

# 不同缓控释氮肥对坝上错季白萝卜产量、品质及氮素利用效率的影响

王倩倩<sup>1,2</sup>, 刘树庆<sup>1,2</sup>, 宁国辉<sup>1,2</sup>, 邵 蕾<sup>3</sup>, 牛秀芬<sup>4</sup>, 杨树深<sup>1,2</sup>

(1. 河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071001; 2. 河北省农田生态环境重点实验室, 河北 保定 071001; 3. 张家口市农牧局, 河北 张家口 075000; 4. 尚义县农牧局, 河北 张家口 076750)

**摘 要:**以白萝卜为试材,通过田间小区试验研究了不同缓控释氮肥对坝上错季白萝卜产量、品质和氮素利用效率的影响。结果表明:配比为  $N-P_2O_5-K_2O:16-8-18$  的缓控释氮肥产量和经济效益均为最高,与复混肥相比分别提高 8.43%、9.63%;干物质和氮积累量最低,与复混肥相比分别降低 13.33%、5.50%;配比为  $N-P_2O_5-K_2O:16-8-18$  的缓控释氮肥氮素利用效率表现优良。缓控释氮肥对错季蔬菜白萝卜品质的影响符合出口标准,聚类分析结果显示配比为  $N-P_2O_5-K_2O:16-8-18$  的缓控释氮肥为优质肥料,故推荐当地种植白萝卜时施用配比为  $N-P_2O_5-K_2O:16-8-18$  的缓控释氮肥。

**关键词:**缓控释氮肥;白萝卜;产量;品质;氮素利用效率

**中图分类号:**S 631.106<sup>+</sup>.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)16-0161-05

随着农产品需求量的增加,农田盲目施肥已造成大量氮肥浪费,研究表明普通氮肥当季利用率仅为 30%~35%,由此带来的资源浪费、农业面源污染和农产品安全等问题引起全社会的普遍关注<sup>[1-5]</sup>。缓控释氮肥作为一种新型肥料,能在提高氮肥利用率的同时降低肥料对土壤和环境的污染<sup>[5-6]</sup>,在减少施肥次数的同时达到增产提效保质的效果,是未来新型农业发展的必然趋势<sup>[5]</sup>。

目前,学者们对于缓控释氮肥的研究多集中在粮食作物,而关于坝上缓控释氮肥施加效果的相关研究甚少,加之当地缓控释氮肥品种混杂。因此,该研究选取有代表性的缓控释氮肥,在“国家级无公害蔬菜生产示范基地县”的尚义县研究不同缓控释氮肥对坝上错季白萝卜的产量、品质、氮素利用效率等的影响,评选出最佳配比缓控释氮肥,以期为坝上地区减轻农业面源污染提供科学依据。

**第一作者简介:**王倩倩(1990-),女,河北藁城人,硕士研究生,研究方向为土壤与肥料科学及土壤环境质量。E-mail:wangqianqian199010@163.com.

**责任作者:**刘树庆(1956-),男,河北青县人,博士,教授,博士生导师,现主要从事土壤环境质量与土壤肥料及环境质量评价与监控等研究工作。E-mail:liushuqing2002@163.com.

**基金项目:**河北省农业综合开发土地治理科技推广资助项目。

**收稿日期:**2015-05-21

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为白萝卜“新西兰 1 号”,由河北省张家口市尚义县大青沟镇嘉禾蔬菜生产基地提供。试验土壤类型为栗钙土,耕层土壤基本理化性质为 pH(水土比 2.5:1)9.03,有机质 11.67 g/kg,碱解氮 33.75 mg/kg,速效磷 24.38 mg/kg,速效钾 57.81 mg/kg。供试肥料为普通肥料和缓控释氮肥,其中普通肥料为尿素、过磷酸钙、农业用硫酸钾,缓控释氮肥选自当地有代表性的 5 种缓控释氮肥(表 1)。

表 1 供试肥料

产品名称	厂家	养分含量
Product name	Manufacturer	Nutrient content/%
尿素	河北东光化工有限责任公司	总氮≥46.4
UB <sub>1</sub> 过磷酸钙	河北省矾山磷矿有限公司	有效磷≥12
农业用硫酸钾	新疆罗布泊钾盐有限公司	K <sub>2</sub> O≥51
CRU-稳长:稳定性复合肥料 (长效缓释)	施可丰化工股份有限公司	N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O:22-8-10
CRU-包:包膜缓释复合肥料	施可丰化工股份有限公司	N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O:22-9-11
CRU-稳硫:稳定性复合肥料	施可丰化工股份有限公司	N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O:16-8-18
CRU-鄂:复合肥料	湖北鄂中化工有限公司	N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O:18-5-22
CRU-硅:硅谷复合肥	河北硅谷肥业有限公司	N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O:20-10-20

### 1.2 试验方法

试验共设有 7 个处理分别为:1)不施氮肥(CK);2)普通尿素、过磷酸钙和农业用硫酸钾三者复混肥一次性基施(UB);3) $N-P_2O_5-K_2O:22-8-10$  配比缓控释氮肥一次

性基施(CRU-稳长);4)N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O:22-9-11 配比缓控释氮肥一次性基施(CRU-包);5)N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O:16-8-18 配比缓控释氮肥一次性基施(CRU-稳硫);6)N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O:18-5-22 配比缓控释氮肥一次性基施(CRU-鄂);7)N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O:20-10-20 配比缓控释氮肥一次性基施(CRU-硅)。各处理 3 次重复,随机区组排列。

白萝卜整个生育期各施氮处理的氮肥用量均为 225.00 kg/hm<sup>2</sup>,根据供试肥料中最高量,将磷、钾分别用过磷酸钙和农业用硫酸钾补齐,保证所有处理等养分投入,即 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 分别为 225.00、112.50、275.00 kg/hm<sup>2</sup>,所有肥料均在白萝卜种植前全部一次性基施。试验小区面积均为 67.5 m<sup>2</sup>,2014 年 5 月 20 日进行播种,7 月 28 日收获,其它田间管理按照当地的栽培种植技术进行,生育期中不再施加任何肥料。

### 1.3 项目测定

以小区为单位进行白萝卜收获,1/100 天平称取肉质根产量,以鲜重计产。每个小区选取有代表性的样品立即带回实验室,蒸馏水进行冲洗后用滤纸吸干水分,取部分样品 105℃ 杀青 30 min,65℃ 烘干至恒重,通过记录干重计算各部干物质。取部分烘干样品 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮,凯式定氮仪测定全 N。截取白萝卜中段放入组织粉碎机中粉碎,维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定,总糖含量采用折光仪测定,硝酸盐含量用紫外分光光度计法测定<sup>[7]</sup>。

经济效益计算公式<sup>[8]</sup>:投入(元/hm<sup>2</sup>)=供试肥料施用量×价格+其它费用投入(种子费、水电费、播种

费、中耕,不包括人工费和浇水);产出(元/hm<sup>2</sup>)=白萝卜肉质根产量×价格;经济效益(元/hm<sup>2</sup>)=产出-投入。

氮积累量(kg/hm<sup>2</sup>)<sup>[9]</sup>=干物质质量(kg/hm<sup>2</sup>)×氮含量(%)/100。氮肥表观利用率(%)<sup>[9-10]</sup>=(施氮处理植株养分积累量-不施氮处理植株养分积累量)×100/施氮量。氮肥农学效率(kg/kg)<sup>[10]</sup>=(施氮处理产量-不施氮处理产量)/施氮量。氮肥生理效率(kg/kg)<sup>[10]</sup>=(施氮处理产量-不施氮处理产量)/(施氮处理吸氮量-不施氮处理吸氮量)。氮肥对产量的贡献率(%)<sup>[10]</sup>=(施氮处理产量-不施氮处理产量)×100/施氮处理产量。氮肥偏生产力(kg/kg)<sup>[10]</sup>=肉质根产量/施氮量。

### 1.4 数据分析

试验数据采用 Microsoft Excel 2007 软件处理,SPSS 17.0 软件进行方差分析和聚类分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同缓控释氮肥对白萝卜产量、干物质和经济效益的影响

由表 2 可知,各施氮处理产量与 CK 处理相比均显著得到提升:增量最大的 CRU-稳硫处理增产率为 63.82%,增量最小的 CRU-包处理增产率为 45.90%。各 CRU 处理与 UB 处理相比:CRU-稳硫处理产量最大,产量提高 8.43%;CRU-包处理是所有 CRU 处理中唯一减产的处理,产量降低 3.44%。在所有处理中,CRU-稳硫处理在产量方面表现最佳。

表 2 不同缓控释氮肥对白萝卜产量和干物质的影响(肉质根)

Table 2 Effect of the different slow release nitrogenous fertilizers application on yield and dry matter of white radish (fleshy root)

处理 Treatment	项目 Item				增长率 Increase/%			
	产量 Yield/(kg·hm <sup>-2</sup> )	干物质 Dry matter/%	经济效益 Economic benefit/(元·hm <sup>-2</sup> )	产投比 VCR	产量 Yield/(kg·hm <sup>-2</sup> )	干物质 Dry matter/%	经济效益 Economic benefit/(元·hm <sup>-2</sup> )	
CK	71 029.63b	5.31a	44 286.50b	3.30	—	—	—	—
UB	107 318.52a	5.25ab	72 643.60a	4.00	51.09	—	—1.10	—
CRU-稳长	112 696.30a	5.04abc	76 648.60a	4.10	58.66	5.01	—5.17	—4.00
CRU-包	103 629.63a	4.73c	68 287.50ab	3.70	45.90	—3.44	—10.99	—9.90
CRU-稳硫	116 362.96a	4.55c	79 638.20a	4.20	63.82	8.43	—14.35	—13.33
CRU-鄂	115 237.04a	4.89abc	79 200.60a	4.20	62.24	7.38	—7.94	—6.86
CRU-硅	110 266.67a	4.75bc	70 202.50a	3.40	55.24	2.75	—10.58	—9.52

注:同列数值后不同字母代表处理间差异达到 5% 的显著水平,下同。

Note: Different letters in the same column show significantly different at 0.05 level. The same below.

与 CK 处理相比,各施氮处理干物质都降低,CRU-包、CRU-稳硫、CRU-硅处理的干物质显著减少,其中 UB 处理干物质相对降低最少为 5.25%,显著减少 1.10%,CRU-稳硫处理干物质减少最多为 4.55%,显著减少 10.99%。与 UB 处理相比,CRU-稳长的干物质减量最少为 5.04%,减少 4.00%,而 CRU-稳硫处理干物质减量最多,减少 13.33%。UB 处理与 CRU-包、CRU-稳硫处理干物质差异性显著,与 CRU-稳长、CRU-鄂、CRU-硅的干物质含量差异性不显著。在所有处理中,CRU-稳硫

处理的干物质质量最小,水分最大,表现最优。

施用缓控释氮肥能提高错季蔬菜白萝卜的产值,使效益得到不同程度的提高。各施氮处理与 CK 处理相比,除 CRU-包处理外,其它处理经济效益差异性显著,但是各施氮处理之间差异性不显著。CK 处理的经济效益最低为 44 286.50 元/hm<sup>2</sup>;CRU-稳硫处理的经济效益最高,达 79 638.20 元/hm<sup>2</sup>。与 CK、UB、CRU-稳长、CRU-包、CRU-鄂、CRU-硅处理相比,经济效益依次分别提高 79.80%、9.60%、3.90%、16.60%、0.60%、13.40%。

各施肥处理的产投比均高于 CK 处理, CRU-稳长处理、CRU-稳硫处理和 CRU-鄂处理与 UB 相比均有所增加, 其中 CRU-稳硫处理和 CRU-鄂处理的产投比最高为 4.2。综合经济效益和产投比, CRU-稳硫处理表现最优。

## 2.2 不同缓控释氮肥对白萝卜氮积累量的影响

由图 1 可知, 在施氮处理中, CRU-稳长处理氮积累量最高为 299.39 kg/hm<sup>2</sup>, CRU-稳硫处理的氮积累量最低为 262.78 kg/hm<sup>2</sup>。与 UB 处理相比, 在各 CRU 处理中, CRU-稳硫处理的氮积累量减少 5.50%, 减少最多, 其它 CRU 处理的氮积累量增加 2.32%~7.67%, 且各施氮处理间差异性不显著。故在氮积累量方面, CRU-稳硫处理积累量最低, 表现最好。在整个植株中, 秧子氮积累量占整个植株总量的 55.25%~64.72%, 其中 CK 处理占有量最大, CRU-硅处理占有量均为最小。各施氮处理中肉质根氮积累量占有率增加 17.29%~26.84%, 其中 CRU-稳长处理的增幅最小, CRU-硅处理的增幅最大。

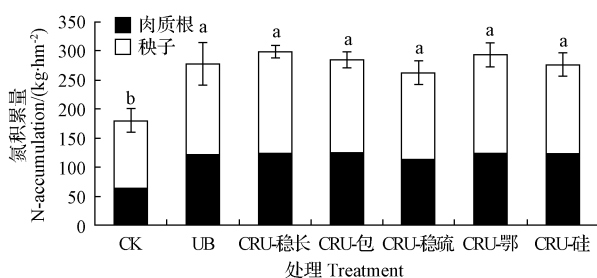


图 1 不同缓控释氮肥对白萝卜氮积累量的影响

Fig. 1 Effect of the different slow release nitrogenous fertilizers application on the nitrogen accumulation of white radish

## 2.3 不同缓控释氮肥对白萝卜品质指标的影响

从表 3 可以看出, 施加氮素在不同程度上会降低白萝卜的品质。维生素 C 的含量在各处理中的高低顺序为 CRU-硅>CRU-稳长>CRU-包>CK=UB>CRU-稳硫>CRU-鄂, 且差异性不显著, 其中维生素 C 在 CRU-硅中含量最高为 3.00 mg/kg, 与 CK 和 UB 相比都提高 20.00%, 与最低的 CRU-鄂处理相比提高 36.36%。施氮处理总糖含量都降低, CRU-包处理中的总糖显著性最低为 3.80%, 其它 CRU 处理的总糖也有不同程度降

低但差异性不显著。

硝酸盐作为重要的品质指标, 在无公害蔬菜检验中起着决定性作用。施加氮素增加白萝卜中硝酸盐含量, 各处理间差异性不显著。在施氮处理中, 硝酸盐含量介于 704.77~790.49 mg/kg, 与 CK 处理相比提高 8.12%~21.26%; 与 UB 处理相比, 只有 CRU-稳硫处理减少 3.70%。虽然其它施加缓控释氮肥处理均高于 UB 处理, 但均未超出无公害蔬菜硝酸盐限量标准, 可以保证食用安全。综合 3 种品质指标, 虽 CRU-稳硫处理的维生素 C 和总糖含量较低, 但硝酸盐含量最低, 出口品质最佳。

表 3 不同缓控释氮肥对白萝卜品质指标的影响

Table 3 Effect of different slow release nitrogenous fertilizers on the main indexes of white radish quality

处理 Treatment	维生素 C Vitamin C/(mg·kg <sup>-1</sup> )	总糖 Total sugar/%	硝酸盐 Nitrate content/(mg·kg <sup>-1</sup> )
CK	2.50a	4.10a	651.86a
UB	2.50a	4.00ab	731.85a
CRU-稳长	2.70a	3.90ab	744.88a
CRU-包	2.60a	3.80b	763.68a
CRU-稳硫	2.40a	3.90ab	704.77a
CRU-鄂	2.20a	4.00ab	789.04a
CRU-硅	3.00a	4.00ab	790.49a

## 2.4 不同缓控释氮肥对白萝卜的氮素利用效率的影响

由表 4 和图 2、3 可知, 氮肥表观利用率的高低顺序均为 CRU-稳长>CRU-鄂>CRU-包>CRU-硅>CRU-稳硫>UB, 各 CRU 处理的氮肥表观利用率在 36.78%~53.05%, UB 处理与其它施肥处理之间差异性不显著。氮肥农学效率、氮肥对产量的贡献率和氮肥偏生产力的高低顺序均为 CRU-稳硫>CRU-鄂>CRU-稳长>CRU-硅>UB>CRU-包, 氮肥生理效率高低顺序为 CRU-稳硫>CRU-硅>CRU-鄂>CRU-稳长>UB>CRU-包。表现最佳 CRU-稳硫的氮肥农学效率、氮肥生理效率、氮肥对产量的贡献率、氮肥偏生产力分别为 201.48 kg/kg、438.06 kg/kg、38.66%、517.17 kg/kg, 与最低处理分别提高 39.06%、39.89%、27.00%、12.29%。各施肥处理间氮肥农学效率、氮肥对产量的贡献率和氮肥偏生产力差异性不显著, CRU-稳硫显著高于其它施肥处理, 其它 5 个处理间差异性不显著。

表 4 不同缓控释氮肥对白萝卜氮素利用效率的影响

Table 4 Effect of different slow release nitrogenous fertilizers on N-use efficiency of white radish

处理 Treatment	氮肥表观利用率 Recovery efficiency of N /%	氮肥农学效率 Agronomic efficiency of N /(kg·kg <sup>-1</sup> )	氮肥生理效率 Physiological efficiency of N /(kg·kg <sup>-1</sup> )	氮肥对产量的贡献率 Contribution rate of yield /%	氮肥偏生产力 Partial factor productivity of N /(kg·kg <sup>-1</sup> )
UB	25.59	161.28	326.72	30.44	476.97
CRU-稳长	53.05	185.19	349.84	36.86	500.87
CRU-包	46.45	144.89	313.14	30.88	460.58
CRU-稳硫	36.78	201.48	438.06	38.66	517.17
CRU-鄂	50.61	196.48	385.81	37.58	512.16
CRU-硅	42.89	174.39	415.33	35.12	490.07

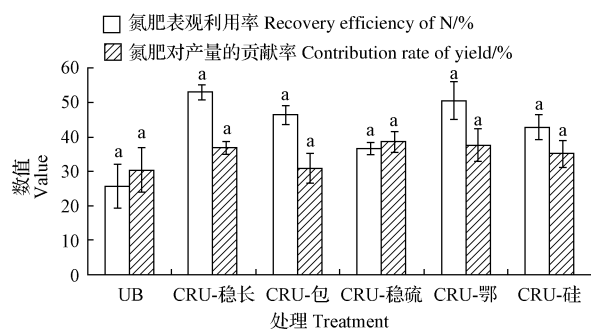


图2 不同缓控释氮肥对氮肥表观利用率与对产量贡献率的影响

Fig. 2 Effect of different slow release nitrogenous fertilizers on recovery efficiency of N and contribution rate of yield

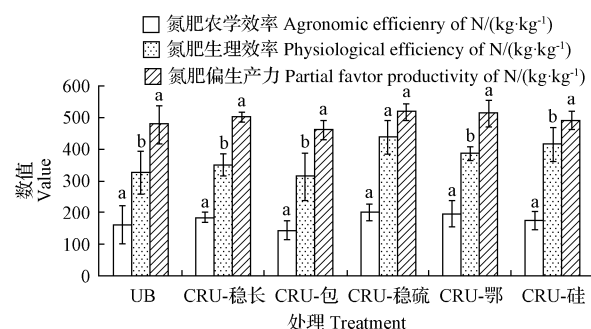


图3 不同缓控释氮肥对氮肥农学效率、生理效率与偏生产力的影响

Fig. 3 Effect of different slow release nitrogenous fertilizers on agronomic efficiency of N, physiological efficiency of N and partial factor productivity of N

## 2.5 不同缓控释氮肥对白萝卜影响的聚类分析

根据产量、经济效益、品质(维生素C、总糖)、氮素利用效率(图4a)和干物质、品质(硝酸盐)(图4b)对不同缓控释氮肥进行大致分类,由图4a可知,缓控施氮肥可以分为3类:第1类包括CPU-包和CPU-硅,属于低质肥料类群;第2类CPU-稳长,属于中等肥料类群;第3类包括CPU-鄂和CPU-稳硫,属于优质肥料类群。由图4b可知,参试缓控释氮肥可分为3类,CPU-稳硫代表优质肥料类群,CPU-包和CPU-稳长代表中等肥料类群,CPU-鄂和CPU-硅代表低质肥料类群。综上所述,CPU-稳硫处理为优质肥料。

## 3 讨论与结论

缓控释氮肥具有增产增收的作用,通过对不同缓控释氮肥进行对比,配比为 $N-P_2O_5-K_2O:16-8-18$ 的缓控释氮肥表现最佳,在相同施氮量条件下,与卢杨等<sup>[11]</sup>得到白萝卜的肉质根最高产量相比增产14.01%。农民在实际生产过程中,需要将产量和肥料价格进行综合考量,最佳配比的缓控释氮肥产投比高达4.2,朱国梁等<sup>[12]</sup>也证实了施加缓控释氮肥是农民创收的重要措施之一。

缓控释氮肥对蔬菜品质的影响符合无公害蔬菜评定和出口标准。该研究中所有处理下白萝卜中硝酸盐

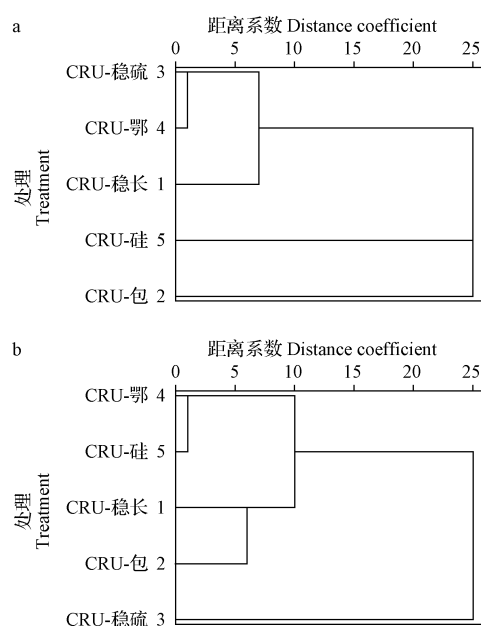


图4 不同缓控释氮肥对白萝卜影响的聚类分析

Fig. 4 Cluster analysis of effect of different slow release nitrogenous fertilizers of white radish

含量均未超出《无公害蔬菜硝酸盐最高含量标准》中规定的白萝卜限量值( $1\ 000\ mg/kg$ )<sup>[13]</sup>,最佳配比肥料( $N-P_2O_5-K_2O:16-8-18$ )硝酸盐体内积累量、氮积累量和干物质含量最小。有研究显示<sup>[9]</sup>,与尿素处理相比,控释尿素处理的氮积累量增加了21.00%~32.00%,与该研究结果一致。

肥料的表观利用率能较好的反映出作物对肥料养分吸收的情况<sup>[14]</sup>,缓控释肥料能大幅度提高氮素利用效率<sup>[15]</sup>。该研究中,所有缓控释氮肥处理的氮肥表观利用率均优于UB处理,氮肥表观利用率均高于30%,最高达53.05%,利用率的提高减少了农业面源污染。氮肥表观利用率取决于氮积累量的高低,由于缓控释氮肥具有随作物生长释放养分的特点,未被释放的养分在下一年不施肥种植时依旧能发挥肥效,最佳配比肥料( $N-P_2O_5-K_2O:16-8-18$ )2年氮积累总量将得到提升,2年累积氮肥利用率将表现最佳,这将在以后的试验中进一步验证。氮素利用效率体现在氮肥农学效率、氮肥生理效率、氮肥对产量的贡献率和氮肥偏生产力4个方面,配比为 $N-P_2O_5-K_2O:16-8-18$ 肥料在氮素利用效率方面表现优良,肥料配比符合当地土壤和白萝卜养分的需求,产量的提升促使氮素利用效率增加。

以河北坝上高原错季无公害蔬菜生产的环境标准<sup>[13]</sup>的限制最大施氮量 $225.00\ kg/hm^2$ 为标准等养分投入,使得白萝卜高产,缓控释氮肥能提高产量和氮素



表现利用率。配比为  $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ :16-8-18 的施可丰牌稳定性复合缓控释氮肥为优质肥料,产量与效益双高,白萝卜品质符合错季无公害蔬菜出口标准,氮素利用效率优良,施用此缓控释氮肥是减少农业面源污染的有效途径。推荐当地农民在白萝卜种植时施用  $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ :16-8-18 配比的施可丰牌稳定性复合缓控释氮肥,在高产高效的同时减少农业面源污染,确保无公害绿色蔬菜高产、优质、环保、安全。

(该文作者还有孙洪欣、孙月美,单位同第一作者。)

#### 参考文献

- [1] 巨晓棠,谷保静.我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J].植物营养与肥料学报,2014,20(4):783-795.
- [2] 寇长林,巨晓棠,张福锁.三种集约化种植体系氮素平衡及其对地下水硝酸盐含量的影响[J].应用生态学报,2005,16(4):660-667.
- [3] 胡克林,李保国,黄元仿,等.农田尺度下土体硝酸盐淋失的随机模拟及其风险性评价[J].土壤学报,2005,42(6):909-915.
- [4] 孙志梅,武志杰,陈利军,等.农业生产中的氮肥施用现状及其环境效应研究进展[J].土壤通报,2006,37(4):782-786.
- [5] 杜昌文,周健民.控释肥料的研制及其进展[J].土壤,2002,34(3):127-133.
- [6] 邹应斌,贺帆,黄见良,等.包膜复合肥对水稻生长及营养特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2005,11(1):57-63.
- [7] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [8] 刘飞,张民,诸葛玉平,等.马铃薯玉米套作下控释肥对土壤养分垂直分布及养分利用率的影响[J].植物营养与肥料学报,2011(6):1351-1358.
- [9] 王素萍,李小坤,鲁剑巍,等.施用控释尿素对油菜籽产量、氮肥利用率及土壤无机氮含量的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(6):1449-1456.
- [10] 张翔,毛家伟,李彰,等.氮用量及基追比例对烟叶产量、品质及氮肥利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(6):1518-1523.
- [11] 卢杨,刘树庆,王向峰,等.冀西北坝上旱地大白萝卜缓释氮肥效应研究[J].北方园艺,2013(14):177-180.
- [12] 朱国梁,毕军,夏光利,等.不同缓释肥料对黄瓜产量、品质及养分利用率的影响[J].中国土壤与肥料,2013(1):68-73.
- [13] 刘树庆,张笑归,谢建志,等.河北坝上高原错季无公害蔬菜生产的环境标准与技术[J].生态环境,2005,14(3):372-377.
- [14] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008,45(5):915-924.
- [15] 史春余,王汝娟,梁太波,等.番茄专用基质缓释肥料研制及其生物学效应[J].农业工程学报,2006,22(4):80-84.

## Effect of Different Slow Release Nitrogenous Fertilizers on Yield, Quality and N-use Efficiency of Stagger-season White Radish in Bashang

WANG Qianqian<sup>1,2</sup>, LIU Shuqing<sup>1,2</sup>, NING Guohui<sup>1,2</sup>, SHAO Lei<sup>3</sup>, NIU Xiufen<sup>4</sup>, YANG Shushen<sup>1,2</sup>, SUN Hongxin<sup>1,2</sup>, SUN Yuemei<sup>1,2</sup>

(1. College of Resources and Environment Science, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001; 2. Key Laboratory of Farmland Ecological and Environment in Hebei Province, Baoding, Hebei 071001; 3. Zhangjiakou Agriculture and Animal Husbandry Bureau, Zhangjiakou, Hebei 075000; 4. Shangyi County Agriculture and Animal Husbandry Bureau, Zhangjiakou, Hebei 076750)

**Abstract:** White radish was used to study the effect of different slow release nitrogenous fertilizers on yield, quality and N-use efficiency of stagger-season white radish in Bashang in a field plot experiment. The results showed that when the slow release nitrogenous fertilizer ratio was  $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ :16-8-18, the white radish got the maximum yield and economic benefit, increased by 8.43% and 9.63% than compound fertilizers, respectively, and the minimum dry matter and N-accumulation decreased by 15.38% and 14.05% than compound fertilizers, respectively. The quality of stagger-season white radish of different slow release nitrogenous fertilizers was in conformity with export standards. The slow release fertilizer of  $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ :16-8-18 had high N-utilization efficiency and cluster analysis showed that it was valuable fertilizer. So it was recommended for local radish farmers to use slow release fertilizer of  $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ :16-8-18.

**Keywords:** slow release nitrogenous fertilizer; white radish; yield; quality; N-use efficiency