,氮矿化率有非常明显的季节变化,春季和夏季最高,冬季低;在不同的海拔和植被带下氮矿化率有显著的差别,氮素矿化的这种季节动态也主要是温度和湿度的变化引起的。

总之,一定温度范围内,氮矿化随温度的升高而升高,但同时植物的吸收也增加;氮矿化随土壤水分的增加而增加,当土壤水分增加到一定值时,氮矿化迅速下降,且水分波动能增加氮矿化。

## 1.2 土壤理化性质对氮矿化影响的研究

土壤理化性质对氮矿化有显著影响。沙土的氮矿化高于壤土和粘土;不同土壤类型由于土壤质地不同,导致水、气、热状况的差异,从而影响氮矿化;在不同粒径中碳、氮含量和分布均随土壤颗粒的加粗而逐渐下降,而C/N比则与此相反,在 $<2\ \mu\text{m}$ 粒径中氮的有效性最高,随着土壤颗粒粒径的加粗有效性逐渐降低。而Gregorich则认为,有机质沙粒级部分( $>53\ \mu\text{m}$ )或粗有机质比粘粒和粉沙粒部分更容易分解。

土壤有机质的来源、种类及组成和数量以及堆积方式,都是影响有机质转化的因素。其中有机质的C/N比是影响有机质转化和保持的重要因素,土壤的C/N比反映着土壤有机质的矿化难易程度,其值愈高,有机质越不易矿化,土壤的C/N比主要影响着土壤易矿化氮含量和难矿化氮的矿化速率,而易溶性有机质中的氮是有机氮可利用性的敏感性指标。对红壤的研究表明,侵蚀红壤的矿化作用和硝化作用都很微弱,采用适宜的施肥措施培肥后,氮素的矿化和硝化速率都有很大提高,说明红壤氮素的矿化和硝化速率与土壤有机质含量呈显著正相关。

土壤矿质氮含量对氮矿化亦有影响,培养前的矿质氮含量与培养期间矿化氮产量呈负相关。这表明较高的矿质氮初始值限制了土壤氮矿化。

不同层次土壤氮素矿化强度及矿化量随土层加深而降低,矿化率值表层最大,其它层差异较小,土壤不同层次中有机质含量是影响土壤氮矿化的主要因素。

## 1.3 凋落物中氮的输入与矿化

凋落物是分解者亚系统的重要组成部分,在改善生态环境及土壤理化性状、能量流动和营养循环过程中起着重要作用。凋落物的生物产量、质量及形态特征依赖于群落类型和树种组成。不同区域及演替的不同阶段的群落类型和树种组成的差异使凋落物产

量、质量及形态特征有很大的变化,对氮矿化产生强烈影响。凋落物分解可分为两个阶段:前期的快速失重阶段主要是非生物作用过程,为可溶成分的淋溶;后期的裂解阶段主要是生物作用过程,为生物分解者活动。在凋落物分解过程中,凋落物的质量与氮矿化的相关性比其他因素更强,它决定着氮矿化的变化,用作凋落物质量的常见指标有:氮浓度、磷浓度、木质素与纤维素浓度、C/N比、木质素/N比和C/P比等,其中C/N比和木质素/N比最能反映凋落物的分解速率。土壤氮矿化与凋落物的C/N比呈反相关,即高C/N比凋落物的矿化率较低;凋落物的分解与初始N、C/N比、木质素/N比呈显著相关;而Gary D. Bending则认为,在早期阶段水解性酚类的含量与氮矿化明显相关,之后是水解氮,C/N比和全氮仅在实验的最后阶段表现出相关性。

研究表明,生长在贫瘠土壤上的植物,其凋落物分解慢。这是因为土壤中的养分含量越低,凋落物的C/N比越高,耐分解化合物的含量越多,凋落物分解越慢。可见,凋落物、植物群落演替和氮有效性之间有密切的联系。不同演替阶段的森林,其凋落物的分解速率差异显著,越高级的群落,其分解速率越快,而其分解速率显著差异的产生是在分解前期。Knoepf J. D. & Swank W. T.研究发现,由于群落类型不同,高海拔地区土壤氮矿化速率反而最高,说明植被类型也是氮转化的控制因素。

现在,凋落物对全球变暖的响应成为研究的热点。在CO<sub>2</sub>浓度升高条件下生长的植物,其凋落物的C/N比增加,分解率下降。王其兵等发现,气温升高2.7℃,降水基本保持不变的气候条件下,3种草原植物凋落物的分解速率提高;而在温度升高2.2℃或更高,降水降低20%或更高的气候条件下,凋落物的分解速率将降低。

影响氮矿化的因素很多,且在不同环境条件下各个因子的影响强度不同,因子之间存在交互作用,因此,在很多方面尚未达成共识,有待进一步研究。

## 2 土壤硝化—反硝化作用研究

硝化作用是指氨态氮通过微生物作用转化为硝态氮的过程;反硝化作用是硝态氮在通气不良和反硝化细菌的作用下还原为氨气的过程。硝化作用和反硝化作用是土壤氮素转化的两个重要过程。硝化作用和反硝化作用影响初级生产力,引起土壤酸化,导致阳离子和硝酸盐淋失,与N<sub>2</sub>O释放密切相关,因此,硝化和反硝化的生物过程非常重要,成为国内外研究热点。

土壤的硝化作用与反硝化作用受土壤中的温度、水分、质地、pH、有机质和含氮量等诸多因子的影响,因此,不同类型土壤中的硝化反硝化活性可能有较大差异。

### 2.1 温度和水分

土壤中氮的硝化、反硝化作用是由微生物的活动引起的,这些微生物数量的多少、活性强弱均受土壤水分和温度等条件的影响。硝化细菌为好气性微生物,其活性受土壤持水量的影响很大,60%田间持水量时,硝化作用最为强烈,持水量过高或过低,硝化作用都有不同程度的抑制;而反硝化细菌为厌气性细菌,土壤持水量大时,处于嫌气环境,土壤中反硝化作用增强。温度也是影响硝化、反硝化作用的重要因素之一。一般来说,温暖湿润的季节有利于微生物的生存和繁殖。研究表明,30℃土温对土壤的硝化作用最为合适,反硝化微生物的活性也随温度的升高而增强。

### 2.2 质地

不同类型土壤间硝化、反硝化活性存在差异,在其它条件不成为主导限制因子时,质地粘重的土壤反硝化活性强,反之,质地轻的土壤硝化活性较强。土壤质地不同引起土

壤间的阳离子代换量的差异,阳离子代换量大,铵离子易被吸附固定,而不易被硝化;反之,则易被硝化。另外,质地也影响到土壤水分含量、透气性及氧化还原电位,从而影响硝化及反硝化活性。

### 2.3 有机质

有机质经氨化作用产生的  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  是硝化过程所需氧化基质的来源,同时,有机质作为碳源还可促进土壤中自养和异养硝化微生物的繁殖。因此,有机质含量高的土壤,硝化及反硝化活性就高。研究表明,同一剖面不同层次土壤有机质含量与土壤硝化势呈正相关,表层土壤的反硝化作用强度大于底层土壤,其原因也主要是表层土壤有机质含量较高。

### 2.4 pH

pH 值是影响硝化及反硝化作用的主要因素,土壤 pH 值影响硝化作用的主要原因是低 pH 值限制了硝化微生物的生长,从而抑制了土壤硝化作用的进行。土壤反硝化作用的土壤溶液最适酸度为 pH7~8.5。研究表明,不同利用方式的红壤施用石灰处理土壤的 pH 上升了 1.5,硝化率有很大程度的提高,证明了 pH 对硝化作用的影响。

### 2.5 含氮量

$\text{NH}_4^+-\text{N}$  是硝化细菌进行硝化作用的初始反应物, $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的来源对硝化作用也有明显影响, $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的增加将增大硝化速率,施氮量越高,反硝化量越大。

近来, $\text{CO}_2$  浓度升高对净硝化作用和反硝化潜力的影响成为研究的热点。在持续高浓度  $\text{CO}_2$  环境中,净硝化速率上升,反硝化势和  $\text{N}_2\text{O}$  释放显著增加,Monique 认为这是受 pH 值、C 可利用性和  $\text{NO}_3^-$  产量升高等土壤性质变化的间接影响。

硝化作用消耗了铵,从而可能减少氨的挥发损失,但是硝化作用形成的硝态氮又易遭淋失而污染水体,更可通过反硝化作用而损失并污染大气,因此,对硝化作用—反硝化作用的研究有很重要的意义。

## 3 土壤微生物体氮研究

土壤微生物体氮是指存在于土壤活体微生物中的氮素,土壤微生物体固持的氮在其死亡后可矿化为无机氮,为植物所利用,因其 C/N 比一般小于 10,所以,土壤微生物体氮的矿化速率远远高于土壤氮的平均矿化率。土壤氮素的矿化和固持是在土壤微生物的参与下进行的,而土壤微生物态氮本身亦是土壤活性氮库中的重要组成部分。土壤易矿化有机态氮和种植前土壤微生物态氮能较好地反映土壤氮素的矿化和供应能力。但关于这一方面的研究在近二三十年以来才引起人们的重视。

从土壤的生物化学过程来看,土壤微生物一方面通过自身的生命活动将其它的有机态氮矿化分解成无机态氮,供给植物或其它微生物吸收利用,同时也通过自身的代谢参与土壤的氮素循环。土壤微生物氮的含量与气候、植被、土壤类型和耕作制度有关,是土壤微生物氮素矿化与固持作用的综合反应。因此,凡能影响土壤氮素矿化与固持过程的因素都会影响土壤微生物氮的含量,在不同环境条件下土壤中微生物体氮不同。一般认为,土壤有机质与微生物体氮有密切正相关关系;耕作制度对微生物体氮有明显影响,与常规耕翻相比长期免耕处理土壤微生物生物量碳、氮含量增加;在不同生态系统中的微生物体氮存在显著差异,其差异与有机质含量的变化一致。

近年来,国内外对土壤氮素循环作了大量研究,对这一过程的认识不断加深,但在许多方面仍是众说纷纭,尚未达成共识。

## 4 未来研究展望

土壤氮素循环是生物-土壤生态系统中氮素循环的重要一环,对土壤氮素转化的研究一直是国内外研究的热点问题。但是,影响氮素转化的因素很多,且不同因子之间的影响具有交互作用,不同条件下各个因子的影响强度也存在较大差异,所以,有很多方面需要进一步研究。

### 4.1 氮素可利用性、氮转化与群落演替的研究

氮素可利用性对净初级生产力和群落物种组成有重要影响,而植物群落又能引起环境条件的变化,反过来影响生态过程,这方面的研究对于生态系统恢复与重建有重要意义,迫切需要开展。

### 4.2 全球气候变化对氮素转化的影响

全球气候变暖已被广泛证实,这无疑将会对氮素循环产生很大影响。气候变化对氮矿化、硝化、反硝化和凋落物等的影响已有不少研究,但众说纷纭,至今尚未达成共识,尤其国内,这方面的报道更少。

### 4.3 土壤微生物态氮在土壤氮转化中的作用、对氮素可利用性的影响及其与其它土壤氮库关系的研究

土壤氮素的矿化和固持是在土壤微生物的参与下进行的,而土壤微生物态氮本身亦是土壤活性氮库中的重要组成部分,而且,土壤微生物体固持的氮很容易矿化,所以,土壤微生物态氮在土壤氮转化中起着重要作用。这方面研究对明确土壤中氮素去向,提高氮素可利用性有重要意义。

参考文献:

- [1] Ingestad T. Plant growth in relation to nitrogen supply[J]. *Terrestrial Nitrogen Cycle*, 1981, 33(303): 268-271.
- [2] Das A K. Tripath R. S. & Pandey H. N. Nitrogen mineralization and microbial biomass -N in a subtropical humid forest of Meghalaya, India[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1997, 29: 1609-1612.
- [3] 周才平,欧阳华. 温度和湿度对长白山两种林型下土壤氮矿化的影响[J]. *应用生态学报*, 2001, 12(4): 505-508.
- [4] 李贵才,韩兴国,黄建辉,等. 森林生态系统土壤氮矿化影响因素研究进展[J]. *生态学报*, 2001, 21(7): 1187-1195.
- [5] Tilman D. Secondary succession and the pattern of plant dominance along experimental nitrogen gradients[J]. *Ecology*, 1987, 57: 189-214.
- [6] Reich P B. David F. et al. Nitrogen mineralization and productivity in 50 hardwood and conifer stands on diverse soil[J]. *Ecology*, 1997, 72(2): 335-347.
- [7] Sierra J. Temperature and soil moisture dependence of N mineralization in intact soil cores[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1997, 29(9): 1557-1563.
- [8] 巨晓棠,李生秀. 土壤氮素矿化的温度水分效应[J]. *植物营养与肥料学报*, 1998, 4(1): 37-42.
- [9] 周才平,欧阳华. 温度和湿度对暖温带落叶阔叶林土壤氮矿化的影响[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(2): 204-209.
- [10] Jennifer D. Knoepp & Wayne T. Swank. Rates nitrogen mineralization across an elevation and vegetation gradient in the southern Appalachians[J]. *Plant and Soil*, 1998, 204: 235-241.
- [11] 王 岩. 土壤不同粒级中 C、N、P、K 的分配及 N 的有效性研究[J]. *土壤学报*, 2000, 37(1): 85-94.
- [12] Gregorich E. G. Kachanoski R. G. & Voroney R. P. Ultrasonic dispersion of aggregates: distribution of organic matter in size fractions[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 1988, 68: 395-403.
- [13] 李天杰,郑应顺,王 云. 土壤地理学[M]. 1983, 38.
- [14] 李辉信. 红壤氮素的矿化和硝化作用特征[J]. *土壤*, 2000, 4: 194-214.
- [15] 傅会芳. 旱地土壤氮素矿化的动力学研究[J]. *中国科学院研究生院学报*, 1996, 13(2): 178-182.

- [16] E. Barrios R J. Buresh & J I. Sprent .Nitrogen mineralization in density fractions of soil organic matter from maize and legume cropping systems[J]. Soil Biol. Biochem, 1996, 28: 1459-1465 .
- [17] Sierra J. Relation between mineral N content and N mineralization rate in disturbed and undisturbed soil samples incubated under field and laboratory condition[J]. Aust. J. Soil Res., 1992, 30: 477-492 .
- [18] 巨晓棠,李生秀. 培养条件对土壤氮素矿化的影响[J]. 西北农业学报,1997,6(2):64-67 .
- [19] Bllert B H. & Kettany J R. Temperature dependence of net nitrogen and sulfur mineralization[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56: 113-1141.
- [20] Grundmann G L. Renault P. Rosso L. & Bardin R. Differential effects of soil water content and temperature on nitrification and aeration[J]. SOIL Science Society of America Journal 1995, 59: 1342-1349.
- [21] Orehard V A. & Cook F J. Relationship between soil respiration and soil moisture[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1983, 15: 447-453.
- [22] Skopp J. Jawson M D. & Doran J W. Steady-state aerobic microbial activity as a function of soil water content[J]. Soil Science Society of America Journal, 1990, 54: 1619-1625.
- [23] Standford G. and Epstein E. Nitrogen mineralization-water relations in soil[J]. Soil Science Society of America Proceedings, 1973, 115: 321-323 .
- [24] Berendse F. Organic matter acumulation and nitrogen mineralization during secondary succession in health land ecosystems[J]. Journal of Ecology, 1990, 78(2): 413-427.
- [25] 孙刚,姜世成. 松嫩平原羊草草原凋落物层群落学作用的研究[J]. 植物生态学报,2000,24(4):473-476 .
- [26] 彭少麟,刘 强. 森林凋落物动态及其对全球变暖的响应[J]. 生态学报,2002,22(9):1534-1544 .
- [27] Gary D. Bending, Mary K. Turner. & Tan G. Burns. Fate of nitrogen from crop residues as affected by biochemical quality and the microbial biomas[J]. Soil Biol.Biochem, 1998, 30(14): 2005-2065.
- [28] 张德强,叶万辉,等. 鼎湖山演替系列中代表性森林凋落物研究[J]. 生态学报,2000,20(6):938-944.
- [29] 吴彦,刘庆,等. 亚高山针叶林不同恢复阶段群落物种多样性变化及其对土壤理化性质的影响[J]. 植物生态学报,2001,25(6):648-655.
- [30] Jasonn L. Lutze, Roger M. Gifford & Helen N. Adams. Litter qualiy and decomposition in Danthonia richardsonii swards in response to CO<sub>2</sub> and nitrogen supply over four years of growth[J]. Global Change Biology, 2000, 6: 13-24.
- [31] 王其兵,李凌浩,等. 模拟气候变化对3种草原植物群落混合凋落物分解的影响[J]. 植物生态学报,2000,24(6):674-679.
- [32] Monique Carnol. Elevated atmospheric CO<sub>2</sub> in open top chambers increases net nitrification and pontential denitrification[J]. Global Change Biology, 2002, 8: 590-598.
- [33] 耿玉清,孙向阳. 北京低山区森林土壤硝化和反硝化作用的研究[J]. 北京林业大学学报,1999,1:38-43 .
- [34] 丁洪,王跃思,等. 华北平原几种主要类型土壤的硝化及反硝化活性[J]. 农业环境保护,2001,20(6):390-393.
- [35] 白红英,韩建刚,赵一萍. 不同土层土壤理化生性状与反硝化酶活性 N<sub>2</sub>O 排放通量的相关性研究[J]. 农业环境保护,2002,21(3):193-196.
- [36] 沙丽清,孟盈,等. 西双版纳不同热带森林土壤氮矿化和硝化作用研究[J]. 植物生态学报,2000,24(2):152-156.
- [37] 张树兰. 陕西几种土壤中硫酸铵的硝化作用及其影响因素[J]. 干旱地区农业研究,1998,16(1):64-68 .
- [38] 谢建治,尹君,等. 田间土壤反硝化作用动态初探[J]. 农业环境保护,1999,18(6):272-274 .
- [39] 马宏瑞,吴守仁,等. 温度和水分对土壤反硝化的影响[J]. 西北农业大学学报,1997,25(2):16-20 .
- [40] 范晓晖,朱兆良. 我国几种农田土壤硝化势的研究[J]. 土壤通报,2002,33(2):123-124 .
- [41] 范晓晖,朱兆良. 农田土壤剖面反硝化活性及其影响因素的研究[J]. 植物营养与肥料学报,1997,3(2):97-104 .
- [42] 周建斌,陈竹君,等. 土壤微生物量氮含量、矿化特性及其供氮作用[J]. 生态学报,2001,21(10):1708-1725 .
- [43] 宋建国,林杉,等. 土壤易矿化有机态氮和微生物态氮作为土壤氮素生物有效性指标的评价[J]. 生态学报,2001,21(2):290-294 .
- [44] 李世清,李生秀,张兴昌. 不同生态系统土壤微生物体氮的差异[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1998,5(1):69-73 .

个月分别下降到 95%和 90% ; 在室温下 ,3 个月无太大变化 ,6 个月和 12 个月分别为 88%和 83% ,室温保存较冰箱保存的存活率变化较大 ,但 1 年内 SB-15 的活菌数仍保持 5 亿/g 水平。据此 ,本菌剂保存期可暂定为 1 年。其后活菌数变化如何有待进一步监测。

### 2.1.4 试生产菌剂的安全性

直观试验 :采用 5~10 d 雏鸡 ,饲料中拌入本试生产菌剂 1 g/只·d ,连续饲养 10 d ,与对照比较 ,雏鸡未见异常和死亡。

毒理学检验 :中国人民解放军军需大学军事兽医研究所的毒性试验结果表明 ,本试生产菌剂对动物不表现任何毒性作用 ,是一种安全的饲用微生物添加剂。具体试验结果如下 :

急性毒性试验 :应用 100 亿菌/g 的“利生 931 ”饲用微生物添加剂给大白鼠灌胃 ,其 LD50 大于 12.0 g/kg 体重 ,无任何毒性反应。

亚慢性毒性试验 :①饲喂不同剂量“利生 931 ”饲用微生物添加剂的大白鼠 ,在 30 d、60 d 平均增重明显高于对照组 ,并能提高利用率 ,60 d 以后各组体重增长减缓 ;②不同时期采血 ,测得各组的红细胞、血红蛋白、白细胞及其分类计数均与对照组相近 ;③取 30 d、60 d 和 90 d 大白鼠血清进行总蛋白、白蛋白、尿素氮、碱性磷酸酶、谷丙转氨酶和谷草转氨含量测定 ,各剂量组均与对照组无明显差异 ;④各组大白鼠心、肝、脾、肾的脏/体比值接近 ,并与对照组无明显差异 ;⑤各组动物尸检和病理学检查未见明显异常改变。

## 3 结 语

采用 300 L 罐发酵和菌剂组合调制技术的配套工业生产工艺 ,完成饲用复合微生物添加剂的批量生产是可行的。

试生产菌剂的平均活菌数蜡状芽孢杆菌为 5.8 亿/g(>5 亿) ,乳酸杆菌为 22 亿/g ,水分 9.2%(<10%) ,细度 80 目 ,保存期 1 年。符合国内暂行规定的质量标准。

本试生产菌剂经国家指定部门安全毒理学检验认定 ,无毒性反应 ,是一种安全、无污染和无公害的有效生物制剂。

参考文献 :

[1] 吴锦圆 . 益生菌及其研究与应用[J] . 饲料工业 ,1990 ,(1) :22-24 .  
 [2] 康 白 . 促菌生的研究总结报告[J] . 大连医学院学报 ,1984 ,6(1) :1-10 .  
 [3] 薛恒平 ,等 . 用微生物疗法防治幼畜离腹泻和提高增重的试验[J] . 中国微生物学杂志 ,1989 ,1(1) :99-100 .  
 [4] Sogarrd, H. Microbials for feed: Beyond bacteria lactic acid bacteria. Feed international. 1990, Vol.11, No.4: 22-27.  
 [5] Aimutis, W R. Production of direct-fed microbials and silage inoculant-Judging microbials. Feed management. 1991. 42: 25-32 .  
 [6] 薛恒平 . 复合菌剂饲养仔鸡试验[J] . 中国饲料 ,1992 ,3 :28-29 .  
 [7] 任守让 ,等 . 饲用复合微生态制剂研究( I ) [J] . 吉林农业科学 ,1998 ,23(1) :78-80 .  
 [8] 任守让 ,等 . 饲用复合微生态制剂研究( II ) [J] . 吉林农业科学 ,1999 ,24(1) :48-49 .



(上接第 43 页)

[45] 徐阳春 ,沈其荣 ,冉 炜 . 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J] . 土壤学报 ,2002 ,39(1) :89-96 .  
 [46] Lathbridge G. Davidson M S. Microbial biomass as a source of nitrogen for cereal[J]. Soil Biol. Biochem, 1983, (15).  
 [47] Zagal E E. Persson J. Immobilization and remineralization of nitrogen addition[J]. Soil Biol. Biochem, 1994, (26).  
 [48] Montagnini F. & R. Buschbacher. Nitrogen transformations following tropical forests and three slash-and-burn sites of the Venezuelan Amazon[J]. Biotropica, 1989, 21: 9-14.  
 [49] 王其兵 ,等 . 气候变化对草甸草原土壤氮素矿化作用影响的实验研究[J] . 植物生态学报 ,2000 ,24(6).