

几种包膜控释肥氮素释放特性的评价

杨相东, 曹一平*, 江荣风, 张福锁

(农业部植物营养学重点实验室, 教育部植物-土壤相互作用重点实验室, 中国农业大学植物营养系, 北京 100094)

摘要: 采用水浸泡法和土培法, 按照欧洲标准化委员会(CEN)推荐的控释肥料评价标准, 对国内外 8 种包膜肥料的氮素释放特性进行了评价。水浸泡法测试结果表明, Compo-1、Compo-2 的初期溶出率(η_{t1})超出该标准, 其它 6 种包膜肥的 η_{t1} 在标准规定的范围内; 8 种包膜肥的微分溶出率($\eta_{\Delta t}$)均符合标准, 氮素释放期(T)均达到缓/控释要求。8 种包膜肥中除了 Compo-1、Compo-2 的 η_{t1} 以外, 其它均符合 CEN 推荐的控释肥料标准, 但因包膜材料和工艺的差异, 表现出了各自不同的氮素释放特征。土培条件下 Compo 系列、Cau 系列、Osmocote 和 Au 的释放期分别是水浸泡条件下的 2~4、1.5、0.7 和 1.3 倍, 不同的包膜肥料有各自不同的估算系数, 需要采用具体的校验试验确定。从盆栽试验中油菜、玉米第六周生物量来看, Compo-3、Cau-C17 显著低于速效肥处理, Osmocote、Au 油菜处理显著高于速效肥油菜处理, 其它施肥处理与速效肥处理差异不显著。

关键词: 包膜肥; 养分释放特性; 初期溶出率; 微分溶出率; 养分释放期

中图分类号: S145.5

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2005)04-0501-07

Evaluation of nutrients release feature of coated controlled-release fertilizer

YANG Xiang-dong, CAO Yi-ping*, JIANG Rong-feng, ZHANG Fu-suo

(Dept. of Plant Nutr., CAU, Key Lab. of Plant Nutr., MOA and Key Lab. of Plant-Soil Interactions, MOE, Beijing 100094, China)

Abstract: The nutrient release character of coated fertilizer indicates the strength of controlled releasing and nutrient supply in specific time. At the same time, it can reflect the quality of coated materials and its processing techniques. In this experiment, the nutrition release characters of eight coated fertilizers was evaluated according to the standard recommend by Committee of European Normalization (CEN) using water extraction and soil incubation methods in order to guide the application of coated fertilizers.

The test results using soil extraction method showed that there were discrepancies in nutrient release between eight coated controlled fertilizers due to the difference of coated materials and processing techniques. For Compo series, the preliminary solubility(η_{t1}) were 51.9%, 28.6% and 11.5%, respectively; differential solubility($\eta_{\Delta t}$) were 1.5%, 1.8%, and 1.4%, respectively; and nutrient release time (T) was ranged from 3 to 6 months. But for Cau series, η_{t1} were 3%, 7.4% and 5.7%, respectively; $\eta_{\Delta t}$ were 0.8%, 1.2% and 1.2%, respectively; and T was ranged from 2 to 3 months. η_{t1} , $\eta_{\Delta t}$ and T of Osmocote were 5.8%, 0.7% and two and a half months, while for Au were 0.9%, 2.1% and one and a half month. T of Compo series, Cau series, Osmocote and Au incubated by soil were 2~4, 1.5, 0.7 and 1.3 times of that tested using water extract. Different coated fertilizers were of their respective conversion coefficients, which should be ascertained by concrete calibration experiments. In term of the biomass of cole and corn at sixth week, Osmocote and Au treatments was significantly higher than that of readily available fertilizer, while the biomass of Compo-3 and Cau-C17 treatment were significantly lower. For the other treatments, the biomass didn't show a notable difference with that of readily available fertilizers.

Key words: coated fertilizer; nutrients release feature; preliminary solubility; differential solubility; release time

收稿日期: 2004-12-20

修改稿收到日期: 2005-04-10

基金项目: 国家高新技术研究发展 863 计划(2001AA246023); 国家科技攻关重大项目(2002BA51603)。

作者简介: 杨相东(1975—),男,四川宜宾人,硕士研究生,主要从事包膜肥料的研制。* 通讯作者

随着聚合物包膜控释肥料研究工作的进展,对该类肥料进行科学评定的问题日益突出。从包膜控释肥料的研究工作、工业化生产和农业应用等角度看,都需要一个科学的评定体系来表征包膜控释肥料的养分释放特性。而这个体系的建立,有赖于聚合物包膜控释肥料分析测试方法与评价体系的确立。世界上评价缓/控释肥养分释放特性的常用方法有水浸泡法^[1]、土壤培养法^[2]、扩散和渗透率法^[3]、电超滤法^[4]和同位素法^[5]。其中 Lunt 和 Oertli^[2]用水或一定浓度的盐溶液浸提包膜控释肥,再计算一定时间内养分的溶出量,是评价包膜控释肥养分释放特性的常用方法。一般认为,该方法可以粗略地评价同一包膜厚度肥料的释放性能^[6]。而日本则采用初期溶出率法和微分溶出率法来评价包膜肥料缓释性能^[7]。日本 Chisso Asahi 肥料公司以在 25℃ 水中释放 75% 养分作为聚合物包膜肥料 Nutricote、Meister 的释放期评价标准^[8]。美国 Scotts 公司、Puresell 工业公司,以色列 Haifa 化学公司以肥料养分在 21℃ 水中释放 80% 养分作为聚合物包膜肥料 Osmocote、Polyon、Multicote 的评价标准。

根据欧洲标准化委员会(CEN)缓/控释肥特别工作组(IFSrf)的建议和日本 Chisso 公司肥料研究

所^[11]的测定方法,中国农业大学肥料研制与咨询中心研究了水浸温度^[12]和测定天数^[13]对评价控释包膜肥养分释放特性的影响,建立了水浸泡法评价包膜肥料的测定和操作条件。本研究利用该测定方法,结合土培法开展农学评价,以说明包膜肥料养分的生物有效性,完善包膜肥料评价体系。试验针对包含不同高分子材料、不同加工工艺、不同释放期的 8 种包膜肥,进行了水浸泡法测定试验和土培条件下玉米、油菜的生物校验试验。利用水浸泡法试验结果和盆栽试验结果评价包膜肥的养分释放性能。研究包膜肥水浸泡法释放期与土培法释放期之间的换算关系,以达到指导包膜肥料的实际应用的的目的。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验采用 8 个包膜肥料品种,其来源和基本性状见表 1。其中德国 BASF 公司的包膜肥(编号: 3, 4, 5)和中国农业大学肥料研制与咨询中心的包膜肥(编号: 8, 9, 10)采用热塑型聚烯烃材料包膜,美国 Scotts 公司生产的包膜肥(编号: 6)和澳大利亚生产的包膜肥(编号: 7)采用热固型聚酯材料包膜。其中释放期为产品标注。

表 1 供试包膜肥料的基本性状

Table 1 The fundamental properties of controlled release fertilizers

编号 No.	包膜肥料 CRF	释放期(月) Release time (month)	N - P ₂ O ₅ - K ₂ O	来源 Source
3	Compo-1	6	14 - 14 - 14	德国 BASF 公司 (BASF, Germany)
4	Compo-2	9	14 - 14 - 14	
5	Compo-3	12	14 - 14 - 14	
6	Osmocote	9	18 - 12 - 6	美国 Scotts 公司 (Scotts-United States)
7	Au	12	42 - 0 - 0	澳大利亚 (Australia)
8	Cau-A10	3	42 - 0 - 0	中国农业大学肥料研制与咨询中心
9	Cau-A16	2	42 - 0 - 0	Fertilizer Research and Consultation Center
10	Cau-C17	1	14 - 14 - 14	of China Agricultural University

试验所用土壤采自中国农业大学科学园的潮土。质地为壤土,有机质 1.75%,全氮 0.11%,碱解 N 76.1mg/kg,速效 P 21.5mg/kg,速效 K 75.4mg/kg, pH(盐浸法)为 7.4。针对不同包膜肥料释放期的差异,选择不同生育期的两种作物进行生物校验试验。玉米品种:农大 108,生育期 110d;油菜品种:五月慢,生育期 65d。

1.2 试验设计

1.2.1 水泡法测定包膜肥释放期 称取包膜肥

10.00g,装于尼龙网袋中,将肥料袋置于塑料瓶里,然后加入 200mL 蒸馏水,盖好瓶盖,放入 25℃ 的恒温箱内静止、浸提。每个样品设 3 个重复。每次取样时,肥料袋保留在塑料瓶中,把浸提液摇匀全部取出,用于 N、P、K 的测定,同时加上 200 mL 去离子水置于恒温箱内继续培养,于 1、4、7、10、14、21、28d 分次取样测定。

1.2.2 土壤—作物体系中包膜肥养分实际释放率的测定 土培油菜和玉米的试验设计:无肥处理

(CK)、等养分速效肥料(SU)和 8 个包膜肥料共 10 个处理,每个处理 18 次重复,分别于播种后 7、14、21、28、35、42d 采 3 个重复样进行测定。试验采用直径为 100mm、高度为 120mm 的圆塑料盆,每盆装风干土 700g。每盆分别施入 N、P₂O₅、K₂O 各 0.2 g/kg,由包膜肥料供给,不足量的用重钙和硫酸钾补足。

试验在中国农业大学植物营养系网室内进行,于 2004 年 4 月 7 日播种。隔天浇水 50mL,各处理所使用的肥料和用量见表 2。玉米先进行催芽处理,每盆定植 4 棵;油菜于播后 2 周每盆定植 6 棵。以后每周收获一次植物样测定鲜、干重,并将盆内所有的包膜肥颗粒取出烘干称重。

表 2 试验各处理肥料用量

Table 2 fertilizer type and rate of treatments in pot experiments

编号 No.	肥料 Fertilizer	样品量 Sample wt. (g)	硫酸钾 K ₂ SO ₄ (g)	重钙用量 Ca(H ₂ PO ₄) ₂ (g)	N - P ₂ O ₅ - K ₂ O
1	CK	0	0	0	—
2	SU	0.30	0.28	0.30	—
3	Compo-1	1.00	—	—	14 - 14 - 14
4	Compo-2	1.00	—	—	14 - 14 - 14
5	Compo-3	1.00	—	—	14 - 14 - 14
6	Osmocote	0.78	0.093	0.203	18 - 12 - 6
7	Au	0.33	0.28	0.30	42 - 0 - 0
8	Cau-A10	0.33	0.28	0.30	42 - 0 - 0
9	Cau-A16	0.33	0.28	0.30	42 - 0 - 0
10	Cau-C17	1.00	—	—	14 - 14 - 14

1.3 测定项目和方法

1.3.1 水浸泡法测定项目和方法 尿素用对二甲氨基苯甲醛—分光光度法;全氮用铬还原—凯氏定氮法测定^[14]。

1.3.2 土培肥料养分释放性能的测定项目和方法 用重量法测定包膜肥料的释放率,即将土壤中包膜肥颗粒全数取出,用水冲洗干净后,在 60℃ 烘箱内烘 48 h 至恒重。包膜肥料重量损失率计为包膜肥料释放率。定期收获玉米、油菜植株的地上部分,称其鲜、干重。记录生物量差异,评价不同包膜肥料的生长量反应与生物适应性。

1.3.3 包膜肥料养分释放性能评价指标:

$$\text{微分溶出率}(\eta_{\Delta t}) = (\eta_n - \eta_{t_1}) / (t_n - t_1) \times 100\%$$

$$\text{初期溶出率}(\eta_{t_1}) = M_{t_1} / M \times 100\%$$

$$\text{累积释放率}(\eta) = \sum(\eta_n) / M \times 100\%$$

$$\text{养分释放期}(T) = 1 + (80\% - \eta_{t_1}) / \eta_n$$

其中 t_n 为第 n 天, t_1 为第 1 天, η_n 为第 n 天累计释放率, η_{t_1} 为初期溶出率, M_{t_1} 为第 1 天溶出的养分量, M 为包膜肥中的养分总量。

1.3.4 评价标准(CEN 推荐) $\eta_{t_1} < 15\%$, $0.25\% < \eta_{\Delta t} < 2.5\%$, $T > 21$, 75% 的养分释放动态过程符合线性方程的模型(Klozh, 1996)。

2 结果与分析

2.1 水浸泡法测定的包膜肥料养分释放

表 3 看出,用水浸泡法测定 Compo-1、Compo-2、Compo-3 的释放期分别为 20、30、48d,呈逐渐增加的趋势。产品标示(分别为:6 个月、9 个月、12 个月)的变化趋势一致;但是此产品标示的释放期有较大的差异。Compo-1、Compo-2、Compo-3 的微分溶出率分别为 1.46%、1.76%、1.45%,3 个值比较接近。说明 Compo-1、Compo-2、Compo-3 在释放过程中,释放的快慢速度相当,即每天释放的养分量比较一致。再从初期溶出率(η_{t_1})来看,则表现出与释放期呈负相关的变化,Compo-1、Compo-2、Compo-3 的初期溶出率(η_{t_1})分别是 51.9%、28.7%、11.4%,其中只有 Compo-3 的初期溶出率符合欧洲标准化委员会的评价标准($\eta_{t_1} < 15\%$)。Compo-1、Compo-2 在第一天溶出率(速溶养分的比例)达 51.9%、28.7%。由测定值所拟合的直线方程来看,它们的斜率为 1.2、1.5 和 1.3,养分累积释放曲线倾斜程度比较一致。

从表 3 还可看出, Cau-A10、Cau-A16、Cau-C17 都有较低的初期溶出率,适中的微分溶出率和释放期。Cau-A10、Cau-A16、Cau-C17 的初期溶出率分

表 3 不同包膜肥料在水浸泡条件下的 $\eta_{\Delta t}$ 、 $\eta_{\Delta t}$ 、T

Table 3 Preliminary solubility, differential solubility and release time of coated fertilizer in water

编号 No.	处理 Treat.	不同天数累积溶出率 Cumulative release rate (%)							$\eta_{\Delta t}$	$\eta_{\Delta t}$	T	拟合的直线方程 Linear equation	r
		1	4	7	10	14	21	28					
3	Compo-1	51.9	71.8	77.1	81.0	84.6	88.2	91.3	51.9	1.5	20	$y = 1.1762x + 63.72$	0.854
4	Compo-2	28.6	46.2	52.7	57.9	63.3	70.5	76.0	28.6	1.8	30	$y = 1.5457x + 37.68$	0.933
5	Compo-3	11.5	22.1	27.1	31.3	36.5	44.0	50.6	11.5	1.4	48	$y = 1.3452x + 15.54$	0.975
6	Osmocote	5.8	8.6	9.9	11.6	14.0	18.5	25.1	5.8	0.7	105	$y = 0.68x + 5.086$	0.995
7	Au	0.9	3.8	12.0	20.3	32.6	47.3	58.9	0.9	2.1	38	$y = 2.2823x - 2.58$	0.995
8	Cau-A10	3.0	9.8	11.5	12.4	13.3	18.9	24.5	3.0	0.8	96	$y = 0.6886x + 4.98$	0.970
9	Cau-A16	7.4	15.6	20.1	23.6	27.5	33.8	39.1	7.4	1.2	63	$y = 1.0948x + 10.60$	0.976
10	Cau-A17	5.7	14.8	25.6	29.0	34.3	37.2	39.3	5.7	1.2	61	$y = 1.1508x + 12.58$	0.896

注 (Note): $\eta_{\Delta t}$ —微分溶出率 Preliminary Solubility (%); $\eta_{\Delta t}$ —初期溶出率 Differential Solubility (%); T—养分释放期 Release time (d); r—相关系数 Correlation coefficient; 下同 same as follows.

别为 3.0%、7.4%、5.7%，从初期溶出率可以看出第一天的养分溶出率较低，三者比较接近。Cau-A10、Cau-A16、Cau-C17 的微分溶出率分别是 0.8%、1.2%、1.2%。Cau-A10、Cau-A16、Cau-C17 各自所对应的释放期分别为 98、63、61 (d)。Cau-C17、Cau-A16 平均每天释放的养分量较 Cau-A10 多，从而使得包膜肥料表现出了不同的养分释放期。这表明在初期溶出率都较低的情况下，3 种肥料养分释放期之间的差异主要是由每天养分释放量（微分溶出率）来决定。

美国 Osmocote 包膜肥的初期溶出率 (5.8%)、微分溶出率 (0.7%)、释放期 (105d)，这三项参数与中国农业大学的 Cau-A10 有着比较接近的测定数值 (表 3)。这两种包膜肥料拟合的直线方程的相关系数分别达到了 0.995 和 0.970，可以看作它们是直线型释放特征的包膜肥料。其中 Osmocote 是用热固型高聚物为主要包膜材料，Cau-A10 则采用的是热塑型高分子为主的材料包膜。

澳大利亚供试包膜肥料 (Au) 与上述几种包膜肥料有着明显的差异：初期溶出率 (0.9%) 最低，表明包膜加工工艺完善，包膜均匀。而它的微分溶出率 (2.1%) 却是其中最大的，平均每天的养分释放量也最多。38d 的释放期是符合欧洲标准委员会对控释肥料的规定 ($T > 21d$)。从氮养分累积释放曲线 (表 3) 看，随着时间延长，包膜肥养分释放加速，即前期较慢，后期较快，这种释放规律更符合作物生长曲线模式。从拟合的直线方程来看相关系数达 0.995，可以看作是直线型释放模式。

2.2 土壤-作物体系中不同包膜肥料实际释放特征

盆栽油菜条件下，Compo-1、Compo-2、Compo-3

养分累积释放率表现出了与水浸泡法一致的变化趋势 (图 1a)。在肥料施用一周后，Compo-1、Compo-2、Compo-3 在盆栽油菜条件下分别释放了 51%、30%、14% (表 4)，这与水浸泡法测定的初期溶出率 (表 3) 很好地吻合。之后三者平均每天的释放量分别为 0.34%、0.65%、0.40%；同水浸泡法计算所得的微分溶出率相比土壤的溶出率要低得多，约为水培法的 1/3~1/4，但依然保持对应的变化趋势。从计算所得释放期的数据来看 (表 4)，Compo-1、Compo-2、Compo-3 的释放期分别是 85、84、175d，为水浸泡法的 2.8~4.3 倍。盆栽玉米条件下，第一周 Compo-1、Compo-2、Compo-3 分别释放了 48%、30%、10%，与油菜相当 (图 1b)，平均每天的释放量分别为 0.77%、0.97%、0.57%，比油菜要高。同水浸泡法计算所得的微分溶出率相比，土壤条件下的溶出率要低约为水培条件下的 1/3~1/2，它们的释放期分别是 48、58、123d，是水浸泡法计算释放期的 1.9~2.6 倍。

图 1 和表 4 还看出，在盆栽油菜条件下，Cau-A10、Cau-A16、Cau-C17 在第一周内分别释放了 6.1%、6.1%、6.0%，同 Compo 系列比较要低得多，但与水浸泡法测定结果一致，日均溶出率为 0.51%、0.74%、0.86%，呈逐渐增加的趋势，但是比水浸泡法结果低，三者的释放期为 164、108、108d，是水浸泡法测定结果的 1.7~1.8 倍。在盆栽玉米条件下，第一周内分别释放了 3.0%、9.0%、6.0%；日均溶出率为 0.77%、0.69%、0.91%，释放期分别是 104、103、89d，也是水浸泡法测定结果的 1.1~1.6 倍。

Osmocote 和 Au 的测定结果显示，该两种肥料

在第一周内释放量少,类似于水浸泡法结果,释放期分别为 72 和 48d,盆栽油菜条件下 Au 的释放期是水泡法的 1.3 倍,Osmocote 则为水浸泡法测定结果

的 0.7 倍,与盆栽玉米的情况相当。盆栽油菜、玉米条件下计算所得的释放期之间的差异可能同这两种植物的生长势、生长速度和吸收有关。

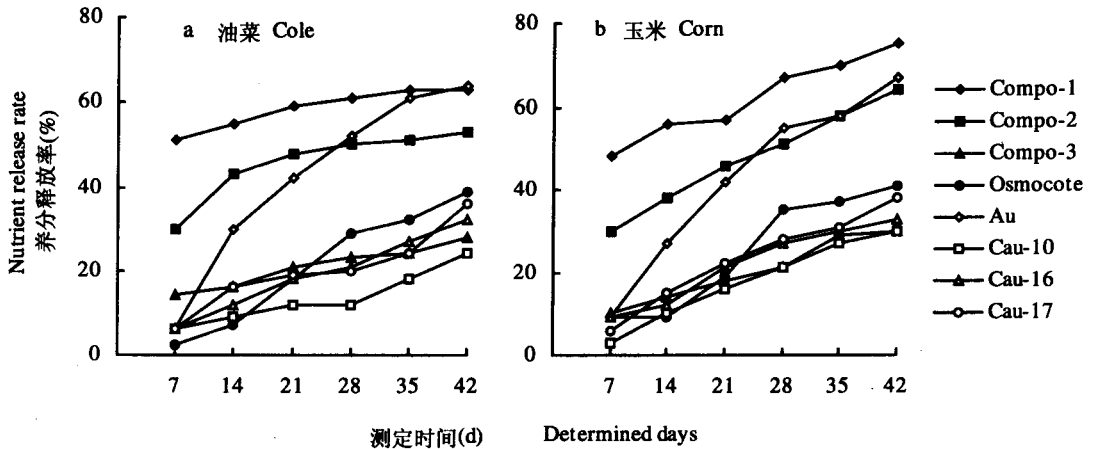


图 1 不同控释肥料在盆栽油菜、玉米条件下的养分累积释放曲线

Fig. 1 N accumulated release feature of coated fertilizer in pot experiments growing cole and corn

表 4 不同包膜肥料在土培油菜和玉米时的实际释放性能

Table 4 Nutrient release features of coated fertilizer in soil with growing rape and corn

编号 No.	处理 Treatment	拟合的直线方程 Linear equation	r	第一周释放率 Release rate of 1st week (%)	日均释放率 Release rate per day (%)	释放期 T' Release time T' (d)	T'/T
油菜 Cole							
3	Compo-1	$y = 0.351x + 50.07$	0.985	51	0.34	85	4.3
4	Compo-2	$y = 0.576x + 31.73$	0.998	30	0.65	84	2.8
5	Compo-3	$y = 0.392x + 11.4$	0.987	14	0.40	175	3.6
6	Osmocote	$y = 1.093x - 5.487$	0.960	2.6	1.04	72	0.7
7	Au	$y = 1.602x + 3.267$	0.975	6.1	1.65	48	1.3
8	Cau-A10	$y = 0.474x + 1.913$	0.995	6.1	0.51	164	1.7
9	Cau-A16	$y = 0.724x + 1.6$	0.982	6.1	0.74	108	1.7
10	Cau-C17	$y = 0.714x + 2.667$	0.990	6.0	0.86	108	1.8
玉米 Corn							
3	Compo-1	$y = 0.763x + 43.47$	0.957	48	0.77	48	2.4
4	Compo-2	$y = 0.959x + 24.33$	0.890	30	0.97	58	1.9
5	Compo-3	$y = 0.604x + 5.333$	0.984	10	0.57	123	2.6
6	Osmocote	$y = 1.061x - 1$	0.988	9.0	0.91	76	0.7
7	Au	$y = 1.616x + 3.4$	0.962	9.0	1.66	47	1.2
8	Cau-A10	$y = 0.780x - 1.267$	0.960	3.0	0.77	104	1.1
9	Cau-A16	$y = 0.735x + 4$	0.997	9.0	0.69	103	1.6
10	Cau-C17	$y = 0.874x + 1.933$	0.950	6.0	0.91	89	1.5

注(Note): 日均释放率(%),为 42d 的平均值。Release rate per day(%) is the average of 42d.

2.3 油菜、玉米对施用不同包膜肥料的生长反应

第 6 周盆栽玉米、油菜地上部干重的统计检验结果(表 5)看出,各施肥处理均显著高于不施肥处理;不同包膜肥料处理之间存在着不同程度的差异。包膜肥处理与速效氮肥(SU)处理相比,Compo-

1、Compo-2、Compo-3 和 Cau-A10、Cau-A16 与 SU 处理油菜地上部干重差异不显著,Osmocote、Au 显著高于 SU 处理,Cau-C17 显著低于 SU 处理。玉米地上部干重除 Compo-3、Cau-C17 显著低于 SU 处理外,其他 6 个包膜肥处理与 SU 处理差异不显著。由于

盆栽条件下, SU 处理不会造成养分的淋溶损失, 使得与包膜处理之间生物效应表现不充分, Compo-3 的生物量显著低于 SU 处理, 是由于养分释放速度过慢, 不能适应玉米生长需要所致。试验中 Cau-C17 处理下的油菜、玉米均出现了缺磷症状, 缺磷与包膜肥料芯中磷的释放受阻有关, 缺磷导致该处理下玉米、油菜生长受阻, 致使生物量显著低于速效养分处理。

从盆栽条件下油菜、玉米的生物累积曲线(图2)看, Compo-1、Compo-2 的生长曲线同 SU 比较接近, 同这两种包膜肥料养分释放较快相一致。Osmocote、Au、Cau-A10、Cau-A16 的生长量逐渐高于 SU 处理。从其生长过程来看, 播种后 4 周, 油菜生物量开始快速上升, 预示其需肥量加大, 由于 Compo-3 不能够在此时释放足够养分, 使得其生物量累积曲线走势开始明显低于 SU 处理外, Cau-C17 则由于上述缺素原因生产受阻。从玉米的生长曲线看, 生长

42d 内生物量平稳增加, 而 Compo-3 依然是因包膜太严养分释放缓慢, 生物量显著低于速效肥料处理。

表 5 不同施肥处理下的油菜、玉米第六周地上部生物量

Table 5 Shoot dry biomass of cole and corn growing sixth week in pot experiment

处理 Treatment	地上部干物重 Shoot dry biomass(g/pot)	
	玉米 Corn	油菜 Cole
CK	1.32 ± 0.22 d	0.56 ± 0.11 e
SU	4.00 ± 0.87 ab	2.90 ± 0.75 bc
Compo-1	3.82 ± 0.76 ab	3.10 ± 0.14 bc
Compo-2	4.21 ± 0.94 ab	2.73 ± 0.22 bcd
Compo-3	2.14 ± 0.61 c	2.46 ± 0.24 cd
Osmocote	3.48 ± 0.64 b	4.35 ± 1.23 a
Australia	4.06 ± 0.74 ab	4.09 ± 0.76 a
Cau-A10	4.04 ± 0.31 ab	3.66 ± 0.23 ab
Cau-A16	4.53 ± 0.27 a	3.55 ± 0.12 ab
Cau-C17	2.37 ± 0.24 c	1.85 ± 0.40 d

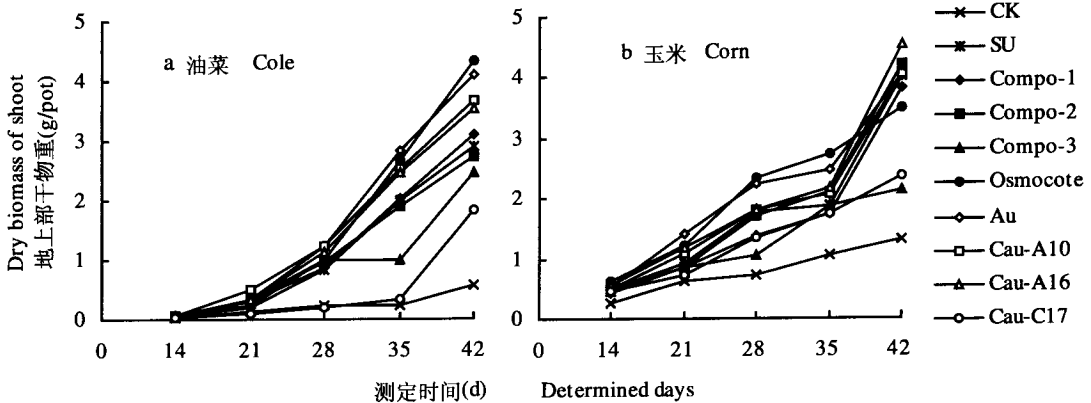


图 2 不同施肥处理下的油菜、玉米第 2 到 6 周地上部干物质累积

Fig. 2 Accumulation of shoot dry biomass of cole and corn growing 2 to 6 weeks with different fertilization treatments

3 结论

1) 水浸泡法测定结果看, 除 Compo-1、Compo-2 的初期溶出率(η_{t1})高于欧洲标准化委员会(CEN)推荐的控释肥料评价标准($\eta_{t1} < 15\%$)外; 其它包膜肥料的 η_{t1} 则都低于 15%, 符合该标准。各包膜肥的微分溶出率($\eta_{\Delta t}$)均处于标准($0.25\% < \eta_{\Delta t} < 2.5\%$)范围内。包膜肥的氮素释放期(T)均达或接近 $T > 21$ 的标准。土壤培养法结果与之有相同的趋势。表明除 Compo-1 缓/控释性能稍差以外, 其它包膜肥料品种均达到缓/控释要求。

2) 对于不同的包膜肥料, 由于采用的包膜材料不同(即使是相同材料, 由于加工设备和工艺参数不

同)生产的包膜肥料表现出不同的养分释放特性。所以, 不同系列包膜肥料养分实际释放期的校验系数需要由具体的试验来确定。Compo 系列包膜肥料产品, 可以用水浸泡法结果的 3 倍来估算其实际释放期; Cau 系列包膜肥料, 可以用水浸泡法结果的 1.5 倍来估算实际释放期。Osmocote、Au 由于采用的是热固型材料包膜, 养分释放速度受温度的影响强于热塑型包膜肥料^[12], 情况更复杂。本试验的数据显示: 可以用水浸泡法结果的 1.3 倍来估算 Au 实际释放期, 而 Osmocote 只是水浸泡法结果的 0.7 倍。

无论是水浸泡法还是土培法, 大部分样品的释放期都与产品标注释放期存在较大的差异, 这与目前包膜肥料没有一个统一的测定和评价标准有关。

由于不同的包膜肥料生产厂家、不同的国家和地区有不同的评估方法和指标,这就使得结果的可比性不强。就测定方法而言,水浸泡法简单易行,稳定可靠,同实际释放相关性普遍较好,是一个可行的测定方法。

3) 初期溶出率,反映的是 24h 内养分释放的快慢程度,在这段时间被水溶解的养分,可以认为是由于包膜不完整、覆膜不均匀等因素所致。因此,从技术上讲,初期溶出率越低,表明包膜工艺越好。但为了保证植物养分临界期的生长要求,特别是在大田上,作物要求的包膜肥初期渗出率不要过低。微分溶出率是指包膜肥料平均每天的释放速率,作为直线型释放的包膜肥料,每天透过膜材料释放出来的养分量,与膜的透过性直接相关。高分子链或线团之间的结合方式和牢固程度决定了膜晶体结构,膜晶体结构的完整性,就关系到了膜的透过性,而养分透过膜释放到土壤中的量则反映在微分溶出率上。 η_{H_1} 有小的 η_{H_1} 和高的 η_{Δ_1} , 综合表明 Au 有比较好的控释性能。

Cau 系列包膜肥料初期溶出率占总量比例小,而且比较一致,表明包膜比较均匀,包膜工艺比较稳定,微分溶出率适中,释放期集中在 3 个月以内,适合生育期不长的草本花卉营养要求,是比较理想的包膜肥料种类。Osmocote 的各项标准同于 Cau-A10,但是土培养分释放更快。Au 内核是常规的尿素,由于颗粒小,包膜加工过程更难,然而测定指标却最好,可见该包膜肥料的加工工艺的确很精良,适合于快速生长和生育期不长的蔬菜作物的营养需求。Compo 系列中 2 个包膜肥料产品的养分释放规律等与蔬菜、花卉作物的需求不太协调。

参 考 文 献:

- [1] Trenkel M E. Improving fertilizer use efficiency—Controlled release and stabilized fertilizers in agriculture[M]. Paris: International Fertilizer Industry Association, 1997. 11–12.
- [2] Lunt O R, Oertli J J. Controlled release of fertilizer minerals by encapsulating membranes: II Efficiency of recovery, influence of soil moisture, mode of application and other consideration related to use [J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1962, 26: 584–587.
- [3] Hauke R D. Synthetic slow-release fertilizers and fertilizer amendments [A]. Goring C A I, Hamaker J W(eds). Organic chemicals in the soil environment[M]. New York: Marcel Dekker Publ., 1972. 635–672.
- [4] Diez J A, Cartegna M C, Vallejo A. Establishing the solubility kinetics of N in coated fertilizers of slow-release by means of electrodialysis[J]. Agric. Med., 1991, 121: 291–296.
- [5] Gandeza A T, Shoji S, Yamada I. Divisions-8-fertilizer management & technology. Simulation of crop response to polyolefin-coated urea: I Field dissolution[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1991. 55: 1462–1467.
- [6] Blouin M, Rindt T, Moore O. Sulfur coated fertilizers from controlled release: Pilot plant production[J]. J. Agric. Food Chem., 1971, 19: 801–808.
- [7] 山添文雄,越野正义,藤井国博(韩辰极,付玉振,陈国绥译).肥料分析方法详解(修订版)[M]. 北京:化学工业出版社,1983, 183–186
Yamazoe Fumihito, Koshino Masayoshi, Fujii Kunihito(translated by Han C J, Fu Y Z, Chen G S). Fertilizer analytical method explanation in Full (recension edition)[M]. Beijing: Chemistry Industry Press, 1983. 183–186.
- [8] Shaviv A. Plant response and environment aspects as affected by rate and pattern of nitrogen release from controlled release N fertilizers [A]. Van Clemp (ed). Progress in nitrogen cycling studies [C]. Kluwer Academ., the Netherlands, 1996, 285–291.
- [9] 许秀成,李荫萍,王好斌. 包裹型缓释/控制释放肥料专题报告. 概念区分及评判标准[J]. 磷肥与复肥, 2000, 15 (3): 1–6.
Xu X C, Li D P, Wang H B. A special report on coated slow / controlled release fertilizer-Part 1: Definitions and evaluation[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2000, 15(3): 1–6.
- [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. 包膜(包裹)型控制释放肥料各国研究进展[J]. 磷肥与复肥, 2001, 16 (4): 4–8.
Xu X C, Li D P, Wang H B. A special report on coated slow / controlled release fertilizer-Part 3: A review on coated controlled release fertilizer[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2001, 16(4): 4–8.
- [11] Fujita T. Invention of fertilizer coating technology using polyolefin resin and manufacturing of polyolefin coated urea[J]. Jap. J. Soil. Sci. Plant Nutr., 1996. 67 (3): 45–56.
- [12] 陈剑慧,曹一平,许涵,毛达如. 有机高聚物包膜控释肥氮释放特性的测定与农业评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8 (1): 44–47.
Chen J H, Cao Y P, Xu H, Mao D R. Appraisal of nitrogen releasing characteristics of organic polymer coating controlled -release fertilizer[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2002, 8(1): 44–47.
- [13] 张玉凤,曹一平,陈凯,张福锁. 高聚物包膜尿素的氮素释放特性及其评价方法[J]. 中国农业大学学报, 2003, 8(5): 83–87.
Zhang Y F, Cao Y P, Chen K, Zhang F S. N releasing characteristics of polymer-coated urea and its evaluation method[J]. Journal of China Agricultural University, 2003, 8(5): 83–87.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京:农业出版社, 2002.
Bao S D. Soil chemical analysis(3rd Ed.)[M]. Beijing: Agriculture Press, 2002.