

控释尿素对旱作马铃薯产量及水分利用效率的影响

孙梦媛, 刘景辉*, 米俊珍, 张兰英, 王英
(内蒙古农业大学 农学院, 呼和浩特 010019)

摘要: 【目的】探究控释尿素对覆膜马铃薯氮素诊断指标、产量、经济效益及水分利用效率的影响。【方法】通过田间试验,研究了不施肥(CK)、普通尿素(CF, N施量 200 kg/hm²)和控释尿素(CRU1 (N施量 180 kg/hm²), CRU2 (N施量 160 kg/hm²)和 CRU3 (N施量 140 kg/hm²))对马铃薯叶片叶绿素(Chl)、氮平衡指数(NBI)、类黄酮(Flav)值、产量、经济效益、水分利用效率及氮肥偏生产力的影响。【结果】马铃薯叶片 Chl 和 NBI 值均随施氮量的降低而降低, Flav 值随施氮量的降低而增加。不同施肥量和生育期均显著影响叶片 Chl、NBI 和 Flav 值 ($P < 0.01$), 但施肥量和生育期的交互作用不显著 ($P > 0.05$)。随着施氮量降低, 马铃薯产量和经济效益均降低, 表现为: CF 处理 > CRU1 处理 > CRU2 处理 > CRU3 处理 > CK。控释尿素降低了马铃薯产量和经济效益, CRU1 处理减产幅度最小。与 CRU1 处理相比, CF 处理马铃薯产量和经济效益分别提高了 5.18% 和 24.26%, 但商品薯率和氮肥偏生产力分别降低 6.50% 和 5.33%。相似的耗水量和水分利用效率也随施氮量的降低呈减小趋势, CF 处理耗水量和水分利用效率均能保持较高水平, 且水分利用效率与 CK、CRU2 处理和 CRU3 处理达到显著性差异 ($P < 0.05$); 与施用控释尿素 CRU1、CRU2 和 CRU3 处理相比, CF 处理耗水量提高幅度为 2.79%~5.02%, 对应水分利用效率提高幅度为 2.33%~11.58%。【结论】CF 能保证旱作全覆膜马铃薯产量和水分利用效率, 提高经济效益, 可作为黄土丘陵沟壑区一个可行的施肥策略。

关键词: 氮素诊断指标; 控释尿素; 产量; 水分利用效率; 氮肥偏生产力; 经济效益

中图分类号: S143.1

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2020116

OSID:



孙梦媛, 刘景辉, 米俊珍, 等. 控释尿素对旱作马铃薯产量及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(2): 7-15.

SUN Mengyuan, LIU Jinghui, MI Junzhen, et al. The Effects of Controlled-release of Urea on Yield and Water Use Efficiency of Rain-fed Potato[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(2): 7-15.

0 引言

【研究意义】人口增长、耕种粗放及气候恶化等因素导致全球农业区域的耕地退化以及干旱问题加重, 低水、氮利用效率威胁着旱作地区土壤质量以及作物生产的可持续发展^[1]。中国是世界上化肥消费最大的国家, 在约占全球 9% 的耕地面积上使用了全球 30% 以上的化肥 (FAOSTAT, <http://www.fao.org/faostat/>)。氮肥不合理施用, 使土壤氮饱和, 造成土壤氮素流失, 导致土壤质量退化和环境污染^[1-2]。马铃薯是世界上仅次于水稻、玉米和小麦的第四大粮食作物^[3], 含有丰富的营养元素, 是人们喜爱的粮菜兼用型经济作物。内蒙古马铃薯种植面积和总产量位居全国前列, 是当

地特色作物, 然而马铃薯主产区大部分位于农牧交错带, 水资源短缺和土壤贫瘠是该地区农业发展的重要限制性因素^[4]。与小麦、玉米等其他主要作物相比, 马铃薯根系分布较浅且弱, 对土壤氮素吸收能力较弱, 将加重土壤养分流失, 对土壤环境及地下水安全造成潜在威胁。因此, 在合理施肥确保粮食安全的前提下, 提高旱作马铃薯水、氮利用效率是保障旱区农业可持续发展的有效途径。【研究进展】近年来, 缓/控释肥料和地膜覆盖的应用成为解决上述问题的新途径。地膜覆盖可以提高雨水收集能力, 维持土壤热平衡, 促进土壤养分的释放和利用, 在提高水肥利用效率方面显示出巨大潜力^[5-6]。然而, 地膜覆盖追肥困难, 易造成作物生长前期土壤养分耗尽, 致使马铃薯生长后期脱肥早衰而造成减产等问题^[7]。控释肥可定量控制肥料养分释放的数量和周期, 可以使养分供应和植物养分需求得以协调的聚合物包膜尿素。缓释氮肥不仅能满足高产优质的需要, 还具有作物全生育期肥料一次性基施和节省劳动力, 减少肥料用量, 提高氮肥

收稿日期: 2020-03-03

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2015BAD22B04-02)

作者简介: 孙梦媛 (1992-), 女, 河南伊川人。博士研究生, 主要从事作物栽培学与耕作学研究。E-mail: 13789411831@163.com

通信作者: 刘景辉 (1965-), 男, 内蒙古奈曼旗人。教授, 博士生导师, 主要从事耕作制度与农业生态系统研究。E-mail: caulju@163.com

利用率并减少环境污染的特点^[8-9]。因此,控释肥结合地膜覆盖被认为是旱作区提高土壤水氮利用效率和作物产量的有效措施^[10]。作物地上部的氮素状况是改善氮肥管理、优化产量和质量有效性依据^[11]。传统方法测定作物地上部氮素营养状况不仅会破坏植株的生长,且操作复杂、耗时长,难以实现作物生长期间的实时监测^[12]。Dualox 仪作为一种迅速、准确、无损伤地测定作物叶片叶绿素(Chl)、叶片多酚(Flav 主要为类黄酮)和氮平衡指数(NBI)的工具,能及时地掌握作物氮素状况,已在玉米、马铃薯等作物氮素诊断中得到了广泛应用^[13-15]。刘飞等^[16]研究表明,与普通肥料相比,控释肥有利于提高马铃薯的株高、茎粗和 SPAD 值,分别提高 5.94%、9.04% 和 5.55%,且控释肥减量 20% 仍不影响其促进作用。研究表明,控释肥有利于提高马铃薯的产量和氮素表观利用率及产投比,分别提高 8.35%、26.75% 和 39.56%^[17]。席旭东等^[18]通过比较对全膜马铃薯关键生长指标和产量,认为缓控释肥在施用 900 kg/hm² 的高肥水平时,其马铃薯产量、大薯率和商品薯率均达到最大。Liu 等^[10]研究表明,与常规尿素相比,控释尿素提高玉米产量及土壤水和氮利用效率。然而,施用控释尿素对全地膜覆盖下作物叶片氮素诊断指标、水和氮利用效率的研究比较缺乏。【切入点】目前国内外研究主要集中在控释肥对作物产量^[19]和提高氮肥利用率方面^[20],而对作物耗水量,水分利用效率及叶片氮素诊断指标(Chl、Flav 和 NBI)影响的研究鲜见报道,尚不清楚控释尿素在全覆膜马铃薯下水分利用效率以及叶片氮素诊断指标变化规律。【拟解决的关键问题】本研究基于田间观察,探究控释尿素对旱作全覆膜马铃薯氮素诊断指标、产量、贮水量、耗水量、水分利用效率、氮肥偏生产力、肥料农学效率和经济效益的影响,以期黄土丘陵区旱作马铃薯的生产发展提供一定数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2018 年 5—10 月在内蒙古清水河县宏河镇(39°57'N, 111°39'E)进行。该地区为典型长城沿线旱作丘陵区,旱坡地占 95% 以上,平均海拔 1 374 m。年平均气温 7.1 °C, ≥10 °C 积温 2 370 °C,无霜期 140 d,年日照时间为 2 914 h,年平均大风时间达 19 d,年总辐射量 570.6 kJ/cm²,干燥度 3.94,年蒸发量 2 577 mm,年均降水量 365 mm,降水主要集中在 7—9 月,春旱尤为严重,属典型的中温带半干旱大陆性季风气候^[21]。试验地土壤为典型黄绵土,0~60 cm 土壤平均

干体积质量为 1.44 g/cm³,田间持水率为 22.3% (质量)。播前 0~20 cm 土层的化学性质如下:全碳量、全氮量、C/N、有效磷量、速效钾量和 pH 值分别为 10.8 g/kg、0.83 g/kg、13.17、7.2 mg/kg、121.5 mg/kg 和 7.96。由表 1 可知,1—6 月降水量极小,最大降水量为 71.4 mm,7 月降水量最高 160.1 mm,之后降水量又有所降低。

表 1 2018 年试验地降水量

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9
降水量/mm	5	0	10.4	31.8	71.4	7.1	160.1	84.3	31.5

1.2 试验设计

采用大田小区试验,共设 5 个处理。各处理为 CK: 对照,不施肥; CF: 普通尿素处理,施氮量按照当地农民施肥习惯,纯氮 200 kg/hm²; CRU1: 控释尿素处理,施氮量为 CF 90%,纯氮 180 kg/hm²; CRU2: 控释尿素处理,施氮量为 CF 80%,纯氮 160 kg/hm²; CRU3: 控释尿素处理,施氮量为 CF 70%,纯氮 140 kg/hm²。根据当地施肥各处理磷肥(P₂O₅)和钾肥(K₂O)用量分别设为 120 和 150 kg/hm²。氮肥用尿素(N46%,内蒙古呼和浩特市耕宇化肥有限公司)和控释尿素(含 N44.5%,释放周期为 90 d,宁夏荣和绿色科技有限公司),磷肥用过磷酸钙(P₂O₅ 12%),钾肥用硫酸钾(K₂O 50%),氮、磷、钾肥全部在播种行条施。

采用完全随机区组设计,每个处理 3 次重复,小区面积 40 m² (5 m×8 m),各小区之间用 2 m 的保护行隔开,试验地周围设置 5 m 宽的保护行,小区周围用凸起的垄包围以免雨水通过径流流失。供试马铃薯品种为“克新 1 号”,采用全膜单垄上微沟播种植模式,垄宽 70 cm,高 20 cm,垄中开深 10 cm 小沟,沟宽 40 cm,每垄播种 2 行,播种密度为 51 947 株/hm²,播深 10~15 cm,马铃薯于 5 月 11 日播种,9 月 17 日收获。覆盖地膜后 1 周左右,待地膜坐实并与地面贴紧时,在沟中间每隔 50 cm 处用木棍打一直径为 3 mm 的渗水孔,便于降雨的下渗贮存。整个试验季,需要经常沿垄沟仔细逐行检查,发现地膜破损,需要及时用细土盖严,防止大风揭膜和水分散失。试验地管理同当地一样,全生育期不进行灌溉。

1.3 测定项目及方法

1) 叶片氮素诊断指标测定: 采用 Dualox-4 氮平衡指数测量仪(Force-A, Orsay, 法国),在马铃薯块茎形成期、块茎膨大期和淀粉积累期每小区选择具有代表性的植株 10 株,于上午 08:30—11:30 测定夹取测试样品叶片进行叶片叶绿素值(Chl)、多酚值

(主要为类黄酮 Flav) 和氮平衡指数 (NBI)。由于叶片上表面的 Dualex 值与叶片多酚值具有极显著的相关性, 所以农业生产管理中只需测定叶片上表面的 Dualex 值即可。

2) 产量及构成: 收获前每小区随机取 15 株考种, 计算经济产量 (块茎产量), 分析产量性状。大薯的评价标准为: 大薯质量 150 g 以上。测产时, 采集除去边行、未进行取样的 3 垄马铃薯测实产收获时按小区测实产。

3) 土壤含水率测定: 马铃薯播种前和收获后在每个小区随机选取 3 点, 取样点位于 2 株之间, 用直径 3 cm 的土钻分层采集 0~100 cm 土层的土壤样品, 每层 20 cm, 将各层 3 点的土样混合后装入塑封袋, 采用烘干称质量法测定土壤质量含水率。

4) 经济效益分析: 对不同农艺措施经济效益的评价, 是通过计算各处理下总的投入值 (包括劳动力投入和资金投入) 和总产出值的差值, 即净收入来衡量技术的实际经济效益。其中, 投入包括塑料薄膜的投入, 肥料的投入和人工打孔开沟投入 (不包含燃油投入和种薯投入), 劳动力投入根据试验开展期间当地工资水平转化为资金投入来计算 (地膜每卷 40 元, 尿素 1.8 元/kg, 控释尿素 3.2 元/kg, 硫酸钾 2.7 元/kg, 过磷酸钙 0.62 元/kg, 人工每天 100 元)。总的产出值包含了马铃薯块茎总的经济产出 (平均价格 0.8 元)。

1.4 计算公式

1) 土壤贮水量

$$SWS(\text{mm})=SWC(\%) \times \rho b(\text{g}/\text{cm}^3) \times H(\text{mm}), \quad (1)$$

式中: SWS 为土壤贮水量 (mm); ρb 为土壤干体积质量 (g/cm^3); H 为土层深度 (mm)。

2) 作物耗水量

$$ET=P+\Delta SWS+I+K+D, \quad (2)$$

式中: ET 为作物生育期耗水量 (mm); P 为作物生育期降水量 (mm); ΔSWS 为作物播种期土壤贮水量与收获期土壤贮水量的差 (mm); I 为生育阶段灌溉量 (mm) (该试验田全生育期旱作不灌溉, 可视为 0); K 为生育阶段地下水补给量 (mm) (该试验田地下水埋深在 20 m 以下, 可视为地下水补给量为 0); D 为深层渗漏量 (mm) (生育期内无强度过大降水, 可视为深层渗漏量为 0)。

3) 水分利用效率

$$WUE=Y/ET, \quad (3)$$

式中: WUE 为作物水分利用效率 ($\text{kg}/(\text{hm}^2 \text{ mm})$); Y 为作物产量 (kg/hm^2); ET 为作物耗水量 (mm)。

4) 氮肥偏生产力

$$NPFP=Y/N, \quad (4)$$

式中: $NPFP$ 为氮肥偏生产力 (kg/kg); Y 为施肥条

件下作物的产量 (kg/hm^2); N 为氮总施肥量 (kg/hm^2)。

5) 肥料农学效率

$$AE=(Y-Y_0)/F, \quad (5)$$

式中: AE 为肥料农学效率 (kg/kg); Y 为施肥条件下作物的产量 (kg/hm^2); Y_0 为不施肥条件下作物的产量 (kg/hm^2); F 为肥料纯养分 (N、 P_2O_5 和 K_2O) 的投入量 (kg/hm^2)。

6) 肥料贡献率

$$FCR=(Y-Y_0)/Y \times 100\%, \quad (6)$$

式中: FCR 为肥料贡献率 (%); Y 为施肥条件下作物的产量 (kg/hm^2); Y_0 为不施肥条件下作物的产量 (kg/hm^2)。

1.5 数据处理

应用 Excel 2007 软件对数据进行处理和绘图, 采用 SAS 9.0 进行方差分析 ($P<0.05$) 及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对马铃薯叶片 Chl、Flav 及 NBI 值的影响

表 2 为不同施氮处理下马铃薯叶片 Chl、Flav 及 NBI 值变化特征。由表 2 可知, 不同施氮肥量和生育期显著影响叶片 Chl 值 ($P<0.01$), 但施氮肥量和生育期的互作差异不显著 ($P>0.05$)。不同处理间叶片 Chl 值随着生育期的推进逐渐下降且存在差异。块茎形成期, CF 处理和 CRU1 处理叶片 Chl 值均显著高于不施肥 CK, CF 处理显著高于 CRU2 处理和 CRU3 处理; 块茎膨大期, 各施肥处理叶片 Chl 值均显著高于不施肥 CK, CRU1 处理显著高于 CF、CRU2 处理和 CRU3 处理; 淀粉积累期, 各施肥处理叶片 Chl 值均显著高于不施肥 CK, 但 CRU1 处理显著高于 CRU3 处理。平均整个生育时期, 各处理马铃薯叶片 Chl 值总体表现为 CRU1 处理 > CF 处理 > CRU2 处理 > CRU3 处理 > CK, 分别为 31.05、30.30、28.48、26.06 和 25.88。

从表 2 可以看出, 不同施氮肥量和生育期显著影响叶片 Flav 值 ($P<0.01$), 但施氮肥量和生育期的互作差异不显著 ($P>0.05$)。叶片 Flav 值随着施氮量的增加而相应降低。块茎形成期, 仅有 CF 处理与 CK 叶片 Flav 值差异显著, 其余处理叶片 Flav 值均与 CK 差异不显著; 块茎膨大期, 各处理叶片 Flav 值均与 CK 差异显著; 淀粉积累期, 各处理叶片 Flav 值均与 CK 差异显著, CF 处理与 CRU3 处理间叶片 Flav 值差异不显著但显著高于 CRU1 处理和 CRU2 处理。平均整个生育时期, 各处理马铃薯叶片 Flav 值总体表现为 CK > CRU3 处理 > CRU2 处理 > CRU1 处理 > CF 处理, 分别为 1.78、1.56、1.47、1.45 和 1.40。

表 2 不同处理下马铃薯叶片 Chl、NBI 和 Flav 值的变化

Table 2 The variation of leaf Chl, NBI and Flav value under different treatments

指标	处理	块茎形成期	块茎膨大期	淀粉积累期
Chl	CK	29.57±2.57c	22.18±1.17d	20.27±1.15b
	CF	36.14±2.73a	28.07±1.68b	26.69±1.58a
	CRU1	34.47±0.48ab	30.78±1.66a	27.89±3.02a
	CRU2	31.38±2.17bc	27.28±1.59bc	26.79±1.47a
	CRU3	31.00±2.31bc	25.09±0.95c	22.09±3.18b
	施肥 (F)	-	**	-
	时期 (S)	-	**	-
	F×S	-	NS	-
Flav	CK	1.50±0.02a	1.89±0.06a	1.96±0.06a
	CF	1.25±0.23b	1.38±0.08c	1.58±0.08b
	CRU1	1.29±0.09ab	1.51±0.08bc	1.55±0.08c
	CRU2	1.31±0.04ab	1.53±0.06b	1.57±0.07c
	CRU3	1.33±0.08ab	1.63±0.08b	1.72±0.10b
	施肥 (F)	-	**	-
	时期 (S)	-	**	-
	F×S	-	NS	-
NBI	CK	20.02±2.04c	11.90±0.73d	10.46±0.65b
	CF	29.71±5.69a	21.00±1.87a	17.23±1.13a
	CRU1	25.83±2.06ab	19.29±2.09ab	18.01±2.88a
	CRU2	23.85±0.62bc	17.81±1.97bc	17.10±0.99a
	CRU3	23.24±1.58bc	15.46±0.59c	12.85±0.97b
	施肥 (F)	-	**	-
	时期 (S)	-	**	-
	F×S	-	NS	-

注 不同字母表示不同处理间差异达 0.05 显著水平。**表示在 0.01 水平上差异显著, NS 表示差异不显著。下同。

由表 2 亦可知,不同施氮肥量和生育期显著影响叶片 NBI 值 ($P<0.01$),但施氮肥量和生育期的交互差异不显著 ($P>0.05$)。叶片 NBI 值随施氮量的减少相应减少,各生育时期均以不施肥 CK 的叶片 NBI 值最低。块茎形成期和块茎膨大期,CF 处理的 NBI 值最高,显著高于 CRU2 处理、CRU3 处理和 CK;块茎膨大期,CF 处理的叶片 NBI 值最高,显著高于 CRU2、CRU3 处理和 CK;淀粉积累期,各处理叶片 NBI 值均显著高于 CK,而 CF、CRU1 和 CRU2 处理间差异不显著。平均整个生育时期,与 CK 相比,CF、CRU1、CRU2 和 CRU3 处理叶片 NBI 值分别增加 60.31%、48.98%、38.64%和 21.63%。

2.2 不同处理对马铃薯产量及构成因素的影响

表 3 为不同施氮量下马铃薯产量及构成因素的变化。随着施氮量降低,马铃薯单株结薯数降低,与 CK 相比,各处理单株结薯数均无显著差异。同理,随着施氮量降低,马铃薯单株薯质量降低,各处理单株薯质量均显著高于 CK,CF 处理单株薯质量显著高于 CRU3 处理,但与 CRU1 处理和 CRU2 处理间差异不显著。商品薯率以 CRU1 处理最高 (93.63%) 且与 CK 存在显著性差异。CF 处理大薯率最高为 39.83%,CRU2 处理大薯率最低为 29.54%,仅有 CF 处理与 CRU2 处理显著差异,CK、CRU1 和 CRU3 处理均与 CF 处理无显著差异。产量随着施氮量的降低而降低。各处理产量均显著高于 CK。与控释尿素 (CRU1、CRU2 和 CRU3 处理) 处理相比,CF 处理产量提高幅度为 5.18%~17.17%。与 CK 相比,CF、CRU1、CRU2 和 CRU3 处理产量分别增加 94.31%、84.74%、72.73%和 65.83%。

表 3 不同处理下马铃薯产量及构成因素的变化

Table 3 The variation of tuberyield and yield components of potato under different treatments

处理	单株结薯数/个	单株薯质量/kg	商品薯率/%	大薯率/%	产量/(t hm ⁻²)
CK	3.14±0.06a	0.37±0.02c	85.01±4.00b	33.33±3.61ab	19.14±0.82c
CF	4.40±1.04a	0.77±0.11a	87.54±1.51ab	39.83±5.39a	37.19±1.32a
CRU1	4.17±0.57a	0.65±0.07ab	93.63±2.31a	31.99±3.99ab	35.36±1.97ab
CRU2	4.10±0.44a	0.64±0.03ab	90.22±5.64ab	29.54±5.91b	33.06±1.14ab
CRU3	3.77±0.90a	0.62±0.09b	84.32±5.49b	37.03±5.60ab	31.74±3.20b

2.3 不同处理对土壤贮水量的影响

不同施氮肥量对土壤 0~60 cm 土层贮水量的影响如表 4 所示。从表 4 可以看出,随着生育进程推进,各个土层贮水量均呈先增加后降低再增加“N”形变化趋势。块茎形成期土壤贮水量最高,与 CK 相比,CF、CRU1、CRU2 和 CRU3 处理在 0~20 cm 土层分别提高 7.20%、-7.26%、-4.39%和-25.52%,20~40 cm 土层为 6.50%、-2.91%、7.72%和-8.07%,40~60 cm 土层则为 30.30%、14.38%、15.78%和 4.48%。平均

整个生长季和土层,与 CK 相比,CF、CRU1、CRU2 和 CRU3 处理土壤贮水量分别高出 4.92、1.75、3.63 和 1.27 mm。施肥 (CF、CRU1、CRU2 和 CRU3 处理) 0~60 cm 土层土壤贮水量优于不施肥 CK。CF 处理平均土壤贮水量 (29.72 mm) 明显高于控释尿素 (CRU1、CRU2 和 CRU3 处理)。

2.4 不同处理对土壤耗水量及水分利用效率的影响

表 5 为不同施氮处理下马铃薯土壤耗水量和水分利用效率结果。由表 5 可知,不同处理对土壤 0~100

cm 土层范围内的耗水量具有不同影响。随着施氮量减少各处理耗水量减少，但各处理均无显著性差异，其中 CF 处理的土壤耗水量最高，为 393.98 mm，CK 耗水量最低为 372.14 mm。与控释尿素（CRU1、CRU2 和 CRU3 处理）处理相比，CF 处理土壤耗水量增幅为 2.79%~5.02%。与 CK 相比，CF、CRU1、CRU2 和 CRU3 处理的耗水量分别提高 5.87%、2.99%、2.12% 和 0.80%。从表 5 可以看出，随着施氮量减少各处理水分利用效率减少，CK 的水分利用效率显著低于其

他处理，CF 处理和 CRU1 处理水分利用效率无显著差异，但均显著高于 CRU3 处理的水分利用效率。与控释尿素（CRU1、CRU2 和 CRU3 处理）处理相比，CF 处理水分利用效率提高幅度为 2.33%~11.58%。CF 处理的水分利用效率最高 94.40 kg/（hm² mm），CK 的水分利用效率最低为 51.45 kg/（hm² mm）。与 CK 相比，CF、CRU1、CRU2 和 CRU3 处理的水分利用效率分别提高 83.48%、79.30%、69.10% 和 64.43%。

表 4 不同处理各生育期 0~60 cm 土壤贮水量

土层/cm	处理	苗期	块茎形成期	块茎膨大期	淀粉积累期	成熟期
0~20	CK	15.44±1.26b	32.37±2.30a	11.79±1.32b	12.03±0.82b	26.20±0.46c
	CF	17.85±2.59ab	34.70±3.36a	17.33±1.54a	15.37±1.69ab	32.25±1.44ab
	CRU1	19.02±3.22ab	30.02±5.16ab	16.17±0.37a	13.79±3.05ab	31.27±4.69ab
	CRU2	22.18±3.47a	30.95±1.97a	15.90±1.27a	16.26±1.26a	34.07±1.72a
	CRU3	14.99±0.88b	24.11±2.54b	15.95±2.57a	14.62±1.99ab	28.23±0.47bc
20~40	CK	25.88±1.66a	34.32±1.48ab	24.05±1.46b	14.11±1.06b	33.96±4.19a
	CF	27.27±3.92a	36.55±4.23a	31.06±2.26a	16.89±1.84ab	32.58±0.50a
	CRU1	22.62±4.59a	33.32±2.53ab	21.58±4.01b	17.80±1.85ab	37.19±1.47a
	CRU2	28.66±3.73a	36.97±1.60a	25.49±1.78b	19.54±2.40a	36.63±2.26a
	CRU3	22.34±3.51a	31.55±1.84b	30.44±1.96a	17.72±3.08ab	35.54±3.05a
40~60	CK	28.37±1.79bc	34.85±2.20c	29.48±2.85b	19.98±0.69b	29.14±2.23c
	CF	34.78±4.33a	45.41±1.46a	35.67±1.42a	25.10±1.39a	43.04±0.94a
	CRU1	27.61±1.42c	39.86±1.18b	29.87±2.61b	22.29±2.56ab	35.84±1.04b
	CRU2	32.76±0.78ab	40.35±0.71b	28.26±2.04b	23.34±3.17ab	35.01±2.19b
	CRU3	28.97±2.17bc	36.41±0.73c	31.84±1.74ab	21.59±1.80ab	36.72±3.78b

表 5 不同处理下土壤耗水量及水分利用效率变化

Table 5 The variation of water consumption and water use efficiency of potato under different treatments

处理	ET/mm	WUE/ (kg hm ⁻² mm ⁻¹)
CK	372.14±1.66a	51.45±1.59d
CF	393.98±8.82a	94.40±2.12a
CRU1	383.28±4.66a	92.25±1.12ab
CRU2	380.04±1.82a	87.00±2.74bc
CRU3	375.13±8.75a	84.60±1.97c

2.5 不同处理对马铃薯氮肥偏生产力、肥料农学利用效率和肥料贡献率的影响

不同施氮处理氮肥偏生产力、肥料农学利用效率和肥料贡献率如表 6 所示。由表 6 可知，随着施氮量降低氮肥偏生产力增加，CRU3 处理氮素偏生产力最高（226.68 kg/kg），显著高于 CF 处理，但与 CRU1 处理和 CRU2 处理处理间差异不显著。各处理氮肥偏生产力表现为：CRU3 处理>CRU2 处理>CRU1 处理>CF 处理。与控释尿素（CRU1、CRU2 和 CRU3 处理）处理相比，CF 处理氮肥偏生产力降低幅度为 5.33%~17.96%。各处理间肥料农学效率均无显著差

异，CRU3 处理肥料农学利用效率最低为 30.71 kg/kg，CF 处理肥料农学利用效率最高为 38.40 kg/kg。CF 处理肥料贡献率显著高于 CRU3 处理，与 CRU1 处理和 CRU2 处理间无显著差异，CRU3 处理肥料贡献率最低为 39.30%。

表 6 不同处理下马铃薯氮肥偏生产力、肥料农学效率和肥料贡献率的变化

Table 6 The variation of fertilizer use efficiency of potato under different treatments

处理	NPFP/ (kg kg ⁻¹)	AE/ (kg kg ⁻¹)	FCR/%
CK	-	-	-
CF	185.96 b	38.40 a	48.39 a
CRU1	196.43ab	36.03 a	45.61 ab
CRU2	206.65ab	32.37 a	42.08 ab
CRU3	226.68a	30.71a	39.30b

2.6 相关分析

叶片 Chl、NBI 和 Flav 值与马铃薯产量间相关关系如表 7 所示。从表 7 可以看出，块茎形成期、块茎膨大期和淀粉积累期叶片 Flav 值均与产量显著负相关。块茎膨大期和淀粉积累期叶片 NBI 值与产量显著

正相关。块茎形成期、块茎膨大期和淀粉积累期叶片 Chl 值均与产量呈正相关关系。块茎膨大期,叶片 Chl、NBI 和 Flav 值与产量相关性高于淀粉积累期和块茎形成期,除了 Flav 值。总体而言,叶片 NBI 和 Flav 值与马铃薯产量相关性优于 Chl 值与马铃薯产量相关性, NBI 值和 Flav 值反映马铃薯产量的潜力较大。

表 7 叶片 Chl、NBI 和 Flav 值与产量的相关性

时期	Chl	NBI	Flav
块茎形成期(产量)	0.812	0.875	-0.998**
块茎膨大期(产量)	0.868	0.949*	-0.976**
淀粉积累期(产量)	0.850	0.887*	-0.957*

2.7 不同处理下马铃薯经济效益分析

不同施氮处理下马铃薯经济效益分析见表 8。由表 8 可知,不同施氮处理(CF、CRU1、CRU2 和 CRU3 处理)处理资金投入较 CK 增加了 4 313、4 824、4 681 和 4 537 元,尽管总的投入值在 CF 处理和 CRU1 处理显著增加,而作物产量的提高在很大程度上抵消了额外的投入。不同施肥(CF、CRU1、CRU2 和 CRU3 处理)处理的总产出较 CK 分别增加了 94.26%、84.68%、72.70%和 65.76%,净收入也相应地增加了 10 125、8 145、6 455 和 5 535 元/hm²,总的经济产出主要取决于马铃薯的经济产量和马铃薯的价格。内蒙古约为 0.8 元/kg,产量的输出大小直接决定了总的经济产出。以 CF 处理和 CRU1 处理经济效益最好。

表 8 不同处理下马铃薯经济效益的变化

Table 8 The variation of economic benefits of potato

under different treatments			
处理	投入/(元 hm ²)	产出/(元 hm ²)	增加收入/(元 hm ²)
CK	-	15 316	-
CF	4 313	29 753	10 121
CRU1	4 824	28 285	8 145
CRU2	4 681	26 451	6 455
CRU3	4 537	25 388	5 535

3 讨论

作物叶片氮素营养状况实时、无损及快速的监测,能够及时掌握作物的生长和土壤氮素状况,对农田管理进行科学指导具有重要的意义。前人研究表明作物叶片 NBI 比独立的 Chl 值或 Flav 值能更好地评估作物氮素营养状况^[22],同时,叶片 NBI 值能及时地掌握作物氮素状况,加强农业氮素管理和减少环境污染。本试验结果表明,块茎形成期和块茎膨大期,叶片 Chl 值和 NBI 随着施氮量的降低而呈减少趋势,Flav 值随着施氮量的降低而增加,与 CF 处理相比,CRU1

处理叶片 Chl、NBI 和 Flav 值均无显著差异。植物 Chl 和 Dualex 值间具有极显著相关性,能较好地反映植物氮素营养状况^[23]。鱼欢等^[24]研究表明,同等施氮量下,SPAD 值和 Dualex 值均与玉米植株含氮量显著相关,可以作为实时快速指导玉米追肥的有效工具。本试验结果表明,块茎膨大期叶片 Chl、NBI 和 Flav 值与产量相关性优于块茎形成期和淀粉积累期。与叶片 Chl 和 NBI 相比,叶片 Flav 值在不同生育时期均与产量具有更高相关性,从而在整个试验过程中更好的预测产量。朱娟娟等^[14]研究表明, Dualex 和 SPAD/Dualex 值与玉米籽粒量间相关性稍优于 SPAD 值与玉米籽粒量间相关性,与本研究结果相似。

控释肥具有养分释放速率缓慢、减施增效效果好、减少环境污染等优点,越来越广泛应用于农业生产。控释肥能否在旱作马铃薯生产中大面积推广主要取决于施肥效果和成本。孙晓等^[25]研究表明,缓/控释尿素氮肥用量减少 20% 能够维持产量不降低,提高氮肥利用率 2.26%~12.69%。刘飞等^[17]研究表明,控释肥减量 20% 施用并未对其马铃薯单块茎质量、产量等造成明显影响,其氮素表观利用率、产投比与控释肥常规量施用相比分别提高了 22.43% 和 13.71%。岳超等^[26]研究表明,马铃薯施用缓控释肥对改善马铃薯产量构成因素不明显,但是可以明显提高产量和经济效益,且产量增幅在 7.88%~14.92%。杨永奎等^[27]研究表明,施用缓释肥料马铃薯的经济性状、产量和商品率都明显高于常规施肥处理,且比常规施肥增产 8 715 kg/hm²,纯收入增加 11 955 元/hm²。试验结果表明,控释尿素(CRU1、CRU2 和 CRU3 处理)处理与传统施肥(CF)处理相比,马铃薯产量分别降低了 4.92%、11.11% 和 14.65%,经济效益分别减少 1 976、3 666 和 4 586 元/hm²,且随着控释尿素用量减少马铃薯产量和经济效益降低幅度增加,与刘飞等^[17]研究结果不同。其原因为:①施用控释尿素可以延长氮肥利用时间,可能导致马铃薯生长前期供氮不足,影响马铃薯壮苗,会对马铃薯产量造成一定的影响。②北方旱作地区生长季低的土壤温度和水分成为限制控释尿素释放主要因素,一定程度上限制马铃薯生长和产量形成。因此普通尿素与控释尿素以一定比例混施可能更有利于马铃薯生长与产量增加,且能一定程度减少资金投入,控释尿素减施和与普通尿素配比还需进一步研究和探讨。

在水分短缺和土壤贫瘠的干旱半干旱农业区,提高水肥利用效率是人们追求的主要目标。胡娟娟等^[28]研究表明,氮肥减量 10% 配施树脂包膜尿素较单施普通尿素提高了玉米产量、氮肥农学效率、氮肥生成效率及氮素吸收效率,且氮肥表观损失最小。试验结果

表明, CRU3 处理氮素偏生产力最高(226.68 kg/kg), 显著高于 CF 处理, 但与 CRU1 处理和 CRU2 处理处理间差异不显著。各处理间肥料农学效率均无显著差异, CRU3 处理肥料农学利用效率最低为 30.71 kg/kg, CRU1 处理肥料农学利用效率和肥料贡献率低于 CF 处理, 但差异不显著, 可能与控释尿素处理施氮水平低于传统 CF 处理施氮量, 在后续试验中需要增设与传统施肥等氮量控释尿素处理, 或者与种植地的气候环境、土壤肥力水平、土壤含水率及施氮水平等试验条件存在差异有关, 控释尿素减施还需进一步研究和探讨。提高水分利用效率和土壤贮水量是干旱半干旱地区农业发展追求的目标之一。本研究表明, 不同施肥(CF、CRU1、CRU2 和 CRU3) 处理对 0~60 cm 土层土壤贮水量的影响优于不施肥 CK, 且 CF 处理平均土壤贮水量(29.72 mm) 明显高于控释尿素(CRU1、CRU2 和 CRU3 处理) 处理。刘明等^[29]研究表明, 增加施氮量可以提高产量, 提升水分利用效率。邵国庆等^[30]与常规尿素相比, 控释尿素处理玉米籽粒灌浆速率、总水分利用效率和灌溉水增产效率均显著提高。易镇邪等^[31]研究了不同类型氮肥与施氮量下夏玉米水、氮利用及土壤氮素表观盈亏, 发现随施氮量增大, 产量、耗水量及水分生产效率(WPE) 增大。谭雪莲等^[32]研究表明, 覆膜显著提高了马铃薯的 WUE, 施肥处理 WUE 比不施肥处理提高了 62.1%, 且各肥料处理间 WUE 差异极显著, 但施肥处理 OPT 和 FP 与未施肥 CK 相比消耗的水分无明显区别。本试验结果得到相似结论, 随着施氮量降低水分利用效率和耗水量降低, 且表现为 CF 处理 > CRU1 处理 > CRU2 处理 > CRU3 处理 > CK。

4 结论

1) 叶片 *NBI* 和 *Flav* 值在块茎膨大期更能预测产量。叶片 *NBI* 和 *Chl* 值随着施氮量的降低而降低, 而叶片 *Flav* 值随着施氮量的降低而增大, CF 处理和 CRU1 处理的叶片 *NBI* 和 *Chl* 值较高, 且叶片 *Flav* 值较低。

2) 随施氮量减少, 马铃薯产量、经济效益和耗水量及水分利用效率降低, 但氮素偏生产力增加。与控释尿素(CRU1、CRU2 和 CRU3 处理) 处理相比, CF 处理产量、经济效益和水分利用效率分别提高了 5.18%~17.17%、24.26%~82.85% 和 2.33%~11.58%, 氮素偏生产力降低了 5.33%~17.96%。综合考虑, 增产、经济效益和水分利用效率得出, CF 处理可推荐作为黄土丘陵沟壑区旱作农业区全覆膜马铃薯的合理施肥管理模式。

参考文献:

- [1] LIU Xuejun, ZHANG Fusuo. Nitrogen fertilizer induced greenhouse gas emissions in China[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2011, 3(5): 407-413.
- [2] GUO Jingheng, LIU Xuejun, ZHANG Ying, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. *Science*, 2010, 327(5968): 1008-1010.
- [3] FABEIRO C, MARTIN DE SANTA OLALLA F, DE JUAN J A. Yield and size of deficit irrigated potatoes[J]. *Agricultural Water Management*, 2001, 48(3): 255-266.
- [4] 金林雪, 李云鹏, 李丹, 等. 气候变化背景下内蒙古马铃薯关键生长期气候适宜性分析[J]. *中国生态农业学报*, 2018, 26(1): 38-48.
JIN Linxue, LI Yunpeng, LI Dan, et al. Suitability analysis of key potato growth stages in Inner Mongolia under climate change[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2018, 26(1): 38-48.
- [5] ZHOU Limin, JIN Shengli, LIU Chengan, et al. Ridge-furrow and plastic-mulching tillage enhances maize-soil interactions: Opportunities and challenges in a semiarid agroecosystem[J]. *Field Crops Research*, 2012, 126(1): 181-188.
- [6] MO Fei, WANG Jianyong, ZHOU Hong, et al. Ridge-furrow plastic-mulching with balanced fertilization in rainfed maize (*Zea mays* L.): An adaptive management in east African Plateau[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2017, 236: 100-112.
- [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.
YIN Xiaoping. The effects slow-released nitrogen fertilizer on dry matter and yield of bed planting potatoes with film mulching[J]. *Journal of Qinghai University (Natural Science)*, 2015, 33(2): 12-16.
- [8] 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.
DUAN Yu, SUN Guangqin, ZHANG Jun, et al. Effect of CRU on tuber yield and N use efficiency of potato[J]. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 2016, 44(5): 25-30.
- [9] 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, 87.
GUO Heng, CHEN Zhanquan. Status quo analysis and recommendations on fertilization cultivation potato membrane covering in mountain arid region[J]. *Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry*, 2012(3): 34-36, 87.
- [10] LIU Qiaofei, CHEN Yu, LIU Yang, et al. Coupling effects of plastic film mulching and urea types on water use efficiency and grain yield of maize in the Loess Plateau, China[J]. *Soil and Tillage Research*, 2016, 157: 1-10.
- [11] CAMBOURIS A N, LUCE M S, ZIADI N, et al. Soil- and plant-based indices in potato production in response to polymer-coated urea[J]. *Agronomy Journal*, 2014, 106(6): 2125-2136.

- [12] 鱼欢, 邬华松, 王之杰. 利用 SPAD 和 Dualex 快速、无损诊断玉米氮素营养状况[J]. 作物学报, 2010, 36(5): 840-847.
YU Huan, WU Huasong, WANG Zhijie. Evaluation of SPAD and dualex for in-season corn nitrogen status estimation[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(5): 840-847.
- [13] CEROVIC Z G, MASDOUMIER G, GHOZLEN N B, et al. A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids[J]. Physiologia Plantarum, 2012, 146(3): 251-260.
- [14] 朱娟娟, 梁银丽, TREMBLAY Nicolas. 不同水氮处理对玉米氮素诊断指标的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(7): 1 259-1 265.
ZHU Juanjuan, LIANG Yinli, TREMBLAY Nicolas. Responses of corn (*zea mays* L.) nitrogen status indicators to nitrogen rates and soil moisture[J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(7): 1 259-1 265.
- [15] GOFFART J P, OLIVIER M, FRANKINET M. Potato crop nitrogen status assessment to improve N fertilization management and efficiency: Past-present-future[J]. Potato Research, 2008, 51(3/4): 355-383.
- [16] 刘飞, 诸葛玉平, 王会, 等. 控释肥对马铃薯生长及土壤酶活性的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(2): 185-188, 202.
LIU Fei, ZHUGE Yuping, WANG Hui, et al. Effects of controlled-release fertilizer on potato growth and soil enzyme activities[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(2): 185-188, 202.
- [17] 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.
LIU Fei, ZHUGE Yuping, CHEN Zengming, et al. Effects of controlled-release fertilizer on potato yield, nitrogen use efficiency and economic benefit[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(12): 215-219.
- [18] 席旭东, 李效文, 姬丽君. 缓控释肥不同施用量和施用方式对旱作区全膜马铃薯生长及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(5): 193-197.
XI Xudong, LI Xiaowen, JI Lijun. Effects of different fertilization methods and amounts of slow/controlled releasing fertilizer on growth and yield of all-film potato in dry farming areas[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016, 34(5): 193-197.
- [19] 周瑞荣, 孙锐锋, 肖厚军, 等. 缓释肥料在马铃薯上的应用效果[J]. 西南农业学报, 2010, 23(5): 1 763-1 765.
ZHOU Ruirong, SUN Ruifeng, XIAO Houjun, et al. Effects of down-dressing slow-release fertilizers on potato[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2010, 23(5): 1 763-1 765.
- [20] ZVOMUYA F, ROSEN C J, RUSSELLE M P, et al. Nitrate leaching and nitrogen recovery following application of polyolefin-coated urea to potato[J]. Journal of Environmental Quality, 2003, 32(2): 480-489.
- [21] 孙梦媛, 刘景辉, 赵宝平, 等. 全膜垄作对旱作马铃薯土壤含水率、酶活性及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(4): 1-8.
SUN Mengyuan, LIU Jinghui, ZHAO Baoping, et al. Impact of ridging with full plastic-film mulching on soil water, enzymatic activities and yield of rain-fed potato[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2017, 36(4): 1-8.
- [22] AGATI G, FOSCHI L, GROSSI N, et al. Fluorescence-based versus reflectance proximal sensing of nitrogen content in *Paspalum vaginatum* and *Zoysia matrella* turfgrasses[J]. European Journal of Agronomy, 2013, 45: 39-51.
- [23] 朱娟娟. 玉米氮素营养无损诊断及水氮效应[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
ZHU Juanjuan. The non-destructive diagnosis of corn nitrogen status and the effects of soil moisture and nitrogen supply on corn[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2012.
- [24] 鱼欢, 杨改河, 王之杰. 不同施氮量及基追比例对玉米冠层生理性状和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 266-273.
YU Huan, YANG Gaihe, WANG Zhijie. Nitrogen rate and timing considerations on yield and physiological parameters of corn canopy[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(2): 266-273.
- [25] 孙晓, 景建元, 吕慎强, 等. 不同缓/控释尿素在黄土台塬区春玉米的减量施用效果[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(6): 848-855.
SUN Xiao, JING Jianyuan, LYU Shenqiang, et al. Effect of different rates of slow/controlled release urea on nitrogen content in spring maize in loess Highlands[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(6): 848-855.
- [26] 岳超, 王怀义, 滕松, 等. 马铃薯施用缓控释肥、生物有机肥肥效试验[J]. 中国马铃薯, 2017, 31(6): 341-345.
YUE Chao, WANG Huaiyi, TENG Song, et al. Fertilizer efficiency for potato using slow-release fertilizer and bio-organic fertilizer[J]. Chinese Potato Journal, 2017, 31(6): 341-345.
- [27] 杨永奎, 胡辉, 张光旭, 等. 黔西北马铃薯缓释肥施用效果初报[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(5): 64-66.
YANG Yongkui, HU Hui, ZHANG Guangxu, et al. A preliminary study on the application effect of slow release fertilizer on potato in northwest Guizhou Province[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2012, 40(5): 64-66.
- [28] 胡娟, 吴景贵, 孙继梅, 等. 氮肥减量与缓控肥配施对土壤供氮特征及玉米产量的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(4): 116-120, 194.
HU Juan, WU Jinggui, SUN Jimei, et al. Effects of reduced nitrogen fertilization and its combined application with slow and controlled release fertilizers on soil nitrogen characteristics and yield of maize[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29(4): 116-120, 194.
- [29] 刘明, 张忠学, 郑恩楠, 等. 不同水氮管理模式下玉米光合特征和水氮利用效率试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(12): 27-34.
LIU Ming, ZHANG Zhongxue, ZHENG En'nan, et al. Photosynthesis, water and nitrogen use efficiency of maize as impacted by different combinations of water and nitrogen applications[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(12): 27-34.

- [30] 邵国庆, 李增嘉, 宁堂原, 等. 灌溉和尿素类型对玉米水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 58-63.
SHAO Guoqing, LI Zengjia, NING Tangyuan, et al. Effects of irrigation and urea types on water use efficiency of maize[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(3): 58-63.
- [31] 易镇邪, 王璞, 刘明, 等. 不同类型氮肥与施氮量下夏玉米水、氮利用及土壤氮素表观盈亏[J]. 水土保持学报, 2006, 20(1): 63-67.
YI Zhenxie, WANG Pu, LIU Ming, et al. Water and nitrogen utilization and apparent budget of soil nitrogen under different types of nitrogen fertilizer and different application rates in summer maize[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(1): 63-67.
- [32] 谭雪莲, 吕军锋, 郭天文, 等. 旱地地膜覆盖和施肥对马铃薯干物质累积和土壤水分含量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(2): 104-106, 126.
TAN Xuelian, LYU Junfeng, GUO Tianwen, et al. Effects of plastic film mulching and fertilization on potato dry matter accumulation and soil water content in dryland[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2011, 30(2): 104-106, 126.

The Effects of Controlled-release of Urea on Yield and Water Use Efficiency of Rain-fed Potato

SUN Mengyuan, LIU Jinghui*, MI Junzhen, ZAHNG Lanying, WANG Ying
(Agricultural College, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, China)

Abstract: 【Background】 Drought and low nitrogen use efficiency are double whammy of developing sustainable agriculture in many countries in semi-arid areas that face increased land degradation and climate change. 【Objective】 This paper is to investigate the effects of controlled-release of urea on nitrogen form in soil, as well as yield, economic benefit, nitrogen partial productivity and water use efficiency of rain-fed potato, in attempts to provide guidance for improving fertilization management in loess hilly-gully region. 【Method】 The experiment was conducted in a field, and it compared the impact of common urea application (CF) and the controlled-release of urea (CRU) on yield, chlorophyll (Chl), flavonols (Flav), nitrogen balance index (NBI), nitrogen partial productivity and water use efficiency of the potato. The amount of urea used in the conventional application was 200 kg N/hm² (CF), and those used in the controlled-release were 10% (CRU1), 20% (CRU2) 30% (CRU3) of that used in CF, respectively. The control was non-fertilization (CK). 【Result】 With nitrogen application increasing, the Chl and NBI content in the leaves increased whereas the Flav decreased. Growth stage and the amount of nitrogen application both affected the Chl, NBI and Flav at significant level ($P < 0.01$). However, the interactive effects of fertilization and growth stage were not significant ($P > 0.05$). Both NBI and Flav were highly correlated with the yield during the tuber expansion stage. Reducing nitrogen application led to a decrease in tuber yield and economic benefit, and the reduction in economic benefit was ranked in the order of $CF > CRU1 > CRU2 > CRU3 > CK$. The yields of potato in CRU2 and CRU3 were 88.90% and 85.33% of that in CF, respectively. Compared to CRU1, CF increased the tuber yield and economic benefit by 5.18% and 24.26% respectively, but it reduced the marketable potato rate and nitrogen partial productivity by 6.50% and 5.33% respectively. Reducing nitrogen application resulted in a decrease in water consumption and water use efficiency. CF increased water consumption and improved water use efficiency significantly ($P < 0.05$) compared to CRU2 and CRU3, but insignificantly compared to CRU1 ($P > 0.05$). 【Conclusion】 Our results showed that compared to CRU1, CRU2, CRU3 and CF increased water consumption by 2.79%~5.02%, and water use efficiency by 2.33%~11.58% respectively. They are thus optimal urea applications to improve both potato yield and water use efficiency, while in the meantime increased the economic benefit in the loess hilly-gully region we studied.

Key words: Nitrogen application; controlled-releasing urea; potato yield; water use efficiency; nitrogen partial productivity; economic benefit

责任编辑：陆红飞