

控释氮肥养分控释效果及合理施用研究

王小利, 周建斌*, 郑险峰, 李生秀

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 试验采用{3,3}单形重心设计方法,研究了普通尿素和2种包膜尿素D90、D60配比对土壤 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N及矿质态氮(N_{min})含量的影响。结果表明,供试的7种包膜肥料初期溶出率均 $<12.0\%$,微分溶出率在 $0.26\% \sim 2.49\%$ 之间。各处理土壤 NH_4^+ -N含量均随时间逐渐降低,而 NO_3^- -N和 N_{min} 含量随时间逐渐增加。整个培养期内单独施用尿素处理,土壤 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N及 N_{min} 含量最高;2种控释肥单施或其配比施用土壤 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N及 N_{min} 含量最低;尿素与控释肥配合施用,土壤 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N及 N_{min} 含量居中。不同时期内土壤 NH_4^+ -N的来源不同,0~20d内,尿素对土壤 NH_4^+ -N含量贡献最大;30~50d内,土壤 NH_4^+ -N主要来自D60;整个培养期内尿素对土壤 NO_3^- -N和 N_{min} 的贡献均最大。肥料配比中随着尿素比例的减少,土壤 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N及 N_{min} 均逐渐减少。研究结果初步验证了混料设计在肥料配比研究中的可行性。

关键词: 控释肥料; 氮肥; 养分释放; 合理施用

中图分类号: S151.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2003)04-0390-06

Nutrient releasing characteristics of controlled-release nitrogen fertilizer and its rational application

WANG Xiao-li, ZHOU Jian-bin, ZHENG Xian-feng, LI Sheng-xiu

(College of Resou. and Envir. Sci., Northwest Sci-Tech Univ. of Agricu. and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Soil incubation experiment designed with {3, 3} simplex centroid design method was adopted to assess the effects of combination of urea and two kinds of CRFs (polymer-coated urea, D90 and D60) on the contents of NH_4^+ -N, NO_3^- -N and mineral N(N_{min}) in soil. The initial solubility of seven CRFs used in this experiment was less than 12.0%, and differential solubility was between 0.26% and 2.49%. During the soil incubation, the NH_4^+ -N in soils of all treatments decreased; while NO_3^- -N and N_{min} in these soils increased. The contents of NH_4^+ -N, NO_3^- -N and N_{min} in soil were highest when only conventional urea were added, and lowest when only D90 and D60 or their combination were added; the contents of NH_4^+ -N, NO_3^- -N and N_{min} in treatments combined conventional urea with CRFs were in the middle. The NH_4^+ -N in soils derived from different sources during the incubation; in the early 20 days incubation the NH_4^+ -N mainly came from the conventional urea; and during the 30 to 50 days incubation more portion of NO_3^- -N from D60; and the conventional urea had more important effects on the NO_3^- -N and N_{min} in soil during the whole incubation. As the proportion of conventional urea in the combinations of different fertilizers was decreased, the contents of NH_4^+ -N, NO_3^- -N and N_{min} in soils also became lower. It is concluded that the mixture design is a useful method to evaluate the nutrient release characteristics of CRFs and their rational application.

Key words: controlled-release fertilizer; nitrogen fertilizer; rational application; nutrient release

化肥肥料养分利用率低以及由此造成的环境污染已经成为全球社会、经济和农业可持续发展的主

收稿日期: 2002-10-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(30230230, 49890330); 国家 863 项目(2001AA246021); 教育部留学回国人员科研启动基金资助。

作者简介: 王小利(1979—), 女, 山西柳林人, 硕士研究生, 主要从事植物营养及新型肥料的研究。* 通讯作者

要障碍之一。因此,如何提高肥料利用率,减少养分流失,成为当今世界各国共同关注的焦点^[1~4]。控释肥具有养分释放与作物需求同步,一次施用能满足作物整个生育期的要求;挥发、淋溶、固定少;施用方便,对环境污染小等优点。因此,自 20 世纪 80 年代以来,控释肥料已成为新型肥料研究的热点^[5]。国内外研制出了一些控释肥,如美国生产的 SUC、Osmocote,日本的 CSR、Nutricote,以色列的 Multicote、K-Power 等。但与普通化肥相比,世界上控释肥的用量还很小,仅占化肥总用量的 0.15%^[6]。由于控释肥料的价格一般比常规肥料高 2.5~8 倍^[7~11]。因此,目前主要用于经济价值较高的花卉、蔬菜、草莓、草坪等植物的生产^[6]。肥料在土壤中的养分释放不仅与 pH、水分、养分等土壤条件有关,而且与作物的需肥特性有联系。不同类型土壤的养分状况和供肥能力有异,不同作物的营养特性又有变化。因此,目前研制开发出的控释肥尚难完全做到养分的释放与作物对养分的吸收相协调,期待研制一种适应不同土壤和作物的控释肥料是不现实的。

不同肥料(包括普通肥料、缓释肥和控释肥)养分释放特性是不同的。将这些养分释放性能不同的肥料根据土壤养分状况以及作物需肥特性等,进行有效地搭配,可以达到缓急相济,优势互补,保证作物整个生育期内养分供应的强度和数量,更好地满足作物对养分的需求,可能是一种提高肥料利用率、减少养分流失、减轻环境污染,特别是降低控释肥生产成本的新思路。为此,我们以 7 种控释肥料为材料,在对其养分控释特性进行初步评价的基础上,采用回归混料设计方法,在土壤模拟条件下研究释放特性不同的 3 种氮肥的配比效果,以期为控释肥的开发和合理施用提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 控释肥料养分溶出率的测定

采用 7 天静置法^[11]测定了普通尿素和 7 种控释肥的养分释放特性。供试肥料包括以色列 Haifa 化肥公司生产的聚合物多层包膜 NPK 复合肥(18-6-12)、MAP 磷肥(12-46-0)、KNO₃(12-0-43)、SAMPLE1(16-8-10)、SAMPLE2(16-8-10)和加拿大 Agrium 公司生产的聚合物包膜尿素 Duration[®](41-0-0,D60)和 Duration[®](41-0-0,D90)。试验时,取每种肥料各 5g,加入盛 20mL 蒸馏水的容器,加盖,置于 25℃ 恒温培养箱中培养,每隔 24h 取 1 次样,共取 7 次样,测定浸出液中的全氮含量。并计算养分的初期溶出率和微分溶出率^[12]:

$$\text{初期溶出率}(\%) = 24\text{h 溶出的养分量} / \text{肥料中养分含量} \times 100;$$

$$\text{微分溶出率}(\%) = (7\text{d 溶出的养分量} / \text{肥料中养分含量} \times 100 - \text{初期溶出率}) \times 1/6$$

1.2 控释肥料配比试验

采用{3,3}单形重心设计^[13~14],在土壤模拟试验条件下研究释放特性不同的 3 种氮肥,即普通尿素(U)、D90 和 D60 配比的效果。试验设 7 个处理(表 1),以不施肥(CK)为对照,重复 3 次。供试土壤取自西北农林科技大学农作一站,其理化性状为 pH 8.4,有机质 9.50g/kg,全 N 0.74g/kg,碱解 N 51mg/kg,Olsen-P 7.2mg/kg,NH₄Ac-K 181mg/kg。

称取 0.20g N 量的肥料与 200.00 g 过 2 mm 筛的风干红油土混匀,装入玻璃瓶中,称重法保持土壤含水量为田间持水量,用塑料膜封口(膜上留 5 个透气孔),于 25℃ 下培养 5、10、20、30、50d,分别取土样,测定 NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 含量,扣除不施肥土壤相应的养分量即为肥料养分的释放量。利用试验结果建立各测定值(y)与 x₁、x₂、x₃(x₁ + x₂ + x₃ = 1)不同配比时相应的回归方程,根据回归方程绘制不同肥料配比下的等值线图^[15],评价不同肥料组分及其配比的养分释放特性。土壤及溶出液中 NO₃⁻-N、NH₄⁺-N 和酰胺态 N 分别用紫外分光光度法^[15]、靛酚蓝比色法和对二甲氨基苯甲醛法^[16]测定,全 N 采用凯氏定氮仪测定^[17]。

表 1 不同氮肥配比{3,3}单形重心设计方案

Table 1 The {3,3} simplex centroid design with different ratios of nitrogen fertilizer

| 处理 Treatment | 编码值 Coding value | | | 施肥量(N g/200 g) Fertilizer rate | | |
|-----------------|--------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|-------|-------|
| | x ₁ (U) | x ₂ (D90) | x ₃ (D60) | U | D90 | D60 |
| U | 1 | 0 | 0 | 0.20 | 0.00 | 0.00 |
| D90 | 0 | 1 | 0 | 0.00 | 0.20 | 0.00 |
| D60 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.20 |
| U-D90 | 1/2 | 1/2 | 0 | 0.10 | 0.10 | 0.00 |
| U-D60 | 1/2 | 0 | 1/2 | 0.10 | 0.00 | 0.10 |
| D90-D60 | 0 | 1/2 | 1/2 | 0.00 | 0.10 | 0.10 |
| U-D90-D60 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 0.067 | 0.067 | 0.067 |

2 结果与分析

2.1 不同控释肥料的氮素释放速率

表2看出,普通尿素的初期溶出率达97.64%,微分溶出率仅为0.39%;7种包膜肥料的初期溶出率均小于12%,微分溶出率在0.26%~2.49%之间,符合国际上所公认的缓/控释肥的初期溶出率小于15%,微分溶出率为0.25%~2.5%的标准^[18]。不同控释肥相比,KNO₃的初期溶出率和微分溶出率均最高,D60和D90次之,NPK和MAP居中,SAMPLE1和SAMPLE2的初期溶出率和微分溶出率均最低。

表2 不同肥料的氮素释放特性
Table 2 Nitrogen release characteristics of different fertilizers

| 肥料 Fertilizer | 初期溶出率(%) Initial solubility | 微分溶出率(%) Differential solubility |
|------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| NPK | 2.89 | 1.81 |
| MAP | 0.73 | 1.89 |
| KNO ₃ | 11.16 | 2.49 |
| SAMPLE1 | 0.29 | 0.27 |
| SAMPLE2 | 0.18 | 0.26 |
| D60 | 3.09 | 2.17 |
| D90 | 4.76 | 2.45 |
| U | 97.64 | 0.39 |

2.2 不同控释肥料及其配比的氮素供应特性

2.2.1 不同控释肥料配比释放的NH₄⁺-N含量的变化 图1a看出,培养第5d,单独施用尿素处理肥料释放的NH₄⁺-N量最高,达720mg/kg以上;单施2种控释肥或其配比释放的NH₄⁺-N量最低,低于60mg/kg;尿素与控释肥配合施用,释放的NH₄⁺-N量居于中间。随着培养时间的延长,由于硝化作用的进行,各处理释放的NH₄⁺-N含量均呈降低趋势,第5~20d的降低幅度比较大,之后降低幅度减缓;到第50d时,释放的NH₄⁺-N几乎测不出来。培养期间尿素与控释肥配合处理释放的NH₄⁺-N量明显高于2种控释肥单施和其配施处理;培养前16d,D90的释放速率大于D60;其后D60的释放速率高于D90。可见,释放特性不同的氮肥配合施用,可以有效地调控NH₄⁺-N的供应水平。

依不同时间肥料释放的NH₄⁺-N量(y)和相应

的肥料配比(x₁、x₂、x₃)配置方程,结果见表3。回归方程中各组分x₁、x₂、x₃的系数可表示该组分对y作用的大小。可以看出,培养的前20d,尿素对土壤NH₄⁺-N含量的贡献显著高于其它2种控释肥料的作用;30~50d,D60对土壤的NH₄⁺-N含量的作用超过尿素,说明在培养后期,控释肥料D60的氮素释放是土壤中NH₄⁺-N增加的主要来源。

2.2.2 不同控释肥料对比对土壤中NO₃⁻-N增加量的影响 与NH₄⁺-N的变化趋势不同,土壤中NO₃⁻-N的变化呈逐渐增加趋势(图1b)。单独施用尿素处理NO₃⁻-N的含量最高,2种控释肥单施或配比施用释放的NO₃⁻-N量最低,而尿素与控释肥配合施用居中。从NO₃⁻-N含量增加的趋势看,单施尿素处理在培养的前20d内NO₃⁻-N含量增加的幅度最大,之后趋于平缓;单施控释肥或其配比NO₃⁻-N含量在培养期间一直呈增加趋势;尿素与控释肥配合施用,培养30d后,增加趋于平缓。

配置不同时间土壤NO₃⁻-N量与肥料(x₁、x₂、x₃)的回归方程(表3)。从方程及系数可看出,培养第5d时,方程中3个组分的系数相差不大,说明这时释放的肥料氮尚未发生明显的硝化作用。随着培养时间的延长,各组分对土壤NO₃⁻-N含量作用的贡献显著增加,其中尿素的贡献最大。

2.2.3 不同控释肥料对比对土壤矿质态N(N_{min})的影响 图1c看出,随着时间的延长,各处理土壤N_{min}含量均呈增加趋势。不同处理相比,单独施用尿素处理土壤N_{min}含量最高,在培养的前10d内即达高峰,且一直保持在较高的水平。说明尿素态氮在培养期间很快转化为NH₄⁺-N和NO₃⁻-N。控释肥单施或其配比处理,土壤N_{min}最低,但随着培养时间的延长,含量一直增加,说明控释肥所含的氮素养分在逐渐释放。而尿素与控释肥配合施用处理,土壤N_{min}含量居于上述两类肥料中间。随着培养时间的延长,这些处理土壤N_{min}含量的增加幅度明显高于单施尿素处理。

从表3方程系数可看出,培养期间,尿素对土壤N_{min}含量的贡献始终高于其它2种控释氮肥。随着培养时间的延长,控释肥料对土壤N_{min}含量的贡献增加,其中培养前期,D90的贡献大于D60,第50d时,D60的贡献高于D90。

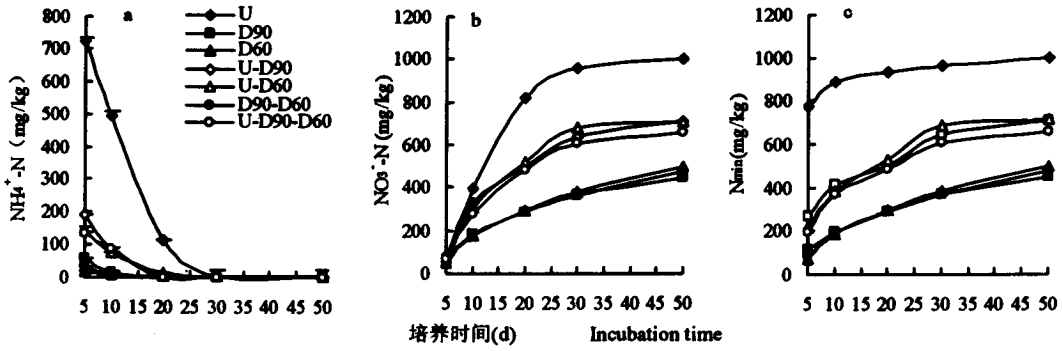


图 1 不同肥料配比土壤 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ (a)、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ (b) 及 N_{min} (c) 含量的变化

Fig. 1 Changes of $\text{NH}_4^+ \text{-N}$, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ and N_{min} contents in soil with different fertilizer ratios

表 3 不同时期测定的土壤 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 及 N_{min} 的回归方程

Table 3 Regression equations of the $\text{NH}_4^+ \text{-N}$, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ and N_{min} in soil with different incubation time

| 测定项目 Item | 时间(d) Days | 拟合方程 Regression equations | r |
|---------------------------|---------------|---|--------|
| $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ | 5th | $y = 723.56x_1 + 56.76x_2 + 18.63x_3 - 803.24x_1x_2 - 900.77x_1x_3 - 25.34x_2x_3 + 1569.23x_1x_2x_3$ | 0.9987 |
| | 10th | $y = 494x_1 + 12.25x_2 + 9.98x_3 - 673.30x_1x_2 - 707.16x_1x_3 - 0.94x_2x_3 + 1809.33x_1x_2x_3$ | 0.9787 |
| | 20th | $y = 113.34x_1 + 2.05x_2 + 5.28x_3 - 209.96x_1x_2 - 180.21x_1x_3 - 5.15x_2x_3 + 161.47x_1x_2x_3$ | 0.9817 |
| | 30th | $y = 4.19x_1 + 1.82x_2 + 4.90x_3 - 3.21x_1x_2 - 3.09x_1x_3 - 5.49x_2x_3 - 21.86x_1x_2x_3$ | 0.9824 |
| | 50th | $y = 0.84x_1 + 1.07x_2 + 3.09x_3 + 3.86x_1x_2 + 0.07x_1x_3 - 1.45x_2x_3 - 45.73x_1x_2x_3$ | 0.9867 |
| $\text{NO}_3^- \text{-N}$ | 5th | $y = 53.44x_1 + 59.17x_2 + 50.06x_3 + 92.51x_1x_2 + 80.46x_1x_3 + 15.73x_2x_3 - 242.39x_1x_2x_3$ | 0.9758 |
| | 10th | $y = 393.00x_1 + 183.15x_2 + 177.82x_3 + 151.70x_1x_2 + 94.37x_1x_3 - 0.25x_2x_3 + 36.86x_1x_2x_3$ | 0.9758 |
| | 20th | $y = 819.66x_1 + 287.75x_2 + 292.01x_3 - 234.77x_1x_2 - 159.29x_1x_3 - 4.22x_2x_3 + 1598.45x_1x_2x_3$ | 0.9817 |
| | 30th | $y = 959.37x_1 + 366.65x_2 + 378.10x_3 - 93.52x_1x_2 + 54.14x_1x_3 - 13.46x_2x_3 + 1158.63x_1x_2x_3$ | 0.9871 |
| | 50th | $y = 999.16x_1 + 448.45x_2 + 497.96x_3 - 66.54x_1x_2 - 147.51x_1x_3 + 20.31x_2x_3 + 778.45x_1x_2x_3$ | 0.9905 |
| N_{min} | 5th | $y = 777.00x_1 + 115.93x_2 + 68.7x_3 - 710.73x_1x_2 - 820.31x_1x_3 - 9.62x_2x_3 + 1326.84x_1x_2x_3$ | 0.9982 |
| | 10th | $y = 887.00x_1 + 195.4x_2 + 187.80x_3 - 521.6x_1x_2 - 612.79x_1x_3 - 1.19x_2x_3 + 1846.19x_1x_2x_3$ | 0.9784 |
| | 20th | $y = 933.00x_1 + 289.80x_2 + 297.29x_3 - 444.72x_1x_2 - 339.50x_1x_3 - 9.37x_2x_3 + 1759.92x_1x_2x_3$ | 0.9820 |
| | 30th | $y = 963.56x_1 + 368.47x_2 + 383.00x_3 - 96.73x_1x_2 + 51.06x_1x_3 - 18.94x_2x_3 + 1136.76x_1x_2x_3$ | 0.9963 |
| | 50th | $y = 1000x_1 + 449.52x_2 + 501.05x_3 - 62.67x_1x_2 - 147.44x_1x_3 + 18.85x_2x_3 + 732.72x_1x_2x_3$ | 0.9955 |

3 讨论

本研究发现,养分释放特性不同的普通尿素和控释尿素搭配后,培养初期释放到土壤中的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量明显低于单施尿素处理,而土壤矿质氮含量明显高于单施控释氮肥处理。可见,将养分释放性能不同的肥料有效搭配,可以达到缓急相济,优势互补,平衡供肥的目的。这种利用养分释放性能不同的肥料进行有效搭配,调控养分供应的方法,可以称为“肥料接力法”。它不但可以根据土壤营养状况及作物需肥特性等,灵活地调控养分供应的强度、数量和形态,而且一次施入满足作物整个生育期的需求,减轻了劳动强度,减少了肥料用量,降低了生产成本。

混料设计是研究配方和配比问题的一种方法。近年来,已被广泛应用于植物营养与肥料方面的研究。如国内外一些学者利用单形格子设计研究了作物生长期肥料的分配问题^[19,20],评价无土栽培中不同营养配方的效果^[21],肥料中 N、P、K 3 种养分组成对作物生长的影响^[14,19]等。农业领域遇到的不少问题也可用混料设计方法处理,如复合肥、饲料、农药等的配方问题。但将其应用于控释肥料的研究,尚未见报道。本研究根据得到的回归方程,在测定结果范围内给 y 赋不同的值,在 $x_i \geq 0$ ($i=1, 2, 3$) 和 $x_1 + x_2 + x_3 = 1$ 的条件下,通过代入法求出若干组 x_1, x_2, x_3 组合,并依此做出 y 的等值线(图 2)。由图 2a 看出,培养前期,随着尿素比例的增加土壤

中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量增加; 培养 50d 时, 土壤中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量随着 D60 比例的增加而增加(图 2b)。图 2c 和图 2d 可以看出, 随着肥料配比中尿素比例的增加, 释放的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 和 N_{min} 总量亦显著增加。可见, 根据作图法所得图形, 可以直观地分析不同肥料配比释放养分的特性。若给定了应该达到的养分含量, 则可求出相应的肥料配比方案, 进而使肥料配比研究做到量化。这一方法具有直观性强、信息量大

等优点, 是肥料配比研究中非常有效的一种方法。本研究是在未种植作物条件下进行的。种植作物后, 由于根系对养分的不断吸收, 土壤有效氮素的变化与未种植作物必然会有所差异。但养分释放性能不同的肥料进行搭配可以平衡供应养分的规律应是相同的。我们将进一步进行生物试验, 使这一设想用于指导控释肥料的研制和施用实践。

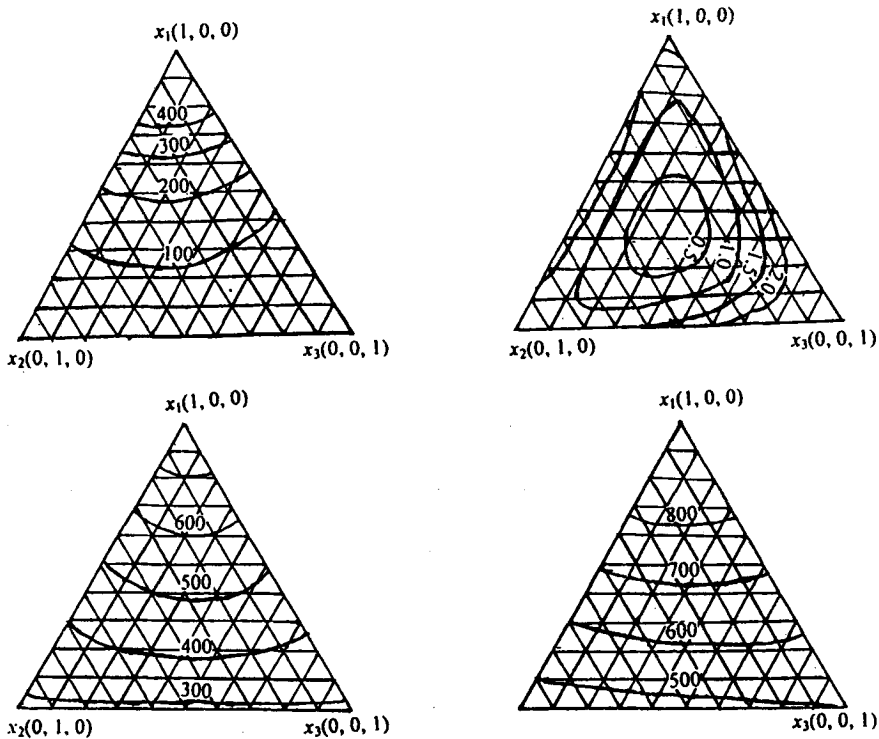


图 2 土壤 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 及矿质态氮的等值线,

Fig. 2 Isolines of $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ and mineral nitrogen in soil

(a: $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 第 5 天, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ at the 5th day; b: $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 第 50 天, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ at the 50th day; c: $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 第 20 天, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ at the 20th day; d: 矿质态氮 第 50 天, Mineral nitrogen at the 50th day

参考文献:

- [1] 林葆. 中国肥料[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1994. 38-42.
- [2] 谷洁, 高华. 提高肥料利用率技术创新展望[J]. 农业工程学报, 2000, 16(2): 17-20.
- [3] Shaviv A. Controlled supply of fertilizers for increasing use efficiency and reducing pollution[A]. In: Frago J P(eds). VIII International Colloquium on Optimization of Plant Nutrition[C]. Lisbon, September, 1992. Kluwer Academic Pubs. The Netherlands., 1993. 651-656.
- [4] 何绪生, 李素霞, 李旭辉, 等. 控效肥料的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(2): 97-106.
- [5] 樊小林, 廖宗文. 控释肥料与平衡施肥和提高肥料利用率[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(3): 219-223.
- [6] 翟军海, 高亚军, 周建斌. 控释/缓释肥料研究概述[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1): 45-48.
- [7] Shoji S and Kanno H. Use of polyolefin-coated fertilizers for increasing fertilizer efficiency and reducing nitrate leaching and nitrous oxide emissions[J]. Fert. Res., 1994, 39: 147-152.
- [8] Oertli J. Controlled-release fertilizers[J]. Fert. Res., 1980, 1: 103-123.
- [9] Shaviv A and Mikkelsen R L. Slow release fertilizers for a safer environment maintaining high agronomic use efficiency[J]. Fert. Res., 1993, 35: 1-12.
- [10] 许秀成, 李荫萍, 王好斌. 包裹型缓释/控制释放肥料专题报告[J]. 磷肥与复肥, 2000, 15(3): 1-6.

- [11] Blouin M, Rindt W and Moore O. Sulfur-coated fertilizers from controlled release: pilot plant production [J]. J. Agric. Food chem., 1971, 19: 801-808.
- [12] 徐和昌,柯以侃,郭立新,等. 几种缓释肥料包膜的性质和分析方法[J]. 中国农业科学,1994,28(4): 72-79.
- [13] 白厚义,肖俊璋. 试验研究及统计分析[M]. 西安:世界图书出版公司,1998. 252-264.
- [14] 刘春光,周建斌,陈竹君. 混料试验设计在肥料配比研究中的应用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2001,29(1): 59-62.
- [15] 易小林,李酉开,韩琅丰. 紫外分光光度法测定土壤硝态氮[J]. 土壤通报,1983,6: 35-40.
- [16] 中国土壤学会农业化学委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京:科学出版社,1983. 127-135.
- [17] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京:农业出版社,1994. 44-47.
- [18] Tremble M E. Improving fertilizer use efficiency - Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture[M]. Paris: Published by International Fertilizer Industry Association 1997. 11-12.
- [19] 李隆. 肥料试验中应用的单形格子设计及其统计分析[J]. 土壤通报,1992,23(6): 275-276.
- [20] 宋永林. 不同肥料对比对冬小麦分蘖及成穗的影响[J]. 北京农业科学,1997,15(4): 20-23, 33.
- [21] Schrevens E, Cornell J. Design and analysis of mixture systems: Applications in hydroponic plant nutrition research[J]. Plant and Soil, 1993, 154: 45-52.