

缓释复混肥料对马铃薯产量、土壤硝态氮含量及氮肥利用率的影响

张 洋¹, 盛海彦², 张 荣¹, 胥婷婷¹, 年广兰³, 田 丰², 王春雨², 李松龄¹

(1. 青海大学农林科学院, 青海 西宁 810016; 2. 青海大学农牧学院, 青海 西宁 810013; 3. 湟中县农业技术推广中心, 青海 西宁 810019)

摘 要:为探讨青海省山旱区马铃薯发展的新途径,研究了缓释复混肥料对地膜覆盖马铃薯产量、土壤硝态氮含量、硝态氮累积量及氮肥利用率的影响。结果表明:施用 $1\ 050\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 缓释复混肥(RZ70)处理马铃薯产量最高,为 $47\ 240\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;较农民习惯施肥(NXG)处理增产 $2\ 175\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,增产率为 4.83%;较马铃薯专用肥(MZY)处理增产 $5\ 085\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,增产率为 12.06%。马铃薯从苗期到成熟期,农民习惯施肥(NXG)和马铃薯专用肥(MZY)处理显著提高了 0~100 cm 各土层硝态氮的含量, $1\ 050\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 缓释复混肥(RZ70)处理显著降低了 0~100 cm 各土层硝态氮的含量。马铃薯生长季 0~100 cm 各土层硝态氮含量呈先增加后降低的趋势。硝态氮含量在团棵期出现了一个峰值,且主要集中在 20~40 cm 土层。随着马铃薯的生长发育,0~100 cm 各土层硝态氮含量差异逐渐减小,至成熟期趋于稳定并降至最低。农民习惯施肥(NXG)处理下,马铃薯整个生育期 0~100 cm 土层硝态氮累积量呈现降低的趋势;除了习惯施肥(NXG),马铃薯整个生育期 0~100 cm 土层硝态氮累积量与土壤硝态氮含量变化一致。 $1\ 050\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 缓释复混肥(RZ70)处理下,氮肥利用率最高,达到了 53.70%。较农民习惯施肥(NXG),增幅为 3.38%~40.85%;较马铃薯专用肥(MZY)施肥处理,增幅为 5.01%~33.25%。该结果可为缓释复混肥料在青海省马铃薯种植中的合理施用提供理论依据。

关键词:缓释复混肥;马铃薯;产量;硝态氮含量;氮肥利用率

中图分类号: S143.1 **文献标识码:** A

Effects of controlled-release compounded fertilizer on potato yield, soil nitrate-N content and nitrogen use efficiency

ZHANG Yang¹, SHENG Hai-yan², ZHANG Rong¹, XU Ting-ting¹,
NIAN Guang-lan³, TIAN Feng², WANG Chun-yu², LI Song-ling¹

(1. Academy of Agricultural and Forestry, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016, China;

2. College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining, Qinghai 810013, China;

3. Agricultural Technology Promotion Center of Huang Zhong County, Xining, Qinghai 810019, China)

Abstract: To explore a new way for development potato in arid hill drought regions of Qinghai Province, a field experiment was conducted to assess the effects of controlled-release compounded fertilizer on potato yield, soil nitrate-N content, soil nitrate-N accumulation and nitrogen use efficiency under plastic film mulching condition. The results showed that the highest potato yield was $47\ 240\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ in $1\ 050\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ controlled-release compounded fertilizer (RZ70) treatment. Comparing to farmer's conventional fertilization (NXG) treatment, the potato yield of RZ70 was increased $2\ 175\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, and the increasing rate was 4.83%. Comparing to special potato fertilizer (MZY) treatment, the potato yield was increased $5\ 085\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, and the increasing rate was 12.06%. From seedling to mature stage of potato, soil nitrate-N content in depth of 0~100 cm increased significantly under farmer's conventional fertilization (NXG) treatment and special potato fertilizer (MZY) treatment, whereas, soil nitrate-N content in depth of 0~100 cm decreased significantly under $1\ 050\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ controlled-release compoun-

ded fertilizer (RZ70) treatment. Soil nitrate-N content in depth of 0~100 cm trended as increasing first, then decreasing in the growing season. Nitrate-N content presented a peak in the resettling stage, and mainly concentrated in depth of 20~40 cm. With the growth and development of potato, the difference of soil nitrate-N content in depth of 0~100 cm gradually reduced and stabilized to a minimum level in mature stage. Soil nitrate-N accumulation in depth of 0~100 cm showed a decreasing trend in the growing season under farmer conventional fertilization (NXG) treatment. The changes of soil nitrate-N accumulation in depth of 0~100 cm was similar to soil nitrate-N content, except in farmer conventional fertilization (NXG) treatment. The highest nitrogen use efficiency was 53.70% in 1 050 kg · hm⁻² controlled-release compounded fertilizer (RZ70) treatment. It increased 3.38%~40.85% and 5.01%~33.25% respectively, comparing to farmer conventional fertilization (NXG) and special potato fertilizer (MZY) treatment. The findings provide a theoretical basis for rational application of controlled-release compounded fertilizer in potato planting of Qinghai province.

Keywords: controlled-release compounded fertilizer; potato; yield; nitrate-N content; NUE

青海省地处青藏高原,气候温凉,日照充足,昼夜温差大,雨热同季,土壤疏松、透气性良好,非常适合高产、高效种植马铃薯作物,是当地农民赖以生存的传统农作物^[1]。该地区马铃薯品质高于国内其它区域,平均产量高出全国 7.5 t · hm⁻²,是全国马铃薯高产地区之一。

该地区马铃薯种植采用全膜覆盖垄作栽培技术,年种植面积达到 86.7 万 hm²。马铃薯春覆膜前肥料一次性施用,春季地膜覆盖后土壤温度上升,降雨使土壤水分含量较高,为土壤微生物生存创造了条件^[2-5]。种植马铃薯后,在马铃薯生长中氮素供应不足,且覆膜后无法追肥常造成马铃薯生长中后期脱肥早衰,直接影响马铃薯的生长而造成减产等问题^[6-7]。为了获得高产,农民只能通过提高肥料用量来达到这一目标,肥料用量远远超过了世界先进水平,但是肥料利用率却很低^[8]。

然而,长期大量施用氮肥,会造成土壤 NO₃⁻-N 的累积,且土壤 NO₃⁻-N 的含量随施氮量的增加呈直线上升趋势^[9-10]。由于 NO₃⁻-N 在土壤中不易被吸附,很容易随水从上层土壤向下淋溶,在降雨时发生随水运移淋失,导致地下水污染,过量施用氮肥是造成地下水硝态氮污染的主要原因^[11-13]。因此如何高效合理利用氮肥资源,在高产、稳产的前提下,减少地下水硝态氮污染的风险^[14-15],成为当前乃至今后该地区研究的重要课题之一。

缓释复混肥具有一次性施用,增加作物产量,提高肥料利用率,降低氮素的挥发和淋失等优

点^[16-20],是目前我国农业部主推技术之一。本文就缓释复混肥料在大田中施用对马铃薯产量、土壤剖面 NO₃⁻-N 含量和氮肥利用率的影响进行了研究,以探讨缓释复混肥料对马铃薯的施用肥效及其对地下水污染的风险程度,为该类肥料在马铃薯种植中的合理施用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试作物马铃薯,品种为“青薯 9 号”,由青海省农林科学院生物中心提供。

1.2 试验地基本情况

试验地点位于青海省湟中县李家山镇大路村,土壤类型为沙壤土,海拔 2 674 m,全年日照时数长达 2 400~2 500 h,无霜期 130~140 d。从 2016 年 4 月 25 日至 10 月 25 日,试验基地累计蒸发量和累计降雨量分别为 810 mm 和 420 mm。0~100 cm 不同土层土壤容重分别为 1.30 g · cm⁻³(0~20 cm)、1.32 g · cm⁻³(20~40 cm)、1.33 g · cm⁻³(40~60 cm)、1.35 g · cm⁻³(60~80 cm)和 1.34 g · cm⁻³(80~100 cm)。试验地基本理化性状见表 1。

1.3 试验方法

试验共设 8 个处理,分别为(1)农民习惯施肥(NXG);(2)马铃薯专用肥(MZY);(3)缓释复混肥(HN50);(4)缓释复混肥(HN70);(5)缓释复混肥(RZ30);(6)缓释复混肥(RZ50);(7)缓释复混肥(HN70);(8)空白对照(CK)。施肥方案见表 2。全

表 1 试验地基本理化性状

Table 1 Chemical properties of the field

有机质/(g · kg ⁻¹)	全 N/(g · kg ⁻¹)	全 P/(g · kg ⁻¹)	全 K/(g · kg ⁻¹)	碱解 N/(mg · kg ⁻¹)	速效 P/(mg · kg ⁻¹)	速效 K/(mg · kg ⁻¹)	pH
Organic matter	Total N	Total P	Total K	Available N	Available P	Available K	
14.42	1.23	1.99	22.78	133	22.4	107	8.10

部肥料作为底肥,一次性铺膜基施。试验采用随机区组排列,每处理重复四次,共 32 个小区。

肥料品种:尿素(N 46%);磷酸二铵(N 18%, P₂O₅ 46%);硫酸钾(K₂O 50%)。马铃薯专用肥(MZY)(16-14-10),由青海省海宁肥料厂提供;缓释复混肥 HN50 和 HN70(16-14-10,其中脲甲醛缓释 N 量为 4.2),控释尿素的释放期为 90 d,由青海省湟中县海宁合资化肥厂提供;缓释复混肥 RZ30、RZ50 和 RZ70(16-14-10,其中脲甲醛缓释 N 量为 2.9),控释尿素的释放期为 60 d,由青海荣泽肥料厂提供。

小区面积 5×5=25(m²),膜宽 1.0 m,垄高 25 cm,垄宽 80 cm,株距 40 cm,播种深度 8~10 cm。保苗密度为 49 500 株·hm⁻²。2016 年 4 月 20 日人工种植,10 月 30 日收获。

表 2 不同处理施肥方案
Table 2 Fertilization scheme of different treatment

处理 Treatment	纯养分用量 Pure nutrient dosage/(kg·hm ⁻²)					肥料用量/(kg·hm ⁻²) Fertilizer rate
	总氮量 Total N	速效 N Available N	缓释氮 Controlled-release N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
NXG	192	192	0	138	75	尿素 Urea 300 kg·hm ⁻² 磷酸二铵 Diammonium phosphate 300 kg·hm ⁻² 硫酸钾 Potassium sulfate 150 kg·hm ⁻²
MZY	120	120	0	105	75	尿素 Urea 172 kg·hm ⁻² 磷酸二铵 Diammonium phosphate 228 kg·hm ⁻² 硫酸钾 Potassium sulfate 150 kg·hm ⁻²
HN50	120	88.5	31.5	105	75	尿素 Urea 172 kg·hm ⁻² 磷酸二铵 Diammonium phosphate 228 kg·hm ⁻² 硫酸钾 Potassium sulfate 150 kg·hm ⁻²
HN70	168	123.9	44.1	147	105	尿素 Urea 240 kg·hm ⁻² 磷酸二铵 Diammonium phosphate 320 kg·hm ⁻² 硫酸钾 Potassium sulfate 210 kg·hm ⁻²
RZ30	72	58.95	13.05	63	45	尿素 Urea 103 kg·hm ⁻² 磷酸二铵 Diammonium phosphate 137 kg·hm ⁻² 硫酸钾 Potassium sulfate 90 kg·hm ⁻²
RZ50	120	98.25	21.75	105	75	尿素 Urea 172 kg·hm ⁻² 磷酸二铵 Diammonium phosphate228 kg·hm ⁻² 硫酸钾 Potassium sulfate 150 kg·hm ⁻²
RZ70	168	137.55	30.45	147	105	尿素 Urea 240 kg·hm ⁻² 磷酸二铵 Diammonium phosphate 320 kg·hm ⁻² 硫酸钾 Potassium sulfate 210 kg·hm ⁻²
CK	0	0	0	0	0	0

2 结果与分析

2.1 不同处理对马铃薯产量的影响

由图 1 中可以看出,RZ70 处理下马铃薯产量均高于其它处理。RZ70 处理下,马铃薯产量达到最高,为 47 240 kg·hm⁻²;CK 处理下,马铃薯产量最低,为 35 025 kg·hm⁻²。RZ70 处理下,马铃薯产量较 NXG 处理增产 2 175 kg·hm⁻²,增产率为 4.83%;较 MZY 处理增产 5 085 kg·hm⁻²,增产率为

1.4 测定项目及方法

收获后小区单收。利用常规分析方法^[21]测定土壤 pH 值、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、全氮、全磷、全钾和土壤容重。土壤硝态氮含量的测定:分别在播期(4 月 20 日)、苗期(5 月 28 日)、团棵期(6 月 22 日)、开花期(7 月 27 日)、结薯期(9 月 5 日)和成熟期(10 月 25 日),取土壤 0~20,20~40,40~60,60~80,80~100 cm 土壤,用 2 mol·L⁻¹ KCl 浸提,流动注射分析仪测定土壤硝态氮含量。土壤硝态氮积累量(kg·hm⁻²)=土层厚度(cm)×土壤容重(g·cm⁻³)×土壤硝态氮含量(mg·kg⁻¹)/10;氮素吸收利用率(NUE)=(施氮区作物吸氮量-对照区作物吸氮量)/施氮量×100%。

数据用 EXCEL 和 SPSS 16.0 软件进行统计分析。

12.06%;较 CK 处理增产 12 215 kg·hm⁻²,增产率为 34.88%。比较缓释肥的效果,除了 RZ30 处理外,RZ50 和 RZ70 马铃薯的产量高于 HN50 和 HN70。

2.2 不同处理下马铃薯生育期土壤硝态氮含量的动态变化

图 2 为不同处理下马铃薯整个生育期 0~100 cm 土层硝态氮含量变化。从图中可以看出,0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 土层,马铃薯从苗期到收获期硝态氮含量不断降低。说明,随着马铃薯的

发育吸收,土壤中硝态氮处于不断消耗的过程。而 60~80 cm 和 80~100 cm 土层马铃薯从苗期到收获期硝态氮含量不断升高,这主要是因为马铃薯的根系主要集中在 0~60 cm 土层,马铃薯根系无法吸收 60~80 cm 和 80~100 cm 土壤中的硝态氮,在加上降雨促使土壤硝态氮的淋溶,促使土壤硝态氮向土壤深层累积。

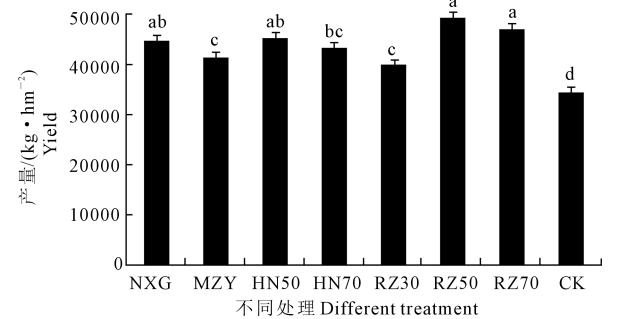


图 1 不同处理对马铃薯产量的影响

Fig.1 Effects of different fertilization treatments on potato yield

由图 2 分析还可以知道,不同处理下 0~20,20

~40,40~60,60~80,80~100 cm 土层硝态氮含量的变化规律可以看出,不同处理下各土层土壤硝态氮含量在马铃薯不同生育时期的变化趋势不同。总的来说,不同处理下 0~20,20~40,40~60,60~80 cm 和 80~100 cm 土层马铃薯整个生育期硝态氮含量的大小顺序为: NXG、MZY>HN50、HN70>RZ50、RZ30>RZ70>CK。各处理在 0~100 cm 土层土壤硝态氮含量均高于空白对照 (CK) 处理,说明施肥增加了硝态氮在各土层中的累积,增加了向下层土壤污染的风险。除了空白对照 (CK) 处理以外, NXG 和 MZY 显著提高了硝态氮在各土层中的累积,说明不合理的施肥增加了环境污染的风险。缓释复混肥处理均能降低硝态氮在各土层中的累积,从而降低环境污染的风险。就不同缓释复混肥而言, HN50 和 HN70 缓释复混肥处理各土层土壤硝态氮含量大于 RZ50、RZ30、RZ70 缓释复混肥处理。在所有缓释复混肥中,各土层均以 RZ70 缓释复混肥土壤硝态氮的含量最低。

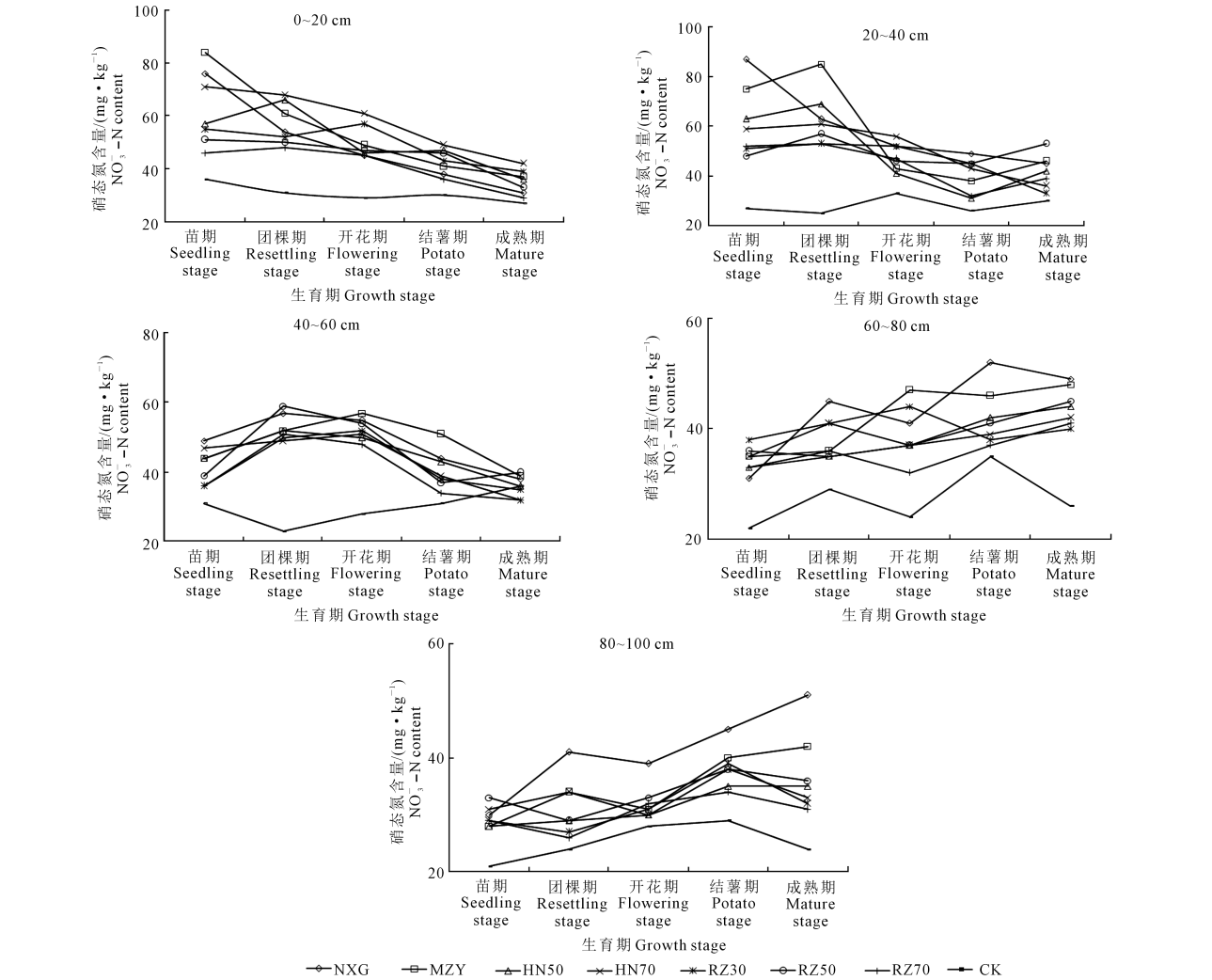


图 2 马铃薯不同生育期 0~100 cm 土层硝态氮含量

Fig.2 NO₃-N content in 0~100 cm soil layers under different growth stage of potato

2.3 同一处理下马铃薯生育期土壤硝态氮含量的动态变化

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。因此,为分

析硝态氮在土壤剖面中的动态运移规律,研究了同一处理条件下马铃薯不同生育期(苗期、团棵期、开花期、结薯期和成熟期)0~100 cm 各土层硝态氮含量的变化。由图 3 中可以看出,空白对照(CK)处理

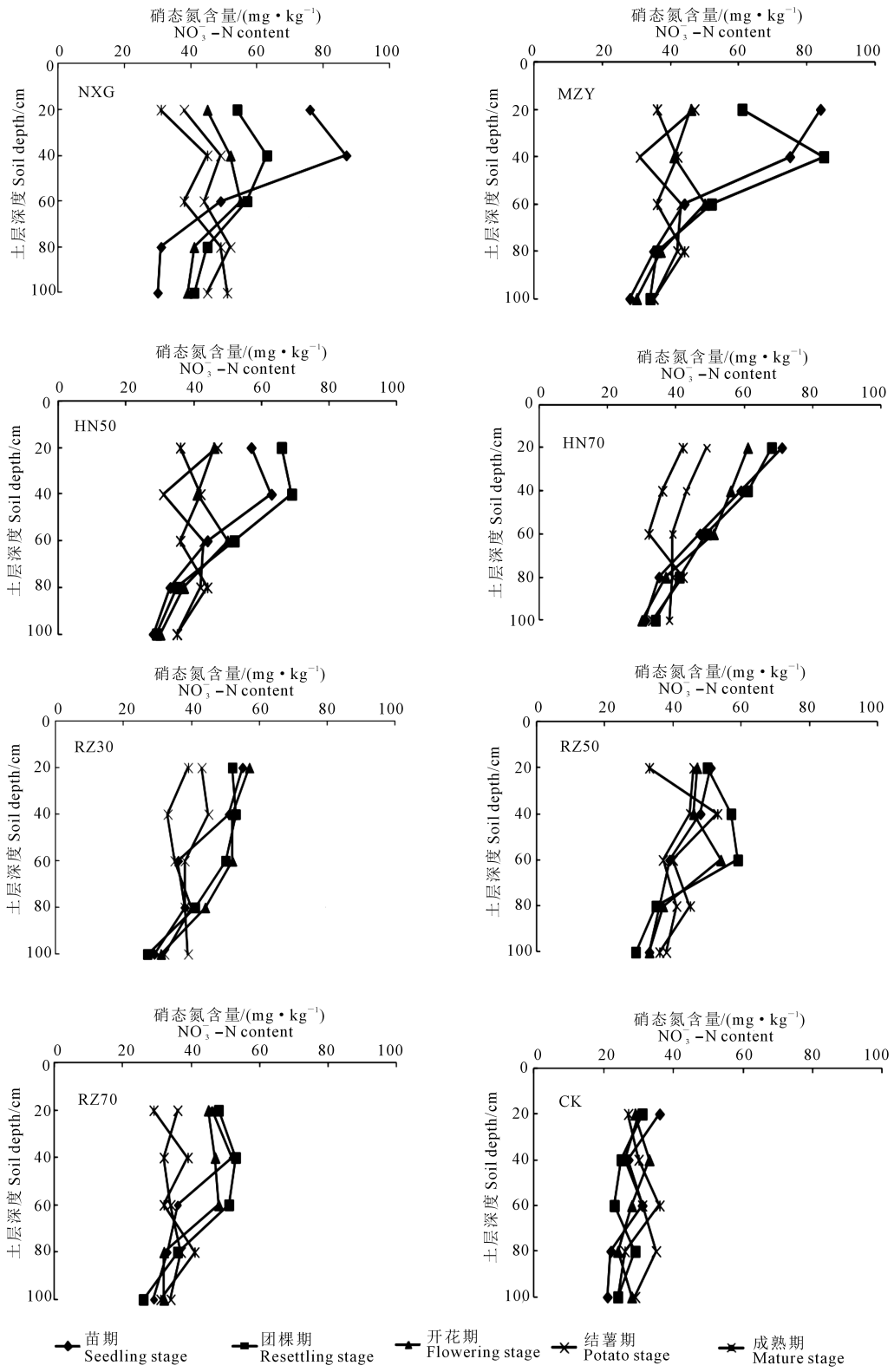


图 3 马铃薯同一处理 0~100 cm 土层硝态氮含量

Fig.3 NO_3^- -N content in 0~100 cm soil layers under same treatment of potato

下,马铃薯整个生育期 0~100 cm 各土层硝态氮含量均低于其它处理。除了空白对照(CK)处理和 HN70 处理,马铃薯整个生育期 0~100 cm 各土层硝态氮含量呈先增加后降低的趋势,硝态氮含量在团棵期出现了一个峰值,且主要集中在 20~40 cm 土层。比较 NXG、MZY 和其它缓释复混肥处理,可以发现在苗期和团棵期,NXG 和 MZY 处理下的土壤硝态氮含量明显高于缓释复混肥处理,同样集中在 20~40 cm 土层。

分析同一处理下 0~100 cm 各土层的硝态氮变化可知,0~20,20~40,40~60,60~80 cm 和 80~100 cm 土层 RZ70 缓释复混肥处理下土壤硝态氮含量均低于其它处理,说明 RZ70 缓释复混肥处理降低了淋溶进入地下水造成硝酸盐污染的风险。进一步分析,随着土层深度的增加,土壤硝态氮含量呈下降趋势。随着马铃薯的生长发育,0~100 cm 各土层硝态氮含量差异逐渐减小,至成熟期趋于稳定并降至最低。同样说明,随着马铃薯的生长发育对土壤中硝态氮的吸收,土壤中硝态氮处于不断消耗的过程。

2.4 不同处理对马铃薯不同生育期 0~100 cm 土层硝态氮累积量的影响

由表 3 可以看出,不同处理下 0~100 cm 土层马铃薯整个生育期硝态氮累积量均显著高于空白对照处理(CK)。空白对照处理下,马铃薯整个生育期 0~100 cm 土层硝态氮累积量呈现波浪式增加的趋势,由苗期的 363.02 kg·hm⁻²增加到 379.68 kg·hm⁻²,总体变化差异不大。农民习惯施肥(NXG)处理下,马铃薯整个生育期 0~100 cm 土层硝态氮累积量呈现降低的趋势,分析原因可能是因为氮肥施用量过高,土壤在苗期硝态氮累积量过高所致。除了习惯施肥(NXG),马铃薯由出苗期到团棵期 0~100 cm 土层硝态氮累积量均呈增加的趋势,由团棵期到开花期、结薯期和成熟期 0~100 cm 土层硝态

氮累积量呈逐渐降低的趋势,且在团棵期 0~100 cm 土层土壤硝态氮出现一个明显的累积峰值,与 0~100 cm 土层硝态氮含量变化一致,主要是因为团棵期是马铃薯生长的关键生育期,硝态氮在团棵期大量累积是为马铃薯后期的生长提供条件。由表 3 还可以看出,除了空白对照处理(CK),RZ70 处理下同一生育期 0~100 cm 土层硝态氮累积量均低于其它处理。分析原因可能是 RZ70 缓释肥与马铃薯生育期需肥量相匹配,马铃薯对氮肥的吸收量提高,减少了硝态氮在不同土层的积累。

2.5 不同处理对氮肥利用率的影响

由表 4 中可以看出,不同处理情况下氮肥利用率差异较大。NXG 处理下,氮肥利用率最低,为 12.85%;RZ70 处理下,氮肥利用率最高,达到了 53.70%。较农民习惯施肥,MZY 施肥处理和施用缓释复混肥均可以提高肥料的氮素利用率,增幅为 3.38%~40.85%;较 MZY 施肥处理,除了农民习惯施肥(NXG)和 HN70 施肥处理,施用缓释复混肥均可以提高肥料的氮素利用率,增幅为 5.01%~33.25%。结合肥料利用率与土壤 0~100 cm 硝态氮累积量,可以看出 RZ70 处理提高了马铃薯对氮肥的利用率,降低了土壤 0~100 cm 硝态氮的累积量。

3 结论与讨论

缓释复混肥具有养分释放慢、肥效期长、稳定、能不断地供给作物整个生育期对养分的需求,达到提高产量,降低氮素的挥发和淋失等优点。周瑞荣等^[19]研究发现,施可丰缓释氮肥对马铃薯有明显的增产作用,在缓释氮肥减量 20%的情况下仍有 5.6%的增产作用。董亮等^[22]通过田间试验研究施用缓释氮肥对马铃薯产量影响,结果表明缓释氮肥与习惯施用普通氮肥处理相比,产量增加 8.0%~25.6%,并可以提高马铃薯的一级商品率。张佩等^[23]研究

表 3 马铃薯不同生育期 0~100 cm 土层硝态氮的累积量/(kg·hm⁻²)

Table 3 NO₃⁻-N accumulation at 0~100 cm soil layers under different growth stages of potato

处理 Treatment	苗期 Seedling stage	团棵期 Resettling stage	开花期 Flowering stage	结薯期 Potato stage	成熟期 Mature stage
NXG	721.72±12.26 a	689.72±14.27 a	615.80±19.65 a	606.20±25.81 a	569.46±18.08 a
MZY	702.98±10.90 a	709.64±19.62 a	602.52±11.62 a	573.98±22.98 ab	563.54±17.49 a
HN50	595.70±13.91 c	664.30±23.58 ab	541.14±30.21 b	525.62±15.14 b	512.84±15.07 bc
HN70	642.96±9.23 b	670.00±12.08 a	622.40±22.13 a	551.80±19.88 b	491.20±10.23 cd
RZ30	553.72±9.70 d	591.18±22.84 c	625.68±18.67 a	538.80±14.72 b	475.38±4.48 cd
RZ50	548.70±14.47 d	609.64±25.48 bc	575.62±10.11 ab	549.36±10.38 b	550.10±17.90 ab
RZ70	519.46±17.10 d	567.26±16.63 c	540.92±23.10 b	459.54±18.39 c	457.26±7.82 d
CK	363.02±12.04 e	368.71±16.07 d	376.84±25.03 c	401.32±8.32 d	379.68±11.24 e

注:同一列数值后的不同小写字母表示处理间在 P<0.05 水平差异显著。
Note: Values followed by different small letters within each column are significant between different treatments at P<0.05 level.

表 4 不同处理对马铃薯氮肥利用率的影响

Table 4 Effects of different treatment on nitrogen use efficiency of potato

处理 Treatment	施氮量/(kg·hm ⁻²) Nitrogen rate	氮素吸收量/(kg·hm ⁻²) Nitrogen absorption	氮肥利用率/% NUE	较习惯施肥增加/% Increasing amount compare with NXG	较专用肥增加/% Increasing amount compare with MZY
CK	0	170.80	—	—	—
NXG	192	195.47	12.85	—	-7.60
MZY	120	195.34	20.45	7.60	—
HN50	120	201.57	25.64	12.79	5.19
HN70	168	198.07	16.23	3.38	-4.22
RZ30	72	189.13	25.46	12.61	5.01
RZ50	120	220.24	41.20	28.35	20.75
RZ70	168	261.02	53.70	40.85	33.25

发现,施用与常规施肥等养分量的骅农牌马铃薯缓释肥料,产量比常规施肥区增加 581 kg·hm⁻²,增产率为 30.36%。赵颖等^[24]研究发现,滴灌+缓释肥处理的块茎质量分别比常规灌溉施肥处理平均提高 28.68%。本研究也证明了这一点。本研究发现,RZ70 处理下马铃薯产量均高于其它处理,为 47 240 kg·hm⁻²;较 NXG 处理增产 2 175 kg·hm⁻²,增产率为 4.83%;较 MZY 处理增产 5 085 kg·hm⁻²,增产率为 12.06%。说明,合理的施用缓释复混肥,对马铃薯的高产、稳产起到了极大的促进作用。

李燕婷等^[18]在大田条件下,研究了 4 种缓释复混肥料对玉米产量的影响,结果表明缓释复混肥在降低土壤硝态氮积累、减轻施肥对地下水污染等具有较大作用。与普通尿素相比,缓释复混肥能够协调养分的释放时间、强度,使其与作物需求吻合,因而使氮素利用率得以大幅度提高。本研究发现,空白对照(CK)处理下,马铃薯整个生育期 0~100 cm 各土层硝态氮含量均低于其它处理。除了空白对照(CK)处理和 HN70 处理,马铃薯整个生育期 0~100 cm 各土层硝态氮含量呈先增加后降低的趋势,硝态氮含量在团棵期出现了一个峰值,且主要集中在 20~40 cm 土层。说明,对马铃薯而言,一方面团棵期是马铃薯生长的关键时期,团棵期之后马铃薯生长迅速,要求有充足的氮素供应;另一方面降雨较多,导致硝态氮的大量淋洗。因此,必须同时考虑实际供氮能力和马铃薯对氮素的需求,合理施用肥料。进一步说明,缓释复混肥的施用降低了氨挥发损失,减少了土壤溶液中的硝态氮浓度,没有造成下层土壤(40 cm 以下)的硝态氮累积,提高了氮肥利用率。董亮等^[22]对马铃薯上应用控释尿素进行了研究,结果表明在土壤 0~80 cm 各土层施用控释尿素的处理硝态氮含量均低于普通尿素处理。赵杰等^[25]在研究控释氮肥对土壤硝态氮含量影响时指出,控释肥处理较普通尿素处理可以降低玉米

耕层土壤硝态氮含量。本研究也证明了这一点。本研究发现,不同处理下 0~20,20~40,40~60,60~80 cm 和 80~100 cm 土层马铃薯整个生育期硝态氮含量的大小顺序为: NXG、MZY > HN50、HN70 > RZ50、RZ30>RZ70>CK。说明,缓释复混肥处理与速效尿素、习惯施肥(NXG)和 MZY)处理相比,减少了马铃薯种植地土壤硝酸盐在土体中的累积,降低了因施肥而造成的地下水环境污染,尤其是 RZ70 处理,降低效果尤为明显。因此,土壤中残留的硝态氮水平较常规施肥低。前人研究结果表明,硝态氮在土壤剖面的不同分布与施肥量和肥料种类有很大的关系。本研究发现,马铃薯整个生育期土壤硝态氮的累积量呈现先增后降的趋势,在团棵期出现一个累积峰值,说明硝态氮在团棵期大量累积是与马铃薯的需肥规律相匹配的,此时硝态氮的大量累积可以为马铃薯后期的生长提供足够的营养。本研究还发现,RZ70 处理下同一生育期硝态氮累积量均低于其它处理,说明合理的肥料用量与肥料品种,可以提高马铃薯对氮肥的吸收利用,减少了硝态氮在土壤的累积。据中科院南京土壤所对全国 782 个田间试验点调查,我国氮利用率为 28%~41%,平均为 33.7%。赵杰等^[25]通过田间试验研究方法,研究不同控氮比掺混肥对氮素利用率的影响,结果表明控氮比 52.5%掺混肥提高氮素利用率最高能达到 65.38%。刘飞等^[26]通过田间小区试验,研究了不同控释肥处理对马铃薯氮素利用率的影响,结果表明减量控释肥(80%常规量)处理的氮素利用率达到 65.02%,与农民常规施肥相比提高了 39.91%。本研究发现,NXG 处理下氮肥利用率最低,为 12.85%;RZ70 处理下氮肥利用率最高,达到了 53.70%。较农民习惯施肥,增幅为 3.38%~40.85%;较 MZY 施肥处理,增幅为 5.01%~33.25%。说明,缓控释尿素能有效控制养分缓慢释放以满足作物不同阶段对养分的需求,降低了氨挥发和氮素

向土壤深层淋溶,确保了养分的高效利用,提高了氮肥利用率。

综上所述,施用缓释复混肥料 RZ70,一方面提高了产量,另一方面减少土壤硝态氮向深层土壤的淋洗,提高了肥料利用率,降低了由于不合理施肥而导致的地下水的污染风险,对于普通化肥来讲,缓释复混肥料是环境友好型肥料,应大力推广。本文仅为一年的试验结果,有待在不同肥力基础的土壤上进一步验证。

致谢:感谢青海省湟中县海宁合资化肥厂、青海荣泽农业生物科技有限责任公司和湟中县农业技术推广中心对本研究实施过程中的大力支持。

参 考 文 献:

[1] 田种存,张洋,张荣,等.青海省东部雨养区马铃薯高效施肥研究[J].广东农业科学,2012,39(11):83-85.

[2] 郭恒,陈占全.山旱区全膜覆盖种植马铃薯施肥现状分析及建议[J].青海农林科技,2012,(3):34-36.

[3] 张德奇,廖允成,贾志宽.旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):208-213.

[4] 王麦芬.推广全膜双垄集雨栽培技术加快提升旱作农业科技水平[C]//植物营养与农业资源学术研讨会论文集,2011:34-43.

[5] 苏建国,王春燕,韩兴斌,等.旱地马铃薯不同覆膜方式对土壤水分及产量的影响研究[J].宁夏农林科技,2011,52(2):19-20.

[6] 韩春生.全膜覆盖条件下缓释氮肥对马铃薯产量、品质的影响[J].广东农业科学,2013,(16):16-17.

[7] 尹孝萍.缓释氮肥对垄作全膜覆盖马铃薯干物质及产量的影响[J].青海大学学报(自然科学版),2015,33(2):12-16.

[8] 王晓凌,董普辉,李凤民.垄沟覆膜集雨对马铃薯产量及水分和氮肥利用的影响[J].河南农业科学,2007,27(10):84-87.

[9] 茹淑华,张国印,孙世友,等.不同施氮量对华北平原作物产量及土体硝态氮分布和累积的影响[J].华北农学报,2012,27(6):172-177.

[10] 叶东靖,高强,何文天,等.施氮对春玉米氮素利用及农田氮素平衡的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(3):552-558.

[11] 刘宏斌,李志宏,张云贵,等.北京平原农区地下水硝态氮污染状况及其影响因素研究[J].土壤学报,2006,43(3):405-413.

[12] 刘晓晨,孙占祥.地下水硝态氮污染现状及研究进展[J].辽宁农业科学,2008,(5):41-45.

[13] Zhang W L, Tian Z X, Zhang N, et al. Nitrate pollution of groundwater applied to maize grown on a calcareous fluvio-aquic soil in north China[J].Pedosphere, 1996, 2: 171-178.

[14] 李秀庆.湟水河流域污染物的迁移转化分析及水质评价[D].西宁:青海师范大学,2013.

[15] 王青海,王之仓,李萍.青海省湟水河流域水质污染特征分析[J].青海师范大学学报(自然科学版),2009,(4):71-74.

[16] 吴欢欢,李若楠,张彦才,等.我国缓/控释肥发展现状、趋势及对策[J].华北农学报,2009,24(增刊):263-267.

[17] 段玉,孙广琴,张君,等.缓释尿素对马铃薯产量和肥料利用效率的影响[J].北方农业学报,2016,44(5):25-30.

[18] 李燕婷,李秀英,赵秉强,等.缓释复混肥料对玉米产量和土壤硝态氮淋失累积效应的影响[J].中国土壤与肥料,2008(5):45-48.

[19] 周瑞荣,孙锐锋,肖厚军.缓释肥料在马铃薯上的应用效果[J].西南农业学报,2010,23(5):1763-1765.

[20] Whalen S C. Influence of N and non-N salts on atmospheric methane oxidation by upland pore's forest and tundra soils [J]. Biology and fertility of soils, 2000, 31: 279-287.

[21] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:9-110.

[22] 董亮,张玉凤,刘苹,等.控释肥减量施用对马铃薯产量、品质及土壤硝态氮含量的影响[J].江西农业学报,2012,24(6):86-89.

[23] 张佩,赵欢.缓释肥料对马铃薯产量和经济效益的影响[J].南方农业,2015,9(18):33-34.

[24] 赵颖,史书强,何志刚,等.不同灌溉模式下新型缓释肥对马铃薯产量与土壤养分运移的影响[J].江苏农业科学,2016,44(2):130-132.

[25] 赵杰,宋付朋.不同控氮比掺混肥与运筹方式对土壤硝态氮和氮素利用率的影响[J].水土保持学报,2010,24(3):119-122.

[26] 刘飞,诸葛玉平,陈增明,等.控释肥对马铃薯产量、氮素利用率及经济效益的影响[J].中国农学通报,2011,27(12):215-219.