

包膜尿素减量化施用对大白菜产量品质及土壤硝酸盐含量的影响

董 亮,张玉凤*,于淑芳,杨 力,陈广思

(山东省农业科学院土壤肥料研究所,农业部新型肥料创制重点实验室,山东省肥料工程技术研究中心,济南 250100)

摘 要 通过埋袋法及大田试验,研究了包膜尿素的养分释放规律及其减量化施用对大白菜产量、品质及土壤硝酸盐含量的影响。结果表明,包膜尿素的氮素释放与大白菜的氮素吸收基本吻合。与习惯施肥等几个处理相比,30%减氮包膜尿素处理的大白菜产量最高,为 $39\,534.6\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。20%减氮包膜尿素处理的大白菜 Vc、还原糖含量最高,硝酸盐含量最低,有效提高了大白菜品质。减氮包膜尿素处理的大白菜含氮量较高,100%包膜尿素含磷、钾量较高,减氮包膜尿素处理减少了氮素向土体深层的淋溶损失,降低了环境污染风险。因此,减量施用包膜尿素能保证大白菜的产量、提高其品质,并有效减少硝态氮在土壤中的累积。

关键词 包膜尿素;大白菜;产量;品质;土壤硝酸盐

中图分类号 S145.6 文献标志码 A 文章编号:1672-2043(2011)02-0316-06

Effects of Decreasing Coated Urea Application on Chinese Cabbage's Yield, Quality and Soil Nitrate

DONG Liang, ZHANG Yu-feng*, YU Shu-fang, YANG Li, CHEN Guang-si

(Institute of Soil and Fertilizer, Shandong Academy of Agricultural Sciences; Key Laboratory of Invention and Manufacture of New Fertilizer Ministry of Agriculture the People's Republic of China; Shandong Engineering Research center for Fertilizers, Jinan 250100, China)

Abstract Nitrogen release rule of coated urea (CU) was studied by covered-bag method and effects of coated urea (CU) application on chinese cabbage's yield, quality and soil nitrate were studied by field experiment. The results indicated that the nitrogen release rule of CU was in keeping with the nitrogen uptaking rule of chinese cabbage. Chinese cabbage's yield treated by decreasing 30% nitrogen CU treatment was $39\,534.6\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ which was the highest compared with traditional fertilization treatment etc. Chinese cabbage's Vc content and sugar content were the highest treated by decreasing 20% nitrogen CU treatment, and this treatment also could reduce chinese cabbage's nitrate content effectively. Chinese cabbage's nitrogen uptaking treated by decreasing nitrogen CU treatment were higher than traditional fertilization treatment and 100% CU treatment, chinese cabbage's phosphor and potassium uptaking treated by 100% CU treatment were higher. Decreasing nitrogen CU treatment could reduce soil nitrate's leaching to soil depth, therefore, decreasing nitrogen CU treatment could reduce environment pollution risk. In a word, decreasing nitrogen CU treatment could ensure chinese cabbage's yield, increase quality and reduce soil nitrate's accumulation degree.

Keywords coated urea; chinese cabbage; yield; quality; soil nitrate

随着人们生活水平的提高及对生态环境保护和自身健康保护意识的增强,对安全、卫生、洁净的农产品的需求也日益增长^[1]。针对目前由于化学肥料用量

过高而引起的人类健康、环境等一系列问题的出现^[2],科研工作者们提出肥料减量化技术的概念,要求在减少肥料施用量的情况下仍能做到作物不减产。而在施用传统的速效肥料种植作物时,减少肥料用量很可能会冒着减产的风险。

控释肥料是近年来国内外肥料研究的热点之一,被誉为“21世纪发展化学肥料生产的最佳途径”^[3]。控释肥由于其养分缓慢释放并与作物吸收相吻合的特点,施用控释肥料能实现作物一次性施肥,是减少肥料

收稿日期 2010-06-10

基金项目:十一五国家科技支撑计划项目“果树蔬菜高效施肥技术模式研究”(2008BADA4B05)

作者简介:董 亮(1979—),女,山东安丘人,助理研究员,硕士,主要从事植物营养与新型肥料研制等方面的工作。

E-mail: dl_xm@163.com

* 通讯作者 张玉凤 E-mail: zhyfsdu@163.com

用量、降低施肥成本、提高肥料利用率、保证作物高产、有效降低因施肥造成的环境污染问题的新型肥料^[4]。

蔬菜作物具有根系较浅、吸收能力弱,喜好肥水等营养特性,因而菜地的施肥量普遍较高^[5-6]。其结果则是蔬菜逐年增产幅度下降、品质降低、肥料利用率低下、经济效益不高,更为严重的是造成菜地土壤退化及严重的环境污染^[7]。因此,肥料减量化对于蔬菜生产不失为一项合理的施肥措施。

本试验以包膜尿素为供试肥料,通过田间试验研究包膜尿素减量化施用对露地大白菜产量、品质及土壤硝酸盐含量的影响,以期包膜尿素在蔬菜上的合理减量化应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试肥料:包膜尿素选用金正大公司生产的34%硫+树脂包膜尿素(控释期3个月),磷肥为过磷酸钙,钾肥为硫酸钾。

供试作物:大白菜,品种为义和早秋实F1。

供试田间试验土壤:褐土,质地中壤,含有机质13.3 mg·kg⁻¹、碱解氮137.76 mg·kg⁻¹、速效磷103.25 mg·kg⁻¹、速效钾292.33 mg·kg⁻¹, pH7.3。

1.2 试验方法

1.2.1 控释肥料养分释放率试验

地点布置在山东省农科院长期定位试验站,具体方法为:试验地面积为6 m²,先将1.88 kg过磷酸钙、0.05 kg硫酸钾肥均匀撒施在地面上,然后翻地。称取10 g包膜尿素(6 m²包膜尿素总用量为1.00 kg)缝合在孔径约为2 mm的尼龙网袋中,平铺于15 cm土壤深处,尽量使肥料散开,覆盖一定量的土后,在其上面种植大白菜,管理措施同农民习惯,分别于1、2、7、14、30、35、42、49、56、70 d取肥料样(每次3袋)。样品取出后用水轻轻洗掉泥土,58~60℃烘干至恒重(也

可自然风干,最后应为恒重),计算养分释放量。在取肥料样袋的同时取大白菜样,样品称量鲜重后烘干、粉碎,测定其中N含量,计算大白菜N吸收量。

1.2.2 田间试验

试验设计:试验共设7个处理,具体试验内容见表1。

田间试验布置于山东省济南市唐王镇司家村。大白菜于2009年8月中下旬移栽,11月中旬收获。收获时统计大白菜产量,取部分样品测定大白菜Vc含量、还原糖含量、硝酸盐含量,烘干后测定大白菜中N、P、K含量。同时从不同试验小区中用土钻取不同土层土样,测定土壤硝酸盐含量。

2 结果与分析

2.1 包膜尿素养分释放试验

供试包膜尿素在土壤中的氮素释放量曲线见图1。可以看出,在试验的时间段内,包膜尿素在土壤中的养分释放表现为两个阶段:养分快速释放期、养分缓慢释放迟滞期。其中,前7 d肥料养分释放较快,但由于测定时间是按照白菜的生长期确定的,大约只有2个多月,时间较短,从图1只能看出该包膜尿素的氮素释放一直处于上升状态。在70 d的时间内,在6 m²试验地块上,该包膜尿素的氮素释放量为350.99 g。不同时期收获的大白菜N素吸收量见图2。可以看出,大白菜在整个生长期内,对N素的吸收也一直处于上升状态,尤其是从42 d之后,即大白菜进入莲座中期之后,对养分需求量的增加趋势更为明显。结合图1来看,养分释放试验结果表明,包膜尿素的N素释放量能满足大白菜对N素的需求。

2.2 包膜尿素对露地大白菜产量、品质的影响

2.2.1 包膜尿素对大白菜产量的影响

由图3可以看出,在所有试验处理中,以30%减氮包膜尿素处理的大白菜产量最高,达到39 534.6

表1 试验设计

Table 1 Experiment design

处理 Treatment	试验内容 Experiment content
空白 CK	不施氮肥,磷钾肥一次基施,过磷酸钙 3 125 kg·hm ⁻² ,硫酸钾 82.5 kg·hm ⁻²
习惯施肥 Traditional fertilization	按农民习惯施肥,21-8-11 复合肥 375 kg·hm ⁻² ,磷酸二铵 750 kg·hm ⁻² ,追施尿素 750 kg·hm ⁻²
速效尿素 Urea	速效氮肥,磷钾肥一次基施,尿素 1 214.7 kg·hm ⁻² ,磷、钾同空白处理用量
100%包膜尿素 100%CU	与习惯施肥总养分相同的包膜尿素+磷钾,包膜尿素 1 643.4 kg·hm ⁻² ,磷、钾同空白处理用量,氮磷钾一次基施
20%减氮包膜尿素 Decreasing 20% N CU	氮肥减 20%,包膜尿素 1 314.7 kg·hm ⁻² ,磷钾同空白处理用量,氮磷钾一次基施
30%减氮包膜尿素 Decreasing 30% N CU	氮肥减 30%,包膜尿素 1 150.4 kg·hm ⁻² ,磷钾同空白处理用量,氮磷钾一次基施
40%减氮包膜尿素 Decreasing 40% N CU	氮肥减 40%,包膜尿素 986.0 kg·hm ⁻² ,磷钾同空白处理用量,氮磷钾一次基施

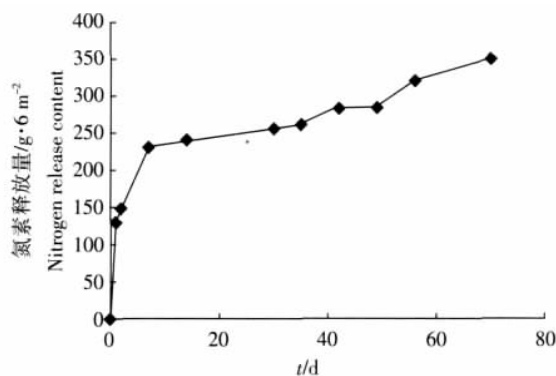


图 1 包膜尿素养分释放量曲线

Figure 1 The curve of N release content treated with coated urea

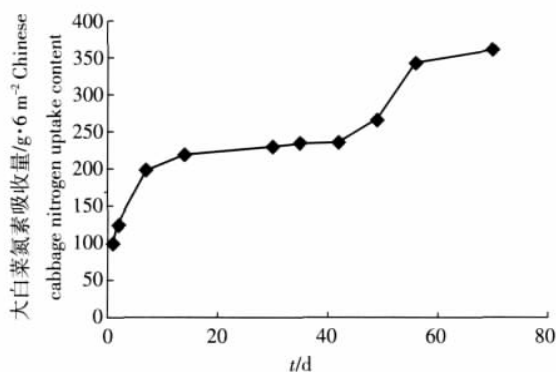
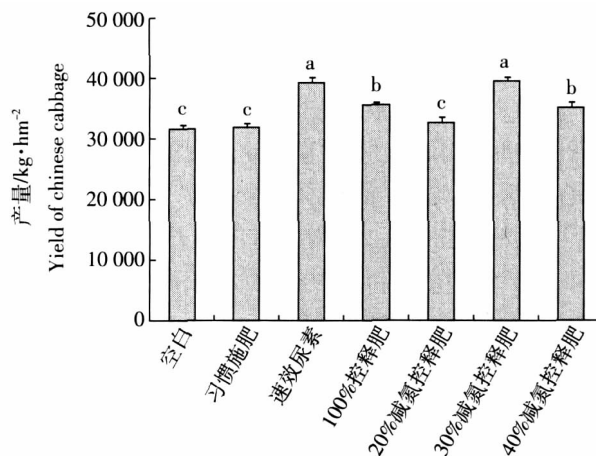


图 2 大白菜 N 素吸收量曲线

Figure 2 The curve of N uptaking content of chinese cabbage

kg·hm⁻²。与空白相比,习惯施肥、速效尿素、100%包膜尿素、20%减氮包膜尿素、30%减氮包膜尿素、40%减氮包膜尿素处理的大白菜产量分别增加 0.31%、23.97%、11.88%、2.94%、24.81%、11.02%。与习惯施肥相比,速效尿素、100%包膜尿素、20%减氮包膜尿素、30%减氮包膜尿素、40%减氮包膜尿素处理的大白菜产量分别增加 23.58%、11.53%、2.62%、24.42%、10.67%。与速效尿素相比,在包膜尿素处理中,只有 30%减氮包膜尿素处理的大白菜产量比速效尿素高



注:图中不同小写字母表示差异达到 5% 显著水平,以下图表中字母意义相同

Note: Different small letters mean significant at 5% level; The same symbol is used for table 2 to table 4

图 3 包膜尿素对大白菜产量的影响

Figure 3 Effect of coated urea on chinese cabbage's yield

出 265.6 kg·hm⁻²,说明 30%减氮包膜尿素处理的氮磷钾养分配比比较适合大白菜生长,利于大白菜生物量的累积。但统计分析显示,速效尿素与 30%减氮包膜尿素之间差异不显著。

2.2.2 包膜尿素对大白菜品质的影响

由表 2 可以看出,在大白菜 Vc 含量方面,以空白处理的大白菜 Vc 含量最高。分析原因,可能是由于生物量的提高而导致的“稀释效应”,使得产量越低,大白菜 Vc 含量反倒越高的现象出现,也可能是施肥影响了 Vc 代谢过程中的相关酶如半乳糖酸内酯脱氢酶的代谢活性,但具体原因还有待于进一步研究证实。由试验结果还可以看出,在还原糖含量方面,减氮 20%包膜尿素处理的大白菜还原糖含量最高,但与习惯施肥、速效尿素、减氮 30%包膜尿素处理之间差异不显著。在大白菜硝酸盐含量方面,速效尿素处理的大白菜硝酸盐含量最高,且与其他处理之间差异

表 2 包膜尿素对大白菜 Vc、还原糖及硝酸盐含量的影响

Table 2 Effect of coated urea on chinese cabbage's Vc, sugar and nitrate content

处理 Treatment	Vc/mg·100g ⁻¹	还原糖 sugar/%	硝酸盐 nitrate/mg·kg ⁻¹
空白 CK	14.09±0.27a	1.24±0.09bc	381.74±5.17b
习惯施肥 Traditional fertilization	12.77±0.18bcd	1.42±0.07a	383.08±4.59b
速效尿素 Urea	11.96±0.32d	1.39±0.01a	411.75±10.84a
100%包膜尿素 100% CU	13.20±0.61b	1.15±0.02c	363.32±17.45cd
20%减氮包膜尿素 Decreasing 20% N CU	13.36±0.61ab	1.45±0.12a	357.65±0.57d
30%减氮包膜尿素 Decreasing 30% N CU	13.03±0.70bc	1.33±0.06ab	375.13±8.79bc
40%减氮包膜尿素 Decreasing 40% N CU	12.26±0.15cd	1.11±0.05c	369.62±1.88bcd

达显著水平,控释肥处理的硝酸盐含量都较低,其中,以20%减氮包膜尿素处理的硝酸盐含量最低。

2.2.3 包膜尿素对大白菜养分含量的影响

由表3可以看出,在N含量方面,以20%减氮包膜尿素处理的大白菜N含量最高,统计分析显示,与30%减氮包膜尿素、40%减氮包膜尿素之间差异不显著。很明显,由于100%包膜尿素的氮素缓慢释放,所以100%包膜尿素处理的大白菜N含量低于习惯施肥、速效尿素处理。在P含量方面,空白处理的大白菜P含量最高,原因可能是空白处理没有施用氮肥,使得大白菜对其他元素的吸收能力增强。在包膜尿素处理中,以100%包膜尿素处理的大白菜P含量最高,说明此肥料的N、P、K配比比较适于大白菜对P的吸收。在K含量方面,100%包膜尿素处理的大白菜K含量最高,说明此N、P、K配比的肥料比较利于大白菜对K的吸收。

2.2.4 包膜尿素对土壤硝酸盐含量的影响

针对大白菜根系生长较浅(主要分布在0~20 cm土层)的特点,在进行土壤取样时,只取到60 cm深度。

由图4可以看出,各处理的土壤硝酸盐的累积呈现出不同的规律。其中习惯施肥、速效尿素表现出明显的升高趋势,40%减氮包膜尿素处理的土壤硝酸盐略有上升。100%包膜尿素、20%减氮包膜尿素、30%减氮包膜尿素都是呈现先升高、再降低的趋势。

用氮量相同的试验条件下,在0~20 cm的土层中,土壤硝酸盐含量的大小顺序为速效尿素>习惯施肥>100%包膜尿素>30%减氮包膜尿素>20%减氮包膜尿素>空白>40%减氮包膜尿素。在20~40 cm的土层中,土壤硝酸盐含量的大小顺序为速效尿素>30%减氮包膜尿素>20%减氮包膜尿素>习惯施肥>100%包膜尿素>40%减氮包膜尿素>空白。在40~60 cm土层中,土壤硝酸盐含量的大小顺序为习惯施肥>速效

尿素>空白>100%包膜尿素>40%减氮包膜尿素>30%减氮包膜尿素>20%减氮包膜尿素。

速效尿素处理虽然在0~20 cm土层中N素含量较高,表现出该处理下土壤对N的保蓄能力较强,但综合该处理在各个土层中硝酸盐含量都较高的现象,亦可以说明在该试验条件下,大白菜对该处理的N素吸收量少,且该处理的N素淋移情况也比较严重。在几种控释肥处理中,40%减氮包膜尿素各层硝酸盐含量都较低,说明大白菜吸收良好,且N素淋洗少。20%减氮包膜尿素、30%减氮包膜尿素在20~40 cm处出现了一个N素累积的小高峰,在40~60 cm的土层中硝酸盐含量很低,这对于大白菜生长及降低环境污染的效果也是比较好的。

3 讨论

在大力发展可持续农业、低碳农业的今天,具有减少能源浪费、保护环境的农业节能减排措施已越来越得到人们重视。缓控释肥与国家倡导的节能减排有重要关系,是发展节能减排的一条有效农业途径。

由于缓控释肥本身的研制特点,其不但能延长作物对有效养分吸收利用的有效期,而且与速效肥料相

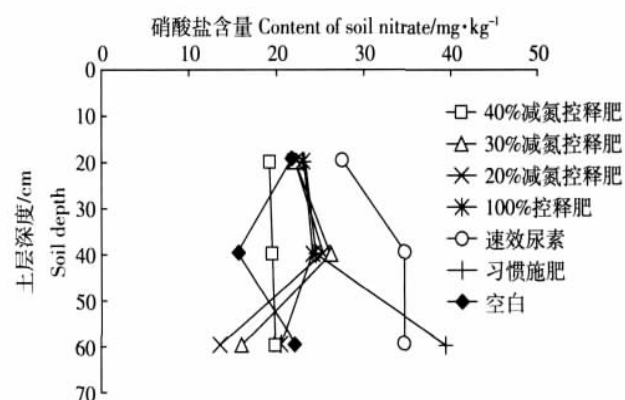


图4 包膜尿素对土壤不同土层硝酸盐含量的影响

Figure 4 Effect of coated urea on soil nitrate content

表3 包膜尿素对大白菜养分含量的影响

Table 3 Effect of coated urea on chinese cabbage's nutrient content

处理 Treatment	养分含量 Content of nutrient/%		
	N	P	K
空白 CK	4.04±0.06d	1.40±0.11a	3.63±0.06ab
习惯施肥 Traditional fertilization	4.32±0.12b	1.25±0.06ab	3.45±0.15bc
速效尿素 Urea	4.34±0.26b	1.32±0.08ab	3.61±0.18ab
100%包膜尿素 100% CU	4.22±0.06c	1.34±0.06ab	3.73±0.16a
20%减氮包膜尿素 Decreasing 20% N CU	4.51±0.06a	1.22±0.03b	3.23±0.12d
30%减氮包膜尿素 Decreasing 30% N CU	4.44±0.04a	1.22±0.10b	3.05±0.06d
40%减氮包膜尿素 Decreasing 40% N CU	4.45±0.08a	1.23±0.13b	3.24±0.05cd

比,对作物的有效性要长得多^[8]。包膜缓控释肥的养分释放期是反映包膜缓控释肥质量的重要评价指标^[9]。肥料施入土壤后,作物根系是从土壤中吸收养分的,包膜肥料在土壤中所表现出的养分释放率才是实际养分释放率。Zhang M C 等^[10]把包膜肥料装入尼龙网袋放入土壤中培养,测定袋中养分回收百分率来表示养分释放速率。杨相东等^[11]通过土壤-作物培养试验研究了包膜肥料在土壤介质中释放期的表现。本研究创新性的采用土壤中埋袋法同步研究了包膜尿素在土壤中的氮素养分释放及所栽种大白菜的氮素吸收情况,结果发现,肥料的氮素释放与大白菜的氮素吸收规律基本吻合,这也符合包膜尿素的研制初衷,即养分释放缓慢、与作物养分吸收相同步,从而提高作物对养分的利用效率。

目前,包膜尿素在水稻^[12]、小麦^[13]、玉米^[14]、草坪^[15]等作物上都表现出了明显的增产、提质作用。而对包膜尿素用量的研究还比较少。朱红英等^[16]研究了不同用量控释肥对玉米生物效应的影响,结果发现,当控释肥施用量是普通肥量的 2/3 或 1/2 时,玉米经济效益明显提高。聂军等^[17]通过田间试验研究了控释肥不同用量对水稻氮素利用及产量的影响,发现在试验设计的氮素范围内,稻谷产量随控释肥用量的增加而增加。本试验的结果显示,比全量减氮 20% 或 30% 时,大白菜品质及产量较高。这说明,与传统习惯施肥比较,施用控释肥可以减少用量而做到增产、提质,从而从根本上减少不必要的肥料投入,节约能源。

缓控释肥在降低因施肥而造成的环境污染方面表现出较强优势。一方面,通过减少水田中氨的挥发,或通过从用量上控制氮肥的大量施用,从而减少温室气体的产生^[18]。另一方面,降低土壤硝态氮的污染,进而避免地下水污染。研究表明,在养分利用率低下、不合理施用及过量灌溉条件下,硝态氮在土壤剖面中大量累积并向下淋溶,从而污染地下水^[19]。硝态氮在土壤剖面中的含量及其空间分布特征是表征硝态氮淋失风险的重要指标^[20]。深层土壤硝态氮累积量越高,表明农田硝态氮淋失风险越强。于淑芳等^[21]研究表明,施用非水溶性包膜控释肥料可以明显减少 1 m 土层硝酸盐残留,小麦季减少 65.94 kg·hm⁻²,玉米季减少 103.55 kg·hm⁻²。本研究表明,控释肥处理与速效尿素、习惯施肥处理相比,同样减少了土壤硝酸盐在深层土体中的累积,降低了因施肥而造成的地下水环境污染,尤其是减氮控释肥处理,降低效果尤为明显,这

与前人结果一致。

4 结论

(1)在该试验条件下,包膜尿素的 N 素释放和大白菜对 N 素的吸收相吻合,能基本满足大白菜对 N 素的需求。

(2)在包膜尿素处理中,30%减氮包膜尿素更有利于大白菜生物量的累积,产量高达 39 534.6 kg·hm⁻²。20%减氮包膜尿素处理的大白菜 Vc 含量、还原糖含量最高,硝酸盐含量最低。

(3)在大白菜养分含量方面,几个减氮处理的大白菜对 N 素的吸收量都比较高,而 P、K 则以 100%包膜尿素处理的大白菜吸收最多。

(4)结合大白菜对 N 素的吸收及土壤中硝酸盐含量来看,3 种减氮包膜尿素处理的大白菜能更有效地吸收利用 N 素,且 N 素淋移量少,减少了环境污染的风险。

总之,在本试验条件下,在大白菜上进行包膜尿素减量 20%~40% 完全可以保证大白菜的产量、品质,且能降低土壤硝酸盐污染风险。控释肥减量化施用符合农业可持续发展及国家倡导的节能减排的要求,应用前景广阔。

参考文献:

- [1] 乔红霞,汪羞德,朱爱凤,等. 化学肥料减量及有机肥施用对大葱产量和品质的影响[J]. 上海农业学报, 2005, 21(2): 49-52.
QIAO Hong-xia, WANG Xiu-de, ZHU Ai-feng, et al. Effects of decreasing chemical fertilizer application and applying organic fertilizer on yield and quality of welsh onion[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2005, 21(2): 49-52.
- [2] 林葆. 化肥与无公害农业[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 13-19.
LIN Bao. Fertilizer and pollution-free agriculture[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 13-19.
- [3] 何绪生,李素霞,李旭辉,等. 控效肥料的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(2): 97-106.
HE Xu-sheng, LI Su-xia, LI Xu-hui, et al. The progress of studies on controlled availability fertilizers[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1998, 4(2): 97-106.
- [4] 王小利,周建斌,郑险峰,等. 控释氮肥养分控释效果及合理施用研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 390-395.
WANG Xiao-li, ZHOU Jian-bin, ZHENG Xian-feng, et al. Nutrient releasing characteristics of controlled-release nitrogen fertilizer and its rational application[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9(4): 390-395.
- [5] 李晓林,张福锁,米国华. 平衡施肥与可持续优质蔬菜生产[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001.

- LI Xiao-lin, ZHANG Fu-suo, MI Guo-hua. Balanced fertilization and sustainable quality vegetable production[M]. Beijing :China Agricultural University Press, 2001.
- [6] 李俊良. 莱阳、寿光两种不同种植模式中蔬菜施肥问题的研究[D]. 北京 :中国农业大学博士论文, 2001.
- LI Jun-liang. Study on vegetables fertilization problems of different planting mode in Laiyang and Shouguang [D]. Beijing :China Agricultural University PhD Thesis, 2001.
- [7] 刘宏斌, 李志宏, 张维理, 等. 露地栽培条件下大白菜氮肥利用率与硝态氮淋溶损失研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3) :286-291.
- LIU Hong-bin, LI Zhi-hong, ZHANG Wei-li, et al. Study on N use efficiency of chinese cabbage and nitrate leaching under open field cultivation[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(3) :286-291.
- [8] Association of American plant food control officials(AAPFCO). Official publication No. 48. published by Association of American Plant Food Control Officials, Inc. ,West Lafayette, Indiana, USA, 1995.
- [9] 戴建军, 樊小林, 喻建刚, 等. 热固性树脂包膜控释肥料肥效期的快速测定方法[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3) :431-436.
- DAI Jian-jun, FAN Xiao-lin, YU Jian-gang, et al. Rapid determination method of thermosetting resin coated controlled-release fertilizers' longevity[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(3) :431-436.
- [10] Zhang M C, Nyborg M, Ryan J T. Determining permeability of coating of oplymer-coatde urea[J]. *Felt Res*, 1994, 38 :47-51.
- [11] 杨相东, 曹一平, 江荣风, 等. 几种包膜控释肥氮素释放特性的评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4) :501-507.
- YANG Xiang-dong, CAO Yi-ping, JIANG Rong-feng, et al. Evaluation of nutrients release feature of coated controlled-release fertilizer [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(4) :501-507.
- [12] 李方敏, 樊小林, 陈文东. 控释肥对水稻产量和氮肥利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4) :494-500.
- LI Fang-min, FAN Xiao-lin, CHEN Wen-dong. Effects of controlled release fertilizer on rice yield and nitrogen use efficiency[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(4) :494-500.
- [13] 杨雯玉, 贺明荣, 王远军, 等. 控释尿素与普通尿素配施对冬小麦氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(2) :627-633.
- YANG Wen-yu, HE Ming-rong, WANG Yuan-jun, et al. Effect of controlled-release urea combined application with urea on nitrogen utilization efficiency of winter wheat[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(2) :627-633.
- [14] 王宜伦, 韩燕来, 苗玉红, 等. 砂薄地夏玉米施用包膜氮肥效果研究[J]. 河南农业大学学报, 2005, 39(3) :349-351.
- WANG Yi-lun, HAN Yan-lai, MIAO Yu-hong, et al. Effect of controlled release N fertilizers application on summer maize in sandy soil [J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2005, 39(3) :349-351.
- [15] 陈 燕, 韩烈保. 春季施用 5 种缓/控释肥料对高尔夫球道草坪草生长的作用[J]. 草业科学, 2008, 25(5) :161-164.
- CHEN Yan, HAN Lie-bao. Effect of five slow/controlled release fertilizers on the growth of turfgrass in fairway in spring[J]. *Pratacultural Science*, 2008, 25(5) :161-164.
- [16] 朱红英, 董树亭, 胡昌浩, 等. 不同控释肥用量对玉米生产效应的影响[J]. 玉米科学, 2007, 15(2) :114-116.
- ZHU Hong-ying, DONG Shu-ting, HU Chang-hao, et al. Study on different dosages of controlled-release fertilizers in influencing the yield and efficiency of maize [J]. *Journal of Maize Science*, 2007, 15(2) :114-116.
- [17] 聂 军, 郑圣先. 控释肥料不同用量水平对水稻氮素利用和产量的影响[J]. 湖南农业科学, 2001, 6 :37-39.
- NIE Jun, ZHENG Sheng-xian. Effects of different dosage controlled release fertilizer on rice nitrogen utilization rate and yield[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2001, 6 :37-39.
- [18] 李方敏, 于广超, 樱井熊二. 控释肥料的环境效应研究进展[J]. 河南农业科学, 2008, 8 :8-13.
- LI Fang-min, YU Guang-chao, YINGJING Xiong-er. Research progress on environmental effect of controlled-release fertilizers[J]. *Henan Agricultural Sciences*, 2008, 8 :8-13.
- [19] 刘宏斌. 施肥对北京市农田土壤硝态氮累积与地下水污染的影响[D]. 北京 :中国农业科学院博士学位论文, 2002.
- LIU Hong-bin. effect of fertilizer on Beijing farmland soil nitrate and groundwater pollution[D]. Beijing :The Chinese Academy of Agricultural Sciences Ph. D. Thesis, 2002.
- [20] 肖 强, 张夫道, 王玉军, 等. 纳米材料胶结包膜型缓/控释肥料的特性及对作物氮素利用率与氮素损失的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4) :779-785.
- XIAO Qiang, ZHANG Fu-dao, WANG Yu-jun, et al. Effects of slow/controlled release fertilizers felted and coated by nano-materials on nitrogen recovery and loss of crops[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(4) :779-785.
- [21] 于淑芳, 杨 力, 张 民, 等. 控释肥对小麦玉米生物学性状和土壤硝酸盐积累的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(1) :128-133.
- YU Shu-fang, YANG Li, ZHANG Min, et al. Effect of controlled release fertilizers on the biological properties of wheat and corn and soil nitrate accumulation[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(1) :128-133.