

密级

论文编号

中国农业科学院 学位论文

纳米材料胶结包膜型缓/控释肥
生物学效应研究

Effects of Controlled-release Fertilizer Cemented and Coated
with Nano-material on Crops

申 请 人：王茹芳
指 导 教 师：张夫道 研究员
申 请 学 位 类 别：农学硕士
专 业：植物营养
研 究 方 向：新型肥料
培 养 单 位：土壤肥料研究所

提交日期

2004 年 6 月

Classified Grade ()

Serial No ()

**Effects of Controlled-release Fertilizer Cemented and
Coated with Nano-material on Crops by**

Rufang Wang

**A Dissertation Submitted to CAAS in Partial
Fulfillment of the Requirements**

for

the Master Degree

Supervised

by

Fudao Zhang Professor

Completed in June, 2004

Subject field: Plant Nutrition

Studying direction : New type of SRFs/CRFs

Training Institute: Soil and Fertilizer Institute, CAAS

Chinese Academy of Agricultural Science

12[#], Nan da jie Street, Haidian District, Beijing

摘 要

试验于 2002-2004 年在中国农业科学院土壤肥料研究所网室和北京市昌平“国家褐潮土土壤肥力与肥料效益监测基地”中进行，主要进行了不同胶结包膜型缓释肥对作物发芽及苗期生长安全性评价以及在土壤中养分淋出特性的研究；胶结包膜型缓释肥以及几种不同类型掺混型缓释肥对小麦、玉米生理特性、品质和产量及土壤养分变化的影响。主要结果如下：

1、CF-2 胶结剂，塑料—淀粉混聚物胶结剂，粘土—聚酯混聚物胶结剂，腐植酸 - 聚酯混聚物胶结剂对小麦种子的发芽是安全的。采用以上 4 种胶结剂研制的新型胶结包膜型缓释肥料，对小麦越冬前期地上部干重、叶面积、叶绿素含量等各项指标没有不利影响。

2、胶结包膜型缓释肥在土壤中的淋出试验结果表明，四种胶结型缓释肥料相比较，塑料 - 淀粉胶结肥养分释放期最长，其次是粘土 - 聚酯胶结肥，再次是腐植酸 - 聚酯胶结肥，CF-2 胶结肥释放期最短。三种包膜型缓释肥相比较，塑料 - 淀粉包膜肥释放期最长，其次是粘土 - 聚酯包膜肥，腐植酸 - 聚酯包膜肥释放期较短。在实际生产中可以根据作物需肥特点选择使用。

3、掺混型缓释肥施入土壤后从小麦返青至成熟的生长阶段，土壤中碱解氮含量在拔节期和抽穗期呈现两个高峰，并且在小麦生育中后期掺混型缓释肥的处理土壤中速效 NPK 明显高于等 NPK 养分化肥处理和不施肥处理；胶结型缓释肥施入土壤后，土壤碱解氮、速效磷、速效钾变化规律与掺混型缓释肥相似。包膜型缓释肥施入土壤后，由于其较好的缓释性，在小麦返青期、拔节期、孕穗期土壤中速效氮、磷、钾含量均低于等 NPK 养分化肥处理，到抽穗期包膜型缓释肥的各处理土壤中碱解氮含量才开始缓慢上升，直到收获期一直保持高于等 NPK 养分化肥处理的水平。

4、与施用等 NPK 养分化肥相比，掺混、胶结型缓释肥能明显促进作物的生长发育，提高产量。主要表现在提高了穗粒数、穗粒重、千粒重同时降低了不育小穗数，从而提高了产量；促进叶绿素合成；对作物中后期干物质的积累有明显的促进作用。

5、与施用等 NPK 养分化肥相比，施用掺混型缓释肥能够提高小麦籽粒的营养品质、加工品质。施用掺混型缓释肥增加了玉米籽粒粗脂肪含量、蛋白质含量及蛋白质产量；增加了玉米籽粒总氨基酸的含量；增加了玉米游离糖的含量；但是对玉米籽粒粗淀粉含量影响较小。

6、综合各方面因素比较，胶结型缓释肥相比较，以塑料-淀粉胶结肥为最好，粘土-聚酯胶结肥次之，腐植酸 - 聚酯胶结肥居第三。

关键词：作物品质，产量，胶结包膜型缓释肥，释放性能

BIOLOGICAL EFFECTS OF CONTROLLED-RELEASE FERTILIZER CEMENTED OR COATED WITH NANO-MATERIAL ON CROPS

ABSTRACT

The effects of controlled-release fertilizer cemented or coated with nano-material were investigated and studied on seed germination, seedling growth, yield and qualities of wheat and corn, and nutrients of soil released in the soil column monitored in the leachate in this paper. All the above experiments were conducted in the screen house of Soil and Fertilizer Institute (SFI) and the Changping National Soil Fertility and Fertilizer Efficiency Inspection Station of China in Beijing from 2002 to 2004. The main results are as follows:

1. The security of four kinds of cementing agents of CF₂, Plastics-Starch, Clay-Polyester and humus acid-Polyester to emergence and growth of wheat seedlings assessed under the conditions of pot culture. These results indicated the fertilizers coated by the above four kinds of cementing agents had no inhibition effects on the emergence and growth of wheat seedlings.

2. The differential dissolution rates of nitrogen of controlled-release fertilizers were lower than that of control, and the dissolution times of nitrogen of controlled-release fertilizers were longer than that of the control. In the soil column, the release rates and of nitrogen of controlled-release fertilizers were lower than that of the control, and the cumulated release rates were lower during certain time than that of the control. According to the length of lasting time of nitrogen releases, the above four controlled-release fertilizers were ranked as follows: fertilizer felted by plastics-starch > fertilizer felted by clay-polyester > fertilizer felted by humus acid-polyester > fertilizer felted by CF₂.

3. The nutrient release of controlled-release fertilizers could be characterized through the change of available N, P and K during the plant growth. After bulk blending controlled-release fertilizers (BBCRF) were applied in the soil, the concentrations of valid N and P in the soil reach two peaks at jointing the stage and heading stage of wheat. During these two stages wheat needed a great deal of nutrients. The trend of changes of available N, P in the soil from the felted controlled-release fertilizers (FCRF) was the same as that of BBCRF. However, the changes of available N, P in the soil from coated controlled-release fertilizers are lower in midterm and higher in late stage than that of the control.

4. The effects of BBCRF and FCRF on some physiological characteristics, yields of wheat and corn were investigated, and the results showed that the application of BBCRF and FCRF increased the chlorophyll content in leaf, increased yields, raised the number of seeds per ear, the weight of seeds per ear, thousand seed weight, and reduced the number of sterile spikelet. 5. The application of BBCRF on

wheat improved the nutritive and processing qualities of wheat. It increased the bulk density, protein content, thousand seed weight, total amino acid and essential amino acid, at the same time it increased content of wet gluten, sedimentation value, falling number of the wheat flour, total content of sugar, content of amylose and disaccharide.

The application of BBCRF on corn increased content of crude fattiness, protein content, protein yield, content of total amino acid in corn seeds. The increase of content of total amino acid mainly relied on the increase of lysine, tryptophane, methionine, glycine, glutamic acid and aspartic acid. The application of BBCRF also increases the total content of free sugar, content of amylose, disaccharide, glucose, fructose. However the influence of using BBCRF on corn crude starch is on the small side.

6. The fertilizer felted by Plastics-starch was regarded to be the best, the fertilizer felted by Clay-Polyester was the second best by comparing the tested felted fertilizers from all aspects.

Key words: Quality of crops , Yield , Felted coated fertilizers , Release characteristics

目 录

第一章	绪论	1
1.1	研究的目的是和意义	1
1.2	缓/控释肥料国内外研究与应用现状	2
1.3	研究内容和方法	8
第二章	造粒胶结剂安全性评价	9
2.1	胶结剂水溶液对小麦发芽率的影响	9
2.1.1	材料与方法	9
2.1.2	结果与分析	9
2.2	纳米材料胶结包膜型缓/控释肥对小麦出苗和苗期生长的影响	10
2.2.1	材料与方法	10
2.2.2	结果与分析	10
2.3	小结	11
第三章	纳米材料胶结包膜型缓/控释肥缓释性能的评价	12
3.1	胶结包膜型缓/控释肥在土壤中的淋出特性	12
3.1.1	材料与方法	12
3.1.2	结果与分析	12
3.2	胶结包膜型缓/控释肥在水中的溶出特性	14
3.2.1	材料与方法	14
3.2.2	结果与分析	15
3.3	小结	16
第四章	不同类型缓释肥对盆栽小麦、玉米的生物学效应	17
4.1	材料与方法	17
4.1.1	供试材料	17
4.1.2	试验方法	17
4.1.3	测定项目与方法	17
4.2	结果与分析	19
4.2.1	不同类型缓释肥对盆栽小麦的生物学效应	19
4.2.2	不同类型缓释肥对盆栽玉米的生物学效应	28
4.3	小结	38
第五章	掺混型缓释肥对大田小麦、玉米的生物学效应	39
5.1	材料与方法	39
5.1.1	供试材料	39
5.1.2	试验方法	39
5.1.3	测定项目与方法	39
5.2	结果与分析	40

5.2.1	掺混型缓释肥对大田小麦的生物学效应.....	40
5.2.2	掺混型缓释肥对大田玉米的生物学效应.....	56
第六章	结论与讨论.....	70
6.1	讨论.....	70
6.2	结论.....	71
6.3	创新点.....	72
参考文献	73
致谢	79
作者简介	80

第一章 绪 论

1.1 研究的目的是和意义

1.1.1 研究的目的

针对我国肥料利用率低、面源污染严重、农产品品质差、缓/控释肥价格过高等问题，加速新型缓/控释肥料的研究和开发，不仅可以从根本上解决我国的肥料问题，而且可推动肥料产业和优质高效农业的发展，为农业现代化提供坚强的技术支持。

1.1.2 研究的意义

(1) 是提高肥料利用率的有效措施

肥料是主要的农业生产资料之一。施肥，不论是在发达国家还是发展中国家都是最快、最有效、最重要的增产措施。联合国粮农组织（FAO）的统计表明，在发展中国家施肥可提高粮食作物单产 55%—57%，总产 30%—31%。我国政府始终重视化肥的生产和使用。1981 年至 1983 年全国化肥试验网在全国范围内进行了大规模的肥效试验，结果显示使用化肥能显著提高单位耕地面积的产量。全国 5000 个试验点统计，使用化肥与不施肥相比，水稻增产 41%、玉米增产 46%、棉花增产 49%、小麦增产 42%、油菜增产 65%。从 1965 年起，我国大量使用化肥，粮食总产量迅速增长。1980 年我国生产化肥 1269 万吨，1998 年为 4085 万吨，2002 年为 3665.67 万吨，占世界总产量的 1/5 以上，并连续 5 年居世界首位（李家康，2001；杨帆，2004），我国已是名副其实的化肥使用超级大国。1965-1995 年 30 年间，粮食总产量增加了 2.4 倍，而同期人口增加了 1.67 倍（许秀成 2000 年）。化肥的使用，使许多人摆脱了饥饿。我国由于化肥使用和研究起步较晚，加之经济和技术原因，化肥利用率不高，氮肥当季利用率为 30%—35%，磷肥为 10%—20%，钾肥为 35%—50%，低于发达国家 15-20 个百分点（杜昌文，2002）。氮肥的损失率，水田平均为 60%，旱地为 45%—50%。为了提高化肥利用率，我国肥料科技工作者在施肥技术上做了大量的研究和推广，例如：有机和无机肥料配合施用技术，平衡施肥技术，化肥深施和按作物生育期分次追施氮肥技术等。这些农艺措施虽然在农业生产中对提高化肥利用率起到了一定的成效，但单纯农艺措施的作用是有其一定限度的，不能从根本上解决化肥利用率低的问题。因此，除了继续研究高效施肥技术之外，必须工艺与农艺相结合，研究肥料的新剂型，将平衡施肥技术提高到一个新阶段，使肥料养分的释放速率与作物需肥规律相吻合，才能大幅度提高化肥利用率。缓/控释肥料这一高新技术为解决化肥利用率低的问题提出了新的思路和途径（张民，2001），而纳米技术在缓/控释肥上的应用尤为这一技术赋予新的内涵。因此，20 世纪 80 年代以来控释和缓释肥料已成为化肥革新和研究的热点。

(2) 是减少环境面源污染的根本途径

2000 年对河北、江苏、浙江、上海、山东、天津、安徽、广东、湖南、云南等省市的调查显示,在农村环境面源污染中,城市污水和农业自身污染各占 50%左右,其中农业废弃物污染占 35%—40%,化肥污染占 10%—15%。2002 年我国氮肥(N)用量 2600 万吨,按氮损失 50%计算,则有约 1300 万吨进入大气和水体,折合尿素 2717.4 万吨,折合人民币大约 258 亿元。可见,经济损失是巨大的。1998 年,我国有机废弃物产生总量大约为 40 亿吨,其中人畜粪便 29.1 亿吨,农作物秸秆 6.5 亿吨,城市生活垃圾 2.5—3 亿吨。这些有机废弃物中,有大约 30%的作物秸秆被焚烧;城市生活垃圾基本上未得到有效利用;畜禽粪便进入水体流失率高达 25%—30%。对上海郊区的调查结果,全市 729 家大、中型畜禽场只有 57 家周围环境良好,河流水质达 2—3 级,有鱼类生存,其余 672 家周围河流水质已呈夏季发黑发臭、鱼类灭绝,有机污染指标超过国家地面水环境质量 V 类标准 100 倍以上。

将有机废弃物和化肥一起加工为新型缓/控释肥料,充分利用资源,减少化肥用量,从根本上解决环境的面源污染问题,无论对国家的经济发展还是对人民的身体健康,均是功在当代、造福于子孙的大事。

(3) 是解决农产品品质差、效益低的关键措施之一

施肥直接影响农作物的生长和农产品品质。我国农产品在国际市场上竞争力低的原因是生产成本高和品质差,不合理的施肥是造成这种恶性循环的主要“罪魁祸首”。在蔬菜作物中,北京市菠菜硝酸盐含量高达 $2358\text{mg}/\text{kg}^{-1}$,萝卜 $2177\text{mg}/\text{kg}^{-1}$;上海、广州等大城市部分蔬菜中盐硝酸盐含量超标 12 倍。我国苹果、梨、柑桔、茶叶种植面积均居世界第一,产量也居世界前三位,由于施肥重氮轻有机和磷、钾、中微量元素,果品的水分含量高,糖/酸比不适宜,品质下降。造成我国农产品品质差和效益低的主要原因是有机肥和化肥施用比例失调,化肥剂型单一,氮磷钾和中、微量元素比例不平衡。加快新型缓/控释肥的研究,是提高农产品品质和效益、促进优质高效农业发展的关键措施之一。

(4) 纳米材料在缓/控释肥上的应用使胶结包膜材料得到创新

包膜肥料是借鉴医药的微胶囊技术发展起来的,包膜材料与医药迥然不同,需要重新筛选和合成。缓释/控释肥料质量好坏、价格高低,无不与包膜或胶粘材料有关。日本在缓释肥料上的突破,首先是在包膜材料上的技术创新。纳米材料科学作为一个新的学科生长点,包含丰富的科学内涵,也需要与各科学领域相结合。同时,纳米材料的发展及其本身独具的许多优异性能为制造纳米高效肥料提供了可能。纳米材料具有的小尺寸,可使肥料粒子本身带有磁效应,从而使肥料养分更容易被植物吸收,并有效刺激植物生长。纳米材料的另一个重要特点是表面效应,随着肥料粒径变小,比表面积增加,键态严重失配,出现许多活性中心,这使植物的根和叶面更易吸收。另外,用纳米微粒的高分子材料进行肥料包膜,可制造出比传统包膜材料用料更少,性能更优异的缓释/控释肥料,从而大大降低缓释/控释肥的制造成本。

1.2 缓/控释肥料国内外研究与应用现状

缓/控释肥料于上世纪 40 年代末在美国开创,日本、加拿大、德国、以色列、印度、埃及等

对肥料的控释都作了较多的研究,各具特色,并形成了各自的产品。到 90 年代中期,控释肥料的全球年产量已达 50 万 t,其中,美国是最大的生产消费国。目前,美国和日本在控释肥料的理论和应用领域居世界领先地位(许秀成,2000;许秀成 2002; Tangboriboonrat, 1996)。早在 1974 年,中国科学院南京土壤所就开展了包膜缓释肥料的研究,自此,控释肥料开始在我国的高等院校和科研院所相继开展起来,并形成了相应的产品(于经元,1997;许秀成,2002)。尽管控释肥料具有潜在的经济及社会效益,然而,现有的控释肥料在控释机理,控释条件,释放周期和控释材料等方面还存在不少问题(Shaviv, 1997; Helay, 1997; 张民,2000),因此,价格居高不下,对环境存在着负效应,很难实现在大田的推广应用,大多数控释肥料多用于草坪、苗圃和花卉等园艺作物(张平,1996;俞巧钢,2001;梁智,2002)。因此,许多科技工作者正在对控释材料和控释机理开展更深入的研究工作,随着控释材料的筛选和生产工艺的成熟,其价格会进一步下降,使用范围也必将会进一步扩大。

1.2.1 缓/控释肥料的类型

根据缓释材料和加工方式的不同,大致分为三种类型:包膜型肥料、化学抑制型肥料和改性缓释肥料(裴东云,1984;陈强,2000)。

(1) 包膜型肥料

①包膜肥料

包膜肥料由包裹膜和肥料心组成。肥料心常用的是普通 N、P、K 单元或多元肥料(如:尿素、硝酸铵、硫酸铵、碳酸氢铵、磷酸铵、磷酸钾、磷酸钙等)、含微量元素的复合肥料、含有植物所需营养元素的矿物等。作为肥料心的这些肥料水溶性好,易于被植物吸收,但也容易流失和浪费,特别是在经常灌溉的田块,这种现象更为严重,因而人们通常在这些肥料的外面包裹上一层膜来阻止或延缓上述现象的发生,从而形成了包膜肥料。美国最早开展包膜肥料的研究。1961 年 TVA 在 1-7kg/h 装置上进行了包硫尿素小试,1978 年在美国 t/hSCU 的示范生产厂,从小试到建厂历时 17 载。之后又进行了包硫氯化钾(SCK)、包硫磷酸二铵(SCP)、“控释农药—肥料聚合物”的研究。日本在研究初期学习美国的技术,二十世纪七十年代研制热塑性树脂聚烯烃包膜肥料,简称 POCF 工艺。该包膜剂是由聚烯烃(PE)一乙烯和乙酸乙烯酯的共聚物(ethylene vinylacetate, EVA)和无机填充料滑石粉所组成。PE 可形成水渗透性很低的薄膜,而 EVA 能形成水渗透性很强的薄膜。将 PE 与 EVA 按不同的比例混合,便能控制氮的释放速率,添加滑石粉可以调节包膜肥养分释放的温度系数。在众多的日本专利中(JP, 59, 35874[84, 35874]; JP, 59, 137386[84, 137386]; JP, 59, 35875[84 35875]),以开发可被生物和光降解的聚合物包膜肥料及具有不同养分释放模式的包膜肥料为主体。包膜肥料所用的包裹膜常是一层难溶物或者微溶物。当肥料施入土壤后,包裹膜发生缓慢地溶解、分解或腐化,肥料心暴露,通过土壤中的水分,使肥料被植物缓慢吸收,从而达到缓释的目的。常用的包膜材料可分为:

天然高分子材料:包括淀粉及其衍生物,阿拉伯胶,马来胶和瓜尔豆胶,海藻提取胶,植物蜡和蜂蜡,动物骨提取胶,松香类酯胶,虫胶类等(Song, 1996; JP, 59, 35875[84 35875]; Nakamura, 1997; Andn, 1999)。

半合成高分子聚合物:纤维素类,包括纤维素的酯和醚;淀粉衍生物,包括氧化、交联淀粉,

磷酸酯淀粉, 羟烷基、羧甲基淀粉, 乙酸酯淀粉, 接枝淀粉等; 黄化木质素, 脲甲醛等。

合成高分子聚合物: 聚烯烃类热塑性树脂, 聚丙稀醇, 聚乙烯塑料, 泡沫硬塑料, 乙烯树脂, 丙烯酸树脂, 聚氨酯等 (Ibay, 1993; Waxman, 1998)。

混配或改性的高分子聚合物: 淀粉及其衍生物与树脂混配并改性。

无机化合物: 无机化合物作为包裹膜的比较少, 在文献中见到的有硫磺 (Golovly, 1986)、 $MgNH_4PO_4 \cdot 3H_2O$ (JP, 59, 35874[84, 35874])、硅酸盐 (JP, 59, 137386[84, 137386])、磷酸钙 (刘祥义, 2000; Jimenez, 1987)、 P_2O_5/CaO 玻璃体以及改性氧化物 Al_2O_3 制成的无机物束胶。

②胶粘型缓释肥料

分两个方向进行研究, 一类是将肥料元素直接或间接, 分子或离子形态联接或溶解于亲水性高分子聚合物中, 构成一种新的组合物, 高分子聚合物既是胶粘剂, 又是肥料的溶剂。养分的释放速度取决于组合物键的性质、立体化学结构或胶粘剂降解速率和交联度等 (Ibay, 1993; Waxman, 1998; Matsui, 1986; Honma, 1986; Okonogi, 1986; Wioiams, 1998)。另一类是掺混型胶粘肥料, 用不同降解速率的胶粘剂生产养分释放速率不同的肥料, 再根据作物不同生育期的需肥规律按比例掺混。胶粘型缓/控释肥料在国内外刚刚起步, 尚未推广应用。

(2) 化学抑制型肥料

该肥料目前主要向两种类型发展, 一种是添加脲酶抑制剂和硝化抑制剂, 调节土壤微生物的活性, 减缓尿素的水解和对氨态氮的硝化—反硝化作用, 从而达到肥料氮素缓慢释放和减少损失的目的 (孙来九, 1979; 吴平霄等, 2000; JP 59 116185[84 116185]); 另一类是用土壤调理剂包膜, 通过改变微环境, 提高肥料利用率。

①脲酶和硝化抑制剂

用于脲酶和硝化抑制剂的化合物很多, 均可与氮肥混合制成缓释肥料。长效碳酸氢铵就是利用氨稳定剂 DCD (双氰胺), 降低氨的挥发, 从而提高了氮肥利用率。

②具有土壤调理剂功能的肥料

乙酸乙烯酯和聚丙烯酰胺共聚物 (EVA) 既是较好的土壤调理剂, 又是较好的肥料包膜剂, 印度用该材料包膜尿素, 用 EVA 作为密封材料, 缓释效果很好。土壤调理剂用于包膜剂的研究刚刚起步。

(3) 改性缓释肥料

肥料改性可以达到缓释的目的, 如目前世界上使用的大颗粒尿素是其中的一种, 对作物尤其是水稻的增产效果很好, 但其成本较高。中国农科院土壤肥料研究所利用塑料与肥料之间的偶联效果, 利用偶联剂为基础, 加入 3%—5%的有机胶体, 制成含氮 30%—40%的不同剂型的尿素, 可代替大颗粒尿素。

1.2.2 缓/控释肥料养分释放特性的评价

控释肥自 20 世纪 40 年代问世以来, 人们即开始研究其控释性能的评价方法。Oertli 和 Lunt (1962) 以水和磷酸盐缓冲液连续浸提树脂包膜肥料以测定养分溶出率, 此后, 许多学者在这方面进行了探索。但由于各种控释肥的控释材料、控释途径、控释机理不同, 至今还没有统一的、标准的评价方法。

(1) 水中溶出率法

欧洲标准委员会 (Comite Eauopeen de Normalisation, CEN) 规定缓释肥料 (TC260/WG4/TFsrF) 在水中 (25℃) 养分释放速率 24h 不大于 15%; 28d 不超过 75%; 在规定的时间内至少有 75% 被释放 (Trenkel, 1997)。Blouin 等 1971 年提出的 7d 溶出率法则是硫包膜尿素 (SCU) 和聚合物包膜尿素控释性能的常用测定方法 (Christianson, 1988; Salman, 1988), 该法是将 50g 肥料样品没入 250ml 水中 (肥水比为 1: 5, 温度 25℃ 左右), 7 天内, 每天测定尿素浓度以确定养分释放速率。而日本对包膜肥料则采用初级溶出率法和微分溶出率法来评价缓释性能 (山添文雄等, 1983)。方法是称取 12.5g 肥料样品, 加入 250ml 水 (肥水比为 1: 20), 于 30℃ 恒温箱中放置 24h, 测定浸取滤液中铵态氮, 水溶性磷和水溶性钾的含量。初级溶出率即溶解的养分占肥料中全量养分的百分含量。若把肥料样品按同样的肥水比例在 30℃ 恒温箱中放置 7d (168h), 测定溶出的养分, 即可得到第 1d 至第 7d 之间的养分每天平均溶出率, 即微分溶出率。微分溶出率 (%) = [(累积养分溶解量 × 100 / 试样中养分含量) - 初级溶出率] × [1 / (放置天数 - 1)]。初级溶出率反映那些包膜不完整的肥料粒子数量, 通常要求初级溶出率不大于 40%; 微分溶出率是评判包膜完整的肥料粒子, 平均每天释放总养分百分率, 大多数包膜缓释肥料微分溶出率为 0.25% - 2.5%。事实上, 许多控释肥生产企业则各有评价肥料性能的快速测定方法。例如美国 Scotts 公司、Puresell 工业公司、以色列 Haifa 化学公司以肥料养分在水中 (21℃) 释放 80% 作为聚合物包膜肥料 Osmocote、Polyon、Multicote 的评判标准; 而日本 Chisso-Asahi 肥料公司则以释放 75% (25℃) 作为聚合物包膜肥料 Nutricote、Meister 的评判标准 (Shaviv, 1996)。中国郑州乐喜施肥料公司则以肥料浸入水中不同时间尚有核心 (通常为尿素) 的颗粒数目作为评价 Luxuriance (钙镁磷肥包裹) 和 Luxacote (luxecote) (均为二价金属磷酸盐包裹) 的生产线控制标准, 以 48h 水中 (25℃) 溶出率小于 60% 作为企业标准 (许秀成等, 2000)。

静态水中溶出率法没有考虑土壤水分实际上是各种养分离子的盐溶液, 而且随着养分的溶出, 盐分浓度增大, 必然会影响养分离子的迁移。Oertli 和 Lunt (1962) 用含 0.005mol/L 的 NaCl 磷酸盐缓冲液于 21℃ 下连续 9 周浸提含 10g 不同树脂包膜厚度的 KCl 肥料, 并以滤过 CO₂ 的空气通气以搅拌溶液 (防止 CO₂ 溶入), 每周更换浸提液并测定释放出的钾量。结果表明, 钾的释放速度受包膜厚度影响很大。熊又升等 (1999) 用巴氏滤管法、段平 (2000) 用沙柱法, 采用上端淋水, 下端收集滤液, 检测一定时间内滤液中的养分含量, 均收到满意的效果。

(2) 土壤溶出率法

肥料浸入水中或某种盐的缓冲溶液中测得的养分释放速率和释放期远不能代表控释肥料对作物的供肥速率和肥效期。因为溶解的肥料养分除少部分被作物直接吸收利用外, 大部分在土壤中会发生一系列物理、化学和生物学变化, 各种形态的养分之间建立起动态平衡, 较长时间地供作物利用。因此, 肥料肥效期远大于肥料养分在水或溶液中的释放期。因此, 一些学者引入土壤因子, 来评价控释肥的养分释放特性。

Oertli 和 Lunt (1962) 把 1kg 的土壤与 30g 树脂包膜肥料混匀, 装入长 60cm、内径 5cm 的垂直玻璃管中, 玻璃管底部装一些玻璃棉, 通过玻璃绵过滤。连续 10 周, 每次分别用 50ml 蒸馏水和 2% 或 0.5% 的甲醛溶液 (开始为 2%, 以后为 0.5%, 主要目的在于杀死土壤微生物) 淋洗土壤肥料混合物, 收集淋洗液并测定其中的养分含量。Patel 和 Sharma (1997) 用类似的方法用蒸馏水淋洗土柱, 培养时间长达 17 周。应用土柱淋洗法的最大缺点是其长短影响土壤持水量, 较短

土柱单位容积持水量一般大于较长土柱 (Holcomb, 1981)。Holcomb(1981)提出的方法则可克服这个缺点: 在装有泥炭-蛭石等体积混合物的容器底部放置一个毛细管垫子, 每次淋洗只使混合物被水饱和, 而不产生淋出液, 这样肥料中释放的养分离子通过扩散作用进入垫子, 定期挤压垫子以提取并测定养分含量。侯翠红 (1998) 也用类似装置测定了 Osmocote (13-12.92-15.29) 肥料中钾的溶出率, 并进一步扩展到 Luxecote (18-6-12) 肥料中氮素的测定。模拟土壤与实际土壤仍有区别, 因此 Paramasivam 等 (1997a, 1997b) 利用土柱以养分淋失-干燥 (培养) 方式模拟田间条件比较了 Meister、Poly-S (聚合物包硫尿素) 和 Osmocote 的养分释放及淋溶特性。杜建军 (2002) 等按照田间耕层实际容重建造土柱, 以模拟雨水连续 5 周淋溶, 评价不同控释肥料在土壤中的养分释放与淋溶特性, 其结果与盆栽试验一致。

土柱淋洗法仍局限在实验室条件下, 一些学者 (Sanvant, 1982; Gandeza, 1991) 采用肥包法: 将肥料 (或与沙子混合后) 装入尼龙网袋埋在土壤中, 过一段时间取一些肥料颗粒分析其中的养分含量以确定养分释放速率。这种方法的困难在于: 如何确定合适的网袋大小、装入肥料的多少及肥包在土壤中的分布: 肥料在网袋中会破裂, 甚至粉化, 因而试验误差较大。

(3) 同位素示踪法

Shoji (1991, 1994) 等应用 ^{15}N 标记技术研究了 POCU-70 (polyolefin-cote urea 聚烯烃包膜尿素, 70 天表示养分释放天数) 在田间条件下氮素释放特性和玉米吸收利用关系。结果表明, 10-30 °C 范围内 POCU 累积释放氮量与时间、气温或土壤积温的关系可用一元二次方程表示:

$$\text{CNR} = a + b(\text{day}) + c(\text{day})^2 \quad (1)$$

$$\text{CNR} = a + b(\text{CT}) + c(\text{CT})^2 \quad (2)$$

式中 CNR 为累积氮素释放率, %; day 为时间, d; CT 为空气或土壤积温, °C; a、b、c 为常数。POCU 施入土壤后开始氮素释放较快, 但随着时间的推移释放率逐渐降低, 大约在 126d 或气温积温达到 2300 °C 时 (成熟期), 累积释放率达到 80%。另一方面, 玉米对氮素的吸收曲线则呈典型的 “S” 曲线, 证明 POCU 释放的氮素可以满足玉米整个生育期的需求, 相应的氮素回收率达到 60% 以上。以 ^{15}N 标记的 POCU-S100 也表明, 水稻成熟时氮累积释放速率达 87%, N 素回收率达到 79% (1991)。同位素示踪法能够较真实反映田间实际情况, 但是该法成本高, 而且需要特殊的仪器, 一般试验室难以完成。

(4) 重量法

Gambash (1990) 则认为, 水蒸气通过膜的扩散进入肥料颗粒内部是肥料释放速度的决定步骤。他设计了一种以重量法测定水蒸气扩散量的方法, 从而评价包膜肥料的控释性能。方法是: 取 10-30 粒颗粒肥料放在已称重的滤纸上, 然后把肥料连同滤纸放入一底部盛水上部被水蒸气饱和的干燥器改装的容器中, 定期称量肥料颗粒及滤纸重量, 根据重量变化来确定养分的释放速率。这一方法所得的结果与测定土壤-肥料混合物中养分释放速率所得结论是一致的, 该法的优点是对评价肥料颗粒的单个行为特别有效。Kobayashi 等 (1997b)、Fujisawa (1997b, 1997c) 等和 Hanyu (1998b) 等用类似装置研究了树脂型肥料养分释放速率及释放机制, 并给出了相应的释放模型。该释放模型预测此类肥料的溶出率与实测结果也是吻合的。

(5) 电超滤法

近年来一些研究者把电超率 (electroultrafiltration, EUF) 技术应用于评价控释肥控释性能 (Hanyuu, 1999; Cartagena, 1993; Vallejo, 1993)。Diez (1998) 等确定了 EUF 用于控释

肥评价的工作条件: EUF-N I: 30min, 200v, 20°C, 15mA; EUF-N II: 5min, 400v, 20°C, 40mA 和 5min, 400v, 20°C, 150mA。Vallejo 等对木素包膜尿素研究后指出 EUF-N I 可以表征养分释放的数量, 而 EUF-N II 则与包膜的稳定性有关。EUF-N I 和 EUF-N II 均随膜厚度的增加而下降, 它们的值与水中溶出率模型中速度常数高度相关。生物试验表明, 黑麦草吸氮量、氮素淋失量和可溶性氮(吸收+淋失)均与 EUF-N I、EUF-N (I+II) 达显著或极显著的相关性, 而与 EUF-N II 均达极显著水平的相关性, 说明利用 EUF 技术不仅可以提供肥效方面的信息, 还可以反映氮素淋失情况, 是一个值得深入研究的方法。

1.2.3 缓/控释肥料实际应用效果

由于控释肥料体现了纵向-横向平衡施肥的原理, 因而提高了肥料的利用率, 可以说具有显著的经济效益、环境效益。

郑圣先(2001) 黄科廷(2002), Kaneta(1997)等研究表明, 水稻一次性基施控释肥料与传统水稻栽培成本相比, 可降低成本 65%。Mikkelsen(1994)等进行氮淋失与植物吸收对比评价试验显示, 包膜氮肥在减少氮淋失, 促进植物生长及增加植物组织含氮量方面均优于非包膜氮肥, 同时 Shaviv 和 Mikkelsen(1994) 也认为使用控释肥料是减少环境危害和维持高养分使用效率的潜在手段。

全云飞(1996), 张春伦(1998), 阎翠萍(2001), Shoji(2001) 的实验表明: 在大麦、小麦、土豆、玉米、棉花上施用控释肥能显著提高氮肥的利用率及作物的产量, 在玉米实验中, 控释肥的 N_2O 损失仅仅是尿素损失的 1/3, 整个生育期 N_2O 的损失均远远低于传统肥料, 同时控释肥 MESTER 氮的植物回收率几乎是尿素的 2 倍。整个实验系统中 ^{15}N 回收率是控释肥的最高, 控释肥的氮损失平均仅为 1.9%。随之作者指出控释肥能保持空气、水的质量得益于它能最大地提高氮肥的利用率, 减少氮的损失。

河南农业科学院(2000) 承担的对郑州 Luxecote 的试验表明, 给小麦 Luxecote 可得到约 57.2% 的氮利用率, 据测算, 在中国, 若所使用尿素中的 1% 由 Luxecote 组成, 氮的损失可减少 10%, 1 千 m^3 的地下水供应中 NO_3^- 的浓度可能降至 3 mg/L , 环境效益相当明显。

黄科廷(2002) 在早稻上施用控释氮肥的实验表明, 在较低、中、较高肥力稻田上, 施用控释氮肥的增产效果和经济效益依次递减, 但施用后, 促进早稻生育中、后期对氮的吸收, 氮素利用率达到 72.6%~86.9%, 比等氮量的尿素平均高 41.7%, 俞巧钢(2001) 则以脲甲醛、尿素、过磷酸钙和氯化钾为原料, 造粒后用脲醛涂膜液包膜加工而成的控释肥料在柑桔上应用表明, 比普通肥料增产 12%~26%, 同时柑桔的品质也得到改善。

符建荣(2001) 在日本以树脂包膜类(LP) 控释肥料一次基施与尿素、硫酸铵分次施用进行比较试验, 应用 ^{15}N 示踪法研究了不同施肥处理水稻的吸氮模式及肥料利用率, 结果表明, 移栽稻以尿素与控释氮肥(LPS-100) 按 1:1 混合基施产量最高, 直播稻以 LP-100 基施产量最高。尿素/LPS-100 和 LP-100 一次基施, 氮素生理效率和农学效率明显高于尿素和硫酸铵。

郑圣先(2001) 等以天然半天然的高分子聚合物, 成孔剂为主成分研制了包膜控释肥料, 经田间试验表明, 水稻从 70 日型控释肥料中吸收的氮遵循三次曲线, 因此 70 日型控释肥料能满足水稻生长期对氮的需要, 该肥料氮的利用率高达 72.3%, 比尿素高出 36.5%。

1.2.4 存在问题及研究发展趋势

(1) 由于控释材料，生产工艺的复杂，致使控释肥料价格居高不下，一般为普通肥料的 2~3 倍。为了降低控释肥料的价格，研制和筛选新型、高效、廉价的控释材料已成为目前研究的关键（何绪生，1998；杜昌文，2002；黄立早，2002）。现在控释材料的研究已逐渐从无机物转向有机物，将纳米材料作为胶结包膜材料应用于缓控释肥也将成为这一领域的研究热点（张夫道，2001）。

(2) 不同控释材料包膜的肥料释放机理是不同的，不同形态的养分在不同的土壤，不同的作物上的转移吸收差异也很大。正是由于这一差异的复杂性，有必要通过物理或化学手段，按照作物生长期，将不同类型的缓/控释肥料进行混配，形成 2 个或数个养分释放高峰，与作物需肥规律相吻合。

(3) 由于氮素在土壤中淋溶、挥发等损失极大，因而目前控释肥料的研究主要集中在氮肥的控释上，但也有必要加强对磷、钾甚至部分中、微量元素控释的研究。目前磷主要以水溶性磷肥与尿素形成包膜控释肥，钾肥主要以氯化钾、硫酸钾的包膜形式出现，不过这方面的报道并不多，开发控释型磷、钾、部分中、微量元素肥料，在某种程度上使控释肥料的意义更为完全准确。

(4) 缓/控释肥料控释性能的测试方法虽有很多报道，但是，各种测试方法因采用的介质、仪器不同，预测控释肥控释性能的准确度大不相同，缺乏统一的测试标准。此外，实验室测定参数与田间控效肥控释期限和效果缺乏相关研究，因而建立控效肥控释性能标准测试方法，改进工业质量控制和农户决策过程势在必行。

1.3 研究的内容和方法

关于缓/控释肥控释材料、缓/控释机理及在小麦、玉米、大麦、水稻和柑桔上的增产效果及肥料利用率前人已作了比较系统的解释。在肥料学科中，国内外虽在纳米技术的有关专利和文献中提到了肥料，但不同类型的纳米材料胶结包膜型缓/控释肥料及不同的掺混型缓释肥在小麦、玉米上的生物学效应尚未有人作过系统地研究。因此，通过本研究计划的实施，我们将在该研究方向上率先突破。试验于 2002-2004 年在中国农业科学院土壤肥料研究所网室和北京市昌平“国家褐潮土土壤肥力与肥料效益监测基地”中进行。以冬小麦和夏玉米为对象，采用盆栽试验和大田小区试验的方法，进行了不同纳米材料胶结包膜型缓释肥对作物发芽及苗期生长安全性评价以及在土壤中养分淋出特性的研究；纳米材料胶结包膜型缓释肥以及几种不同类型掺混型缓释肥对盆栽小麦、玉米生理特性及土壤养分影响的研究；掺混型缓释肥对大田小麦、玉米产量和品质影响的研究。

第二章 造粒胶结剂安全性评价

2.1 胶结剂水溶液对小麦发芽率的影响

2.1.1 材料与方法

2.1.1.1 供试材料

胶结剂：CF-2 胶结剂，塑料 - 淀粉混聚物胶结剂，粘土 - 聚酯混聚物胶结剂，腐植酸 - 聚酯混聚物胶结剂。

小麦品种：中作 9428。

2.1.1.2 试验方法

取 100 粒小麦种子，放入铺有滤纸的培养皿中，种子上面再盖一层滤纸：分别将胶结剂配成 1%、3%、5%、和 10% 的水溶液，以清水为对照，把配置好的水溶液注入培养皿中，每个处理 3 次重复；使滤纸保持湿润，直到种子发芽。计算每个处理种子平均发芽率。

2.1.2 结果与分析

从表 2 可以看出，四种造粒胶结剂，在不同的浓度下，种子的发芽率均在 99% 以上，与清水对照相似。说明本试验所使用的四种造粒胶结剂对小麦种子的发芽是安全的。

表 2-1 胶结剂水溶液对冬小麦发芽率的影响

Table 2-1 Effects of cementing agent on germinated rate of winter wheat

胶结剂 cementing agent	0%	1%	3%	5%	10%
CF—2	100	100	100	100	100
塑料 - 淀粉 Plastics-Starch	100	100	100	100	99
粘土 - 聚酯 Clay-Polyester	100	100	99	100	100
腐植酸 - 聚酯 Humus-Acid	100	100	100	100	100

2.2 胶结包膜型缓/控释肥对小麦出苗和苗期生长的影响

2.2.1 材料与方法

2.2.1.1 供试材料

供试肥料：分别用CF-2 胶结剂，塑料 - 淀粉混聚物胶结剂，粘土 - 聚酯混聚物胶结剂，腐植酸 - 聚酯混聚物胶结剂作为粘结剂生产颗粒状缓释胶结肥；用CF-2 作粘结剂制成颗粒肥料，然后分别用塑料—淀粉混聚物胶结剂，粘土—聚酯混聚物胶结剂，腐植酸 - 聚酯混聚物胶结剂作为包膜材料制成包膜型缓释肥。供试肥料分别是：CF-2 胶结肥，粘土 - 聚酯胶结肥，腐植酸 - 聚酯胶结肥，塑料 - 淀粉胶结肥，粘土 - 聚酯包膜肥，腐植酸 - 聚酯包膜肥，塑料 - 淀粉包膜肥，尿素，氯化钾，磷酸一铵。缓释肥养分含量：N 15%， P_2O_5 8%， K_2O 8%。

土壤来源：昌平试验基地，其基本性状：pH值 8.1，有机质 $16.4g \cdot kg^{-1}$ ，全氮 $0.69g \cdot kg^{-1}$ ，全磷 $0.87g \cdot kg^{-1}$ ，碱解氮 $76mg \cdot kg^{-1}$ ，速效磷 $4.1mg \cdot kg^{-1}$ ，速效钾 $90mg \cdot kg^{-1}$ 。

小麦品种：中作 9428。

2.2.1.2 试验方法：

试验采用随机排列，共设 9 个处理，重复 3 次，每盆装风干土 8kg。除无肥对照外，其它各处理等NPK养分设计，以氮素计每盆施入纯氮 1.5g，N： P_2O_5 ： K_2O 为 15：8：8。将土壤与肥料充分混匀后装盆，浇水，播种。9 个处理分别是：(1) CF-2 胶结肥 (2) 粘土 - 聚酯胶结肥 (3) 腐植酸 - 聚酯胶结肥 (4) 塑料 - 淀粉胶结肥 (5) 粘土 - 聚酯包膜肥 (6) 腐植酸 - 聚酯包膜肥 (7) 塑料 - 淀粉包膜肥 (8) 等NPK养分化肥 (9) 无肥对照。

2.2.1.3 测定项目：

出苗率，冬前小麦植株地上部干重、叶面积、叶绿素含量。

2.2.2 结果与分析

从表 2-2 可以看出，各个处理小麦的出苗率均在 95%以上，7 种缓释肥对小麦的出苗均无影响，与等 NPK 养分化肥及无肥对照相似。冬前 12 月 9 日调查小麦地上部干重、叶面积等指标显示，7 种施用缓释肥的处理小麦地上部干重、叶面积、叶绿素与等 NPK 养分化肥和无肥对照处理相比不但没有降低，反而有所升高，说明用 4 种胶结剂制成的胶结包膜型缓释肥对小麦苗期的生长没有不良影响。

表 2-2 胶结包膜型缓释肥对小麦出苗和苗期生长的影响

Table2-2 Effects of controlled- release fertilizer on seeding emergence and growth of winter wheat

处理 Treatment	出苗率 Seeding rate (%)	地上部干重 dry weight (g/plant)	单株叶面积 Leaf area (cm ²)	叶绿素 chlorophyll (%)
CF-2 胶结肥 Felted by CF-2	97	0.148	4.46	0.25
粘土 - 聚酯胶结肥 Felted by clay-polyester	96	0.159	4.90	0.27
腐植酸 - 聚酯胶结肥 Felted by humus acid	98	0.158	4.71	0.27
塑料 - 淀粉胶结肥 Felted by plastics-starch	98	0.152	4.39	0.28
粘土 - 聚酯包膜肥 Coated by clay-polyester	95	0.133	5.49	0.25
腐植酸 - 聚酯包膜肥 Coated by humus acid	98	0.172	4.76	0.25
塑料 - 淀粉包膜肥 Coated by plastics-starch	97	0.127	3.81	0.27
等 NPK 养分化肥 Fertilizer	97	0.134	4.45	0.19
无肥对照 No fert.	97	0.116	4.28	0.15

2.3 小结

4 种新研制的胶结剂对小麦的发芽没有抑制作用，在不同的浓度下，小麦种子的发芽率都在 99%以上，与清水对照相似。说明 CF-2 胶结剂，塑料 - 淀粉混聚物胶结剂，粘土 - 聚酯混聚物胶结剂，腐植酸 - 聚酯混聚物胶结剂对小麦种子的发芽是安全的。

采用以上 4 种胶结剂研制的新型胶结包膜型缓释肥，以等 NPK 养分化肥和不施肥为对照，在盆栽条件下研究新型肥料对小麦出苗及苗期生长的影响。结果表明，各个处理小麦的出苗率均在 95%以上，与等 NPK 养分化肥和不施肥对照相似。冬前调查显示，小麦地上部干重、叶面积、叶绿素含量与等 NPK 养分化肥和不施肥各项指标不但没有减少反而有所增加。说明用 4 种胶结剂制成的胶结包膜型缓释肥对小麦出苗以及苗期的生长没有不利影响。

第三章 胶结包膜型缓/控释肥料缓释性能的评价

3.1 胶结包膜型缓释肥在土壤中的淋出特性

3.1.1 材料与方法

3.1.1.1 供试材料：

土壤来源：昌平试验基地，基本性状：pH值 8.1，有机质 16.4g.kg⁻¹，全氮 0.69g.kg⁻¹，全磷 0.87g.kg⁻¹，碱解氮 76mg.kg⁻¹，速效磷 4.1mg.kg⁻¹，速效钾 90mg.kg⁻¹。

肥料：CF-2 胶结肥，粘土 - 聚酯胶结肥，腐植酸 - 聚酯胶结肥，塑料 - 淀粉胶结肥，粘土 - 聚酯包膜肥，腐植酸 - 聚酯包膜肥，塑料 - 淀粉包膜肥，磷酸一铵，氯化钾，粉碎尿素。缓释肥养分含量：N 15%，P₂O₅ 8%，K₂O 8%。

3.1.1.2 试验方法：

试验设 9 个处理，分别为（1）无肥对照（2）等 NPK 养分化肥（3）CF-2 胶结肥（4）塑料 - 淀粉胶结肥（5）粘土 - 聚酯胶结肥（6）腐植酸 - 聚酯胶结肥（7）塑料 - 淀粉包膜肥（8）粘土 - 聚酯包膜肥（9）腐植酸 - 聚酯包膜肥。重复 2 次，顺序排列。除无肥对照，其他各处理等 N 设计。取 100g 过 1mm 筛的风干土壤置于淋洗管下端，用 50ml 蒸馏水湿润土柱，使土柱达到饱和，然后将 2.00g 缓释肥料放在饱和的土柱上面，再将 20g 风干土放在肥料上面，用 10ml 蒸馏水湿润肥料及其上的风干土，培养 48h 后用 10ml 蒸馏水淋洗土柱。每次收集滤液前向三角瓶中滴加 2 滴浓硫酸；至第 2d, 4d, 6d, 8d, 14d, 20d, 25d, 30d, 35d, 40d 收集淋溶液并定容至 100ml。测定滤液中氮含量。

3.1.2 结果与分析



图 3-1 缓/控释肥在土壤中淋洗试验装置图

Fig.3-1 The picture of filter tester

3.1.2.1 胶结包膜型缓/控释肥在土壤中的淋出特性

(1) 氮素溶出率

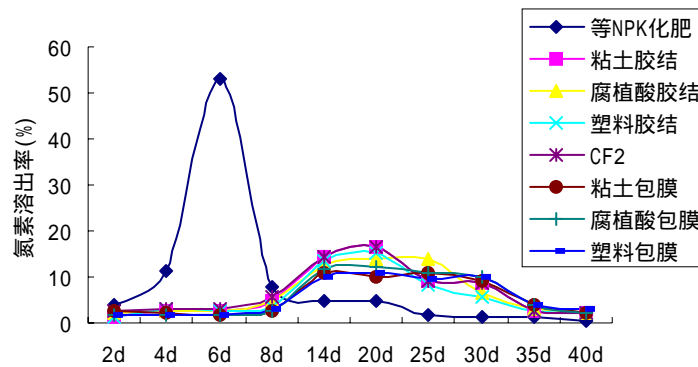


图 3-2 氮素溶出率

Fig.3-2 Release rate of fertilizer nitrogen

在本试验条件下(图 3-1),CF-2 胶结肥、粘土-聚酯胶结肥、腐植酸-聚酯胶结肥、塑料-淀粉胶结肥和等 NPK 养分化肥的氮素在土柱中的释放速率见图 3-2。等 NPK 养分化肥作为对照,第 4 天释放速率迅速升高,第 6 天为释放高峰期,达到 50%以上,之后释放速率迅速下降;4 种胶结型缓释肥的氮素释放曲线则比较平缓,均在第 8 天开始缓慢上升,到第 20 天出现峰值,氮素溶出速率为 13.74%-16.62%,之后呈缓慢下降趋势。四种胶结型缓释肥相比较,CF-2 胶结肥氮素释放速率最快,其次是腐植酸-聚酯胶结肥,再次是粘土-聚酯胶结肥,塑料-淀粉胶结肥释放最慢。

包膜型缓释肥与胶结型缓释肥及等 NPK 养分化肥的氮素在土柱中的释放速率相比较可知:三种包膜型缓释肥的氮素释放曲线则更加平缓,第 14 天氮素溶出率为 10.15%-11.89%之间,第 20 天为 10.16%-12.08%,第 25 天在 9.52%-10.88%,第 30 天在 8.98%-10.21%之间。三种包膜型缓释肥相比,塑料淀粉包膜肥,释放曲线最平缓。

(2) 氮素累积淋出率

表 3-1 为胶结包膜型缓释肥氮素累积溶出率。可以看出,无论是包膜型还是胶结型缓释肥 48 小时氮素累积淋出率在 1.25%-2.65%。在开始阶段,等 NPK 养分化肥中氮素的累积释放率最高,到第 6 天累积释放率已接近 70%,之后的变化相对平稳,至第 14 天氮素累积释放率达 81.08%,第 40 天达到 90.32%;四种胶结型缓释肥料中氮素的累积释放率呈缓慢上升趋势,第 6 天累积释放率在 6.84%-8.70%,第 14 天为 24.12%-28.62%,第 40 天为 58.30%-67.68%。四种胶结型缓释肥料相比较,在相同时间内,CF-2 胶结肥累积释放率最高,腐植酸-聚酯胶结肥累积释放率次之,粘土-聚酯胶结肥居第三,塑料-聚酯胶结肥累积释放率最低。

表 3-1 土柱中氮素累积淋出率(%)

Table3-1 Accumulated releases of fertilizer nitrogen

肥料 Fert.	2d	4d	6d	8d	14d	20d	25d	30d	35d	40d
等 NPK 养分化肥 Fertilizer	4.01	15.32	68.43	76.26	81.082	81.77	87.62	88.71	89.80	90.32
粘土胶结 Felted by clay-polyester	1.42	4.19	7.01	11.77	26.11	41.30	51.90	60.58	62.99	65.17
腐植酸胶结 Felted by humus acid	2.33	5.09	7.86	12.66	25.45	36.86	53.19	59.64	62.59	64.93
塑料胶结 Felted by plastics-starch	1.25	4.10	6.84	10.54	24.12	38.11	47.70	53.38	56.17	58.30
CF2 胶结 Felted by cf2	2.65	5.58	8.70	14.29	28.62	42.59	54.41	63.09	65.50	67.68
粘土包膜 Coated by clay-polyester	2.50	4.51	6.300	9.10	19.95	27.61	40.94	49.92	53.63	55.92
腐植酸包膜 coated by humus acid	1.84	3.61	5.34	8.10	19.98	30.22	42.94	52.84	56.82	58.95
塑料包膜 Coated by plastics-starch	1.85	3.67	5.32	8.20	18.35	27.34	38.71	48.92	52.96	56.13

与等 NPK 养分化肥及胶结型缓释肥相比较,三种包膜型缓释肥氮素累积释放率更加平缓,第 6 天氮素释放率在 5.32%-6.30%,第 14 天为 18.35%-19.98%,第 40 天为 55.92%-58.95%。相同时间内,三种包膜型缓释肥氮素累积释放率相比较,腐植酸 - 聚酯包膜肥累积释放率最高,其次是粘土 - 聚酯包膜肥,塑料 - 淀粉包膜肥氮素累积释放率最低。

3.2 胶结包膜型缓/控释肥在水中的溶出特性

3.2.1 材料与方法

3.2.1.1 供试材料

肥料:粘土 - 聚酯胶结肥,腐植酸 - 聚酯胶结肥,塑料 - 淀粉胶结肥,粘土 - 聚酯包膜肥,腐植酸 - 聚酯包膜肥,塑料 - 淀粉包膜肥,磷酸一铵,氯化钾,粉碎尿素。缓释肥养分含量:N 15%, P₂O₅ 8%, K₂O 8%。

3.2.1.2 试验方法

准确称取 5.00g 肥料样品,以等 NPK 养分化肥为对照,放入三角瓶中,向三角瓶中加入 100ml 蒸馏水(肥水比为 1:20),于室温下放置 24h,测定溶出的 N 素含量,计算初级溶出率。初级溶出率为溶出的养分量占肥料总养分量的百分数。

将 5.00g 肥料样品按同样的肥水比在同样条件下放置 7 天,测定溶出的 N 素含量,计算微分溶出率。微分溶出率(%) = [(累积养分溶解量 × 100/试样中养分含量) - 初级溶出率] × [1/(放置天数-1)]。

3.2.2 结果与分析

由表 3-2 可知,三种胶结型缓释肥初级溶出率在 34.86% - 39.56%,微分溶出率为 1.45%-2.07%,其中塑料-淀粉胶结肥初级溶出率为 34.86%,微分溶出率为 1.45%。三种包膜型缓释肥初级溶出率在 8.28% - 12.42%,微分溶出率为 0.62% - 1.16%,其中塑料-淀粉包膜肥初级溶出率为 8.28%,微分溶出率为 0.62%;粘土-聚酯包膜肥初级溶出率为 10.75%,微分溶出率为 0.78%;腐植酸-聚酯包膜肥初级溶出率为 12.42%,微分溶出率为 1.16%。

包膜型缓释肥料初级溶出率、微分溶出率均低于胶结型缓释肥料。三种胶结型缓释肥料相比,以塑料-淀粉胶结肥初级溶出率和微分溶出率最低。三种包膜型缓释肥相比,以塑料-淀粉包膜肥料初级溶出率和微分溶出率最低。

表 3-2 肥料氮初级溶出率与微分溶出率

Table3-2 The primary and differential dissolve rate of fertilizers

肥料 fertilizers	总氮量 Total nitrogen (mg)	初级溶出率		微分溶出率 Differential dissolve rate(%)
		Primary dissolve rate		
		W(mg)	(%)	
粘土-聚酯胶结肥 Felted by clay-polyester	750	284	37.86	2.07
腐植酸-聚酯胶结肥 Felted by humus acid	750	297	39.56	2.01
塑料-淀粉胶结肥 Felted by plastics-starch	750	261	34.86	1.45
粘土-聚酯包膜肥 Coated by clay-polyester	750	81	10.75	0.78
腐植酸-聚酯包膜肥 Coated by humus acid	750	93	12.42	1.16
塑料-淀粉包膜肥 Coated by plastics-starch	750	62	8.28	0.62
对照 CK	750	550	73.29	2.67

3.3 小结

胶结包膜型缓释肥在土壤中的淋出试验结果表明，等 NPK 养分化肥做为对照，第 4 天释放速率迅速升高，第 6 天为释放高峰期，达到 50%以上，之后释放速率迅速下降；胶结型缓释肥在土壤中的氮素释放高峰出现在第 14-25 天，其释放速率均低于等 NPK 养分化肥，表现出了很好的缓释效果。包膜型缓释肥的氮素释放速率均低于胶结型缓释肥，氮素释放高峰出现在第 14-35 天，释放率更加平缓。四种胶结型缓控释肥料相比较，塑料 - 淀粉胶结肥养分释放率最低，其次是粘土 - 聚酯胶结肥，再次是腐植酸类胶结肥，CF-2 胶结肥释放率最高。三种包膜型缓释肥相比较，塑料 - 淀粉包膜肥释放率最低，其次是粘土 - 聚酯包膜肥，腐植酸 - 聚酯包膜肥释放率较高。在实际生产中可以根据作物需肥特点选择使用。

第四章 不同类型缓释肥对盆栽小麦、玉米的生物学效应

4.1 材料与方法

4.1.1 供试材料：

土壤来源：昌平试验基地，基本性状：pH值 8.1，有机质 16.4g.kg⁻¹，全氮 0.69g.kg⁻¹，全磷 0.87g.kg⁻¹，碱解氮 76mg.kg⁻¹，速效磷 4.1mg.kg⁻¹，速效钾 90mg.kg⁻¹。

胶结型缓释肥：粘土 - 聚酯胶结肥，腐植酸 - 聚酯胶结肥，塑料 - 淀粉胶结肥。

包膜型缓释肥：粘土 - 聚酯包膜肥，腐植酸 - 聚酯包膜肥，塑料 - 淀粉包膜肥。

掺混型缓释肥：掺混型缓释肥料(1)(2)(3)以纯氮为准按 20% : 25% : 55%掺混。各种掺混型缓释肥料分别是：

掺混型 1 (1) 尿素 (2) 腐植酸 - 聚酯胶结肥 (3) 塑料 - 淀粉胶结肥

掺混型 2 (1) 尿素 (2) 粘土 - 聚酯胶结肥 (3) 塑料 - 淀粉胶结肥

掺混型 3 (1) 尿素 (2) CF-2 胶结肥 (3) 塑料 - 淀粉胶结肥

掺混型 4 (1) 尿素 (2) CF-2 胶结肥 (3) 塑料 - 淀粉包膜肥

掺混型 5 (1) 尿素 (2) CF-2 胶结肥 (3) 粘土 - 聚酯包膜肥

普通化肥：尿素，氯化钾，磷酸一铵。

缓释肥养分含量：N 15%，P₂O₅ 8%，K₂O 8%。

小麦品种：京 9428

玉米品种：中单 8578

4.1.2 试验方法：

试验采用随机区组设计，共设 13 个处理，重复 3 次，每盆装 8kg 风干土。除无肥对照外，其它各处理均等 NPK 养分设计，以氮素计每盆施纯氮 1.5g，N : P₂O₅ : K₂O 为 15 : 8 : 8。各个处理分别为：(1) 无肥对照(CK1) (2) 等 NPK 养分化肥(CK2) (3) 粘土 - 聚酯胶结肥 (4) 腐植酸 - 聚酯胶结肥 (5) 塑料 - 淀粉胶结肥 (6) 粘土 - 聚酯包膜肥 (7) 腐植酸 - 聚酯包膜肥 (8) 塑料 - 淀粉包膜肥 (9) 掺混型 1 缓释肥 (10) 掺混型 2 缓释肥 (11) 掺混型 3 缓释肥 (12) 掺混型 4 缓释肥 (13) 掺混型 5 缓释肥。小麦播种日期为 2002 年 10 月 15 日，收获日期为 2003 年 6 月 2 日。小麦收获后，以同样的施肥量和施肥方法，种植玉米，玉米和小麦同处理进行。玉米种植日期为 2003 年 6 月 20 日，收获日期为 2003 年 8 月 30 日。

4.1.3 测定项目和方法

(1) 土壤养分测定项目

盆栽小麦：在小麦返青期、拔节期、孕穗期、抽穗期、鼓粒期、成熟期各个时期取 0-20cm 土样，测定碱解氮、速效磷、速效钾；测定基础土样的全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾。

盆栽玉米:取基础土样(0-20cm),收获后取0-20cm土壤,测定土壤的全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾。

(2) 土壤养分测定方法(鲍士旦,1999)

土壤全氮测定:半微量开氏法。具体做法是:将过0.2mm筛的土样1.000g送入干燥的100ml的消煮管底部,加入少量无离子水湿润土样后,加入浓硫酸5ml,摇匀,再加入2滴70%-72% HClO_4 ,摇匀,将消煮管置于消煮炉上加热消煮,至溶液开始转白后继续消煮20min。冷却后,定容。静置。取上清液10ml蒸馏。取150ml三角瓶,加入2%的硼酸指示剂15ml,放在冷凝管末端,管口置于硼酸液面以下。然后向蒸馏室内缓缓加入10mol/LNaOH溶液10ml,通入蒸汽蒸馏,待馏出液体积约80ml时即蒸馏完毕。用约为0.01mol/L($1/2\text{H}_2\text{SO}_4$)滴定,记录所用酸的体积。

土壤全磷测定: $\text{HClO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$ 法。具体做法是:吸取土壤全氮测定消煮液5ml注入50ml的容量瓶中,用水冲稀至30ml,加二硝基酚指示剂2滴,用6mol的NaOH调溶液至刚刚呈现黄色。然后加钼梯抗试剂5ml,加水定容,摇匀。30min后700nm波长比色。

土壤碱解氮测定:碱解扩散法。具体做法是:称取土样2.00g置于扩散皿外室,轻轻旋转扩散皿,使土样均匀铺平。取硼酸指示剂2ml放于扩散皿外室,然后在扩散皿外室边缘涂碱性胶液,盖上毛玻璃,使皿边与毛玻璃完全黏和。再渐渐转开毛玻璃一边,使扩散皿外室露出一条狭缝,迅速加入1mol/LNaOH溶液10ml,立即盖严,轻轻旋转扩散皿,让碱液盖住所有土壤。再用橡皮筋圈紧,使毛玻璃固定。随后小心放在40℃恒温箱中,24h后取出,内室中的 NH_3 用0.005mol/L($1/2\text{H}_2\text{SO}_4$)标准液滴定。

土壤速效磷测定:0.5mol/L NaHCO_3 法。具体做法是:称取土样5g于250ml三角瓶中,加入0.5mol/L NaHCO_3 溶液100ml,再加0.300g活性炭,塞紧瓶塞,在振荡机上振荡30min,立即用无磷滤纸过滤,滤液承接于100ml三角瓶中,吸取滤液20ml(含磷量高时吸取5.0ml,同时应补加0.5mol/L NaHCO_3 溶液至20ml)于50ml的容量瓶中,然后加入钼梯抗试剂5ml,摇净气泡,定容,放置30min后,700nm波长比色。

土壤速效钾测定: NH_4OAc 浸提,火焰光度法。具体做法是:称取土样3g于250ml的三角瓶中,加入1mol/L中性 NH_4OAc 溶液30ml,塞紧橡皮塞,振荡30min,用普通滤纸过滤。滤液用火焰光度法测定。

(3) 植株养分测定项目

盆栽小麦:在小麦返青期、拔节期、孕穗期、抽穗期、鼓粒期、成熟期各个时期取植株样品,测定植株全氮、全磷、全钾含量,叶面积,叶绿素含量。

盆栽玉米:在玉米收获时取植株样品,测定植株的全氮、全磷、全钾含量。

(4) 植株养分测定方法(鲍士旦,1999)

植株全氮测定: $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮,半微量开氏法。具体做法是:称取植物样品0.2000g,置于100ml消化管中,先用少量水湿润样品,然后加浓 H_2SO_4 5ml,摇匀,过夜,在消化炉上加热消化,当溶液全部呈棕黑色时,取下消化管,稍冷,逐滴加入300g/L的 H_2O_2 10滴,并不断摇动消化管。再加热至微沸10-20min,稍冷后再加入 H_2O_2 5-10滴。如此反复2-3次,直至消煮液呈清凉色后,再加热5-10min,以除尽过剩的双氧水。冷却,定容。取上清液,供N、P、K联合测定。取10ml消煮液用半微量开氏法进行测定。

植株全磷测定: $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮,钒钼黄比色法。具体做法是:取20ml消煮液,置于50ml的

容量瓶中，加 2,6-二硝基酚指示剂 2 滴，用 10mol/LNaOH 溶液中和至刚呈黄色，加入钒钼酸铵试剂 10ml，定容。放置 15min 后用波长 450nm，在 752 型紫外分光光度计上比色，以空白液调节仪器零点。

植株全钾测定： $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮，火焰光度法。具体做法是：取 5ml 消煮液于 25ml 的容量瓶中，用水定容，用火焰光度计测钾。

叶绿素测定方法：80%丙酮溶液浸提，分光光度法。具体做法是：取叶片鲜样 0.1-0.2g，剪成 2-3mm 的碎块，置于 100ml 的三角瓶中，用 80%的丙酮溶液浸泡，并将瓶口密封，大约 36h 后，待叶片变为白色时即为浸提完全，在 752 紫外分光光度计上在波长 663nm 和波长 645nm 处比色。叶绿素浓度 (mg/L) = $8.02A_{663} + 20.21A_{645}$ 。(植物生理学实验指导，1998)

叶面积测定方法：量取完整小麦叶片的长与宽。叶面积 = 长 × 宽 × 0.83。

小麦考种项目：株高、穗长、小穗数、不育小穗数、穗粒数、穗粒重、千粒重、小区产量。

4.2 结果与分析

4.2.1 不同缓释肥对盆栽小麦的生物学效应

(1) 不同缓释肥对小麦产量及产量构成因素的影响

不同胶结型缓释肥对小麦产量及产量构成因素的影响

在评价缓释肥肥料质量或肥效方面，作物的产量是一项重要指标。表 4-1 表明，施用胶结型缓释肥的小麦产量均高于等 NPK 养分化肥处理及不施肥处理，粘土-聚酯胶结肥、腐植酸-聚酯

表 4-1 胶结型缓释肥对小麦产量及其构成因素的影响

Table 4-1 Effects of felted controlled-release fertilizer on yield and factors of yield

处理	不施肥	等 NPK 养分化肥	粘土-聚酯胶结肥	腐植酸-聚酯胶结肥	塑料-淀粉胶结肥
Treatment	No fert.	Fertilizer	Felted by clay	Felted by humus acid	Felted by plastics
株高(cm)	36.4	48	49.3	48.3	51.3
Height					
穗长(cm)	4.4	5.7	5.8	5.6	5.9
Lenth of ear					
小穗数	12	15	14	14	15
Spikelet					
不育小穗数	7	5	5	5	4
Sterile spikelet					
穗粒数	6	12	15	14	14
Number of seeds					
穗粒重(g)	0.195	0.630	0.673	0.652	0.697
Weight of ear					
产量(g)	2.794c	7.147b	8.208a	8.002ab	9.111a
Yield					
比对照增产%	CK1	155.80	193.77	186.40	226.09
Increase production	CK2		14.85	11.96	27.48

胶结肥、塑料-淀粉胶结肥三个处理比等 NPK 养分化肥处理分别增产 14.84%、11.96%、27.48%；方差分析表明，5 个处理之间差异达极显著水平 ($P < 0.0001$)，经 T 检验，处理粘土-聚酯胶结肥、腐植酸-聚酯胶结肥、塑料-淀粉胶结肥与不施肥对照差异达极显著水平；粘土-聚酯胶结肥、塑料-淀粉胶结肥与腐植酸-聚酯胶结肥之间差异显著；粘土-聚酯胶结肥、塑料-淀粉胶结肥与等 NPK 养分化肥处理之间差异达极显著水平；腐植酸-聚酯胶结肥处理与等 NPK 养分化肥处理之间差异达显著水平。产量构成各因素中，施用胶结型缓释肥的三个处理其株高、穗长、穗粒数、穗粒重均高于等 NPK 养分化肥及不施肥处理，不育小穗数均低于等 NPK 养分化肥及不施肥处理，等 NPK 养分化肥处理与胶结型缓释肥三个处理的小穗数基本相同，但均高于不施肥处理。

不同包膜型缓释肥对小麦产量及产量构成因素的影响

由表 4-2 可知，施用包膜型缓释肥的小麦产量均高于等 NPK 养分化肥处理及不施肥处理，粘土-聚酯包膜肥、腐植酸-聚酯包膜肥、塑料-淀粉包膜肥三个处理比等 NPK 养分化肥处理分别增产 4.33%、2.70%、4.25%。方差分析表明，包膜型缓释肥处理与等 NPK 养分化肥处理产量之间差异不显著。产量构成各个因素中，包膜型缓释肥处理与等 NPK 养分化肥处理相比较，株高、不育小穗数均有所降低，穗长、小穗数基本相同，穗粒重、穗粒数略有增加。

表 4-2 包膜型缓释肥对小麦产量及其构成因素的影响

Table 4-2 Effects of coted controlled-release fertilizers on yield and its factors of wheat

处理	不施肥 CK1	等 NPK 养分化肥 CK2	粘土-聚酯包膜肥	腐植酸-聚酯包膜肥	塑料-淀粉包膜肥
Treatment	No fert.	Fertilizer	Coated by clay	Coated by humus	Coated by plastics
株高(cm)	36.4	48	47.9	43.6	39.4
Height					
穗长(cm)	4.4	5.7	5.7	6.2	5.2
Lenth of ear					
小穗数	12	14	14	14	13
Spikelet					
不育小穗数	7	5	4	5	4
Sterile spikelet					
穗粒数	6	12	15	13	13
Number of seeds					
穗粒重(g)	0.195	0.630	0.680	0.668	0.702
Weight of ear					
产量(g)	2.794a	7.147b	7.457b	7.340b	7.451b
Yield					
比对照增%	CK1	155.80	166.89	162.71	166.68
Increase production	CK2		4.34	2.70	4.25

不同掺混型缓释肥对小麦产量及其构成因素的影响

从表 4-3 掺混型缓释肥处理盆栽小麦产量及其构成因素可以看出,五种掺混型缓释肥处理均比无肥对照和等 NPK 养分化肥处理表现显著增产。与无肥对照相比增产幅度在 203.15%-225.38%,与等 NPK 养分化肥处理相比增产 18.51%-27.20%。方差分析表明,7 个处理之间差异达极显著水平,经 T 检验五种掺混型缓释肥处理与等 NPK 养分化肥处理之间差异显著,掺混型 1、4、5 与掺混型 2、3 之间差异显著,掺混型 4、5 之间差异不显著,掺混型 2、3 之间差异不显著。从产量构成因素看,五种掺混型缓释肥处理与等 NPK 养分化肥处理相比,能够降低不育小穗数,增加穗粒数,提高穗粒重。

表 4-3 掺混型缓释肥对盆栽小麦产量及其构成因素的影响

Table 4-3 Effects of BBCRF on yield and its factors of potted wheat

处理 Treatment	不施肥 CK1 No fert.	等 NPK 养分化肥 CK2 Fertilizer	掺混型 1 BBCRF1	掺混型 2 BBCRF2	掺混型 3 BBCRF3	掺混型 4 BBCRF4	掺混型 5 BBCRF5
株高(cm) Height	36.4	8	50	49.6	49.3	49.8	47.7
穗长(cm) Lenth of ear	4.4	5.7	6	5.7	5.9	5.8	5.5
小穗数 Spikelet	12	15	15	14	15	15	14
不育小穗数 Sterile spikelet	7	5	4	5	4	5	5
穗粒数 Number of seeds	6	12	17	16	17	16	13
穗粒重(g) Weight of ear	0.195	0.630	0.738	0.674	0.777	0.673	0.671
产量(g) yield	2.794c	7.147b	8.774ab	9.091a	9.019a	8.670ab	8.470ab
比对照增%	CK1	155.80	214.03	225.38	222.80	210.31	203.15
Increase production	CK2		22.77	27.20	26.19	21.31	18.51

注: BBCRF 为 Bulk Blend Controlled Release Fertilizer 的缩写

(2) 缓释肥对小麦生长发育的影响

对小麦单株叶面积的影响

小麦的产量,90-95%来源于光合作用的产物,在一定范围内,小麦叶面积及其功能叶片数与产量成正比,因此在一定范围内尽量延长绿色叶片的功能期将有效提高小麦产量。小麦单株叶面积随植株的生长而逐步扩大,通常在孕穗期左右达到最大值,抽穗后又逐步减小。图 4-1 为施用不同类型缓释肥小麦单株叶面积变化情况。可以看到,胶结型缓释肥处理小麦最大单株叶面积出现在孕穗期至抽穗期,而后成逐步下降的趋势,与等 NPK 养分化肥处理相一致,但均高于等 NPK 养分化肥处理。说明施用胶结型缓释肥能使小麦在生长旺盛期及生育后期保持有较高的绿叶面

积。

施用包膜型缓释肥处理的小麦单株叶面积变化曲线与等 NPK 养分化肥处理及无肥处理基本一致，虽然最大叶面积也出现在孕穗期至抽穗期，但是均低于等 NPK 养分化肥处理。

掺混型缓释肥处理小麦整个生育期单株叶面积均高于等 NPK 养分化肥处理和无肥对照处理，说明施用掺混型缓释肥在小麦生长的各个时期，特别是生长中后期对维持较大的绿叶面积具有促进作用。

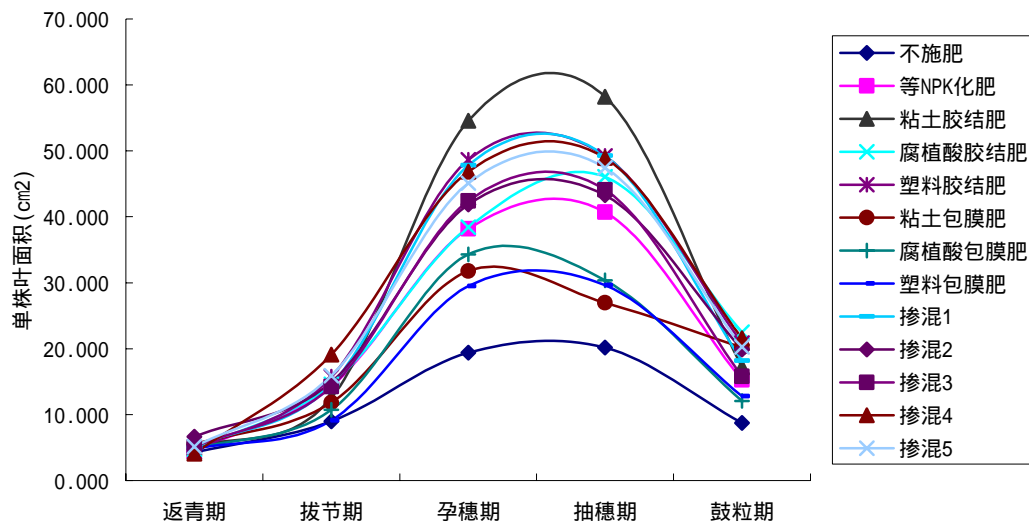


图 4-1 不同缓释肥对盆栽小麦叶面积的影响

Fig.4-1 Effects of controlled-release fertilizer on leaf area of wheat

不同缓释肥对小麦叶片中叶绿素含量的影响

叶绿素含量与光合作用密切相关，叶绿素含量增加，叶片的光和速率相应提高。从图 4-2 可以看出，与等 NPK 养分化肥相比不同类型缓释肥对小麦叶绿素含量变化的影响是明显的。

在小麦的各个生育期，植株叶片内叶绿素含量，施用胶结型缓释肥和掺混型缓释肥的处理均明显高于等 NPK 养分化肥和无肥对照；施用包膜型缓释肥的各个处理则略高于等 NPK 养分化肥及不施肥处理，这说明胶结型及掺混型缓释肥在促进小麦各个时期叶绿素合成方面明显优于等 NPK 养分化肥。

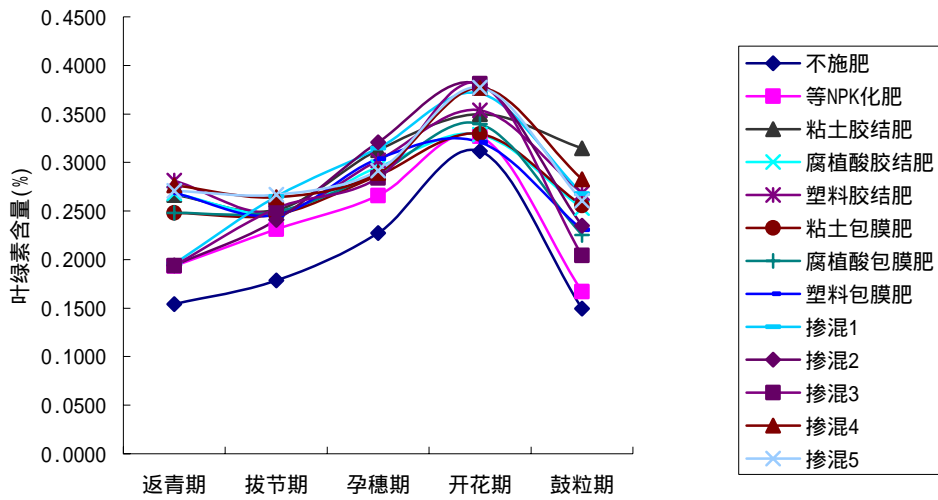


图 4-2 不同缓释肥对盆栽小麦叶绿素含量的影响

Fig.4-2 Effects of controlled-release fertilizer on chlorophyll of potted wheat

不同缓释肥对小麦地上部干重的影响

图 4-3 为不同类型缓释肥对小麦整个生育期干物重变化的影响。可以看出，冬前至拔节期各个处理小麦植株的干物重没有明显区别，且返青期均低于冬前期。但是从拔节期至收获期施用胶结型和掺混型缓释肥的处理小麦干物重明显高于不施肥及等 NPK 养分化肥处理。说明这两种类型缓释肥对小麦生长中后期干物质的积累有明显的促进作用。施用包膜型缓释肥的各个处理在小麦孕穗期以后其干物重才缓慢升高超过等 NPK 养分化肥，说明包膜型缓释肥对小麦后期干物质的积累还是有效的。

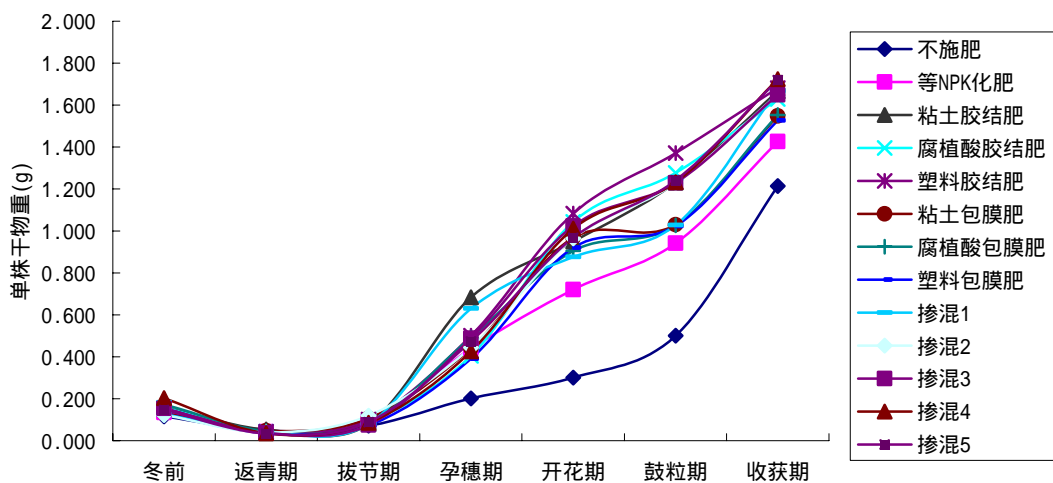


图 4-3 不同缓释肥对盆栽小麦单株干物重的影响

Fig.4-3 Effect of controlled-release fertilizer on dry weight in potted wheat

(3) 不同类型缓释肥对小麦各生育时期植株养分含量的影响

对小麦植株含氮量的影响

从图 4-4 可以看出,在冬前、返青期小麦植株含氮量,等 NPK 养分化肥处理高于不同类型缓释肥处理及不施肥处理,但是从拔节期开始胶结型和掺混型缓释肥处理小麦植株含氮量则高于等 NPK 养分化肥处理,且掺混型缓释肥处理略高于胶结型处理,这种趋势一直保持到收获期。而施用包膜型缓释肥的处理从冬前期至孕穗期小麦植株氮素含量与等 NPK 养分化肥基本相近,孕穗期以后才略有升高。

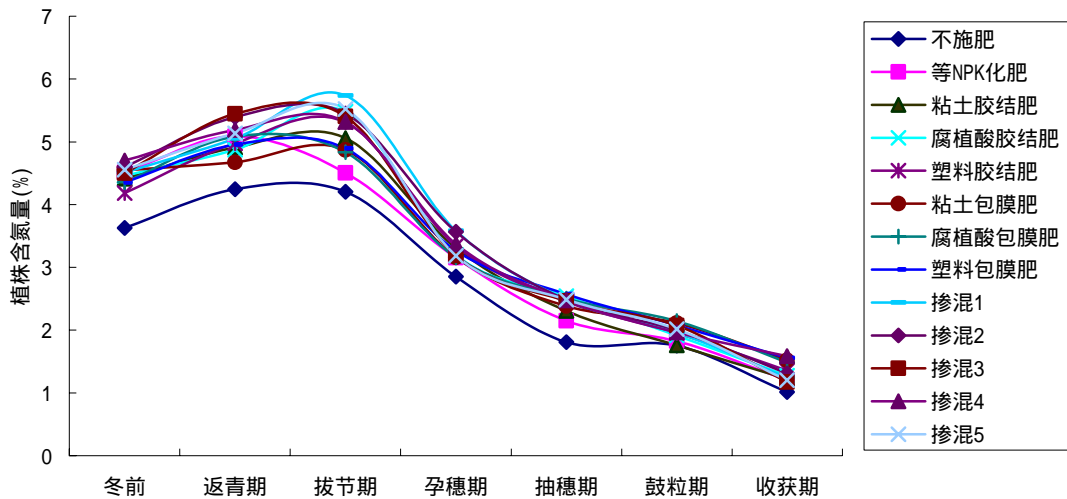


图 4-4 不同缓释肥对盆栽小麦植株含氮量的影响

Fig.4-4 Effects of controlled-release on concentration of N in potted wheat

对小麦植株含磷量的影响

图 4-5 显示,不同类型缓释肥对小麦各生育期植株含磷量的影响较大。在冬前、返青期,胶结型和掺混型缓释肥处理小麦植株含磷量均低于等 NPK 养分化肥处理。拔节期以后,胶结型及掺混型缓释肥的各个处理小麦植株含磷量则明显高于等 NPK 养分化肥处理。说明掺混型和胶结型缓释肥对提高小麦植株含磷量有较大的促进作用。

施用包膜型缓释肥处理的小麦植株含磷量从冬前期至孕穗期与等 NPK 养分化肥处理基本相近,孕穗期以后则略有升高。各处理植株内磷素含量曲线与氮素曲线基本一致。

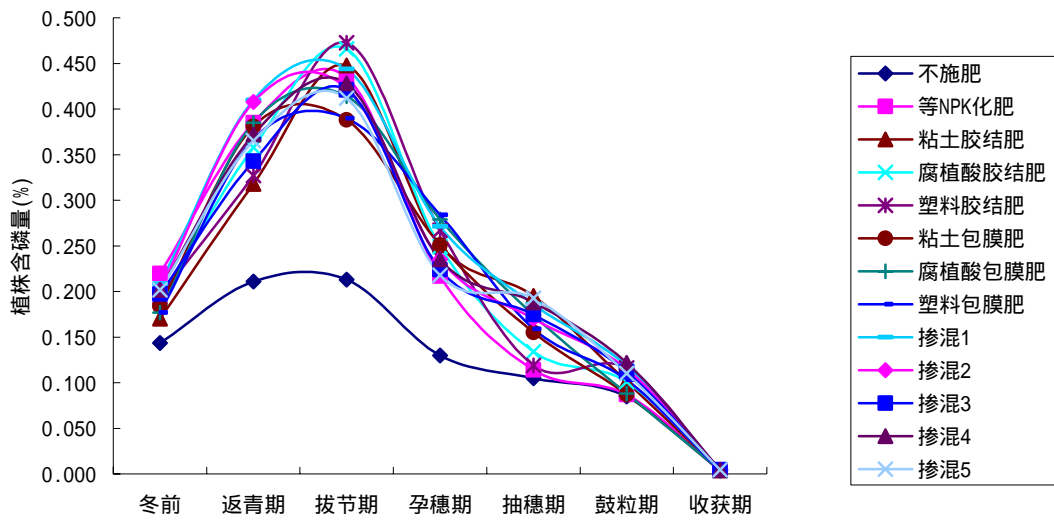


图 4-5 不同缓释肥对盆栽小麦植株含磷量的影响

Fig.4-5 Effects of controlled-release fertilizer on P in in potted wheat

对小麦植株含钾量的影响

从图 4-6 可以看出，在小麦整个生育过程中，植株含钾量在拔节期达到最高，之后和氮素、磷素一样迅速下降，试验中各个处理的变化曲线趋势基本相同。对小麦各生育时期植株含钾量的影响，胶结型缓释肥处理不是很大。施用包膜缓释肥的处理孕穗期以后与等 NPK 养分化肥处理相比较则略有升高。施用掺混型缓释肥各个处理与等 NPK 养分化肥处理相比，在冬前期，缓释肥处理与等 NPK 养分化肥处理含量相似；从返青期至收获期，施用掺混型缓释肥的各个处理小麦地上部植株含钾量均高于等 NPK 养分化肥处理。

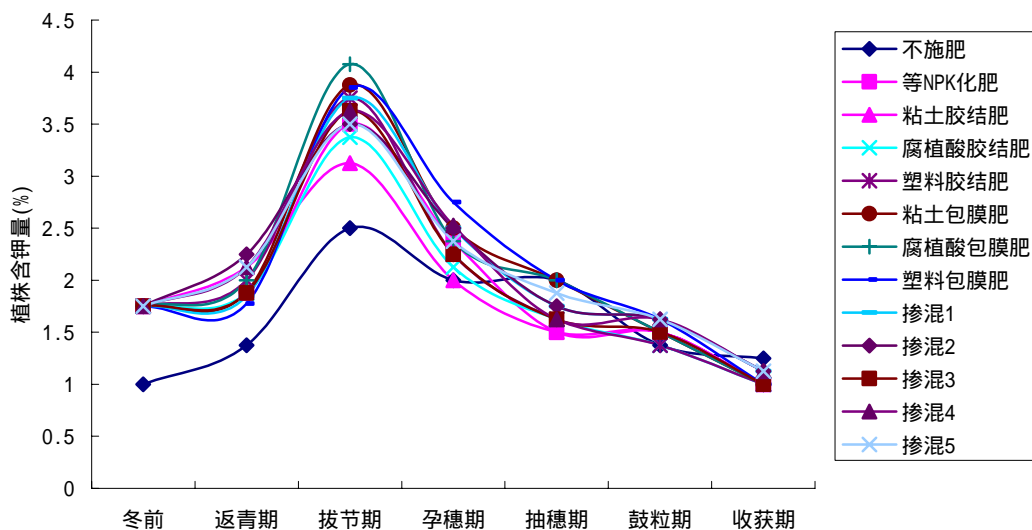


图 4-6 不同缓释肥对盆栽小麦植株含氮钾量的影响

Fig.4-6 Effects of controlled-release on concentration of K in potted wheat

(4) 不同类型缓释肥对小麦各生育期土壤有效 NPK 含量的影响

土壤中的碱解氮

从小麦各生育期土壤碱解氮含量变化情况看(图 4-7),从小麦返青至成熟的生长阶段,胶结型缓释肥处理土壤中的碱解氮呈现两个高峰,分别在拔节期和抽穗期,并且抽穗期高于拔节期,这两个生育时期正是小麦生长的两个需肥高峰期。掺混型缓释肥各个处理土壤中碱解氮与胶结型缓释肥处理相似,均在拔节期和抽穗期出现两个浓度高峰。等 NPK 养分化肥及不施肥处理土壤碱解氮峰值只出现在抽穗期。虽然在返青期土壤碱解氮等 NPK 养分化肥处理高于掺混型和胶结型缓释肥处理,但是从拔节期至收获期掺混型及胶结型缓释肥的处理则明显高于等 NPK 养分化肥处理和不施肥处理,这充分体现了掺混型和胶结型缓释肥的养分缓释效果,使土壤在小麦生长中后期有充足的氮源供给。

从图 4-7 土壤中碱解氮的变化曲线还可以看出,在返青期、拔节期、孕穗期施用包膜型缓释肥的各个处理土壤中碱解氮含量低于等 NPK 养分化肥处理。从抽穗期至收获期包膜型缓释肥的各个处理土壤中碱解氮含量则缓慢上升,一直保持高于等 NPK 养分化肥处理的水平。三种包膜肥相比较,在返青期至抽穗期,腐植酸-聚酯包膜肥处理处于较高水平,其次是粘土-聚酯包膜肥,塑料-淀粉包膜肥在这三个生育时期土壤中碱解氮含量水平较低;从孕穗期至收获期,情况则有所不同,塑料-淀粉包膜肥处理的土壤碱解氮水平则呈缓慢上升之势,一直高于其它处理,粘土-聚酯包膜肥处理位居第二,腐植酸-聚酯包膜肥居第三。

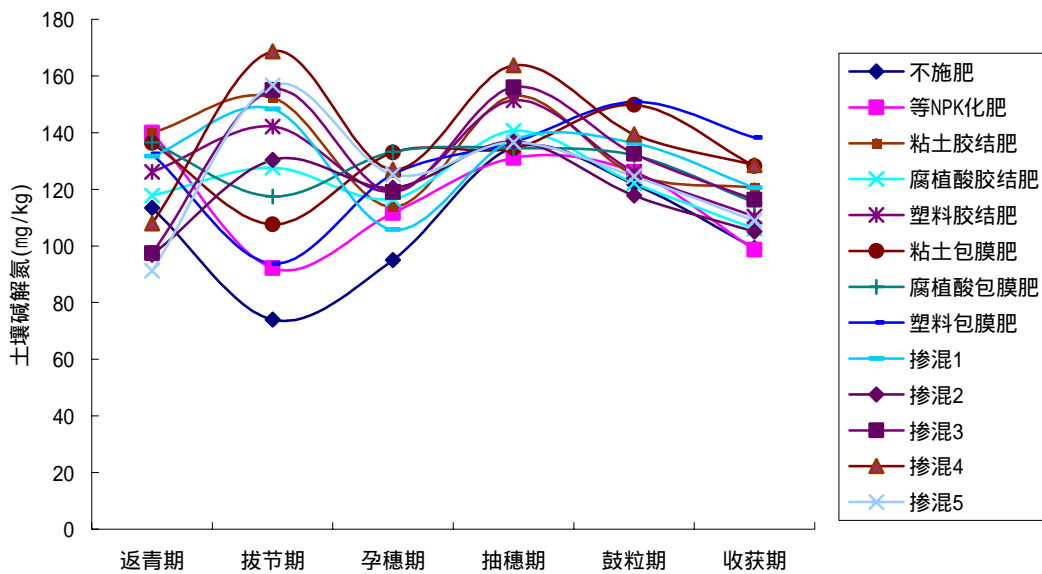


图 4-7 不同缓释肥对盆栽小麦土壤碱解氮含量的影响

Fig.4-7 Effects of controlled-release on concentration of N in soil

土壤中的速效磷

从图 4-8 小麦各生育时期土壤中速效磷的含量变化曲线可以看出,在小麦返青期等 NPK 养分化肥处理土壤中速效磷含量处于较高水平,而随着时间的变化,土壤中的速效磷含量呈显著下降趋势,这种状况一直保持到收获;而施用胶结型缓释肥的处理确能平稳而持久地保证作物的磷素

供给。

施用包膜型缓释肥各个处理土壤中速效磷含量在小麦返青期、拔节期、孕穗期低于等 NPK 养分化肥处理，三种包膜型缓控释肥相比，腐植酸 - 聚酯包膜肥含量最高，其次是粘土 - 聚酯包膜肥，塑料 - 淀粉包膜肥含量最低。抽穗期以后施用包膜型缓释肥的各个处理土壤中速效磷含量则缓慢上升，至收获期一直高于等 NPK 养分化肥处理，三种包膜型缓释肥相比较，塑料 - 淀粉包膜肥处理含量最高，粘土 - 聚酯包膜肥处理次之，腐植酸 - 聚酯包膜肥处理最低。

施用掺混型缓释肥的处理土壤速效磷含量在小麦各个生长期均高于等 NPK 养分化肥处理和无肥对照，均在抽穗期达到最高值。说明掺混型缓释肥在小麦整个生长期土壤中有足够的磷素供给植株生长。

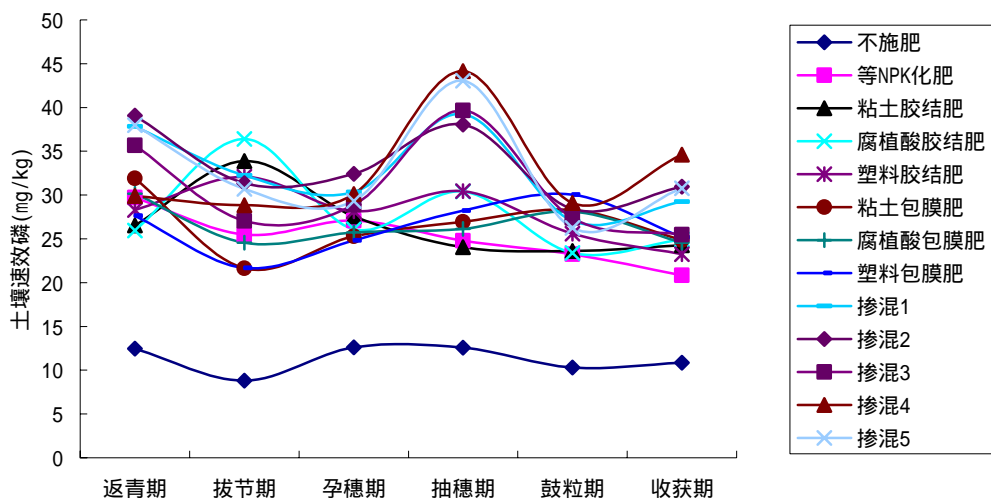


图 4-8 不同缓释肥对盆栽小麦土壤速效磷含量的影响

Fig.4-8 Effects of controlled-release fertilizer on concentration of P in soil

土壤中的速效钾

从图 4-9 小麦各生育时期土壤中速效钾的含量变化看，在返青期，等 NPK 养分化肥处理土壤速效钾含量高于胶结型和包膜型缓释肥处理，但是从拔节期至鼓粒期等 NPK 养分化肥处理土壤中的钾素水平开始下降，一直低于胶结型和包膜型缓释肥处理。在收获期等 NPK 养分化肥处理与胶结型和包膜型缓释肥处理土壤中速效钾的含量相同。施用掺混型缓释肥处理在小麦各个生育期土壤中速效钾含量均高于等 NPK 养分化肥处理。说明施用掺混型缓释肥能够为小麦整个生长期提供足够的钾素。

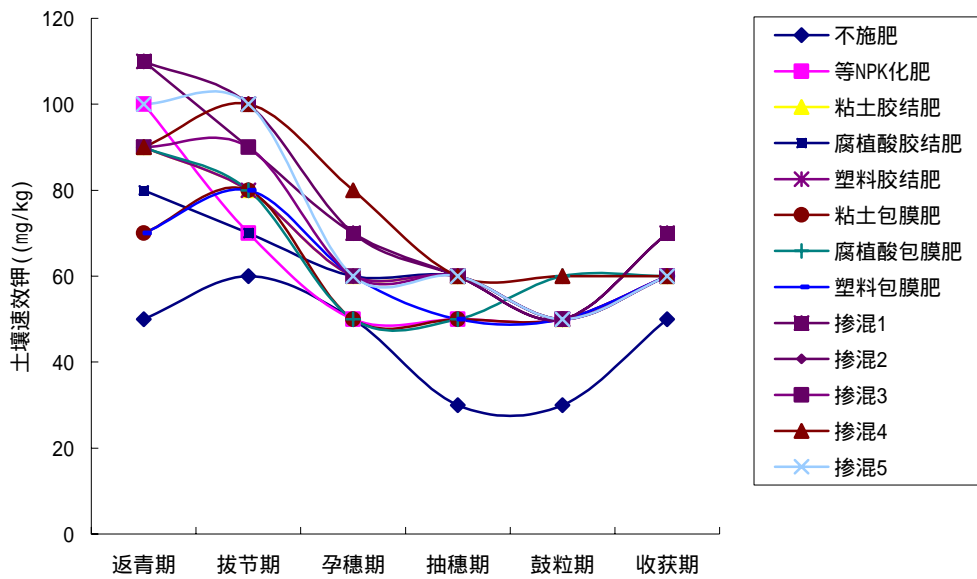


图 4-9 不同缓释肥对盆栽小麦土壤速效钾含量的影响

Fig.4-9 Effects of controlled-release fertilizer on concentration of K in soil

4.2.2 不同缓释肥对盆栽玉米的生物学效应

4.2.2.1 对生物产量的影响

(1) 胶结型缓释肥对盆栽玉米生物产量的影响

表 4-4 的结果表明，三种胶结型缓释肥处理较无肥对照及等 NPK 养分化肥对照均有显著的增产作用。与无肥对照相比增产幅度在 66.88%-118.70%之间；与等 NPK 养分化肥相比增产幅度为 24.07%-62.60%。经方差分析表明，各个处理之间差异达极显著水平 ($P > F = 0.0001$)，经 T 检验，三种胶结肥处理与无肥对照、等 NPK 养分化肥处理差异达极显著；三种胶结肥之间，粘土 - 聚酯胶结肥与塑料 - 淀粉胶结肥处理之间差异达显著水平，粘土 - 聚酯胶结肥与腐植酸 - 聚酯胶结肥之间差异达极显著水平，腐植酸 - 聚酯胶结肥处理与塑料 - 淀粉胶结肥处理之间差异达显著水平。

表 4-4 不同胶结型缓释肥处理的玉米生物量

Table 4-4 Effects of felted controlled-release fertilizer on biologic yield of potted corn

处理 Treatment	重复 Repetition	地上部生物量 Biological yield (g/pot)	平均 Average	比对照增(%) increase production	
				CK1	CK2
无肥对照 CK1 No fertilizer	1	14.813	15.544d	66.88	24.07
	2	14.036			
	3	17.784			
等 NPK 养分化肥 CK2 Fertilizer	1	17.998	20.907c	118.69	62.60
	2	20.35			
	3	24.372			
粘土 - 聚酯胶结肥 Felted by clay-polyester	1	22.852	25.939b	93.63	43.96
	2	25.141			
	3	29.825			
腐植酸 - 聚酯胶结肥 Felted by humus acid	1	34.332	33.994a	118.69	62.60
	2	31.528			
	3	36.121			
塑料 - 淀粉胶结肥 Felted by plastics-starch	1	28.971	30.097ab	93.63	43.96
	2	31.2			
	3	30.121			

(2)包膜型缓释肥对盆栽玉米生物产量的影响

表 4-5 的结果表明,施用包膜型缓释肥与无肥对照相比增产幅度在 27.01%-46.79%之间;与等 NPK 养分化肥相比,施用粘土 - 聚酯包膜肥处理减产 5.57%,塑料 - 淀粉包膜肥处理减产 1.20%;腐植酸 - 聚酯包膜肥增 9.13%。方差分析表明,各个处理之间差异达极显著水平($P > F = 0.0139$),经 T 检验,三种包膜肥处理、等 NPK 养分化肥处理与无肥处理之间差异达极显著;三种包膜肥处理与等 NPK 养分化肥处理之间差异不显著;三种包膜肥之间差异不显著。前人试验表明在移栽和直播水稻上用树脂包膜类控施氮肥一次基施比尿素基施增产显著(符建荣,2001),本试验玉米生物产量出现减产的原因,还有待于进一步探讨。

表 4-5 不同包膜型缓释肥处理玉米的生物产量

Table 4-5 Effects of coated controlled-release fertilizer on biological yield of corn

处理 Treatment	重复 Repetition	地上部生物量(g) Biological yield	平均 Average	比对照增%	
				CK1	CK2
无肥对照 CK1 No fertilizer	1	14.813			
	2	14.036			
	3	17.784	15.544b		
等 NPK 养分化肥 CK2 Chemical fertilizer	1	17.998			
	2	20.35			
	3	24.372	20.907a	34.50	
粘土 - 聚酯包膜肥 Coated by clay-polyester	1	17.313			
	2	18.35			
	3	23.563	19.742a	27.01	-5.57
腐植酸聚酯包膜肥 Coated by humus acid polyester	1	25.67			
	2	20.42			
	3	22.362	22.817a	46.79	9.14
塑料淀粉包膜肥 Coated by plastics-starch	1	18.65			
	2	22.24			
	3	21.078	20.656a	32.89	-1.20

(3) 掺混型缓释肥对盆栽玉米生物产量的影响

表 4-6 为掺混型缓释肥盆栽玉米地上部生物产量。由表 4-6 可以看出与等 NPK 养分化肥处理相比,施用掺混型缓释肥,可以明显提高玉米生物产量,提高幅度在 5.24%-34.86%。方差分析表明,本试验 7 个处理之间达到极显著水平。经 T 检验,5 种掺混型缓释肥与无肥对照之间差异达极显著;掺混型 1、2 处理与等 NPK 养分化肥之间差异达极显著,掺混型 3、4、5 处理与等 NPK 养分化肥之间差异达显著水平。5 种掺混型缓释肥相比,掺混型 1 处理与掺混型 2 处理差异显著,与掺混型 3、4、5 处理之间差异达极显著;掺混型 2 处理与掺混型 3、4、5 差异达显著水平;掺混型 3、4、5 处理之间差异不显著。说明掺混型缓释肥 1、2 处理更能提高盆栽玉米的生物产量。

表 4-6 掺混型缓释肥盆栽玉米地上部生物产量

Table 4-6 Effects of BBCRF on biological yield of potted corn

处理 Treatment	重复 Repetition	地上部干物重 Overground dry weight (g)	平均 Average	比对照增 (%)	
				CK1	CK2
无肥对照 CK1 No fertilizer	1	14.813	15.544d	34.50	
	2	14.036			
	3	17.784			
等 NPK 养分化肥 CK2 Chemical fertilizer	1	17.998	20.907c	34.50	
	2	20.35			
	3	24.372			
掺混型 1 BBCRF1	1	28.79	28.196a	81.39	34.86
	2	26.58			
	3	29.217			
掺混型 2 BBCRF2	1	27.299	26.833ab	72.63	28.35
	2	24.486			
	3	28.715			
掺混型 3 BBCRF3	1	21.375	22.002bc	41.54	5.24
	2	21.077			
	3	23.553			
掺混型 4 BBCRF4	1	21.416	22.781bc	46.56	8.96
	2	23.478			
	3	23.449			
掺混型 5 BBCRF5	1	22.753	22.750bc	46.36	8.82
	2	21.737			
	3	23.761			

4.2.2.2 对植株养分的影响

(1) 不同类型缓控释肥氮素利用比较

不同胶结型缓控释肥氮素利用比较

从表 4-7 可以看出, 三种胶结型缓释肥处理植株含氮量均高于无肥对照及等 NPK 养分化肥处理, 三种胶结肥处理相比, 以塑料 - 淀粉胶结肥处理含氮量最高。从植株吸氮量来看, 三种胶结型缓释肥处理均高于无肥对照及等 NPK 养分化肥处理。其中, 腐植酸 - 聚酯胶结肥最高, 塑料 - 淀粉胶结肥次之, 粘土 - 聚酯胶结肥最低。方差分析表明, 5 个处理之间差异达极显著水平 ($P < 0.0001$), 经 T 检验, 三种胶结型缓释肥与无肥对照及等 NPK 养分化肥之间差异达极显著; 粘土 - 聚酯胶结肥与腐植酸 - 聚酯胶结肥处理、塑料 - 淀粉胶结肥处理差异达极显著; 腐植酸 - 聚酯

胶结肥处理与塑料 - 淀粉胶结肥处理差异不显著。

表 4-7 不同胶结型缓释肥处理盆栽玉米的氮素利用比较

Table 4-7 Utilized efficiency of nitrogen fertilizer

处理 Treatment	含氮量 Concentration of N (%)	干物重 Dry weight (g)	吸氮量 Amount of N (mg)	比对照增(%) increase production	
				CK1	CK2
无肥对照 CK1 No ferti.	1.57	15.544	243.5d		
等 NPK 养分化肥 CK2 Chemical ferti.	1.72	20.907	359.0c	47.41	
粘土 - 聚酯胶结肥 Felted by clay-polyester	1.78	25.939	462.0b	89.71	28.69
腐植酸 - 聚酯胶结肥 Felted by humus acid polyester	1.77	33.994	600.8a	146.70	67.35
塑料 - 淀粉胶结肥 Felted by plastics-starch	1.82	30.097	546.1a	124.25	52.12

不同包膜型缓释肥处理玉米氮素利用比较

由表 4-8 可以看出,三种包膜型缓释肥处理植株含氮量均高于无肥对照及等 NPK 养分化肥处理,三种包膜肥处理相比,以塑料 - 淀粉包膜肥处理含氮量最高。从植株吸氮量来看,三种包膜型缓释肥处理均高于无肥对照;腐植酸 - 聚酯包膜肥、塑料 - 淀粉包膜肥高于等 NPK 养分化肥对照处理。其中,腐植酸 - 聚酯包膜肥处理比等 NPK 养分化肥处理高出 14.20%,塑料 - 淀粉包膜

图 4 - 8 不同包膜型缓释肥处理盆栽玉米的氮素利用比较

Table 4-8 Utilized efficiency of nitrogen fertilizer

处理 Treatment	含氮量 Concentration of N (%)	干物重 Dry weight (g)	吸氮量 Amount of N (mg)	比对照增(%) increase production	
				CK1	CK2
无肥对照 CK1 No ferti.	1.57	15.544	243.5a		
等 NPK 养分化肥 CK2 Fertilizer	1.72	20.907	359.0b	47.42	
粘土 - 聚酯包膜肥 Coated by clay-polyester	1.72	19.742	340.2b	39.681	-5.25
腐植酸 - 聚酯包膜肥 Coated by humus acid polyester	1.80	22.817	410.0b	68.35	14.20
塑料 - 淀粉包膜肥 Coated by plastics-starch	1.86	20.656	384.0b	57.66	6.95

肥比等 NPK 养分化肥处理高出 6.95%。方差分析表明, 5 个处理之间差异达极显著水平 ($P < 0.001$), 经 T 检验, 三种包型缓释肥与无肥对照之间差异达极显著水平, 与等 NPK 养分化肥处理之间差异不显著。

不同掺混型缓释肥处理玉米氮素利用比较

表 4-9 为不同掺混型缓释肥处理盆栽玉米氮素利用比较。由表 4-9 可以看出, 与等 NPK 养分化肥处理相比较, 至收获期施用掺混型缓释肥处理玉米植株含氮量均有所提高。5 种掺混型缓释肥相比较, 玉米植株含氮量掺混型 5 > 掺混型 1 > 掺混型 4 > 掺混型 3 > 掺混型 2。从表 4-9 还可看出, 施用掺混型缓释肥对玉米的吸氮量影响更大, 5 种掺混型缓释肥的玉米吸氮量均高于等 NPK 养分化肥处理, 方差分析表明, 玉米吸氮量差异达极显著水平。经 T 检验, 5 种掺混型缓释肥处理与无肥对照和等 NPK 养分化肥之间差异达极显著水平 ($P < 0.0003$); 5 种掺混型缓释肥处理之间, 掺混型 1、2 之间差异不显著, 与掺混型 3、4 之间差异达极显著水平, 与掺混型 5 之间差异显著; 掺混型 3、4 之间差异不显著, 与掺混型 5 之间差异达显著水平。

表 4-9 不同掺混型缓释肥处理玉米氮素利用比较

Table 4-9 Effects of BBCRF on utilization of N in potted corn

处理 Treatment	含氮量	干物重	吸氮量	比对照增 (%)	
	Concentration of N (%)	Dry weight (g)	Amount of N (mg)	CK1	CK2
无肥对照 No fertilizer	1.57	15.544	243.5d		
等 NPK 养分化肥 Chemical fertilizer	1.72	20.907	359.0c	47.42	
掺混 1 BBCRF1	2.04	28.195	574.0a	135.70	59.89
掺混 2 BBCRF2	1.930	26.833	517.8a	112.61	44.23
掺混 3 BBCRF3	1.97	22.002	433.0b	77.79	20.61
掺混 4 BBCRF4	2.03	22.750	461.1b	89.37	28.45
掺混 5 BBCRF5	2.12	22.781	483.3ab	98.44	34.62

(2) 玉米植株含磷量与含钾量

从表 4-10 可以看出不同类型缓释肥对玉米植株含磷量是有影响的, 所有缓释肥处理玉米植株含磷量均高于无肥对照及等 NPK 养分化肥处理。与等 NPK 养分化肥相比, 胶结型缓释肥处理玉

米植株含磷量高出 7.08%-10.83%，包膜型缓释肥处理玉米含磷量高出 3.88%-5.43%，掺混型缓释肥处理玉米植株含磷量高出 8.51%-11.63%。三种胶结型缓释肥处理植株含磷量相比，塑料 - 淀粉胶结肥处理最高，腐植酸 - 聚酯胶结肥处理次之，粘土 - 聚酯胶结肥处理最低。三种包膜型缓释肥处理植株含磷量相比，塑料 - 淀粉包膜肥处理与粘土 - 聚酯包膜肥处理较高，腐植酸 - 聚酯包膜肥处理较低。5 种掺混型缓释肥植株含磷量相比较，掺混型 1、2、5 较高。

表 4-10 玉米植株含磷量与含钾量

Table4-10 Effects of coated fertilizer on nutrients P,K in overground frond

处理 Treatment	含磷量	比对照增(%)		含钾量	比对照增(%)	
	Concentration of P (%)	Increase production CK1 CK2		Concentration of K (%)	Increase production CK1 CK2	
无肥对照 No fert.	0.29			1		
等 NPK 养分化肥 Fertilizer	0.29	1.58		1	25	
粘土 - 聚酯胶结肥 Felted by clay-polyester	0.31	8.77	7.08	2	137	90
腐植酸 - 聚酯胶结肥 Felted by humus acid	0.31	10.23	8.51	2	125	80
塑料 - 淀粉胶结肥 Felted by plastic-starch	0.32	12.58	10.83	3	150	100
粘土 - 聚酯包膜肥 Coated by clay-polyester	0.31	7.07	5.42	2	100	60
腐植酸 - 聚酯包膜肥 Coated by humus acid	0.30	5.52	3.88	2	100	60
塑料 - 淀粉包膜肥 Coated by plastics-starch	0.31	7.10	5.43	3	163	110
掺混 1 BBCRF1	0.32	13.39	11.63	3	163	110
掺混 2 BBCRF2	0.32	12.58	10.83	2	100	60
掺混 3 BBCRF3	0.32	12.23	10.48	2	75	40
掺混 4 BBCRF4	0.31	10.23	8.51	2	85	48
掺混 5 BBCRF5	0.32	12.58	10.83	2	100	60

由表 4-10 可以看出,不同类型缓释肥处理对玉米植株含钾量的影响也较大,各种类型缓释肥植株含钾量均高于无肥对照及等 NPK 养分化肥处理。与等 NPK 养分化肥处理相比较,胶结型缓释肥处理玉米植株含钾量增加 80%-100%,包膜型缓释肥处理玉米植株含钾量增加 60%-110%,掺混型缓释肥玉米植株含钾量增加 40%-110%。三种胶结型缓释肥植株含钾量相比,塑料-淀粉胶结肥处理最高,粘土-聚酯胶结肥次之,腐植酸-聚酯胶结肥最低。三种包膜型缓释肥植株含钾量相比,塑料-包膜型缓释肥处理最高,腐植酸-聚酯包膜肥、粘土-聚酯包膜肥两个处理较低。5 种掺混型缓释肥相比较,掺混型 1、2、5 处理植株含钾量提高较大。

4.2.2.3 对土壤养分的影响

(1) 土壤全氮和全磷

表 4-11 为玉米收获时各个处理土壤全氮和全磷含量。由表 4-11 可见,等 NPK 养分化肥处理土壤全氮含量较不施肥处理有所下降,施用缓释肥可以提高土壤全氮含量;不同类型缓释肥处理土壤全氮含量为 0.58g/kg-0.77g/kg,均高于等 NPK 养分化肥处理。其中三种胶结型缓释肥处理土壤全氮含量为 0.59g/kg-0.73g/kg,比等 NPK 养分化肥处理增加 13.69%-30.81%;包膜型缓释肥处理土壤全氮含量为 0.58g/kg-0.60g/kg,比等 NPK 养分化肥处理增加 4.14%-7.39%;掺混型缓释肥处理土壤全氮含量为 0.63g/kg-0.77g/kg,比等 NPK 养分化肥增加 12.79%-39.28%。

土壤全磷含量,与等 NPK 养分化肥处理相比,均呈下降趋势,下降幅度在 0.30%-5.99%。

表 4-11 不同缓释肥处理玉米土壤全氮、全磷含量

Table 4-11 Effects of controlled-release fertilizer on total nutrients N,P in potted corn

处理 Treatment	全氮 Total N (g/kg)	比 CK2 增 Increase production (%)	全磷 Total P (g/kg)	比 CK2 增 Increase production (%)
无肥对照 No fert.CK1	0.58		0.88	
等 NPK 养分化肥 CK2 Fertilizer	0.56		0.97	
粘土 - 聚酯胶结肥 Felted by clay-polyester	0.73	30.81	0.96	-11.27
腐植酸 - 聚酯胶结肥 Felted by humus acid	0.59	6.31	0.95	-12.35
塑料 - 淀粉胶结肥 Felted by plastic-starch	0.63	13.69	0.91	-19.26
粘土 - 聚酯包膜肥 Coated by clay-polyester	0.58	5.26	0.96	-9.31
腐植酸 - 聚酯包膜肥 Coated by humus acid	0.58	4.14	0.96	-9.11
塑料 - 淀粉包膜肥 Coated by plastics-starch	0.60	7.39	0.92	-15.68
掺混 1 BBCRF1	0.77	39.28	0.94	-12.29
掺混 2 BBCRF2	0.71	28.65	0.97	-3.21
掺混 3 BBCRF3	0.67	20.54	0.91	-16.33
掺混 4 BBCRF4	0.63	13.69	0.96	-7.43
掺混 5 BBCRF5	0.63	12.79	0.96	-5.96

(2) 对土壤速效氮、磷、钾养分的影响

表 4-12 为玉米收获时各个处理的土壤速效养分含量。可以看出,施肥能明显增加土壤速效氮含量。与施用等 NPK 养分化肥相比,施用不同类型缓释肥可以明显提高土壤速效氮含量,增加幅度在 0.46%-37.39%,其中胶结型缓释肥处理土壤速效氮增加幅度为 0.46%-17.08%;包膜型缓释肥处理土壤速效氮增加幅度为 11.07%-37.39%;掺混型缓释肥处理土壤速效氮增加幅度为

3.64%-26.28%。

表 4-12 不同缓释肥处理玉米土壤速效养分

Table 4-12 Effects of coated fertilizer on available nutrients in soil

处理 Treatment	速效氮 Alkali N (mg/kg)	较 CK2 增 Increase production (%)	速效磷 Available P (mg/kg)	较 CK2 增 Increase production (%)	速效钾 Available K (mg/kg)	较 CK2 增 Increase production (%)
无肥对照 CK1 No fert.	68		4.5		90	
等 NPK 养分化肥 CK2 Fertilizer	84		26		115	
粘土 - 聚酯胶结肥 Felted by clay-polyester	99	17.08	39.1	50.66	120	4.35
腐植酸 - 聚酯胶结肥 Felted by humus acid	85	0.46	35.4	36.21	105	-8.70
塑料 - 淀粉胶结肥 Felted by plastic-starch	89	5.41	39.5	52.16	130	13.04
粘土 - 聚酯包膜肥 Coated by clay-polyester	107	25.77	43.0	65.67	120	4.35
腐植酸 - 聚酯包膜肥 Coated by humus acid	94	11.07	38.9	49.91	125	8.70
塑料 - 淀粉包膜肥 Coated by plastics-starch	117	37.39	47.8	84.05	140	21.74
掺混型 1 BBCRF1	107	26.28	48.7	87.62	130	13.04
掺混型 2 BBCRF2	99	17.08	50	92.50	130	13.04
掺混型 3 BBCRF3	93	9.84	41.6	60.04	120	4.35
掺混型 4 BBCRF4	88	3.99	34.4	32.46	125	8.70
掺混型 5 BBCRF5	87	3.64	43.2	66.54	120	4.35

由表 4-12 可以看出，无肥处理的速效磷含量为 4.5mg/kg，等 NPK 养分化肥处理为 26mg/kg，与不施肥相比，施肥能明显增加土壤速效磷含量；与使用等 NPK 养分化肥相比，施用不同类型缓释肥更能增加土壤中的速效磷含量，增加幅度为：胶结型缓释肥处理土壤速效磷含量增加 36.21%-52.16%；包膜型缓释肥处理速效磷含量增加幅度为 49.91%-84.05%；掺混型缓释肥处理速

效磷含量增加幅度为 32.46%-92.50%。

由表 4-12 可以看出, 与不施肥相比, 施肥能增加土壤速效钾含量。与等 NPK 养分化肥处理相比, 除腐植酸 - 聚酯胶结肥处理土壤速效钾含量降低之外, 其余各种缓释肥处理均呈增加之势。胶结型缓释肥处理土壤速效钾含量增加 4.35%-13.04%; 包膜型缓释肥处理土壤速效钾含量增加 4.35%-21.74%; 掺混型缓释肥处理土壤速效钾含量增加 4.35%-13.04%。

4.3 小结

(1) 胶结型和掺混型缓释肥施入土壤后, 其土壤中有效氮、磷、钾养分变化曲线反映了其养分的释放规律, 且与作物需肥规律基本吻合。与等 NPK 养分化肥相比, 能明显促进小麦的生长发育, 提高产量。主要表现在株高、穗长、穗粒数、穗粒重均高于等 NPK 养分化肥及不施肥处理, 不育小穗数均低于等 NPK 养分化肥及不施肥处理; 促进叶绿素合成, 使作物能够较长时间的保持足够的绿叶面积; 对作物中后期干物质的积累有明显的促进作用。

(2) 与等 NPK 养分化肥处理相比, 掺混型和胶结型缓/控释肥对盆栽玉米的生物产量均有显著的增产作用; 显著增加植株吸氮量, 植株含磷量也有所增加。施用缓/控释肥可以提高土壤全氮含量, 降低土壤全磷含量; 显著提高土壤碱解氮、速效磷含量。

(3) 包膜型缓释肥施入土壤后, 由于其较好的缓释作用, 在作物生长前期, 土壤中速效养分含量低于等 NPK 养分化肥处理。包膜型缓释肥的各个处理小麦产量与等 NPK 养分化肥处理相比增产不显著, 玉米生物产量甚至出现减产。前人试验表明在移栽和直播水稻上用树脂包膜类控施氮肥一次基施比尿素基施增产显著 (符建荣, 2001), 本试验玉米生物产量出现减产的原因, 还有待于进一步探讨。

第五章 掺混型缓释肥对大田小麦、玉米的生物学效应

5.1 材料与方

5.1.1 供试材料

试验地：昌平试验基地，其基本性状：pH值 8.1，有机质 $16.4\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，全氮 $1.03\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，全磷 $0.89\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，碱解氮 $62\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，速效磷 $9.8\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，速效钾 $40\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

肥料：CF-2 胶结肥，粘土 - 聚酯胶结肥，腐植酸 - 聚酯胶结肥，塑料 - 淀粉胶结肥，粘土 - 聚酯包膜肥，塑料 - 淀粉包膜肥，尿素，氯化钾，磷酸一铵。缓释肥养分含量：N 5%， P_2O_5 8%， K_2O 8%。

小麦品种：中作 9705。

玉米品种：唐抗 5 号。

5.1.2 试验方法：

试验共设 7 个处理，采用随机区组设计，重复 3 次，共 21 个小区，小区宽 2.5 米，长 4 米。小麦播种日期为 2002 年 10 月 11 日，每小区播种 12 行，收获日期 2003 年 6 月 15 日。掺混型缓释肥料掺混方式同 4.1.1。7 个处理分别为：(1) 无肥对照 (CK1) (2) 等NPK养分化肥 (CK2) (3) 掺混型 1 (4) 掺混型 2 (5) 掺混型 3 (6) 掺混型 4 (7) 掺混型 5。除无肥对照外，其它各个处理均为等NPK养分设计，以氮素计每公顷施入纯氮 180kg，N： P_2O_5 ： K_2O 为 15：8：8。小麦收获后，以同样的施肥量和施肥方法播种玉米，玉米与小麦同处理进行。玉米播种日期 2003 年 6 月 18 日，收获日期 2003 年 10 月 6 日。

5.1.3 测定项目与方法

5.1.3.1 土壤养分测定项目及方法

土壤养分测定项目：小麦、玉米播种前取基础土样 (0-20cm)，小麦、玉米成熟后取 0-20cm 土壤，测定土壤的全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾。

土壤养分测定方法：同 4.1.3。

5.1.3.2 植株养分测定项目及方法

测定项目：在小麦、玉米成熟期取植株样品，测定植株氮、磷、钾含量。

测定方法：同 4.1.3。

5.1.3.3 考种项目

小麦考种项目：株高、穗长、小穗数、不育小穗数、穗粒数、穗粒重、千粒重、小区产量。

玉米考种项目：穗长、秃尖长、穗行数、穗粒数、穗粒重、千粒重、小区产量。

5.1.3.4 小麦品质测定项目与方法

(1) 测定项目：

容重、粗蛋白、湿面筋含量、沉降值、降落值、氨基酸含量及其组分，可溶性糖含量及其组分。

(2) 测定方法

容重：采用 GB/T5498-1985 法。

粗蛋白含量：采用 GB2905-82 法。用半微量凯氏定氮法测出待测样品的氮含量，再将氮换算成粗蛋白质含量，其折算系数为：小麦 5.70，玉米 6.25。

氨基酸含量及其组分：采用 GB7649-1987 测定法。

湿面筋含量：采用 GB/T14608-1993 法。

沉降值；采用 AACC 56 - 61A 测定法。

降落值：采用 GB/T10361-1989 法。

可溶性糖及其组分：高效液相色谱法。

5.1.3.5 玉米品质测定项目及方法

(1) 测定项目：

粗脂肪含量、蛋白质含量、淀粉含量、氨基酸含量及其组分、可溶性糖及其组分。

(2) 测定方法

粗蛋白含量：同小麦

粗脂肪含量：采用 NY/T4-1982 测定法。

粗淀粉含量：采用 NY/T11 - 1985 测定法。

氨基酸含量及其组分：采用 GB7649-1987 测定法。

可溶性糖及其组分：高效液相色谱法。

5.2 结果与分析

5.2.1 掺混型缓释肥对大田小麦的影响

(1) 小麦产量及产量构成因素

由表 5-1 可以看出掺混型缓释肥各个处理的产量均高于等 NPK 养分化肥处理 (CK2) 和无肥对照 (CK1)，与 CK1 相比，掺混型缓释肥各个处理增产幅度为 219.90%-253.80%；与 CK2 相比，掺混型缓释肥各个处理增产幅度为 6.79%-23.90%。方差分析表明，本试验的 7 个处理之间差异达极显著水平，经检验，掺混型缓释肥各个处理与无肥对照之间差异达极显著水平；掺混型 4 处理与等 NPK 养分化肥之间差异达极显著水平，掺混型 1、2、3、5 与等 NPK 养分化肥处理差异显著。5 种掺混型缓释肥处理相比，掺混型 4 处理与掺混型 1、2、3、5 处理差异显著；掺混型 1、2、3、5 处理差异不显著。由产量构成的各个因素也可以看出，掺混型缓释肥各个处理小穗数略高于等 NPK 养分化肥处理；不育小穗数均低于等 NPK 养分化肥处理；穗粒重、穗粒数、千粒重均高于等 NPK 养分化肥处理。5 种掺混型缓释肥相比较，小穗数较高的处理是掺混型 2、5、4 处理，较低的是掺混型 3、1 处理；不育小穗数较低的是掺混型 4、5、1 处理，较高的是掺混型 2、3 处理；

穗粒数、穗粒重、千粒重均较高的是掺混型 4、1 处理。说明施用掺混型缓释肥可明显地提高小麦产量，表现在能够增加小穗数，降低不育小穗数，能够促进穗粒数、穗粒重及千粒重的增加。

表 5-1 不同掺混型缓释肥处理大田小麦产量构成因素

Table 5-1 Effects of BBCRF on yield factors of wheat

处理	无肥对照	CK1 等 NPK 养分化肥	掺混型 1	掺混型 2	掺混型 3	掺混型 4	掺混型 5
Treatment	No fert.	Fertilizer	BBCRF1	BBCRF2	BBCRF3	BBCRF4	BBCRF5
株高(cm)	51.7	70.4	78.8	72	72.3	72.5	70.5
Height							
穗长(cm)	4.8	7.3	7.3	7.2	7.3	7	7.4
Length of ear							
小穗数	11	15	15	15	15	14	15
Spikelet							
不育小穗数	3	2	1	1	1	2	1
Sterile spikelet							
穗粒数	10	23	24	25	25	25	28
Number of seed							
穗粒重(g)	0.319	0.978	1.010	1.131	1.027	1.164	1.234
Weight of ear							
千粒重(g)	30.823	36.584	38.044	39.533	38.024	38.023	38.402
Weight of 1000 seeds							

表 5-2 不同掺混型缓释肥处理大田小麦产量

Table 5-2 Effects of BBCRF on yield of wheat

处理 Treatment	重复 Repeat	产量 (kg/hm ²) Yield		比对照增 (%)	
		产量	平均产量	CK1	CK2
无肥对照 CK1 No fert.	1	766.98			
	2	639.64			
	3	803.64	736.75		
等 NPK 化肥 CK2 Fertilizer	1	2158.86			
	2	2322.28			
	3	2151.64	2210.93	200.09	
掺混型 1 BBCRF1	1	2548.28			
	2	2713.76			
	3	2570.55	2610.86	254.37	18.09
掺混型 2 BBCRF2	1	2545.23			
	2	2706.44			
	3	2260.84	2504.17	239.89	13.26
掺混型 3 BBCRF3	1	2340.10			
	2	2312.30			
	3	2425.02	2359.14	220.21	6.70
掺混型 4 BBCRF4	1	2549.48			
	2	3094.78			
	3	2565.14	2736.47	271.42	23.77
掺混型 5 BBCRF5	1	2548.28			
	2	2613.76			
	3	2570.55	2577.53	249.85	16.58

表 5-3 不同掺混型缓释肥处理大田小麦产量方差分析

Table 5-3 Variance analysis of yield of different BBCRF

变异来源 Source	DF	SS	MS	F	Pr>F
肥料间 Model	6	8467941.157	1400323.526	56.07	0.0001
误差 Error	14	352412.930	25172.352		
总变异 Corrected	20	8820354.088			

表 5-4 不同掺混型缓释肥处理大田小麦产量显著性检验 (Duncan's Multiple test)
Table 5-4 Analysis of Variance Procedure Duncan's Multiple Range Test for variable BBCRF

处理 Treatment	平均产量 Average yield	差异显著性 Significance	
		5%	1%
掺混型 4 BBCRF4	2736.5	A	A
掺混型 1 BBCRF1	2610.9	AB	AB
掺混型 5 BBCRF5	2546.8	AB	AB
掺混型 2 BBCRF2	2504.2	AB	AB
掺混型 3 BBCRF3	2359.1	BC	AB
CK	2210.9	C	B
CK1	736.8	D	C

(2) 小麦地上部养分含量

由表 5-5 可以看出, 掺混型缓释肥小麦各个处理, 收获时地上部植株含氮量、含磷量及籽粒中含氮量、含磷量均高于无肥对照和等 NPK 养分化肥处理, 植株中的含钾量和籽粒含钾量与等 NPK 养分化肥处理相同。植株含氮量与等 NPK 养分化肥相比较高出 5.52%-26.21%; 含磷量高出 4.17%-25.00%。籽粒含氮量与等 NPK 养分化肥相比高出 1.03%-3.70%; 含磷量高出 3.03%-18.18%。5 种掺混型缓释肥处理相比较, 植株含氮量与籽粒含氮量均较高的是掺混型 4、1、3 处理; 植株含磷量与籽粒含磷量均较高的也是掺混型 4、1、3 处理。说明掺混型 4、1、3 三个处理更能够增加作物对氮、磷的吸收与积累。

表 5-5 掺混型缓释肥地上部植株 N、P、K 养分含量

Table 5-5 Effects of BBCRF on nutrients N、P、K of overground frond

处理 Treatment	植株含氮量 N in frond (%)	籽粒含氮量 N in seed (%)	植株含磷量 P in frond (%)	籽粒含磷量 P in seed (%)	植株含钾量 K in frond (%)	籽粒含钾量 K in seed (%)
无肥对照 CK1 No fert.	0.49	2.77	0.07	0.28	1.0	0.3
等 NPK 养分化肥 CK2 Fertilizer	0.46	2.87	0.05	0.30	1.5	0.3
掺混型 1 BBCRF1	0.51	2.96	0.06	0.35	1.5	0.3
掺混型 2 BBCRF2	0.51	2.92	0.06	0.31	1.5	0.3
掺混型 3 BBCRF3	0.50	2.90	0.06	0.33	1.5	0.3
掺混型 4 BBCRF4	0.51	2.97	0.06	0.34	1.5	0.3
掺混型 5 BBCRF5	0.50	2.95	0.06	0.34	1.5	0.3

(3) 土壤 N、P、K 养分含量

由表 5-6 可以看出各个处理小麦收获后土壤养分情况。土壤全氮含量，无肥对照含量最高，5 种掺混型缓释肥处理与等 NPK 养分化肥处理基本一致。土壤速效氮，5 种掺混型缓释肥处理均高于等 NPK 养分化肥处理及无肥对照；5 种掺混型缓释肥处理相比，掺混型 2、4、1 居前三位，掺混型 5、3 则较低。土壤全磷含量，5 种掺混型缓释肥处理均低于等 NPK 养分化肥处理及无肥对照。土壤速效磷含量与全磷含量有所不同，5 种掺混型缓释肥处理土壤速效磷均高于等 NPK 养分化肥处理及无肥对照；5 种掺混型缓释肥相比较，掺混型 5、4、3 处理较高，掺混型 1、2 处理则较低。土壤速效钾，掺混型缓释肥处理均高于无肥对照，掺混型 1、2 处理高于等 NPK 养分化肥处理，掺混型 3、4、5 处理与等 NPK 养分化肥处理相等。说明掺混型缓释肥处理至收获期土壤中仍能够提供较高的速效氮和速效磷，并且，掺混型缓释肥的施用降低了土壤对磷素的固定。

表 5-6 掺混型缓释肥大田小麦土壤养分含量

Table 5-6 Effects of BBCRF on total nutrients of wheat soil

处理	全氮	速效氮	全磷	速效磷	速效钾
Treatment	Total N	Available N	Total P	Available P	Available K
	(g/kg)	(mg/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
无肥对照 CK1	1.38	63	0.90	8.4	40
No fertilizer					
等 NPK 养分化肥 CK2	1.07	64	0.946	8.5	50
Chemical fertilizer					
掺混型 1	1.12	74	0.90	8.9	60
BBCRF1					
掺混型 2	1.10	80	0.86	8.5	60
BBCRF2					
掺混型 3	1.05	68	0.83	9.2	50
BBCRF3					
掺混型 4	1.07	75	0.84	9.8	50
BBCRF4					
掺混型 5	1.03	71	0.88	9.8	50
BBCRF5					

(4) 小麦子粒品质

容重

容重是单位容积内小麦籽粒的重量。其大小取决于籽粒本身的密度和籽粒的随机体积，能综合反映籽粒性状、整齐度、胚乳质地、含水量等性状。容重高的小麦籽粒饱满、形状一致、质硬、比重大、含水量少。图 5-1 为不同掺混型缓释肥处理小麦籽粒的容重。由图 5-1 可以看出，不同的掺混型缓释肥处理，小麦的容重有一定的差异。5 种掺混型缓释肥处理的小麦容重均高于等 NPK 养分化肥处理，增加幅度在 0.79%-2.11%。5 种掺混型缓释肥处理相比较，容重的大小顺序是：掺混型 5 > 掺混型 2 > 掺混型 4 > 掺混型 3 > 掺混型 1。

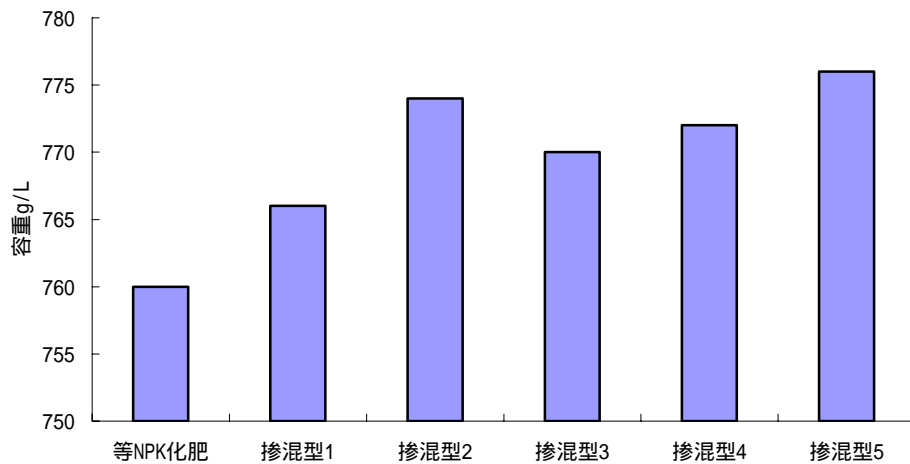


图 5-1 不同掺混型缓释肥处理小麦籽粒的容重

Fig.5-1 Effects of BBCRF on bulk density of wheat

蛋白质含量与产量

蛋白质是生命的物质基础，是人体氮素的唯一来源。蛋白质与碳水化合物、油脂构成人类食物的三大基本要素。在评价食物营养品质时，主要看其蛋白质含量和质量是否能满足人类的需要。因此，蛋白质含量是衡量籽粒营养品质的重要指标。图 5-2 为不同掺混型缓释肥处理小麦籽粒蛋白质含量。由图 5-2 可以看出，不同掺混型缓释肥处理对小麦籽粒蛋白质含量有一定的影响。5 种掺混型缓释肥小麦籽粒蛋白质含量均高于等 NPK 养分化肥和无肥对照。与 CK 2 相比增产幅度在 1.03%-3.70%。5 种掺混型缓释肥相比较，掺混型 4、1、5 处理较高，掺混型 2、3 处理较低。

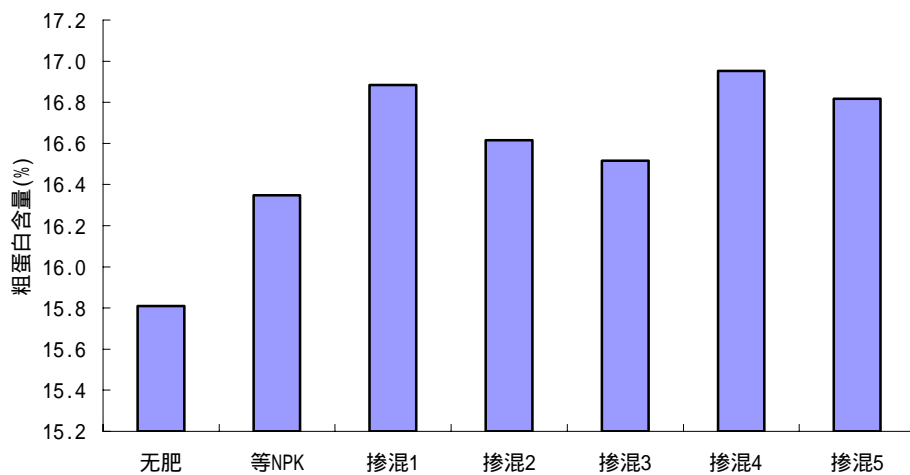


图 5-2 不同掺混型缓释肥处理小麦籽粒蛋白质含量

Fig.5-2 Effects of BBCRF on protein content of wheat

表 5-7 为利用蛋白质含量和籽粒产量折合的小麦籽粒蛋白质产量。由表 5-7 可以看出施用掺

混型缓释肥可显著提高单位面积蛋白质产量。与等 NPK 养分化肥相比单位蛋白质产量增产幅度在 7.80%-28.35%，说明施用掺混型缓释肥能提高单位面积蛋白质产量。方差分析(表 5-8)表明，本试验的 7 个处理蛋白质产量之间差异达极显著水平。经检验(表 5-9)，5 种掺混型缓释肥处理与无肥对照差异达极显著水平；掺混型 4、1、5 处理与等 NPK 养分化肥处理之间差异达极显著水平；掺混型 2、3 处理与等 NPK 养分化肥处理之间差异达显著水平；掺混型 4 与掺混型 1、5、2 之间差异显著，与掺混型 3 处理之间差异达极显著水平；与掺混型 1、5 处理之间差异不显著，与掺混型 3 差异显著。

表 5-7 不同掺混型缓释肥处理小麦的蛋白质产量

Table 5-7 Effects of BBCRF on protein yield of wheat

处理 Treatment	重复 Repetition	蛋白产量(kg/hm ²) Protein yield		比对照增(%) Increase production	
		平均 Average		CK1	CK2
无肥对照 CK1 No fert.	1	121.25			
	2	101.12			
	3	127.05	116.47		
等 NPK 化肥 CK2 Fertilizer	1	352.91			
	2	379.62			
	3	351.73	361.42	210.31	
掺混型 1 BBCRF1	1	430.28			
	2	458.22			
	3	434.04	440.84	278.50	21.98
掺混型 2 BBCRF2	1	422.91			
	2	449.70			
	3	375.66	416.09	257.25	15.13
掺混型 3 BBCRF3	1	386.47			
	2	381.88			
	3	400.49	389.61	234.52	7.80
掺混型 4 BBCRF4	1	432.19			
	2	524.63			
	3	434.84	463.89	298.29	28.35
掺混型 5 BBCRF5	1	428.57			
	2	439.58			
	3	432.31	433.49	272.19	19.94

表 5-8 不同掺混型缓释肥处理大田小麦蛋白产量方差分析

Table 5-8 Variance analysis of protein yield of different BBCRF

变异来源 Source	DF	SS	MS	F	Pr>F
肥料间 Model	6	253734.771	42289.128	59.64	0.0001
误差 Error	14	9927.325	709.095		
总变异 Corrected	20	263662.095			

表 5-9 不同掺混型缓释肥处理大田小麦蛋白产量显著性检验 (Duncan's Multiple test)

Table 5-9 Analysis of Variance Procedure Duncan's Multiple Range Test for variable BBCRF

处理 Treatment	平均产量 Average yield	差异显著性 Significance	
		5%	1%
掺混型 4 BBCRF4	463.89	A	A
掺混型 1 BBCRF1	440.85	A	AB
掺混型 5 BBCRF5	433.49	AB	AB
掺混型 2 BBCRF2	416.09	AB	ABC
掺混型 3 BBCRF3	389.61	BC	BC
CK2	361.42	C	C
CK1	116.47	D	D

总氨基酸和必需氨基酸含量及组分

作为人体必需氨基酸,小麦籽粒中的赖氨酸、苏氨酸和异亮氨酸含量较低,分别是 FAO 和 WHO 根据生理需要制定的标准模式的 52%、73%和 82%。因此把小麦中最缺乏的赖氨酸,称为小麦第一限制性氨基酸,其次是苏氨酸,称为第二限制性氨基酸。赖氨酸等氨基酸的缺乏,降低了小麦蛋白质的生物学价值和利用率(徐兆飞,2000)。

表 5-8 为不同掺混型缓释肥处理小麦总氨基酸及其组分含量。由表 5-8 可以看出,与等 NPK 养分化肥处理相比,施用掺混型缓释肥可以有效地提高小麦籽粒中总氨基酸含量,增加幅度在

3.52%-38.02%。5种掺混型缓释肥处理相比，掺混型4处理增幅最大，其次是掺混型2处理，掺混型1处理居第三位，掺混型3处理居第四位，掺混型5处理增幅最小。

由表5-8不同掺混型缓释肥处理小麦籽粒的各种必需氨基酸含量测定结果来看，不同施肥处理对其影响也很大。施用掺混型缓释肥可有效提高赖氨酸、苏氨酸、异亮氨酸等氨基酸含量。与等NPK养分化肥相比，赖氨酸提高幅度为3.52%-38.02%，苏氨酸提高幅度为4.18%-43.10%，异亮氨酸提高幅度为8.37%-36.85%。5种掺混型缓释肥相比较，掺混型4、2、1三个处理对必需氨基酸提高幅度较大。

表 5-10 不同掺混型缓释肥小麦籽粒总氨基酸及其组分含量 (%)

Table 5-10 Effects of BBCRF on total and essential amino acid contents of wheat

处理	CK1	CK2	掺混型 1	掺混型 2	掺混型 3	掺混型 4	掺混型 5
Treatment	No fertilizer	Fertilizer	BBCRF1	BBCRF2	BBCRF3	BBCRF4	BBCRF5
天门冬氨酸	0.733	0.824	0.772	0.844	0.644	0.901	0.780
Aspartic acid							
丝氨酸	0.786	0.813	0.929	1.01	0.946	1.109	0.825
Serine							
谷氨酸	2.728	2.887	2.921	3.418	3.098	3.771	2.897
Glutamic acid							
甘氨酸	0.632	0.594	0.691	0.753	0.646	0.825	0.635
Glicin							
组氨酸	0.544	0.51	0.612	0.665	0.541	0.782	0.547
Histidine							
精氨酸	0.942	0.903	1.117	1.169	0.942	1.318	0.95
Arginine							
苏氨酸	0.484	0.478	0.564	0.598	0.519	0.684	0.498
Threonine							
丙氨酸	0.594	0.627	0.646	0.75	0.668	0.777	0.624
Alanine							
脯氨酸	1.332	1.323	1.408	1.673	1.452	1.773	1.357
Proline							
胱氨酸	0.988	1.005	1.29	1.23	1.178	1.787	1.182
Cystine							
酪氨酸	0.556	0.521	0.635	0.649	0.55	0.793	0.514
Tyrosine							
缬氨酸	0.643	0.634	0.695	0.765	0.675	0.829	0.663
Valine							
蛋氨酸	0.116	0.109	0.083	0.135	0.156	0.115	0.103
Methionine							
赖氨酸	0.588	0.606	0.69	0.707	0.708	0.732	0.597
Lysine							
异亮氨酸	0.514	0.502	0.561	0.589	0.561	0.687	0.544
Isleucine							
亮氨酸	1.013	1.008	1.086	1.154	1.067	1.375	1.027
Leucine							

苯丙氨酸	0.727	0.689	0.815	0.832	0.736	1.100	0.723
Phenylalanine							
色氨酸	0.103	0.099	0.069	0.064	0.075	0.147	0.164
Tryptophan							
总氨酸	14.023	14.132	15.584	17.006	15.162	19.505	14.630
Total amino acid							

面筋含量

小麦面粉经加水揉制成面团后，在水中揉洗，淀粉和麸皮微粒呈悬浮状态分离出来，其它水溶性和溶于稀盐液的蛋白质等物质被洗去，剩留的有弹性和粘弹性的胶皮状物质，即称为面筋。面筋是小麦蛋白质存在的一种特殊形式，小麦面粉之所以能加工成种类繁多的食品，就在于它有特有的面筋。湿面筋含量反映小麦籽粒面筋蛋白的数量。

图 5-3 为不同掺混型缓释肥处理小麦面粉的湿面筋含量。由图 5-3 可以看出，所有施肥处理均比无肥对照湿面筋含量有所增加，施用掺混型缓释肥的处理湿面筋含量较等 NPK 养分化肥处理有一定提高，提高幅度在 1.96%-4.58%。5 种掺混型缓释肥处理相比，掺混型 4、1、5、2 处理提高幅度较大。

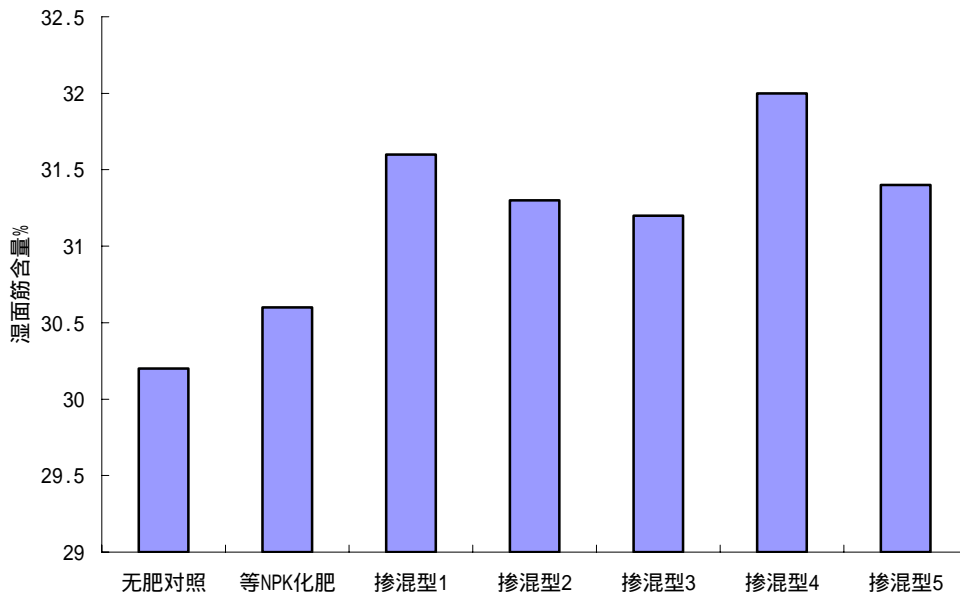


图 5-3 不同掺混型缓释肥处理小麦面粉的湿面筋含量

Fig. 5-3 Effects of BBCRF on wet gluten content of wheat

沉降值

在沉降试验中，膨胀面筋的形成数量及沉降速度取决于面筋蛋白质水合能力和水合率。在乳酸-异丙醇溶液中面筋蛋白质的氢硫键等疏水键被破坏，麦谷蛋白以纤维状存在，使溶胀的面粉颗粒形成絮状物。沉降速度和体积反映了面筋含量和质量。面筋含量越高，质量越好，形成的絮状物就越多，沉降速度越缓慢，一定时间内沉淀的体积就越多。测定值越大，面筋强度越大，面粉的烘烤品质就越好。

图 5-4 为不同掺混型缓释肥处理小麦面粉的沉降值。由图 5-4 可以看出掺混型缓释肥处理对小麦沉降值的影响趋势与湿面筋含量基本一致。所有施肥处理小麦沉降值均高于无肥对照，掺混型缓释肥处理均高于等 NPK 养分化肥处理，增加幅度在 0.69%-10.73%。5 种掺混型缓释肥处理相比沉降值由大到小的顺序是：掺混型 4、掺混型 5、掺混型 1、掺混型 2、掺混型 3。

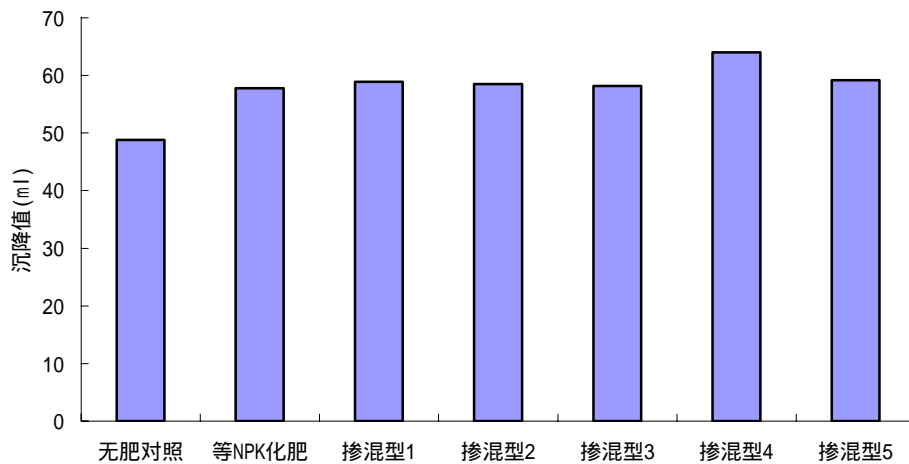


图 5-4 不同掺混型缓释肥处理小麦面粉的沉降值

Fig.5-4 Effects of BBCRF on sedimentation value of wheat

降落值

降落数值是以 α -淀粉酶能使淀粉凝胶液化,使粘度下降这一原理为依据,以一定重量的搅拌器在被热凝胶糊化液中下降一段特定高度所需要的秒数来表示的。根据粘度的变化反映酶的含量。粘度小,降落值小,表明酶活性高,小麦籽粒就易发芽、发霉、不耐贮藏。根据小麦面粉降落值大小可将小麦分为三类:小于 150s 的为发芽小麦,酶活性高,成品面包心发粘;200-300s 为无发芽小麦,酶活性正常,成品面包质地良好;大于 300s 的表明酶活性低,成品面包体积小,面包心发硬,易掉屑。正常年份,大多数小麦品种的降落值在 300-400s 之间。

图 5-5 为不同掺混型缓释肥处理小麦面粉的降落值。由图 5-5 可以看出,等 NPK 养分化肥处理和掺混型缓释肥 2 处理降落值低于无肥对照,其它掺混型缓释肥处理均高于无肥对照以及等 NPK 养分化肥处理。掺混型 1、3、4、5 处理降落值在 248s-268s 之间,与等 NPK 养分化肥相比高出 7.83%-16.52%。说明施用普通化肥可以降低小麦面粉的降落值,增强酶活性,降低耐贮藏性;而施用掺混型缓释肥能够提高小麦面粉的降落值,降低酶活性,增加耐贮藏性。

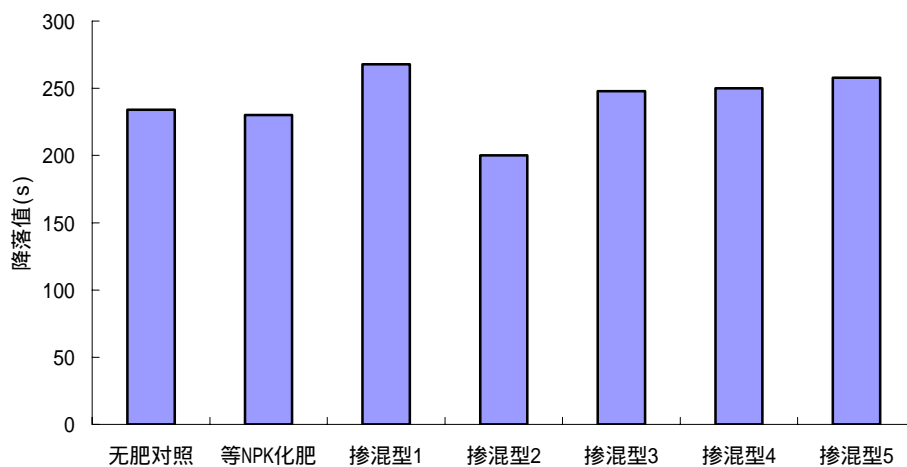


图 5-5 不同掺混型缓释肥处理小麦面粉的降落值

Fig.5-5 Effects of BBCRF on falling number of wheat

可溶性糖

小麦籽粒中除淀粉和纤维素外还含有可溶性糖。在面包生产中，糖既是酵母的碳源，又是形成面包色、香、味的基质。糖类有属单糖的葡萄糖、果糖，有属寡糖的二糖、四糖，还有分子量较大的多糖。表 5-9、图 5-6、图 5-7 为通过高效液相色谱法测定的不同掺混型缓释肥处理小麦籽粒中可溶性糖及其含量。由表 5-6 可以看出，小麦籽粒中的可溶性糖包括：多糖、四糖、二糖、葡萄糖、果糖等，其中多糖 > 二糖 > 葡萄糖 > 四糖 > 果糖。与无肥对照相比，施用等 NPK 养分化肥，总糖、多糖、四糖含量下降；但是施用掺混型缓释肥处理均可以提高总糖、多糖、四糖含量。5 种掺混型缓释肥总糖含量由高到低的顺序是掺混型 2、掺混型 4、掺混型 5、掺混型 1、掺混型 3。与等 NPK 养分化肥处理相比，施用掺混型缓释肥可以降低葡萄糖、果糖含量；二糖含量，掺混型 2、4、5 表现为升高，掺混型 1、3 则表现为略有下降。因此可以说明，施用等 NPK 化肥会降低小麦籽粒中可溶性糖含量，而施用掺混型缓释肥则有利于增加小麦籽粒中可溶性糖含量。

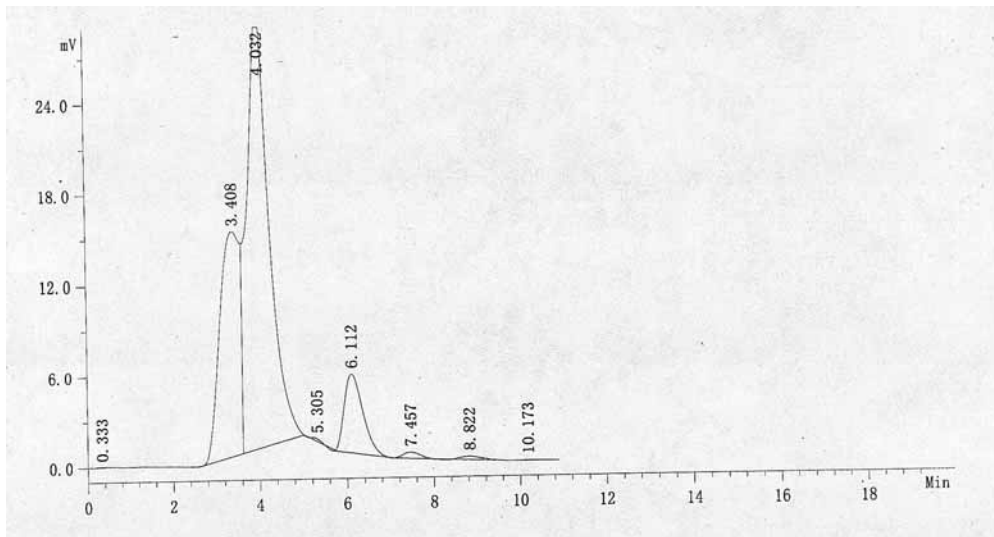


图 5-6 掺混型缓释肥 4 处理小麦籽粒可溶性糖色谱图

Fig.5-6 The chromatogram map of soluble sugar in wheat

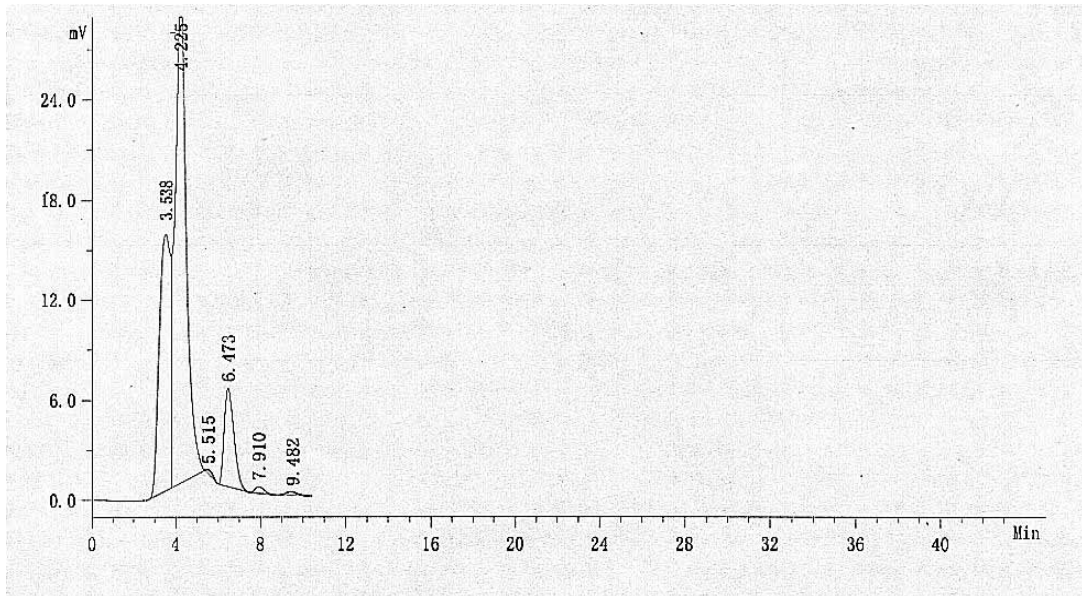


图 5-7 掺混型缓释肥 2 处理小麦籽粒可溶性糖色谱图

Fig.5-7 The chromatogram map of soluble sugar in wheat

表 5-11 不同掺混型缓释肥处理小麦籽粒含糖量

Table 5-11 Effects of BBCRF on soluble sugar of wheat

处理 Treatment	多糖 Amylose (%)	四糖 (%)	二糖 Disaccharide (%)	葡萄糖 Glucose (%)	果糖 Fructose (%)	总糖 total (%)
无肥对照 CK1 No fertilizer	31.237	0.237	2.9	0.456	0.116	34.946
等 NPK 养分化肥 CK2 Chemical fertilizer	28.222	0.161	3.915	0.586	0.321	33.205
掺混型 1 BBCRF1	30.84	0.161	3.732	0.267	0.229	35.229
掺混型 2 BBCRF2	46.222	0.184	4.7	0.304	0.157	51.567
掺混型 3 BBCRF3	30.571	0.171	3.38	0.554	0.282	34.958
掺混型 4 BBCRF4	42.598	0.178	4.197	0.51	0.259	47.742
掺混型 5 BBCRF5	36.684	0.212	4.849	0.298	0.173	42.216

(5) 小结

与施用等 NPK 养分化肥相比,施用掺混型缓释肥均能使小麦增产,表现在能够降低不育小穗数,增加穗粒数,提高穗粒重和千粒重。

掺混型缓释肥处理在收获期土壤中仍能够提供较高的速效氮和速效磷,并且,掺混型缓释肥的施用降低了土壤对磷素的固定。

与施用等 NPK 养分化肥相比,施用掺混型缓释肥能够提高小麦籽粒的营养品质、加工品质。表现在能够增加小麦籽粒的容重,增加蛋白质含量,提高单位面积蛋白质产量,提高小麦籽粒总氨基酸及必需氨基酸含量;增加湿面筋含量,增加沉降值;增加了小麦面粉的降落值,从而降低了酶活性,增加了小麦籽粒及面粉的耐贮藏性;提高了总糖含量,表现在多糖、四糖、二糖含量的增加。

各种掺混型缓释肥相比较,掺混型 4、5、1、2 在促进小麦生长发育及提高小麦籽粒品质方面有更优的效果。

5.2.2 掺混型缓释肥对大田玉米的影响

(1) 玉米产量及产量构成因素

表 5-10、5-11 为不同掺混型缓释肥处理大田玉米产量及其产量构成因素。由表 5-11 可以看出,与等 NPK 养分化肥处理相比,施用掺混型缓释肥能显著提高玉米产量,增产幅度在 8.01%-27.00%。方差分析(表 5-12)表明本试验的 7 个处理之间产量差异达极显著水平。经检验(表 5-13),掺混型缓释肥各处理与等 NPK 处理之间差异达显著水平;各个掺混型缓释肥处理之间差异不显著。

由表 5-10 可知,施肥可以增加玉米穗长,但施用掺混型缓释肥与施用等 NPK 养分化肥对穗长的增加基本相同。与等 NPK 养分化肥处理相比,施用掺混型缓释肥可以明显降低秃尖长度,增加穗粒数与穗粒重,提高千粒重。5 种掺混型缓释肥相比较,掺混型 1、2 处理对产量构成各因素促进作用较大。

表 5-12 不同掺混型缓释肥处理大田玉米产量构成因素

Table5-12 Effects of BBCRF on yield's factors of corn

处理	CK1	CK2	掺混型 1	掺混型 2	掺混型 3	掺混型 4	掺混型 5
Treatment	No fert.	Fertilizer	BBCRF1	BBCRF2	BBCRF3	BBCRF4	BBCRF5
穗长(cm)	13.7	16.6	17.9	16.5	17.3	15.9	17.4
Length of ear							
秃尖长(cm)	3.4	3.3	1.8	2.8	2.5	2.8	2.8
Length of barrenness							
穗粒数	220	300	382	334	347	310	316
Number of seeds/ear							
穗粒重(g)	640.667	803.333	1070.000	997.667	803.840	813.333	830.000
Weight of seeds/ear							
千粒重(g)	173.679	220.966	292.228	240.611	282.328	239.651	236.767
Weight of 1000 seeds							

表 5-13 不同掺混型缓释肥处理大田玉米产量

Table 5-13 Effects of BBCRF on yield

处理 Treatment	重复 Repetition	产量kg/hm ² Yield	平均 Average	比对照增产	
				CK1	CK2
无肥对照 CK1 No fert.	1	2291.67			
	2	2867.71			
	3	2208.33	2455.90		
等养分化肥 CK2 Fertilizer	1	4216.67			
	2	3452.08			
	3	4390.63	4019.79	63.68	
掺混型 1 BBCRF1	1	5432.29			
	2	4583.33			
	3	5302.08	5105.90	107.90	27.02
掺混型 2 BBCRF2	1	5090.63			
	2	4098.96			
	3	5096.88	4762.15	93.91	18.47
掺混型 3 BBCRF3	1	4515.63			
	2	3489.58			
	3	5019.79	4341.67	76.79	8.01
掺混型 4 BBCRF4	1	4791.67			
	2	5171.88			
	3	3622.92	4528.82	84.41	12.66
掺混型 5 BBCRF5	1	3536.46			
	2	5742.71			
	3	4234.38	4504.51	83.42	12.06

表 5-14 不同掺混型缓释肥处理大田玉米产量方差分析

Table 5-14 Variance analysis of yield of different BBCRF

变异来源 Source	DF	SS	MS	F	Pr>F
肥料间 Model	6	13252291.99	2208715.33	4.48	0.0098
误差 Error	14	6896949.64	492639.26		
总变异 Corrected	20	20149241.63			

表 5-15 不同掺混型缓释肥处理大田玉米产量显著性检验 (Duncan's Multiple test)
Table 5-15 Analysis of Variance Procedure Duncan's Multiple Range Test for variable BBCRF

处理 Treatment	平均产量 Average yield	差异显著性 significance	
		5%	1%
掺混型 1 BBCRF1	5105.9	A	A
掺混型 2 BBCRF2	4762.2	A	A
掺混型 4 BBCRF4	4528.8	A	A
掺混型 5 BBCRF5	4504.5	A	A
掺混型 3 BBCRF3	4341.7	A	A
CK2	4019.8	A	AB
CK1	2455.9	A	B

(2) 玉米植株养分含量

表 5-14 为不同掺混型缓释肥处理玉米收获后植株养分含量。由表 5-14 可以看出, 与等 NPK 养分化肥相比较, 掺混型缓释肥处理, 玉米收获时植株含氮量明显增加, 增加幅度在 0.48%-15.22%之间; 玉米含磷量: 掺混型 1、2、4、5 处理也有明显增加, 增加幅度在 9.57%-15.08%; 玉米含钾量: 只有掺混型 1 处理增加明显, 其他 4 个处理与等 NPK 养分化肥处理含量相同。

表 5-16 不同掺混型缓释肥处理大田玉米植株 N、P、K 养分含量

Table 5-16 Effects of BBCRF on nutrients N, P, K in frond of corn

处理	含氮量	含磷量	含钾量
Treatment	Concentration of N	Concentration of P	Concentration of K
	(%)	(%)	(%)
无肥对照 CK1	0.79	0.1	1
No fert.			
等 NPK 养分化肥 CK2	0.83	0.1	1
Fertilizer			
掺混型 1	0.96	0.1	2
BBCRF1			
掺混型 2	0.95	0.1	1
BBCRF2			
掺混型 3	0.86	0.1	1
BBCRF3			
掺混型 4	0.96	0.1	1
BBCRF4			
掺混型 5	0.84	0.1	1
BBCRF5			

(3) 土壤养分含量

表 5-15 为收获时不同掺混型缓释肥处理大田玉米土壤养分含量。由表 5-15 可知,土壤全氮含量,不施肥处理含量最高,5 种掺混型缓释肥处理则高于等 NPK 养分化肥处理;土壤全磷含量,等 NPK 养分化肥处理全磷含量最高,5 种掺混型缓释肥处理全磷含量均较不施肥与等 NPK 养分化肥有所降低,进一步说明使用掺混型缓释肥可以减少磷的固定。由表 5-9 还可知道,与施用等 NPK 养分化肥相比,施用掺混型缓释肥可以有效提高土壤速效氮、速效磷含量,速效钾含量则没有变化。

表 5-17 不同掺混型缓释肥大田玉米土壤养分含量

Table 5-17 Effects of BBCRF on total nutrients in soil of corn

处理 Treatment	全氮 Total N (g/kg)	速效氮 Available N (mg/kg)	全磷 Total P (g/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)
无肥对照 CK1 No fert.	1.12	57	0.84	0.3	55
等 NPK 养分化肥 CK2 Fertilizer	1.06	56	0.89	3.6	60
掺混型 1 BBCRF1	1.10	78	0.82	4.3	60
掺混型 2 BBCRF2	1.17	72	0.83	3.4	60
掺混型 3 BBCRF3	1.09	67	0.82	4.1	60
掺混型 4 BBCRF4	1.12	64	0.84	3.9	60
掺混型 5 BBCRF5	1.11	63	0.84	4.1	60

(4) 玉米子粒品质

粗脂肪

表 5-16 为不同掺混型缓释肥处理大田玉米籽粒粗脂肪含量。由表 5-16 可知,与不施肥相比,施用等 NPK 养分化肥,玉米籽粒粗脂肪含量略有提高,增加幅度为 3.86%;而施用掺混型缓释肥玉米籽粒粗脂肪含量提高较大,增幅在 5.40%-14.40%。与施用等 NPK 养分化肥相比,施用掺混型缓释肥玉米籽粒粗脂肪含量增幅为 1.54%-10.54%。5 种掺混型缓释肥相比较,掺混型 4、2、5 处理更能够促进玉米籽粒粗脂肪含量的提高。

表 5-18 不同掺混型缓释肥处理大田玉米籽粒粗脂肪含量

Table 5-18 Effects of BBCRF on crude fattiness content of corn

处理 Treatment	粗脂肪 Crude fattiness content (%)	比对照增 (%)	
		CK1	CK2
无肥对照 CK1 No fert.	3.89		
等 NPK 养分化肥 CK2 Fertilizer	4.04	3.86	
掺混型 1 BBCRF1	4.10	5.40	1.54
掺混型 2 BBCRF2	4.30	10.54	6.68
掺混型 3 BBCRF3	4.12	5.91	2.06
掺混型 4 BBCRF4	4.45	14.40	10.54
掺混型 5 BBCRF5	4.28	10.03	6.17

粗蛋白含量与产量

表 5-17 为不同掺混型缓释肥处理玉米籽粒粗蛋白含量。由表 5-17 可以看出，施肥有利于提高玉米籽粒蛋白质含量。与施用等 NPK 养分化肥相比，施用掺混型缓释肥，玉米籽粒粗蛋白含量均有一定提高，提高幅度为 1.82%-10.18%。5 种掺混型缓释肥相比较，掺混型 1、4、2 处理对提高玉米籽粒蛋白质含量有更积极的促进作用。

表 5-19 不同掺混型缓释肥处理大田玉米粗蛋白含量

Table 5-19 Effects of BBCRF on crude protein content of corn

处理 Treatment	粗蛋白含量 Crude protein content (%)	比对照增 (%) Increase production	
		CK1	CK2
无肥对照 CK1 No fert.	6.84		
等 NPK 养分化肥 CK2 Fertilizer	7.28	6.42	
掺混型 1 BBCRF1	8.02	17.25	10.18
掺混型 2 BBCRF2	7.52	9.97	3.34
掺混型 3 BBCRF3	7.41	8.36	1.83
掺混型 4 BBCRF4	7.71	12.67	5.88
掺混型 5 BBCRF5	7.51	9.71	3.09

蛋白质含量和玉米籽粒产量相结合可以得到玉米蛋白质产量。由表 5-18 可以看出, 施肥有利于提高玉米蛋白质产量。施用掺混型缓释肥与施用等 NPK 养分化肥相比较, 玉米籽粒蛋白质产量提高幅度为 2.12% - 29.97%。方差分析表明 (表 5-19), 本试验的 7 个处理蛋白质产量之间差异达极显著 ($P > F = 0.0014$)。经检验 (表 5-20), 掺混型缓释肥处理与不施肥对照差异达极显著; 掺混型缓释肥各个处理与等 NPK 养分化肥处理之间差异不显著。

表 5-20 不同掺混型缓释肥处理大田玉米蛋白质产量

Table 5-20 Effects of BBCRF on protein yield of corn

处理 Treatment	重复 Repetition	蛋白产量(kg/hm ²) Protein yield		比对照增(%) Increase productin	
		平均 Average			
无肥对照 CK1 No fert.	1	156.77			
	2	196.18			
	3	151.07	168.01		
等 NPK 化肥 CK2 Fertilizer	1	330.59			
	2	270.64			
	3	344.23	315.15	87.58	
掺混型 1 BBCRF1	1	435.78			
	2	367.68			
	3	425.33	409.60	143.80	29.97
掺混型 2 BBCRF2	1	383.02			
	2	308.41			
	3	383.49	358.30	113.27	13.69
掺混型 3 BBCRF3	1	334.74			
	2	258.68			
	3	372.12	321.85	91.57	2.12
掺混型 4 BBCRF4	1	339.63			
	2	319.72			
	3	387.09	348.81	107.62	10.68
掺混型 5 BBCRF5	1	265.41			
	2	430.99			
	3	317.79	338.06	101.22	7.27

表 5-21 不同掺混型缓释肥处理大田玉米蛋白产量方差分析

Table 5-21 Variance analysis of yield of different BBCRF

变异来源 Source	DF	SS	MS	F	Pr>F
肥料间 Model	6	101173.197	16862.200	6.92	0.0014
误差 Error	14	34101.181	42435.799		
总变异 Corrected	20	135274.378			

表 5-22 不同掺混型缓释肥处理大田玉米蛋白产量显著性检验 (Duncan's Multiple test)
Table 5-22 Analysis of Variance Procedure Duncan's Multiple Range Test for variable protein yield

处理 Treatment	平均产量 Average yield	差异显著性 Significance	
		5%	1%
掺混型 1 BBCRF1	409.60	A	A
掺混型 2 BBCRF2	358.31	A	A
掺混型 4 BBCRF4	348.81	A	A
掺混型 5 BBCRF5	338.06	A	A
掺混型 3 BBCRF3	321.85	A	A
CK2	315.15	A	A
CK1	168.01	B	B

总氨基酸及必需氨基酸

表 5-19 为不同掺混型缓释肥处理大田玉米总氨基酸含量及其组分。由表 5-19 可知, 与不施肥和施用等 NPK 养分化肥相比, 施用掺混型缓释肥可明显提高玉米籽粒总氨基酸含量。与施用等 NPK 养分化肥相比, 掺混型缓释肥的各个处理玉米籽粒总氨基酸含量提高幅度为 7.17%-16.87%。其中掺混型 4、3、1、2 提高幅度较大, 分别为 16.87%、12.29%、10.77%、10.74%。

从表 5-19 还可以看出, 施用掺混型缓释肥对玉米各氨基酸组分含量也有重要影响。与不施肥处理相比, 施用等 NPK 养分化肥, 降低了天门冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、蛋氨酸、赖氨酸、色氨酸的含量, 而施用掺混型缓释肥则有利于这些氨基酸的增加。与施用等 NPK 养分化肥相比, 施用 5 种掺混型缓释肥提高了组氨酸含量; 掺混型缓释肥 1、2、3、4 的使用提高了普氨酸、亮氨酸的含量; 掺混型 1、3、4 的使用提高了丝氨酸的含量; 掺混型 1、4 的使用提高了异亮氨酸的含量; 掺混型 3、4 的使用提高了丙氨酸的含量。

表 5-23 不同掺混型缓释肥处理大田玉米总氨基酸及其组分

Table 5-23 Effects of BBCRF on total and essential acid contents of corn

	CK1	CK2	掺混型 1	掺混型 2	掺混型 3	掺混型 4	掺混型 5
	No fert.	Fertilizer	BBCRF1	BBCRF2	BBCRF3	BBCRF4	BBCRF5
天门冬氨酸 Asparagine	0.482	0.341	0.53	0.509	0.551	0.603	0.64
丝氨酸 Serine	0.363	0.435	0.436	0.429	0.44	0.485	0.415
谷氨酸 Glutamic acid	0.791	0.679	0.97	0.963	1.004	1.04	0.888
甘氨酸 Glycin	0.283	0.231	0.312	0.313	0.304	0.347	0.436
组氨酸 Histidine	0.129	0.269	0.354	0.324	0.332	0.365	0.46
精氨酸 Arginine	0.532	0.56	0.559	0.522	0.558	0.607	0.476
苏氨酸 Threonine	0.283	0.327	0.324	0.314	0.315	0.359	0.299
丙氨酸 Alanine	0.593	0.699	0.67	0.696	0.707	0.75	0.671
脯氨酸 Proline	0.58	0.678	0.692	0.721	0.709	0.746	0.647
胱氨酸 Cystine	0.311	0.383	0.508	0.578	0.555	0.348	0.373
酪氨酸 Tyrosine	0.356	0.46	0.459	0.452	0.446	0.499	0.396
缬氨酸 valine	0.352	0.397	0.382	0.378	0.383	0.419	0.371
蛋氨酸 Methionine	0.053	0.048	0.057	0.08	0.047	0.049	0.068
赖氨酸 Lysine	0.375	0.33	0.345	0.356	0.357	0.42	0.382
异亮氨酸 Isleucine	0.245	0.282	0.287	0.278	0.28	0.293	0.267
亮氨酸 Leucine	0.827	0.99	0.994	0.99	1.033	1.015	0.929

苯丙氨酸 Phenylalanine	0.34	0.456	0.482	0.455	0.463	0.484	0.395
色氨酸 Tryptophan	0.033	0.027	0.047	0.047	0.039	0.042	0.021
总氨酸 Total amino acid	6.928	7.592	8.408	8.405	8.523	8.871	8.134

粗淀粉

表 5-20 为不同掺混型缓释肥处理大田玉米籽粒粗淀粉含量。施肥对玉米籽粒粗淀粉含量影响较小。与施用等 NPK 养分化肥相比，施用掺混型缓释肥可使玉米籽粒粗淀粉含量略有升高，升幅在 0.74%-1.63%。

表 5-24 不同掺混型缓释肥处理大田玉米籽粒粗淀粉含量

Table 5-24 Effects of BBCRF on crude starch content of corn

处理 Treatment	粗淀粉 Crude starch content (%)	比对照增 (%) Increase production	
		CK1	CK2
无肥对照 CK1 No fert.	74.26		
等 NPK 养分化肥 CK2 Fertilizer	73.06	-1.62	
掺混型 1 BBCRF1	74.08	-0.24	1.40
掺混型 2 BBCRF2	73.81	-0.61	1.03
掺混型 3 BBCRF3	74.34	0.11	1.75
掺混型 4 BBCRF4	73.6	-0.89	0.74
掺混型 5 BBCRF5	74.25	-0.01	1.63

游离糖及其组分

表 5-21、图 5-8、图 5-9 为通过高效液相色谱法测定的不同掺混型缓释肥处理玉米籽粒中可溶性糖及其含量。由表 5-21 可以看出，不同掺混型缓释肥对玉米籽粒可溶性糖含量影响很大。玉米籽粒中的可溶性糖包括：多糖、二糖、葡萄糖、果糖等，其中多糖 > 二糖 > 葡萄糖 > 果糖。与不施肥相比，施用等 NPK 养分化肥玉米籽粒的总糖含量降低，具体表现在多糖、二糖、葡萄糖、果糖含量的降低；而施用掺混型缓释肥 1、2 增加了玉米籽粒的可溶性糖含量，具体表现为多糖含量的增加。与单纯施用化肥相比，5 种掺混型缓释肥处理均可使玉米籽粒的可溶性糖含量增加，具体表现在多糖、二糖的增加，葡萄糖、果糖的降低。

表 5-25 不同掺混型缓释肥处理玉米籽粒游离糖及其组分

Table5-25 Effects of BBCRF on soluble sugar content and its factors of corn

处理 Treatment	多糖 Amylose (%)	二糖 Disacchride (%)	葡萄糖 Glucose (%)	果糖 Fructose (%)	总糖 Total (%)
无肥对照 CK1 No fert.	23.712	1.162	0.559	0.252	25.685
等 NPK 养分化肥 CK2 Fertilizer	16.85	0.925	0.535	0.219	18.529
掺混型 1 BBCRF1	24.483	1.16	0.546	0.205	26.394
掺混型 2 BBCRF2	25.526	1.113	0.467	0.184	27.29
掺混型 3 BBCRF3	20.944	1.088	0.491	0.213	22.736
掺混型 4 BBCRF4	23.237	0.93	0.407	0.186	24.76
掺混型 5 BBCRF5	21.565	1.14	0.464	0.177	23.346

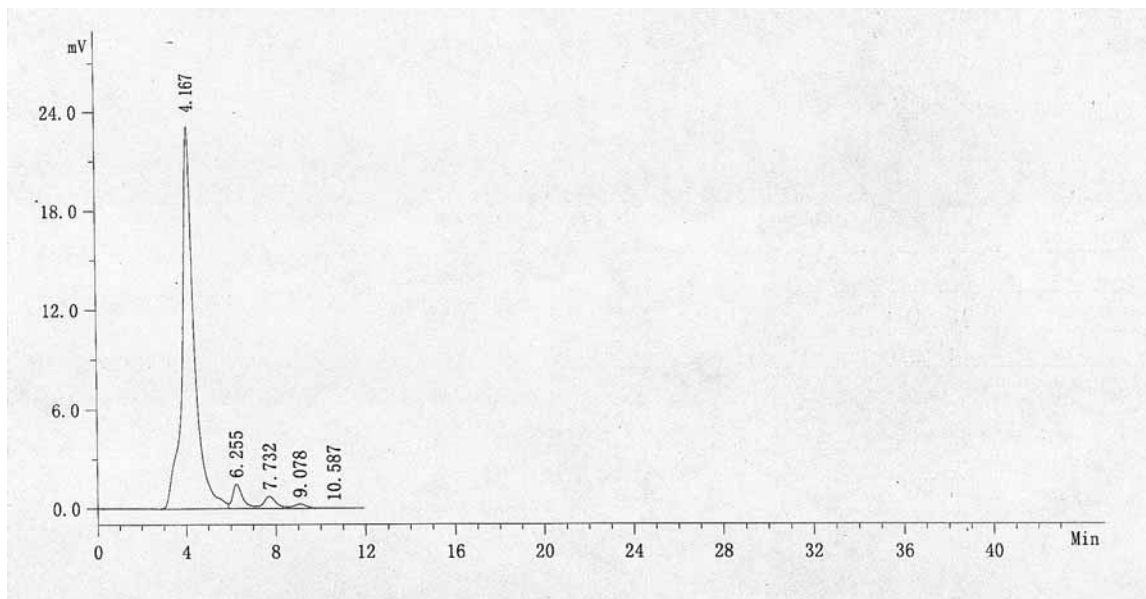


图 5-8 掺混型缓/控释肥 1 处理玉米籽粒高效液相色谱图

Fig.5-8 The chromatogram map of soluble sugar in corn of treatment BBCRF1

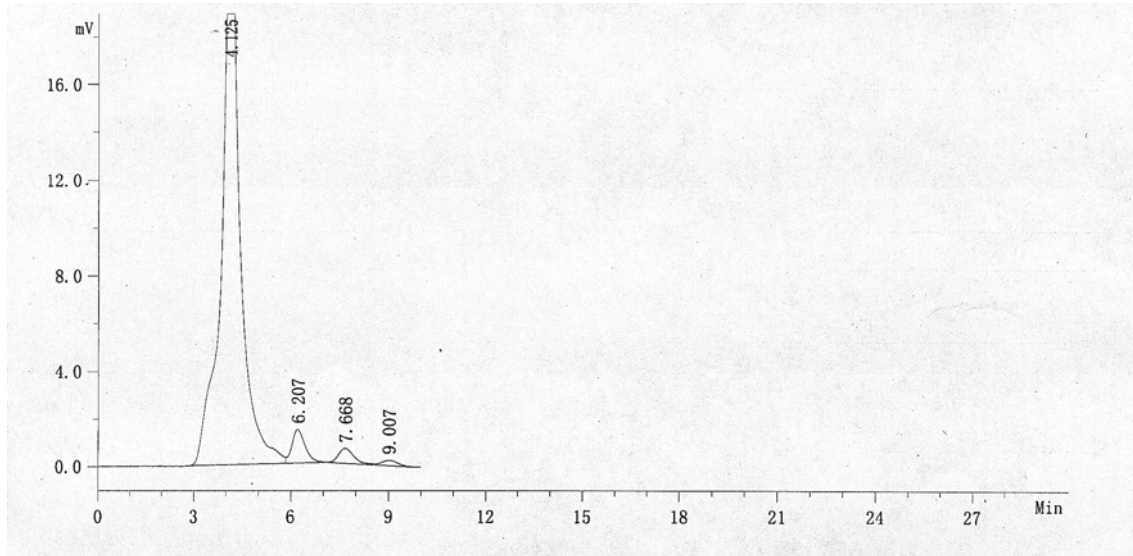


图 5-9 掺混型缓/控释肥 2 处理玉米籽粒高效液相色谱图

Fig.5-9 The chromatogram map of soluble sugar in corn of treatment BBCRF2

(5) 小结

施用掺混型缓释肥，能够显著提高玉米产量，增产幅度在 8.01%-27.00%。具体表现为降低玉米秃尖长度，增加穗粒数与穗粒重，提高千粒重。

与不施肥处理相比，施用等 NPK 养分化肥降低了土壤全氮含量，而施用掺混型缓释肥可以提高土壤全氮含量。与施用等 NPK 养分化肥相比，施用掺混型缓释肥可以降低土壤全磷含量，从而降低了磷在土壤中的固定，提高土壤速效氮、速效磷、速效钾含量。

施用掺混型缓释肥对玉米籽粒的品质性状影响很大。增加了玉米籽粒粗脂肪含量、蛋白质含量及蛋白质产量；显著增加了玉米籽粒总氨基酸的含量，表现在赖氨酸、色氨酸、蛋氨酸、甘氨酸、谷氨酸、天门冬氨酸含量的提高。施用掺混型缓释肥对玉米籽粒粗淀粉含量影响较小，与施用等 NPK 养分化肥相比升幅只有 0.74%-1.63%。与施用等 NPK 养分化肥相比，施用掺混型缓释肥，增加了游离糖的含量表现为多糖、二糖含量的增加，葡萄糖、果糖含量的降低。

各种掺混型缓释肥相比较，综合各方面因素，掺混型 1、2 在促进玉米生长发育及提高玉米籽粒产量及品质方面有更优的效果。

第六章 结论与讨论

6.1 讨论

(1) 缓释肥对作物的安全性及其养分释放特征

在胶结包膜型缓释肥的生产中所选用的造粒粘结剂和包膜材料,不但要具有价格低廉、造粒效果好等特点而且不能影响作物种子正常的发芽和生长发育。本试验所研制的4种粘结剂对小麦的发芽没有抑制作用,在不同的浓度下,小麦种子的发芽率都在99%以上,与清水对照相似。采用以上4种粘结剂研制的新型胶结包膜缓释肥,以等NPK养分化肥和不施肥为对照,在盆栽条件下研究新型肥料对小麦出苗及苗期生长的影响。结果表明,各个处理小麦的出苗率均在95%以上,与等NPK养分化肥和不施肥对照相似。冬前调查显示,小麦地上部干重、叶面积、叶绿素含量与等NPK养分化肥和不施肥各项指标不但没有减少反而有所增加。说明用4种胶结剂做成的胶结包膜型缓释肥对小麦出苗以及苗期的生长没有不良影响。

肥料具有缓释性能,对于提高肥料利用率、减少肥料损失、降低施肥对环境造成的污染都具有重要意义;但是肥料的养分释放速度不能太慢,否则不能满足作物生长发育对养分的需求。因此,肥料的缓释性能必须适宜,其释放特性与作物的需肥特性要基本一致。所以在实际生产中要根据作物需肥特点选择使用。本研究中我们又将不同类型的缓释肥料根据其养分释放期的长短结合作物需肥规律,按照一定比例进行掺混形成掺混型缓释肥。它的养分供应速缓相济、前后兼顾,养分释放规律与作物需肥规律基本相一致,克服了包膜肥料供肥滞后和化肥后期供肥不足的弊端,具有明显的控释特性。研究表明掺混型缓释肥的施用,能够明显提高作物的产量和品质。对于延缓后期衰老、增加穗粒重与千粒重,优化产量结构起到了重要作用。

(2) 缓释肥对土壤中有效养分变化及对作物生长发育的影响

缓释肥施入土壤以后,土壤中的速效氮、磷、钾营养元素的含量变化在一定程度上反应了该肥料的养分释放情况。本研究中掺混型缓释肥施入土壤后,其土壤中有效氮、磷、钾养分变化曲线反映了其养分的释放规律且与作物需肥规律基本吻合。与等NPK养分化肥相比,掺混型缓释肥能明显促进作物的生长发育,提高产量。主要表现在株高、穗长、穗粒数、穗粒重均高于等NPK养分化肥及不施肥处理,不育小穗数均低于等NPK养分化肥及不施肥处理;延长叶片功能期、促进叶绿素合成,使作物能够较长时间的保持足够的绿叶面积;对作物中后期干物质的积累有明显的促进作用。胶结型缓释肥施入土壤后,土壤中速效养分的变化趋势与掺混型缓释肥相似。

(3) 掺混型缓释肥对作物籽粒品质的影响

产量和品质综合分析才具有实际的生产意义。本研究通过几种不同的掺混型缓释肥对大田小麦、玉米籽粒品质的影响,也进一步表明,合理运用各种类型缓释肥不仅可以调节产量,而且可以改善品质,从而实现产量和品质的同步调整,改善综合生产能力。

品质与特定用途相联系，离开用途谈品质无实际意义。例如小麦，一般认为品质包括籽粒品质、营养品质、面粉品质、面团品质等。用途不同，品质指标标准就不同。本研究的结果也进一步表明，各种掺混型缓释肥对众多品质指标的影响有较大差异。因此，选择合适的掺混型缓释肥，对于促进作物生产的产业化具有重要意义。

6.2 结论

(1) 研究表明，本试验所研制的 4 种胶结剂对小麦的发芽没有抑制作用，在不同的浓度下，小麦种子的发芽率都在 99% 以上，与清水对照相似。说明 CF-2 胶结剂，塑料—淀粉混聚物胶结剂，粘土 - 聚酯混聚物胶结剂，腐植酸 - 聚酯混聚物胶结剂对小麦种子的发芽是安全的。

采用以上 4 种胶结剂研制的胶结包膜型缓/控释肥，以等 NPK 养分化肥和不施肥为对照，在盆栽条件下研究新型肥料对小麦出苗及苗期生长的影响。结果表明，各个处理小麦的出苗率均在 95% 以上，与等 NPK 养分化肥和不施肥对照相似。冬前调查显示，小麦地上部干重、叶面积、叶绿素含量与等 NPK 养分化肥和不施肥各项指标不但没有减少反而有所增加。说明用 4 种胶结剂做成的胶结包膜缓/控释肥对小麦出苗以及苗期的生长没有不良影响。

(2) 胶结包膜型缓释肥的释放特征：胶结包膜型缓释肥在土壤中的累积释放曲线基本成抛物线状。整个释放过程分为三个阶段：释放速率持续上升、释放速率持续下降、释放速率迟滞三个阶段，整个释放过程存在一个释放高峰期。

包膜型缓释肥的氮素释放速率均低于胶结型缓释肥，释放曲线更加平缓。四种胶结型缓释肥料相比较，塑料 - 淀粉胶结肥养分释放期最长，其次是粘土 - 聚酯胶结肥，再次是腐植酸 - 聚酯胶结肥，CF-2 胶结肥释放期最短。三种包膜型缓释肥相比较，塑料淀粉包膜肥释放期最长，其次是粘土 - 聚酯包膜肥，腐植酸 - 聚酯包膜肥释放期较短。在实际生产中可以根据作物需肥特点选择使用。

(3) 胶结包膜型缓释肥施入土壤中有效氮、磷、钾含量的变化可以反映出胶结包膜型缓释肥的养分释放情况。掺混型缓释肥施入土壤后从小麦返青至成熟的生长阶段，土壤中碱解氮含量呈现两个高峰，分别在拔节期和抽穗期，这两个生育时期正是小麦生长的两个需肥高峰期。等 NPK 养分化肥及不施肥处理土壤碱解氮峰值只出现在抽穗期。虽然在返青期等 NPK 养分化肥处理土壤中的碱解氮、速效磷高于掺混型缓释肥处理，但是从孕穗期至收获期掺混型缓释肥的处理则明显高于等 NPK 养分化肥处理和不施肥处理，这充分体现了掺混型缓释肥的养分缓释效果，使土壤在小麦生长中后期有充足的养分供给。胶结型缓释肥施入土壤后，土壤碱解氮、速效磷、速效钾变化规律与掺混型缓释肥相似。与等 NPK 养分化肥相比，掺混、胶结型缓控释肥能明显促进作物的生长发育，提高产量。主要表现在株高、穗长、穗粒数、穗粒重均高于等 NPK 养分化肥及不施肥处理，不育小穗数均低于等 NPK 养分化肥及不施肥处理；延长叶片功能期、促进叶绿素合成，使作物能够较长时间的保持足够的绿叶面积；对作物中后期干物质的积累有明显的促进作用。

包膜型缓释肥施入土壤后，在返青期、拔节期、孕穗期土壤中速效氮、磷、钾含量低于等各 NPK 掺混肥处理。从抽穗期至收获期包膜型缓释肥的各处理土壤中碱解氮含量则缓慢上升，一直保持高于等 NPK 养分化肥处理的水平。

(4) 施用掺混型缓释肥能够提高小麦籽粒的营养品质、加工品质。表现在能够增加小麦籽粒

的容重,增加蛋白质含量,提高单位面积蛋白质产量,提高小麦籽粒总氨基酸及必需氨基酸含量;增加湿面筋含量,增加沉降值和降落值,从而降低了酶活性,增加了小麦籽粒及面粉的耐贮藏性;提高了总糖含量,表现在多糖、四糖、二糖含量的增加。

施用掺混型缓释肥对玉米籽粒的品质性状影响很大。表现在增加了玉米籽粒粗脂肪含量、蛋白质含量及蛋白质产量;显著增加了玉米籽粒总氨基酸的含量,表现在赖氨酸、色氨酸、蛋氨酸、甘氨酸、谷氨酸、天门冬氨酸含量的提高。施用掺混型缓释肥对玉米籽粒粗淀粉含量影响较小,与施用等 NPK 养分化肥相比升幅只有 0.74%-1.63%。与施用等 NPK 养分化肥相比,施用掺混型缓释肥,增加了游离糖的含量表现为多糖、二糖含量的增加,葡萄糖、果糖含量的降低。

(5) 综合各方面因素比较,胶结型缓释肥相比较,以塑料-淀粉胶结肥为最好,粘土-聚酯胶结肥次之,腐植酸-聚酯胶结肥居第三。

6.3 创新点

(1) 选用不同材料制备不同时间段释放养分的胶结型和胶结包膜型缓释肥,是对缓释肥料的发展。

(2) 采用混配的方法,将不同时间段释放养分的肥料按作物需要比例掺混,解决了养分释放速率与作物需肥规律基本相吻合的问题。对缓/控释肥料的发展有重要的参考价值。

(3) 论文通过盆栽和大田试验,证明不同缓释肥的合理组合,不仅可以提高作物产量,而且可以改善品质。

参 考 文 献

1. 鲍士旦, 土壤农化分析, 中国农业出版社, 1999。
2. 陈光, 李立中, 张平, 包膜尿素对玉米吸氮及产量的影响, 吉林农业大学学报, 1996, 18(4): 61-65。
3. 陈平, 崔斌, 张逢星, 缓释肥料的研究与进展, 宝鸡文理学院学报(自然科学版), 2000, 20(3): 189-192。
4. 陈剑慧, 曹一平, 徐涵, 房增国, 毛达如, 有机高聚物包膜控释肥氮素释放特性的测定与农业评价, 植物营养与肥料学报, 2002, 8(1): 44-47。
5. 段平, 缓效多营养包硫尿素氮溶出速率的试验研究, 磷肥与复肥, 2000, 15(2): 21-22。
6. 杜昌文, 周健民, 控释肥料的研制及其进展, 土壤, 2002, (3) 127-133。
7. 杜建军, 包膜控释肥养分释放特性评价方法的研究进展, 植物营养与肥料学报 2002, 8(1) 16-21。
8. 符建荣, 控释氮肥对水稻的增产效应及提高肥料利用率的研究[J], 植物营养与肥料学报, 2001, 7(2): 145-152。
9. 樊小林, 廖宗文, 控释肥料与平衡施肥和提高肥料利用率, 植物营养与肥料学报, 1998, 4(3): 219-223。
10. 何大超, 包裹型复合肥缓效性的测定, 磷肥与复肥, 1987, (3): 26-28。
11. 何绪生, 李素霞, 控释肥料的研究进展, 植物营养与肥料学报, 1998, 4(2) 97-106。
12. 候翠红, 控制释放肥料养分释放特性的研究, 磷肥与复肥, 1998, 13(4) 6-8。
13. 黄科延, 戴平安, 早稻施用控释氮肥的效果[J], 湖南农业大学学报, 2002, 28(1): 12-15。
14. 黄立章, 石伟勇, 吴建富, 控释肥料的研究动态与展望, 浙江农业大学学报(自然科学版), 2002, 24(5) 727-730。
15. 陆欣, 王申贵, 王海洪, 王艳, 新型尿每抑制剂的试验研究, 土壤学报, 1997, 34(4): 461-466。
16. 李远波, 化肥的未来[J], 化工文摘, 2000, (1): 27。
17. 李家康, 对我国化肥使用前景的剖析, 植物营养与肥料学报, 2001, 7(1)
18. 李生秀, 植物营养与肥料学科的现状与展望, 植物营养与肥料学报, 1995, 5(3): 193-205。
19. 梁智, 何生丽, 矿物包裹型缓释肥料肥效研究, 新疆农业科学, 2002, 39(6): 360-361。
20. 裴东云, 国外缓效肥料简介[J]. 化肥工业, 1984, 3: 71-74。
21. 全云飞, 龚佩珍, 棉花专用包膜肥应用试验初报, 江苏农业科学, 1996, (2): 42-43。
22. 山田文雄, 越野正义, 藤井国博等著, 韩辰极, 付玉振等译, 肥料分析方法详解(修订版), 北京: 化学工业出版社, 1983, 483-486。
23. 孙来九, 缓效氮肥的研制及应用[J], 化肥工业, 1979, 6: 58-61。
24. 宋波, 毛小云, 杜建军, 廖宗文, 控释技术处理碳铵、尿素的肥效及其机理初探, 植物营养与肥料学报. 2003, 9(1): 50-56。

25. 王正银, 胡商钦, 孙彭寿, 作物营养与品质, 中国农业出版社, 1999年6月, 137-146。
26. 王正银, 徐卫红, 几种缓释尿基复合肥氮素释放的动力学研究, 磷肥与复肥, 2002, 17(2): 13-18。
27. 王少仁, 夏培桢, 包裹复肥的肥效及其氮磷的利用, 土壤, 1992, 24(2): 80-83。
28. 吴平霄, 廖宗文, 高表面活性矿物 一类新型的控释材料, 磷肥与复肥, 2000, 15(7): 62-63。
29. 武志杰, 周健民, 开发缓释/控释肥料 提高化肥利用率, 中国科学院院刊, 1999(5): 357-360。
30. 徐和昌, 柯以侃, 郭立新, 黄沛成, 几种缓释肥料包膜的性质和分析方法, 中国农业科学, 1995, 28(4): 72-79。
31. 邢竹, 郭建华, 阎宗彪, 图层尿素在石灰性土壤上的行为, 植物营养与肥料学报. 1997, 3(1): 16-22。
32. 徐星凯, 尿每抑制剂/硝化抑制剂对土壤中尿素氮转化及形态分布的影响, 土壤学报, 37(3): 339-344。
33. 徐兆飞, 张慧叶, 张定一, 小麦品质及其改良, 气象出版社, 2000年1月。19-54。
34. 谢建昌, 世界肥料使用现状, 植物营养与肥料学报, 1998, 4(4): 321-330。
- 许秀成, 人口·粮食·化肥, 磷肥与复肥, 2000, 15(2): 1-4。
35. 许秀成, 李葑平, 包裹型缓/控释肥料释放专题报告, 第一报, 概念区分及评判标准, 磷肥与复肥, 2000a, 15(3) 1-6。
36. 许秀成, 李葑平, 包裹型缓/控释肥料释放专题报告, 第二报, 世界缓释/控制释放肥料生产、消费现状, 磷肥与复肥, 2000b, 15(4) 5-7。
37. 许秀成, 李葑平, 包裹型缓/控释肥料释放专题报告, 第三报, 包膜(包裹)型控制释放肥料各国研究进展, 1. 美国、加拿大; 2. 日本, 磷肥与复肥, 2000c, 15(6) 7-12。
38. 许秀成, 李葑平, 包裹型缓/控释肥料释放专题报告, 第三报, 包膜(包裹)型控制释放肥料各国研究进展, 3. 欧洲, 磷肥与复肥, 2001a, 16(2) 10-12。
39. 许秀成, 李葑平, 包裹型缓/控释肥料释放专题报告, 第三报, 包膜(包裹)型控制释放肥料各国研究进展, 4. 中国, 磷肥与复肥, 磷肥与复肥, 2001b, 16(2) 10-12。
40. 熊又升, 张行峰, 熊桂云等, 包膜缓释肥料养分释放速率评价方法的探讨, 磷肥与复肥, 1999, 14(10): 21-22。
41. 夏培桢, 王少仁, 赖金华, 包裹型复合肥对几种农作物的当季肥效, 土壤肥料, 1988, (1) 33-36。
42. 夏培桢, 王少仁, 包裹型复合肥料的肥效及残效, 磷肥与复肥, 1988, (3): 58-59。
43. 阎翠萍, 陈爱苹, 鲁晋秀, 郭亮虎, 特旱年旱地小麦缓释肥的增产效应, 山西农业科学, 2001, 29(3): 37-40。
44. 俞巧钢, 朱本岳, 叶雪珠, 控释肥在柑桔上的应用研究[J], 浙江农业学报, 2001, 13(4): 210-213。
45. 于经元, 白书培, 康仕芳, 缓释化肥概况(上), 化肥工业, 1997, 26(5) 15-19。
46. 于经元, 白书培, 康仕芳, 缓释化肥概况(下), 化肥工业, 1997, 26(6) 15-19。
47. 扬帆, 中国肥料产业现状与市场需求分析, 磷肥与复肥, 2004, 19(2): 1-6。
48. 张文辉, 段平, 侯翠红, 许秀成, 朱洪勋, 张翔, 磷肥与复肥, 1997, (4): 61-62。

49. 张春伦, 朱兴明, 胡思农, 缓释尿素的肥效及氮素利用率研究, 土壤肥料, 1998 (6): 17-20.
50. 张民, 控施和缓释肥研究现状与进展. 见: 冯峰, 张福锁等主编, 植物营养研究—进展与展望. 北京, 中国农业大学出版社, 2000, 177-179.
51. 郑圣先, 控释肥料提高氮素利用率的作用及对水稻效应的研究[J], 植物营养与肥料学报, 2001, 7 (1): 11-16.
52. 正圣先, 肖剑, 易国英, 控释肥料养分释放动力学及其机理研究, 第 1 报 温度对包膜型控释肥料养分释放的影响, 磷肥与复肥, 2002, 17 (4): 14-17.
53. 正圣先, 肖剑, 易国英, 控释肥料养分释放动力学及其机理研究, 第 2 报 水蒸气对包膜型控释肥料养分释放的影响, 磷肥与复肥, 2002, 17 (522-25.): 14-17.
54. 张浩, 王正银, 缓释/控释肥料研究进展, 黑龙江农业科学, 2002, (5): 18-20.
55. 翟军海, 高亚军, 周建斌, 缓/控释肥料研究概述, 干旱地区农业研究, 2002, (20) 1: 45-47.
56. 张平, 索滨华, 杨晓光, 缓释肥料在苗木生产上的应用, 吉林农业大学学报, 1996, 18 (1): 46-50.
57. 植物生理学实验指导, 中国农业科技出版社, 1998.
58. 邹菁, 绿色环保型缓/控释肥料的研究现状及展望, 武汉化工学院学报, 2003, 25 (1): 14-16.
59. A. Shaviv & R.L. Mikkelsen, Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation-A review, Fertilizer research. 1993,35: 1-2.
60. Andn S, Yoshiware H, Controlled-release fertilizers and fertilization using them[P], Japan Patent: JP 11 116372[99 116372], 1999-04-27.
61. Attoe O J, Rasson F Land Dahnke WC, et al., Fertilizer release from packets and its effect on tree growth, Soil Sci. Am. Proc., 1970,34:137-142.
62. Blouin M, Rindt W and Moore O, Sulfur-coated fertilizers from controlled release: pilot plant production, J. Agri. Food Chem., 1997,9:801-808.
63. Central Glass Co., Ltd Controlled-release fertilize[P], Japan Patent:JP 5935874, 1984-08-31.
64. Central Glass Co., Ltd, Coating materials for controlled-release fertilizers[P], Japan Patent:JP59 35875[84 35875], 1984-08-31.
65. Christianson C B, Factors affecting N release of urea from reactive layer coated urea, Fert. Res., 1988,16:273-284.
66. Cartagena, M C, Diez J A, Aallejo A and Jimenez S, Valuation and Classification of coated slow-release nitrogen fertilizers by means of electroultrafiltration in an integrated system, Agrc.Med., 1993,123:122-127.
67. Diez J A, Cartegna M C, Vallejo A, et al., Establishing the solubility kinetics of N in coated fertilizers of slow-release by means of electroultrafiltration, Agrc. Med., 1991,121:291-296.
68. F. M. Helaly, Minimization of Water Pollution and environmental problems via controlled release styrene butadiene rubber formulations containing ammonium nitrate, Plastic, Rubber and Composites Processing and Applications, 1993,19 (2): 111-115.
69. Fujisawa E, Kobayashi A and Hanyuu T, A mechanism of nutrient release from resin-coated fertilizers and its estimation by kinetic methods, 4. Relation between release of nitrogen from

- resin-coated urea and water vapor pressure in saturated salt solutions, *Jpn.j.Soil Sci.Plant Nutr.*, 1998a,69:555-560.
70. Fujisawa E, Kobayashi A and Hanyuu T, A mechanism of nutrient release from resin-coated fertilizers and its estimation by kinetic methods,5.Effect of soil moisture level on release rates resin-coated mixed fertilizer, *Jpn.J.Soil Sci. Plant Nutr.* 1998a,69:582-589.
71. Golovlv Y I, Slow-release granulated fertilizers[P],USSR Patent: SU 1224299,1986-04-15.
72. Gandeza A T, Shaoji S and Yamada I, Divisions-8-fertilizer management & technology, Simulation of crop response to polyefin-coated urea: I. Filed dissolution, *Soil Sci. Soc.Am.J.*, 1991,55:1462-1467.
73. Gambash S, Kochba M and Avimelech Y, Study on slow-release fertilizers: II.A method for evaluation of nutrient release rate from slow-releasing fertilizers, *Soil sci.* 1990,150(1):446-450.
74. Holcomb E J, A technique for determining potassium release from a slow release fertilizer, *Comm. Soil.Sci. Plan Anal.*, 1981,12:271-277.
75. Honma S, Nakamura M, Mashita T, Controlled-release fertilizers[P],Japan Patent: JP 61 08039[86 08039],1986-03-11.
76. Hirose H, Kawamura M, Mashita T, Controlled-release fertilizers[P],Japan Patent:JP60 210585[85 210585],1985-10-23.
77. Hanyuu T, Kobayashi A and Fujisawa E, A mechanism of nutrient release from resin-coated fertilizers and its estimation by kinetic methods,6.Release of constituent compounds from resin-coated compound fertilizers, *Jpn.J.Soil Sci. Plant Nutr.*, 1999,70:117-122.
78. Ibay A C, Tenney L P, Polymers from hydroxyl acid and polycarboxylic acids[P],US Patent: US 5206341,1993-04-27.
79. Inaada K, Misumi S, Tsubochi M, Granular fertilizer with multilayer coating[P],Japan Patent: JP 08 151286[96 151286],1996-01-11.
80. Jimenez G S, Lopez V L M, Castaneda M E, Extraction of cobalt(II)and nickel(II)with lauric acid[J],*An Quim, Ser B*, 1987, 83(2)182-185.
81. Kobayashi A, Fujisawa E and Hanyuu T, A mechanism of nutrient release from resin-coated fertilizers and its estimation by kinetic methods,1.Effect of water vapor pressure on nutrient release, *Jpn.J.Soil Sci. Plant Nutr.* ,1997a,68:8-13.
82. Kobayashi A, Fujisawa E and Hanyuu T, A mechanism of nutrient release from resin-coated fertilizers and its estimation by kinetic methods,2.Release of nutrients affected by the permeability of water vapor through coating material, *Jpn.J.Soil Sci. Plant Nutr.* 1997a,68:14-22.
83. Kobayashi A, Fujisawa E and Hanyuu T, A mechanism of nutrient release from resin-coated fertilizers and its estimation by kinetic methods,3.An improved simulation model for nutrient release from coated urea Gaussian correction, *Jpn.J.Soil Sci. Plant Nutr.* ,1997a,68:487-492.
84. Korea Institute of Science and Technology, Controlled-release fertilizers[P],Japan Patent: JP 59 137386[84 137386],1984-08-07.
85. Kaneta Y, Awasaki H,Murai T, The notillage rice culture by single application of fertilizer in a nursery box with controlled-release fertilizer[J],*Jap J Soil Sci Plant Nutr.*, 1994,65:385-391.

86. Mikkelsen R L, Williams H M, Behel Jr A D, Nitrogen leaching and plant uptake from controlled-release fertilizers[J], *fertilizer Research*, 1994, 37(1):43-50.
87. Mitsubishi Chemical Industries Co., Ltd, Controlled-release nitrogen-phosphorus fertilizers[P], Japan Patent: JP 59 20673[84 20673], 1984-05-14.
88. Matsui F, Sasaki L, Hatano T, Porous perlite particles for controlled-release agrochemical manufacture[P], Japan Patent: JP 61 08039[8608039], 1986-03-11.
89. Nakamura H, Controlled-release fertilizers coated with the rmosetting resins[P], Japan Patent: JP 09 208355[97 208355], 1997-08-12.
90. Okonogi, Katsuji, Controlled-release solid fertilizers for hydroponics[P], Japan Patent: JP 61 31377[86 31377], 1986-02-20.
91. Oertli J J and Lunt O R, Controlled release of fertilizer minerals by incapsulating membranes: I. Factors influencing the rate of release, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1962.26:579-583.
92. Patel A J and Sharma G C, Nitrogen release characteristics of controlled-release fertilizers during a four months soil incubation, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1977, 102(3):364-367.
93. Paramasivam S and Alva A K, Nitrogen recovery from controlled-release fertilizers under intermittent leaching and dry cyclings, *Soil Sci.*, 1997a, 162:447-453.
94. Paramasivam S and Alva A K, Leaching of nitrogen forms from controlled-release nitrogen fertilizers, *Comm. Soil Sci. Plan Anal.*, 1997b, 28:1663-1674.
95. Song M Y S, The controlled release matrix type fertilizer and the process of preparation therefore [P], World Intellectual Property Organization Patent: W O 96 18591, 1996-01-20.
96. Salman O A, Polymer coating on urea pills to reduce dissolution rate, *J. Agric. Food Anal.*, 1988, 13:793-802.
97. Sanvant NK, A technique for predicting urea release from coated urea in wetland soil, *Comm. Soil Sci. Plan Anal.*, 1982, 13:793-802.
98. Shoji S, Gandeza AT, Kimum K, Simulation of response to polyolefin-coated urea :II Nitrogen uptake by corn., *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1991, 55:1468-1473.
99. Shoji S and Kanno H, Use of polyolefin-coated fertilizers for increasing fertilizer efficiency and reducing nitrate leaching and nitrous oxide emissions, *Fert. Res.*, 1994, 39:147-152.
100. Shaviv A, mikkelsen R L, Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation-A review[J], *Fertilizer Research*, 1993, (35):1-12.
101. Shoji S, Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air and water quality[J], *Commun Soil Sci Plant Anal*, 2001, 32(7&8):1057-1070.
102. Taki Chemical Co., Ltd, Controlled-release fertilizers[P], Japan Patent: JP 59 116185[84 116185], 1984-07-04.
103. Trenkel M E, *Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture*. International Fertilizer Industry Association, Paris, 1997.11.
104. Vallejo A, Cartagena M C, Rodrfiguez D and Diez J A, Nitrogen availability of soluble and

slow-release nitrogen fertilizers as assessed by electroultrafiltration, *Fert. Res.*, 1993,34:121-126.

105. Williams K R, Conway M E, Controlled-release fertilizer incorporated into super absorbent polyacrylate hydrogel[P], World Intellectual Property Organization Patent: WO 98 12154, 1998-5-26.

106. Waxman A, Lxpim M L S, Controlled-release fertilizers[P], Israeli Patent: IL 107837, 1998-02-08.

致 谢

本论文是在导师张夫道先生的悉心指导下完成的。三年来，在我的学习、工作、生活中，老师都给予我无私的帮助和教诲，保证了我的试验顺利完成。尤其是导师活跃的学术思想、务实严谨的科学态度、博大精深的学术积淀和吃苦耐劳的工作精神都将使我终生受益。值此论文完成之际，向导师张夫道先生献上我最真心的感谢和敬意！

在试验实施过程中有幸得到了姚造华研究员的亲切教导和细心关怀。试验室的王玉军副研究、张建峰老师、张树清博士后、林英华博士、刘秀梅博士、冯兆宾硕士、张俊清博士、李秀英副研究员、访问学者邹绍文老师、薛显、曹怀堂、张玉琳都给了我热情的帮助和大力支持。在肥料淋洗等试验过程中，和史春余博士后、何绪生博士进行了愉快的合作，他们都给我提出了很好的建议。山东农业大学实习生梁太波等参加了部分研究工作。化肥室的荣向农老师、北京市昌平国家褐潮土肥力与肥料效益监测站的张振山老师、李志月先生等在试验实施过程中给予我热情的帮助和大力的支持。在此一并表示最诚挚的谢意！

感谢沧州市农林科学院的各级领导给我提供继续学习的机会并对我的工作和生活予以照顾，使我得以顺利完成学业。感谢老朋友土壤肥料研究所的单秀枝女士、作物研究所的雷财林先生三年来在学习和生活中的多方关照。感谢我的爱人徐玉鹏先生和女儿三年来对我的理解和支持。

王茹芳

2004年4月20日

作者简历

王茹芳，女，1967年2月生于河北省东光县；1989年7月毕业于河北农业大学农学系农学专业，获农学学士学位；2001年9月至2004年7月在中国农业科学院研究生院申请硕士学位；1989年8月至今在沧州市农林科学院工作。