

混料设计法在控释肥配比中的应用研究^{*}

李方敏^{1,2}, 樊小林¹, 王浩¹

(1 华南农业大学 肥料与平衡施肥研究室, 广东 广州 510642;

2 长江大学 化学与环境工程学院, 湖北 荆州 434023)

[摘 要] 采用混料试验设计, 探讨了包含多种供肥速度的速度复合型控释肥和单一供肥速度的单一速度型控释肥的养分释放速率。结果表明: (1) 单一速度型控释肥 (FP₂, FP₅ 和 FP₉) 在养分快速释放期内, 养分释放速率基本保持不变, 其顺序为 FP₂ > FP₅ > FP₉; 而对于速度复合型控释肥处理, 其释放速率不是单一、固定不变的。(2) 在培养-淋溶期间, 对养分累积释放率 ≥ 30.0% 的单一速度型控释肥料因子优化组合进行频数统计, 发现控释肥 FP₂, FP₅ 和 FP₉ 的混料比例分别为 37.61%~45.02%, 32.68%~40.83% 和 21.85%~23.94%。(3) 模拟各肥料处理养分累积释放率的 Richards 函数方程的复相关系数均达到极显著水平, 表明使用 Richards 方程能够准确地描述和预测养分的释放速率。

[关键词] 混料设计; 单一速度型控释肥; 速度复合型控释肥; 养分释放速率; Richards 方程

[中图分类号] S145.6

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2005)07-0125-06

混料设计就是研究配料中各试验因子比例的设计, 各因子的取值按其所占总量的百分比计, 其变化范围受到约束条件, 即配料比例的总和等于 1 (即 100%) 的限制^[1]。早期的混料设计主要应用于冶金、化工等领域^[2], 并取得了良好的效果。近年来, 混料设计也开始应用于农业领域, 如饲料、农药、复合肥等的配方问题、不同时期肥料分配的定量问题^[3~7]、速效性肥料与控释肥料的混合及其效果^[8,9]等方面。

控释肥是目前肥料领域研究的热点。然而, 现有控释肥料的供肥速度一般比较固定和单一, 难以与作物的需求保持同步^[10,11]。依据作物的营养特性和肥料的供肥特点, 将多种供肥速度各异、氮磷钾等养分比例相同或不同的单一释放速度的控释肥料按照一定的比例配合, 探讨速度复合对控释肥料养分释放的影响, 是研制供肥速度与作物需求基本吻合或同步的控释肥料, 即异粒变速控释肥料^[10]的有效途径。然而, 目前尚未见混料设计在异粒变速控释肥料研究中的报道。因此, 本试验试图应用混料设计的原理, 将肥料养分相同而释放速度不同的控释肥料进行混合, 并应用数学模型探讨其养分释放速率, 以期对异粒变速控释肥料的研制和施用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

采用单形重心设计, 试验方案见表 1。供试肥料选用养分释放期分别为 2 个月 (FP₂)、5 个月 (FP₅) 和 9 个月 (FP₉), N-P₂O₅-K₂O 养分含量均为 14-14-14 的 3 种控释肥进行配比。肥料在静态水中养分溶出率的测定参考文献^[12]的方法进行。同时, 按照单形重心设计适合度检验方法, 增设处理 F8 和 F9, 进行控制点检验^[1]。

1.2 淋溶试验

1.2.1 土柱淋溶装置 在直径和高为 10.6 cm × 12.0 cm 的 PVC 管底部箍上尼龙网后, 按土壤容重为 1.28 g/cm³ 先装入土壤 600.0 g, 随后在土壤表面撒施 25.0 g 上述各处理的肥料, 再按同一容重在肥料的上部装入 400.0 g 土壤, 最后在土壤上覆盖约 1.5 cm 厚的石英砂, 用钻有小孔的塑料布封住管口以防水分大量蒸发。以不加肥料的土柱作为对照, 每处理重复 3 次。施肥方法和肥土比参照文献^[13,14], 然后将土柱放在口径为 13 cm、装有石英砂的漏斗上, 漏斗下接盛液瓶。将此淋溶柱置于温度为

^{*} [收稿日期] 2004-11-26

[基金项目] 国家自然科学基金项目(30270769); 广东省科技厅中芬国际合作项目(2002C50406, 2004B50201015); 广东省教育厅“千百十工程”优秀人才培养基金项目(Q02070)

[作者简介] 李方敏(1965-), 男, 湖北公安人, 副教授, 博士, 主要从事与土壤、肥料有关的研究工作。

[通讯作者] 樊小林(1958-), 男, 陕西西原人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事植物营养、肥科学、肥料与平衡施肥的研究。

E-mail: xlfan@scau.edu.cn

(25±1) °C 的恒温室内培养。

供试土壤类型及其基本理化性质见文献[15]。

表 1 复合型控释肥{3, 3}的单因子重心设计方案

Table 1 Plan of simple center design {3, 3} under combination of controlled release fertilizers (CRFs)

处理 Treatment	编码值 Coding value			因子配比 Proportion of three factors			测定值 Measured value y_i
	X_1 (FP ₂)	X_2 (FP ₅)	X_3 (FP ₉)	FP ₂	FP ₅	FP ₉	
F1	1	0	0	1.00	0.00	0.00	y_1
F2	0	1	0	0.00	1.00	0.00	y_2
F3	0	0	1	0.00	0.00	1.00	y_3
F4	1/2	1/2	0	0.50	0.50	0.00	y_{12}
F5	1/2	0	1/2	0.50	0.00	0.50	y_{13}
F6	0	1/2	1/2	0.00	0.50	0.50	y_{23}
F7	1/3	1/3	1/3	0.33	0.33	0.33	y_{123}
F8	3/20	11/20	6/20	0.15	0.55	0.30	y_8
F9	0	7/10	3/10	0.00	0.70	0.30	y_9
CK	0	0	0	0.00	0.00	0.00	y_{CK}

1.2.2 间歇淋溶方法 淋溶前, 首先分 4 次将 350 mL 蒸馏水分别加入各土柱中, 使土壤水分达到饱和。然后, 采用滴流控制器, 调节淋溶速度为 6 滴/min, 并以此速度淋溶 500 mL 蒸馏水约 28~30 h, 随后维持饱和状态, 间隔 54~56 h 后进行下一次淋溶。每周淋溶 1 000 mL, 如此连续淋溶培养 14 周, 相当于降雨量为 1 587.6 mm。

1.2.3 淋溶液收集方法 第 1~8 周, 每周每个土柱采集 1 次淋溶混合液; 第 9~14 周, 每 2 周采集 1 次淋溶混合液。将淋溶液置于 4 °C 冰箱中备用, 用火焰分光光度计测定各次收集的淋溶液中 K₂O 的含量。

1.3 养分累积释放率寻优分析

用各处理的养分累积淋溶率表示控释肥的养分累积释放率。释放速度不同的控释肥料配比处理后的养分累积释放率寻优方法参见文献[16]。

1.4 养分累积释放率的数学模型

用 Richards 函数模拟养分累积释放率, 其表达式为:

$$n = N \times \{1 + d \times \exp[-k(t - t_i)]\}^{-1/d}$$

式中, n 为 t 周时的养分累积释放率(%); N 为养分最大累积释放率(%); d 为曲线形状参数; k 为释放速度常数(周⁻¹); t 为释放时间(周); t_i 为曲线拐点的释放时间(周)。

利用 STATISTICA 统计分析软件确定函数中的 4 个参数值(N , d , k , t_i)。

2 结果与分析

2.1 不同肥料配比处理的养分释放特征曲线

淋溶期间的不同肥料配比处理养分累积淋出率随时间的变化如图 1 所示。由图 1 可知, 3 种单一速

度型控释肥(F1, F2, F3)养分释放曲线的斜率是 $F1 > F2 > F3$ 。其中, F1 从第 2 周开始进入养分的快速释放期, 到第 8 周养分累积释放率达到 56.2% 后, 进入养分缓慢释放期, 并一直持续到淋溶结束。而 F2 和 F3 则分别从第 3 周和第 4 周才开始进入养分的快速释放期, 在淋溶期间曲线斜率基本保持一致, 均呈稳定释放的趋势。表明单一速度型控释肥在养分的快速释放期内, 其释放速率基本保持恒定。

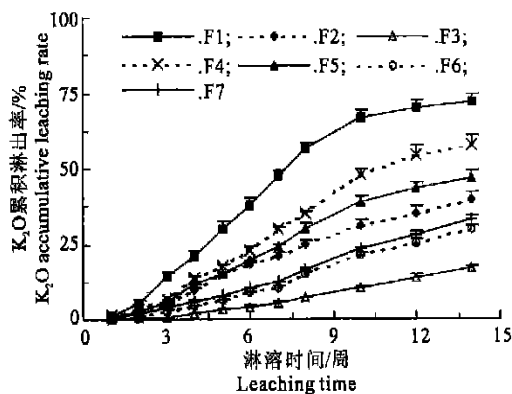


图 1 各肥料配比处理在不同淋溶时间下的 K₂O 累积淋出率

Fig. 1 Change of K₂O accumulative leaching rate with leaching time under different treatments

3 种释放速率不同的控释肥料组合处理, 其养分释放曲线的斜率在进入养分快速释放期后有所变化。F4 和 F5 的养分释放速率介于 F1 和 F2 之间, 且前期释放较快(曲线的斜率增大), 后期释放较慢(斜率变小); 而 F6 和 F7 的养分释放速率则介于 F2 和 F3 之间, 其养分释放前期较慢, 后期较快。由此可见, 将养分释放速度不同的控释肥料进行合理搭配, 可以达到调节控释肥料养分释放速率的目的。

2.2 不同肥料配比处理的养分累积释放率模拟

根据对{3, 3}单形重心设计的统计分析模型及其回归系数的计算, 培养结束时淋出液中钾素养分(K_2O)累积释放率的回归方程为:

$$Y = 0.717 X_1 + 0.396 X_2 + 0.170 X_3 + 0.081 X_1 X_2 + 0.102 X_1 X_3 + 0.057 X_2 X_3 - 3.414$$

式中, $b_{ij}X_iX_j$ 项($i < j, i = 1, 2, 3$)因受到 $X_1 + X_2 + X_3 = 1$ 的限制, 不能独立变动, 故不能简单理解为 X_i 与 X_j 的交互作用, 仅表示为非线性关系。当 $b_{ij} > 0$ 时, 呈非线性协调关系; 当 $b_{ij} < 0$ 时, 呈非线性对抗关系。

经控制点检验, 2 个控制点的 $\Delta y_i < 3S_{\bar{y}_i}$ (其中, Δy_i 为每个控制点的平均值 $\bar{y}$ 与预测值 y_i 差数的绝对值; $S_{\bar{y}_i}$ 为平均数的标准误), 表明配置的回归方程是适宜的。

2.3 养分累积释放率寻优分析

根据单形重心设计回归方程的高度拟合效果和良好的预报性能, 可利用上述淋溶试验中控释肥料养分累积释放率的回归方程进行寻优分析, 求出不同释放速率的肥料优化组合。假设各因子在 $0.0 \leq X_i \leq 1.0$ 内, 令步长为 0.05, 且满足 $\sum X_i = 1$ 的混料设计要求, 从而构成了 231 个肥料处理组合。其中养分累积释放率在 20.0% 以下的组合有 3 个, 释放率为 20.1%~30.0% 的组合有 57 个; 释放率为 30.1%~40.0% 的组合有 74 个; 释放率为 40.1%~50.0% 的组合有 46 个; 释放率为 50.1%~60.0% 的组合有 30 个; 释放率为 60.0%~70.0% 的组合有 19 个; 释放率为 70.1% 以上的组合有 2 个, 基本呈正态分布趋势。

统计钾素养分累积释放率在 30.0% 以上的 3 种不同肥料处理组合中, 各种肥料因子水平在各个编码区间的频数(表 2), 计算其频数的加权平均值($\bar{x}_i$)和平均数的标准误($S_{\bar{x}_i}$)。由表 2 可以看出, 在 $\alpha = 0.05$ 的误差概率下, 养分累积释放率 $\geq 30.0\%$ 的肥料因子优化组合的置信区间, 即 X_1, X_2, X_3 的混料比例分别为 37.61%~45.02%, 32.68%~40.83%, 21.85%~23.94%。表明在本次试验的淋溶期内, 采用释放速率快的肥料占较大比例, 释放速率慢的肥料占较小比例的混料方法, 才能保证养分累积释放率 $\geq 30.0\%$ 。这种不同释放速率肥料按一定比例组合后的养分释放特性, 与一般作物在生长前期供肥应足、中期供肥应促、后期供肥应适的阶段

需肥特性是相适应的。

表 2 养分释放率 $\geq 30.0\%$ 的各因子水平频数分布

Table 2 Frequency statistics of coding levels of three factors whose nutrient release rate was above 30.0%

编码 Coding	频数 Frequency		
	$X_1(FP_2)$	$X_2(FP_5)$	$X_3(FP_9)$
1. 00~0.90	6	6	0
0.89~0.75	15	15	1
0.74~0.60	24	24	7
0.59~0.45	33	24	16
0.44~0.30	42	25	36
0.29~0.15	24	33	51
0.14~0.00	27	44	60
$\sum x_i$	171	171	171
$S_{\bar{x}_i}$	0.413 2	0.367 5	0.228 9
95% 置信区间 95% confidnet range	0.018 9	0.020 8	0.005 3
	0.376 1	0.326 8	0.218 5
	0.450 2	0.408 3	0.239 4

2.4 不同肥料配比处理的养分释放动力学方程

从理论上讲, 肥料养分的最大释放率应为 100%, 但是在培养期间, 所有控释肥料处理的养分不可能全部溶出, 即使溶出的养分也可能被土壤胶体吸附, 所以最大释放率难以达到 100%。参照国际上控释肥料养分释放评价标准(即在肥料养分释放期内, 养分释放率在 75% 以上), 首先按控释肥料的最大养分释放率(N)为 80% 来进行模拟, 再根据拟合方程计算出新的 N 值, 并重新进行模拟, 直到 N 收敛于某一数值为止, 同时计算出方程的复相关系数和估计标准误。最后得到的 N 和 k 值即为该处理的钾素养分最大释放率和释放速率常数。

各种肥料处理累积养分释放率的 Richards 函数参数估计值见表 3。由表 3 可以看出, 各个方程的拟合性均很好, 复相关系数均达到极显著水平, 估计标准误(SE 值)也较小。表明使用 Richards 函数模拟控释肥料养分释放的拟合度高, 能够准确地描述和预测养分的释放率。

由表 3 还可以看出, 在不同处理间用 Richards 函数模拟实测值后, 各处理预测的最大养分释放率存在着一定差异。最大养分释放率较大的处理是 F4 和 F5, 均为养分释放速率不同的 2 种单一速度型控释肥的混合组合, 表现出较强的肥料养分释放趋势; 而最大养分释放率较小的处理是 F2 和 F3, 均为释放速率单一、释放期长或较长的单一速度型控释肥。这是由于释放期长的单一速度型控释肥在试验前期养分的释放较缓慢, 从而影响了后期养分的释放趋

势。

表 3 各肥料配比处理的 Richards 函数方程的参数值及其拟合度

Table 3 Parameters and fitness of Richards equations under different proportional CRF treatments

参数 Parameter	肥料配比处理 Different proportion of CRFs						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
<i>N</i>	74 683 1	64 579 9	68 136 4	83 967 0	80 441 9	71 069 2	75 010 4
<i>d</i>	0 260 4	- 0 757 4	- 0 549 1	- 0 642 4	- 0 718 0	- 0 791 4	- 0 794 5
<i>k</i>	0 401 3	0 092 6	0 048 8	0 122 7	0 092 2	0 051 35	0 053 78
<i>t_i</i>	5 102 9	4 001 7	13 294 0	4 605 6	4 594 3	5 555 5	5 276 2
<i>R</i>	0 998 9	0 998 7	0 999 7	0 996 4	0 995 6	0 988 2	0 990 6
<i>SE</i>	1 451 4	0 834 4	0 182 8	2 061 8	1 827 0	1 842 8	1 777 8

函数式中 k 反映了不同肥料处理达到养分最大累积释放率时的释放速率,与累积释放率 n 呈非线性的正相关关系。释放期短的肥料或含释放期短的肥料处理(F1, F4) k 值较大;释放期长的肥料或含释放期长的肥料处理(F3, F6) k 值较小,并随着控释肥料养分释放期短的肥料比例的增加而增大。图 1 中曲线的形状(d)代表着控释肥料的释放特性,当 $d > -1$ 时, Richards 函数的形状即是拐点为 t_i 的 S 型曲线;而当 $d \leq -1$ 时, Richards 函数成为没有拐点的曲线。各处理的函数参数 d 均 > -1 , 表明所有处理的养分释放曲线均呈 S 型曲线,其中仅处理 F1 的 d 值为正值,其他处理的 d 值均为负值,表明处理 F1 的曲线形状与其他处理不同(图 1)。不同处理曲线拐点的释放时间 t_i 除处理 F3 外,其余基本接近,由图 1 还可以看出, F1, F2 和 F4 在拐点前释放

速率较快,拐点后释放速率有所变慢;而 F3, F6 和 F7 在拐点前释放速率较慢,但在拐点后释放速率有所加快;处理 F5 出现 2 个拐点。

2.5 不同肥料配比处理的养分释放期

利用各处理的 Richards 函数模拟方程,计算肥料 K_2O 在土柱中淋出率达 30%~60% 时养分释放所需要的时间。由表 4 可知,3 种单一释放速度的控释肥料(F1, F2, F3),其土柱淋出率为 60% 时的养分释放期,相应地比静态水中溶出率法测定的养分释放期(分别为 2, 5 和 9 个月)要长。这是因为试验土柱土壤中的水分较静态水法中的水分相对少,影响了肥料中养分的释放;另一方面也是因为土壤胶体具有较强的阳离子吸附能力,提高了肥料养分的保持和供给性能,相对延长了控释肥料在土壤中的养分释放期。

表 4 模拟不同淋出率条件下各处理的养分释放期

Table 4 Calculation of nutrient release period of different treatments under different leaching rates

淋出率/% Leaching rate	肥料配比处理 Different proportion of CRFs						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
60	61.7	227.4	393.9	100.5	133.2	290.0	243.5
50	50.7	138.3	273.3	79.0	101.2	199.9	174.8
40	42.5	96.9	203.9	62.3	77.6	144.2	128.5
30	35.2	69.0	152.6	48.4	58.5	102.9	92.8

分别比较速度复合型控释肥处理(F4, F5, F6, F7)与单一速度型控释肥处理(F1, F2, F3)的养分释放期(表 4),可以发现,淋出率分别达 30%, 40%, 50% 和 60% 时,复合型控释肥 FP_2+FP_5 处理(F4)的养分释放所需时间分别比原释放期较长的肥料 FP_5 (F2)缩短了 20.6, 34.6, 59.3 和 126.9 d, 其释放期分别缩短 29.7%, 35.7%, 42.9% 和 55.8%;比释放期短的肥料 FP_2 (F1)分别延迟了 13.2, 19.8, 28.3 和 38.8 d, 其释放期分别延迟 37.5%, 46.6%, 55.8% 和 62.9%。同样,复合型控释肥 FP_2+FP_9 处理(F5)的淋出率达 30%, 40%, 50% 和 60% 时,养分释放所需要的时间比 FP_9 (F3)分别缩短了

61.7%, 61.9%, 63.0% 和 66.2%, 比 FP_2 (F1)分别延迟了 66.2%, 82.6%, 99.6% 和 115.9%。

由此可见,达到同样养分淋出率时,速度复合型控释肥处理(F4, F5, F6, F7)的养分释放所需要的时间分别比释放期长的单一速度型控释肥处理(F2, F3, F3, F3)的释放期短,且缩短的天数随着养分淋出率的增加而增多;也分别比释放期短的单一处理(F1, F1, F2, F2)的释放期长,其延长的时间随着养分淋出率的增加而增多。说明在相同的养分淋出率条件下,释放期长的与释放期短的控释肥料混合后,其养分释放期明显小于释放期长的单一速度型控释肥,而显著大于释放期短的单一速度型控释肥。

3 讨论与结论

本研究结果发现, 单一速度型控释肥(F1, F2, F3)养分释放曲线的斜率, 在养分快速释放期内随时间的延长基本保持一致, 表明在培养期内单一速度型控释肥的养分释放速率基本保持不变, 曲线的斜率是 $F1 > F2 > F3$ 。释放期为2个月的控释肥料(F1)单独使用时, 由于养分释放速度过快, 可能会造成肥料的损失或导致植物受伤; 而释放期为9个月(F3)的控释肥料单独使用时, 由于养分释放速度过慢, 可能会造成作物生长前期养分供应不足。而将3种释放速率复合, 即将3种养分释放速度不同的控释肥料(3种单一速度型控释肥料)按照养分释放速度进行合理搭配后, 其养分释放曲线的斜率相对于单一速度型控释肥料而言有所改变。

对本次淋溶培养试验期间的养分累积释放率 $\geq 30.0\%$ 的肥料因子组合进行频数统计, 发现 FP_2 , FP_5 和 FP_9 的混料比例分别为 $37.61\% \sim 45.02\%$, $32.68\% \sim 40.83\%$ 和 $21.85\% \sim 23.94\%$ 。这一结果表明, 只有当释放速率快的肥料配比大、释放速率慢

的肥料配比小时, 才能保证混料的养分累积释放率在 30.0% 以上。

用 Richards 函数模拟各种肥料处理的养分累积释放率, 发现所有养分释放曲线方程的复相关系数均达极显著水平, 表明使用 Richards 函数模拟控释肥料养分释放的拟合度高, 能够准确地描述和预测养分的释放率, 这与有关研究者的结论基本一致^[17, 18]。各处理养分释放曲线拐点的时间 t_i 各不相同; 拐点前后的释放速度不一致, $F1$, $F2$ 和 $F4$ 在拐点前释放速率较快, 在拐点后释放速率有所变慢, 而 $F3$, $F6$ 和 $F7$ 在拐点前释放速率较慢, 但在拐点后释放速率有所加快, 处理 $F5$ 出现2个拐点。

在肥料生产中, 可以生产出一系列释放期长短不同的单一速度型控释肥, 然后针对当地大宗作物或经济作物的生长期, 按照混料设计的方法, 将养分释放速率不同、 $N : P_2O_5 : K_2O$ 比例不等的单一速度型控释肥料进行搭配, 这样既达到了肥料供肥速度、供应养分的复合, 又可节省控释肥料生产成本, 避免在作物生长前期可能出现的供肥过猛或生长期供肥不足的问题。

[参考文献]

- [1] 杨义群, 肖俊章, 白厚义. 回归设计及多元分析在农业中的应用[M]. 陕西杨陵: 天则出版社, 1989. 118- 135
- [2] 关颖男. 混料回归设计[J]. 数学的实践与认识, 1980, 10(1): 52- 64
- [3] 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
- [4] 庄绍东. 应用单形格子设计研究结球甘蓝不同时期氮肥分配的量化[J]. 福建农业科技, 2003, 18(3): 26- 27
- [5] Duda G G. Use of simplex-lattice design techniques to determine optimum distribution of fertilizers between times of their application[J]. Fert Res, 1992, 31: 193- 207
- [6] 刘春光, 周建斌, 陈竹君. 混料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
- [7] 张国桢, 孙丙寅, 黄占斌, 等. 混料设计在花椒施肥试验研究中的应用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(6): 135- 138
- [8] 王小利, 周建斌, 段建军, 等. 包膜控释肥料氮素释放动力学研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(5): 35- 38
- [9] 王小利, 周建斌, 郑险峰, 等. 控释氮肥养分控释效果及合理施用研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 390- 395
- [10] 樊小林, 李方敏, 梁林洲. 异粒变速控释技术及异粒变速控释肥(AgroBulen)的研制简介[J]. 中国农业科学, 2002, 35(11): 1389, 封2
- [11] 李方敏, 廖宗文, 艾天成. 平衡施肥理论与肥料高效利用[J]. 磷肥与复肥, 2004, 19(5): 66- 67, 70
- [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] Harafi M M, Eltaib S M, Ahmad M B, et al. Evaluation of controlled-release compound fertilizers in soil[J]. Commun Soil Sci Plant Anal, 2002, 33(7- 8): 1139- 1156
- [14] Huett D O, Gogel B J. Longevity and nitrogen, phosphorus and potassium release patterns of polymer-coated controlled-release fertilizers at 30 °C and 40 °C[J]. Commun Soil Sci Plant Anal, 2000, 31(7, 8): 959- 973
- [15] 李方敏, 樊小林, 刘 芳, 等. 控释肥料对稻田氧化亚氮排放的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2170- 2174
- [16] 王介元, 王莹玉, 王 琦. 利用微机配置经济效益回归模型对施肥效应寻优初探[J]. 土壤通报, 1989, 20(1): 21- 24
- [17] Hara Y. Application of the Richards function to nitrogen release from coated urea at a constant temperature and relationships among the calculated parameters[J]. Soil Sci Plant Nutr, 2000, 46(3): 683- 691
- [18] Hara Y. Application of parameterization using the Richards function to nitrogen release from coated urea and growth of rice seeds[J]. Japan Agric Res, 2001, 35(3): 155- 161

Study on combination of controlled release fertilizer by use of mixture experiment design

L I Fang-m in^{1,2}, FAN X iao-l in¹, WANG Hao¹

(1 Laboratory of Fertilizer and Balanced Fertilization, South China Agriculture University, Guangzhou, Guangdong 510642, China;

2 College of Chemistry and Environmental Engineering, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023, China)

Abstract: The nutrient release rates of single longevity controlled release fertilizer (CRF) and multi-longevity CRF were tested in comparison with each of the CRF respectively by use of mixture experiment design. Results showed that the release rate of the single longevity CRF (FP₂, FP₅ and FP₉) was stable and the order of release rate was in order of FP₂ > FP₅ > FP₉ during the rapid release period. However, the release rate of the 3-longevity CRF, formed by three single longevity CRFs, fluctuated during the same period. Frequency statistics was conducted among the optimum simulative combination of the single longevity CRFs, whose nutrient release rate was above 30.0% by use of soil-column leaching trials. The results indicated that the proportions of FP₂, FP₅ and FP₉ were from 37.61% to 45.02%, 32.68% to 40.83% and 21.85% to 23.94% respectively. The multiple-correlation coefficients of Richards equation, which simulated the nutrient accumulative release rates of the multi-longevity CRF, reaching a significant level. Therefore, the nutrient accumulative release rates could be described and forecasted by Richards equation.

Key words: mixture experiment design; single longevity controlled release fertilizer; multi-longevity controlled release fertilizer; nutrient release rate; Richards equation

(上接第 124 页)

Abstract ID: 1671-9387(2005)07-0121-EA

Spatial variability of soil nutrients and pH in vegetable field in typical area of Taihu Lake watershed

WANG Cai-rong¹, LU Jia-long¹, HU Zheng-yi², GAO Yi-ming¹, YANG Lin-zhang²

(1 College of Resources Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China)

Abstract: In the present investigation, 156 top layer soil samples (0-20 cm) were taken in a regular grid of 50 m by 50 m at 50 hm² area of vegetable plot located at the east part of Taihui road in Dapu town, Yixing city. Characteristics of spatial variability of soil nutrients and pH were studied by using traditional statistics and geo-statistics. The results showed: there were obvious differences between eight soil nutrients in spatial variation-structure. Semivariograms for available soil P fitted linear model, NH₄⁺-N fitted linear model, others fitted exponential model. Spatial correlation in total nitrogen and pH lay in intensity. Total P, available P, NH₄⁺-N, available K, available N were moderate. There were obvious differences between eight soil nutrients in correlated distance. NH₄⁺-N had largest correlated distance of all, about 1226 m. NH₄⁺-N spatial correlation was violent in relative large scale. While available P and available K had middle correlated distance, about 587 m and 498 m. The correlated distance of others was in the range of 84-201 m.

Key words: Tai lake watershed; vegetable field; soil nutrients; pH; spatial variability