

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.19075

氮钾运筹对高寒地区马铃薯产量、养分吸收及利用的影响

李 飞¹, 魏全全², 尹 旺¹, 张 萌², 童安毕¹, 罗小波¹, 曹贞菊¹, 陈明俊¹, 苟久兰^{2*}

(1. 贵州省农业科学院马铃薯研究所, 贵州 贵阳 550006; 2. 贵州省农业科学院土壤肥料研究所 / 农业农村部贵州耕地保育与农业环境科学观测实验站, 贵州 贵阳 550006)

摘 要: 利用田间试验探讨氮钾配施对高寒马铃薯产量、养分吸收动态及利用的影响, 为贵州高寒马铃薯高产的科学推荐施肥提供理论基础。2018年在贵州省毕节市开展田间试验, 控制磷肥的施用量一致, 设置不同的氮钾运筹, 研究不同氮钾运筹下马铃薯的产量、经济效益、养分吸收动态及利用。不同养分处理马铃薯产量不同, T8处理($N_3P_2K_2$, $N:P_2O_5:K_2O=270:150:240\text{ kg/hm}^2$)马铃薯产量、产值和经济效益分别为 $30\ 145\text{ kg/hm}^2$ 、 $33\ 159.5\text{ 元/hm}^2$ 和 $29\ 823.5\text{ 元/hm}^2$, 高于其他处理 $1\ 294\sim 12\ 967\text{ kg/hm}^2$ 、 $1\ 423.3\sim 14\ 263.2\text{ 元/hm}^2$ 和 $2\ 068.3\sim 10\ 927.2\text{ 元/hm}^2$; 不同处理马铃薯薯块生物量随生育期呈持续增加的趋势, T8处理为最大, 总生物量与地上部生物量相似, 呈现先增加后降低的趋势, 在淀粉积累期达到最大值, T8处理总生物量为 $6\ 619\text{ kg/hm}^2$, 高于其他处理; 相同处理不同部位马铃薯养分累积量变化不同, 相同部位不同处理的马铃薯养分累积量变化相似, 相同部位的马铃薯氮素和钾素累积量变化趋势相似, 其中地上部氮素和钾素累积量呈现先升高后缓慢降低趋势, 薯块氮素和钾素累积量随生育期呈现持续上升的趋势, 马铃薯氮素和钾素累积总量与地上部养分累积量相似, 呈现先升高后缓慢降低趋势; 不同处理的氮钾养分利用效率不同, 氮肥偏生产力和农学效率以T4处理($N_1P_2K_2$, $N:P_2O_5:K_2O=90:150:240\text{ kg/hm}^2$)和T8处理($N_3P_2K_2$, $N:P_2O_5:K_2O=270:150:240\text{ kg/hm}^2$)最大, 钾肥偏生产力和农学效率以T5处理($N_2P_2K_1$, $N:P_2O_5:K_2O=180:150:120\text{ kg/hm}^2$)和T7处理($N_2P_2K_3$, $N:P_2O_5:K_2O=180:150:360\text{ kg/hm}^2$)最大。综合产量、经济效益及养分吸收, T8处理($N_3P_2K_2$, $N:P_2O_5:K_2O=270:150:240\text{ kg/hm}^2$)可作为基于本试验条件下较适宜的氮钾运筹, 在实际生产中应注重氮钾合理运筹, 促进高寒地区马铃薯产业的可持续发展。

关键词: 氮钾运筹; 高寒; 马铃薯; 产量; 养分吸收; 利用

马铃薯是我国重要的粮食作物, 我国是世界上最大的马铃薯生产国^[1], 发展马铃薯产业对维持我国粮食产业的可持续发展有重要意义。施肥能提高马铃薯产量, 而不平衡施肥是限制马铃薯产量提高的重要因素之一。提高养分管理水平是提高马铃薯单位面积产量和养分利用率的重要策略^[2-4], 明确马铃薯对养分的吸收规律, 可以抓住施肥关键时期, 是提高养分管理水平的重要途径^[5]。平衡施肥是包括马铃薯在内的多种作物关键栽培技术, 尤

其在氮钾运筹方面, 由于试验地区土壤有效磷含量相对较高, 因此本试验探讨不同氮钾运筹下马铃薯产量、养分累积及养分利用效应。合理施用氮磷钾肥料可明显提高作物的产量、品质及生态环境。武际等^[6]在弱筋小麦的研究表明, 合理的氮肥钾肥配施促进弱筋小麦植株的氮钾含量, 显著提高弱筋小麦的产量; 蒋佰文等^[7]的研究表明, 氮、钾肥施用量分别为 150 和 100 kg/hm^2 有利于寒地玉米的干物质积累、产量及其品质的提高; 李银水等^[8]通过4年6季田间定位试验表明, 合理的氮钾配施能提高油菜和花生产量及周年经济效益; 康利允等^[9]的研究表明, 土壤中等肥力水平及连栋棚加地膜覆盖高产栽培条件下, 氮、钾施肥量分别以 200 、 300 kg/hm^2 较为适宜, 有利于甜瓜获得高产。当前, 优质、高产、高效的马铃薯生产栽培技术主要集中在优良品种的筛选^[10-11]或氮素^[12-13]、钾素^[14]单因素作用, 科学合理的氮钾运筹少之又少。采用田间试验的方法, 在贵州西北高寒马铃薯种植区进行

收稿日期: 2019-02-20; 录用日期: 2019-04-25

基金项目: 国家重点研发计划“优质多抗适应性强马铃薯新品种培育”(2017YFD0101905); 贵州省科技计划项目“抗晚疫病马铃薯新品种黔芋8号推广应用”: 黔科合成果[2017]4413; 贵州省农业科学院青年基金“应用数字图像技术进行马铃薯氮素营养诊断的初步研究”: 黔农科院青年基金[2018]63号。

作者简介: 李飞(1977-), 男, 贵州遵义人, 博士, 副研究员, 主要从事马铃薯遗传育种及新品种配套栽培技术。E-mail: gzlf@ sina.com。

通讯作者: 苟久兰, E-mail: 150046390@qq.com。

不同氮钾运筹试验, 探讨氮钾运筹对高寒马铃薯产量、养分吸收动态及利用的影响, 为贵州高寒马铃薯高产的科学推荐施肥提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验地点与材料

本试验于 2018 年 3 ~ 8 月在贵州省毕节市威宁县双龙镇 (26° 52' E, 104° 17' N, 海拔 2 237 m, 平均气温 11℃左右, 日照时间 2 000 h 左右, 年平均降水量为 926 mm) 进行, 供试土壤为灰泡土。试验地 0 ~ 20 cm 基本理化性质为 pH 5.5 (水:土=2.5:1), 有机质 45.8 g/kg, 全氮 2.73 g/kg, 碱解氮 153.6 mg/kg,

有效磷 22.9 mg/kg, 速效钾 121.0 mg/kg。

供试肥料为尿素 (N 46%)、过磷酸钙 (P₂O₅ 12%)、硫酸钾 (K₂O 50%); 供试马铃薯品种为抗晚疫病新品种“黔芋 8 号”。

1.2 试验设计

试验共设置 10 个处理, 分别为: T1 (N₀P₀K₀, 不施肥处理)、T2 (N₁P₂K₃)、T3 (N₀P₂K₂)、T4 (N₁P₂K₂)、T5 (N₂P₂K₁)、T6 (N₂P₂K₂)、T7 (N₂P₂K₃)、T8 (N₃P₂K₂)、T9 (N₂P₂K₀)、T10 (N₄P₂K₂), 具体施肥情况见表 1。试验小区面积为 26.4 m² (1.1 m/垄 × 4 垄 × 6 m), 3 次重复, 随机区组排列。

表 1 不同处理的肥料品种及施用量

| 处理 | 尿素 (kg/26.4 m ²) | 过磷酸钙 (kg/26.4 m ²) | 硫酸钾 (kg/26.4 m ²) | 养分用量 (kg/hm ²) | |
|-----|--|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--|
| T1 | N ₀ P ₀ K ₀ | 0 | 0 | 0 | N : P ₂ O ₅ : K ₂ O=0 : 0 : 0 |
| T2 | N ₁ P ₂ K ₃ | 0.52 | 3.30 | 1.91 | N : P ₂ O ₅ : K ₂ O=90 : 150 : 360 |
| T3 | N ₀ P ₂ K ₂ | 0 | 3.30 | 1.27 | N : P ₂ O ₅ : K ₂ O=0 : 150 : 240 |
| T4 | N ₁ P ₂ K ₂ | 0.52 | 3.30 | 1.27 | N : P ₂ O ₅ : K ₂ O=90 : 150 : 240 |
| T5 | N ₂ P ₂ K ₁ | 1.03 | 3.30 | 0.64 | N : P ₂ O ₅ : K ₂ O=180 : 150 : 120 |
| T6 | N ₂ P ₂ K ₂ | 1.03 | 3.30 | 1.27 | N : P ₂ O ₅ : K ₂ O=180 : 150 : 240 |
| T7 | N ₂ P ₂ K ₃ | 1.03 | 3.30 | 1.91 | N : P ₂ O ₅ : K ₂ O=180 : 150 : 360 |
| T8 | N ₃ P ₂ K ₂ | 1.55 | 3.30 | 1.27 | N : P ₂ O ₅ : K ₂ O=270 : 150 : 240 |
| T9 | N ₂ P ₂ K ₀ | 1.03 | 3.30 | 0 | N : P ₂ O ₅ : K ₂ O=180 : 150 : 0 |
| T10 | N ₄ P ₂ K ₂ | 2.06 | 3.30 | 1.27 | N : P ₂ O ₅ : K ₂ O=360 : 150 : 240 |

马铃薯于 2018 年 3 月 29 日种植, 小区面积为 26.4 m² (1.1 m/行 × 4 行 × 6 m), 种植密度为 72 727 株/hm² (24 株/行 × 2 行/垄 × 4 垄, 192 株/26.4 m²); 50% 氮肥、全部磷和钾肥做基肥一次性施用, 另外 50% 氮肥作为追肥施用 (2018 年 5 月 10 日); 2018 年 8 月 15 日统一收获测产。

除施肥不同外, 试验的其他田间生产管理均采用当地农业技术推广部门的推荐技术。

1.3 测定项目

1.3.1 土壤样品的采集与测定

土壤样品在作物种植前采集, 在整个试验田按照“S”型土壤取样法设置 15 个采样点, 采集 0 ~ 20 cm 土层土样, 风干磨细过筛后分别测定土壤 pH、有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾^[15]。

1.3.2 马铃薯生物量的测定

于马铃薯苗期 (5 月 10 日)、块茎形成期 (6 月 1 日)、盛花期 (6 月 15 日)、薯块膨大期 (7 月 5 日)、淀粉积累期 (7 月 24 日) 和收获期

(8 月 5 日), 各小区选取有代表性植株 4 株, 分地上部和薯块, 105℃下杀青 30 min, 60℃烘箱中烘至恒重, 记录干重, 依次折算地上部和薯块生物量。

1.3.3 马铃薯养分的测定

于上述马铃薯关键生育期, 各小区分别选取有代表性植株 4 株, 105℃下杀青 30 min, 60℃烘箱中烘至恒重, 磨碎混匀, 地上部和薯块分别测定 N 和 K^[15]。

1.3.4 马铃薯产量的测定

马铃薯收获期, 各处理实打实收, 分别计产。

1.4 相关参数计算方法

氮素偏生产力 PEP (kg/kg) = 施氮区产量 / 施氮量

氮素农学效率 AE (kg/kg) = (施氮区产量 - 对照区产量) / 施氮量

钾素偏生产力 PEP (kg/kg) = 施钾区产量 / 施钾量

钾素农学效率 AE (kg/kg) = (施钾区产量 - 对照区产量) / 施钾量

1.5 数据处理与分析

数据处理与分析采用 Excel 2007 及 SPSS 17.0

软件, 采用 DPS 数据处理软件进行数据统计分析, 采用 Origin 8.0 软件进行作图, LSD 法检验 $P < 0.05$ 水平上的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同氮钾运筹下马铃薯的产量、产值及经济效益

由表 2 可知, 不同施肥处理的马铃薯产量不同。T1 处理产量为 17 178 kg/hm², 显著低于其他处理 2 916 ~ 12 967 kg/hm², 其中 T8 处理马铃薯产量最高, 高于其他处理 4.5% ~ 75.5%。从施氮效果看, 相同磷钾水平下, 马铃薯产量随施氮量的增加呈现先升高后降低的趋势, 以 T8 处理产量达到最大, 高于其他施氮处理 1 553 ~ 10 051 kg/hm², 当施氮量高于 T8 处理氮素水平时, 马铃薯产量降低, 说明施氮能提高马铃薯产量, 但施氮量过高会降低马铃薯产量; 从施钾效果看, 相同氮磷水平下, 马铃薯产量随钾量的增加而增加, T7 处理马铃薯产量最高, 分别显著高于 T5 和 T6 处理 25.9% 和 19.5%。

表 2 不同氮钾运筹下马铃薯的产量、产值及经济效益

| 处理 | 产量 (kg/hm ²) | 产值 (元/hm ²) | 经济效益 (元/hm ²) |
|--|--------------------------|-------------------------|---------------------------|
| T1 N ₀ P ₀ K ₀ | 17 178 e | 18 896.3 | 18 896.3 |
| T2 N ₁ P ₂ K ₃ | 23 942 bc | 26 336.6 | 22 640.6 |
| T3 N ₀ P ₂ K ₂ | 20 094 d | 22 103.4 | 19 847.4 |
| T4 N ₁ P ₂ K ₂ | 22 684 c | 24 952.8 | 22 336.8 |
| T5 N ₂ P ₂ K ₁ | 22 922 c | 25 214.2 | 23 318.2 |
| T6 N ₂ P ₂ K ₂ | 24 137 b | 26 550.7 | 23 574.7 |
| T7 N ₂ P ₂ K ₃ | 28 851 ab | 31 736.2 | 27 680.2 |
| T8 N ₃ P ₂ K ₂ | 30 145 a | 33 159.5 | 29 823.5 |
| T9 N ₂ P ₂ K ₀ | 20 621 d | 22 682.9 | 21 866.9 |
| T10 N ₄ P ₂ K ₂ | 28 592 ab | 31 451.2 | 27 755.2 |

注: 经济效益计算按 2018 年尿素 2.0 元/kg、过磷酸钙 0.8 元/kg、硫酸钾 3.0 元/kg 计; 同列不同小写字母表示达到 5% 的差异显著水平。下同。

产值方面, 以市价 1.10 元/kg 算, T8 处理马铃薯产值最高, 达到 33 159.5 元/hm², 显著高于其他处理 1 423 ~ 14 263.2 元/hm², 其中 T1 处理马铃薯产值最低。

经济效益方面, 除去肥料成本 (种薯和劳动力均为农户自家提供, 不计入成本), T8 处理经济效益为 29 823.5 元/hm², 高于其他处理 2 068.3 ~ 10 927.2 元/hm², 其中 T1 处理马铃薯经济效益最低, 仅为 18 896.3 元/hm²。

2.2 马铃薯生物量分析

从图 1A 可以看出, 各处理马铃薯地上部生物量随着生育时期呈现先升高后降低的趋势, 所有处理均在盛花期达到最大值。营养生长前期, 各处理马铃薯地上部生物量快速增加, 且以 T10 处理为最大, 达到 1 373 kg/hm², 高于其他处理 176 ~ 583 kg/hm², 其中 T1 处理为 790 kg/hm², 低于其他处理; 营养生长后期, 由于马铃薯主要生长发育由地上部转为地下部, 各处理生物量呈现缓慢下降的趋势, 至淀粉积累期, T10 处理马铃薯地上部生物量为 1 223 kg/hm², 高于其他处理 188 ~ 591 kg/hm², 其中 T1 处理为 632 kg/hm², 低于其他处理。

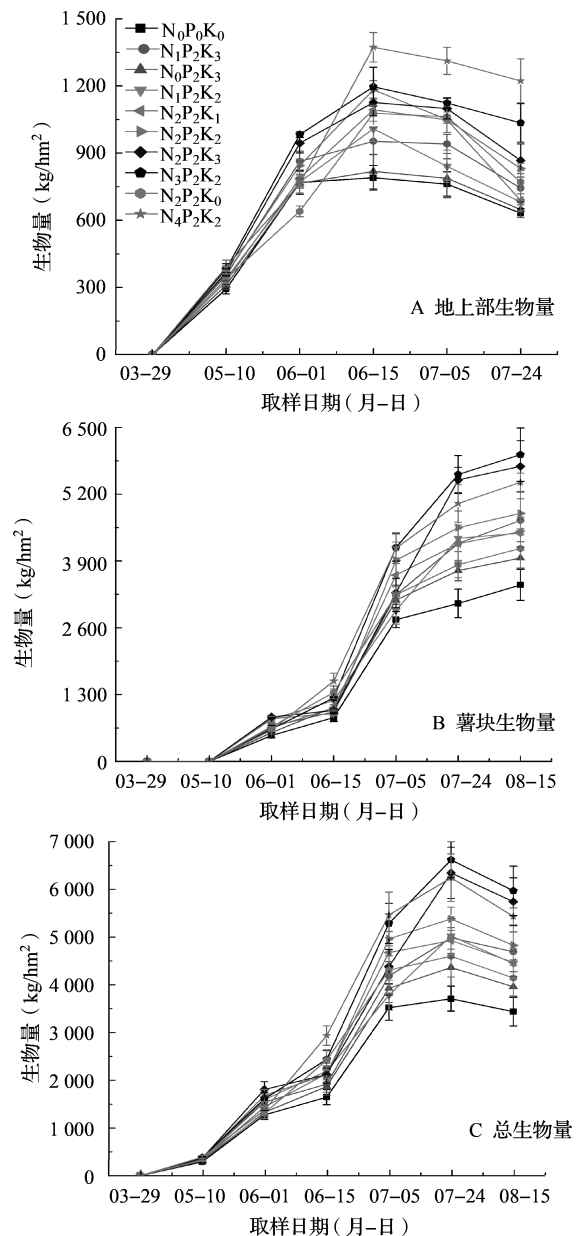


图 1 马铃薯生物量变化

薯块方面,不同处理马铃薯薯块生物量均随着生育期的延长呈现持续增加的趋势(图1B)。营养生长前期,马铃薯薯块生物量增长速率较快,至薯块膨大期(7月5日),T8处理马铃薯薯块生物量为4 162 kg/hm²,高于其他处理9~1 402 kg/hm²,其中T1处理为2 760 kg/hm²,低于其他处理,此生长期为快速膨大期;营养生长后期,马铃薯薯块生物量增速减慢,到收获期,T8处理马铃薯薯块生物量为5 969 kg/hm²,高于其他处理228~2 533 kg/hm²,其中T1处理为3 436 kg/hm²,显著低于其他处理,此生长期为缓慢膨大期。

总生物量方面(图1C),与地上部生物量相似,呈现先增加后降低的趋势,在淀粉积累期达到最大值,其中T8处理总生物量为6 619 kg/hm²,高于其他处理275~2 912 kg/hm²,其中以T1处理总生物量最小,为3 707 kg/hm²。

马铃薯生长后期,地上部生物量下降较快的原

因可能是生长中后期,试验地贵州省威宁县较往年降雨量偏多,雨灾严重,而马铃薯对水分条件非常敏感,植株受雨水浸湿后,生物量分解相对较快,腐蚀严重,导致马铃薯生物量下降较快;同时和供试马铃薯品种为早熟品种也有很大的关系,早熟且植株萎蔫较快,易腐烂。

2.3 不同氮钾运筹下马铃薯养分含量及累积量

从图2可以看出,在不同施肥处理下马铃薯地上部氮钾养分含量和薯块氮素含量随生育期的延长呈现降低的趋势,薯块钾素含量呈现先降低后稳定的趋势。氮素方面,各处理地上部氮素含量和薯块氮素含量均显著高于不施肥处理,不同部位高施氮量处理的氮素含量高于低施氮量处理;与氮肥效果趋势相似,各处理地上部钾素含量和薯块钾素含量均显著高于不施肥处理,不同部位高施钾量处理的钾素含量高于低施钾量处理。在马铃薯整个生育期,各处理地上部氮素和钾素含量均高于薯块氮素和钾素含量。

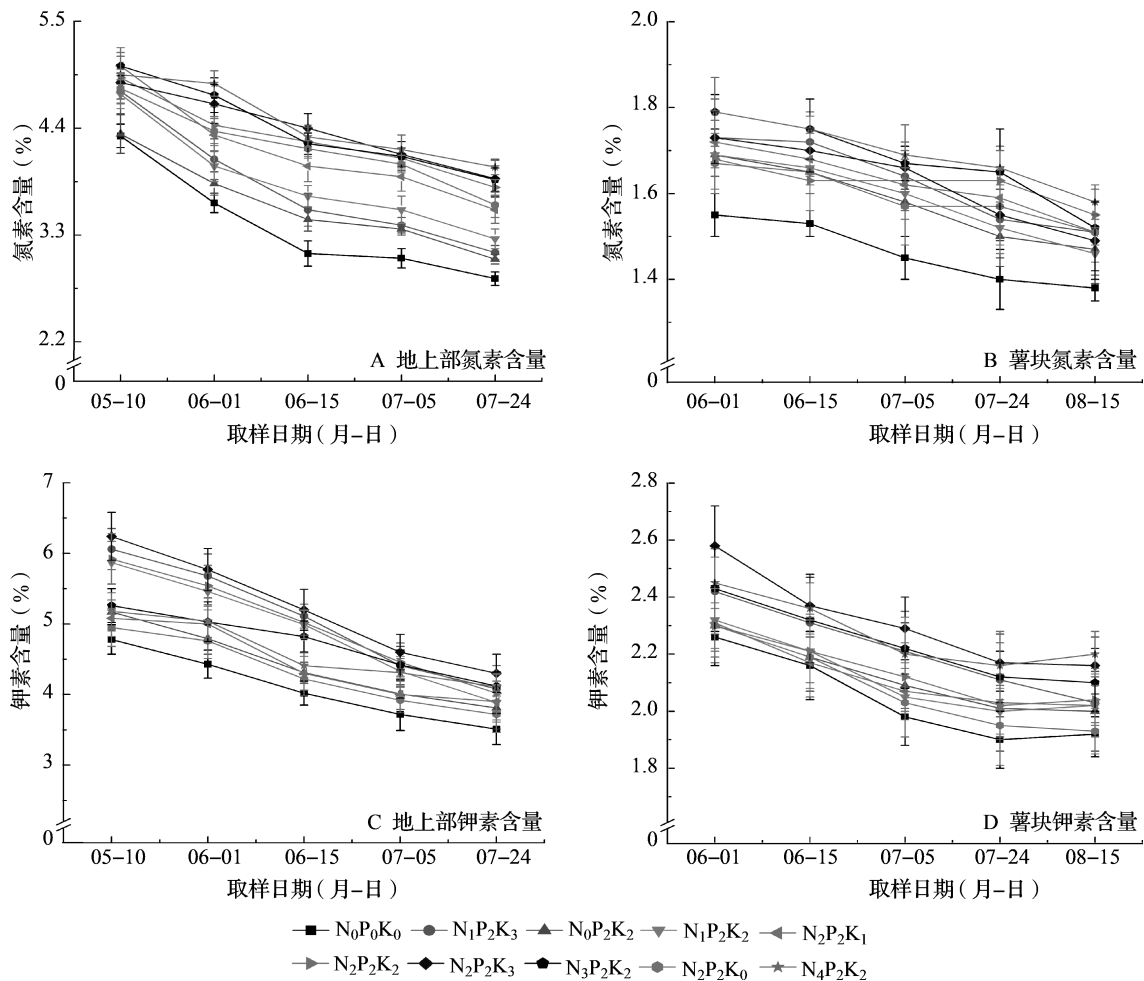


图2 不同处理的马铃薯氮素及钾素含量变化

以 T6 处理为例, 在整个生育期, 地上部氮素含量在苗期出现最大值, 为 4.92%, 块茎在形成期出现最大值, 为 1.68%; 地上部钾素含量在苗期出现最大值, 为 5.92%, 薯块在块茎形成期出现最大值, 为 2.30%。

由图 3 可知, 相同处理不同部位马铃薯养分积累量变化不同, 相同部位不同处理的马铃薯养分积累量变化相似, 相同部位的马铃薯氮素和钾素累积

量变化趋势相似, 其中地上部氮素和钾素累积量呈现先升高后缓慢降低趋势, 薯块氮素和钾素累积量呈现持续上升的趋势, 马铃薯氮素和钾素累积总量与地上部养分积累量相似, 呈现先升高后缓慢降低趋势。

氮素方面(图 3 ACE), 地上部氮素累积量随生育期的延长呈先快速上升后缓慢下降的趋势, 均在盛花期达到最大值, T10 处理氮素累积量为

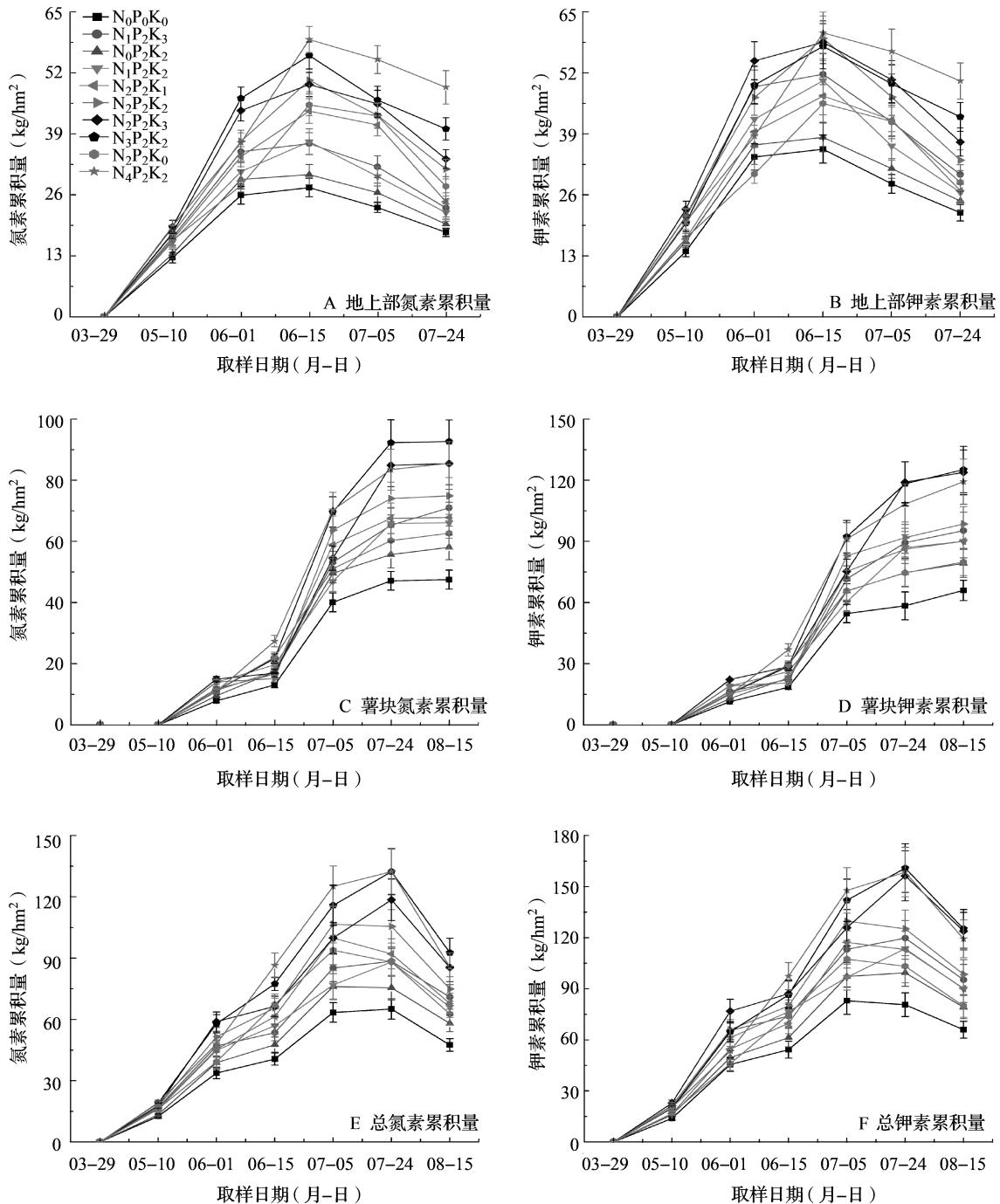


图 3 不同处理的马铃薯氮素及钾素累积量

59.11 kg/hm², 高于其他处理 3.41 ~ 31.55 kg/hm², 此时养分累积开始由营养器官转移至生殖器官; 薯块氮素累积量呈现持续上升的趋势, 至收获期, T8 处理氮素累积量为 92.67 kg/hm², 高于其他处理 7.08 ~ 45.18 kg/hm²; 马铃薯氮素总累积量呈现先升高后降低的趋势, 至淀粉积累期达到最大值, T10 处理氮素累积总量为 132.38 kg/hm², 高于其他处理 0.04 ~ 67.25 kg/hm²; 不同施氮相同施钾水平下, N4 水平的马铃薯生物量高于其他施氮水平, 说明增施氮肥能促进生长, 增加马铃薯地上部生物量且施肥越高马铃薯生物量越高, 而 N3 水平的马铃薯薯块产量高于 N4 水平, 说明施氮量越高, 马铃薯地上部贪青晚熟, 氮素营养未完全转移至薯块, 影响薯块的形成和膨大。

钾素方面(图 3 BDF), 地上部钾素累积量随生育期的延长呈先上升后下降的趋势, 均在盛花期达到最大值, T10 处理钾素累积量为 60.53 kg/hm², 高于其他处理 1.17 ~ 24.78 kg/hm², 此时养分累积开始由营养器官转移至生殖器官; 薯块钾素累积量呈现持续上升的趋势, 至收获期, T8 处理钾素累积量为 125.23 kg/hm², 高于其他处理 1.37 ~ 59.26 kg/hm²; 马铃薯钾素总累积量呈现先升高后降低的趋势, 至淀粉积累期达到最大值, T8 处理钾素累积总量为 160.89 kg/hm², 高于其他处理 2.36 ~ 80.26 kg/hm², 其中 T1 处理最小, 为 80.63 kg/hm²; 不同施钾相同施氮水平下, 施钾量越高, 马铃薯生物量越高, K3 水平地上部生物量和薯块生物量均最高, 由于本试验设置的钾肥最高水平为 K3, 并未出现产量降低的现象, 考虑在以后的研究中增加高钾肥梯度。

本研究表明, 合理的氮钾配施, 能提高地上部和薯块对氮素和钾素的吸收, 不同部位氮钾累积量的变化趋势相似。

2.4 不同氮钾运筹下肥料利用率比较

肥料偏生产力 (PEP) 指单位投入的肥料所能生产作物的产量, 是反映土壤基础养分水平和化肥施用量综合效应的指标, 在一定程度上反映了生产一定产品需要付出的化肥代价, 对施肥的宏观决策有一定的指导意义; 农学利用率 (AE) 指单位施肥量所增加的作物籽粒产量, 是评价肥料增产效应较为准确的指标, 也是农业生产中最关心的经济指标之一。由表 3 可知, T4 处理氮素偏生产力为 252.05 kg/kg, 显著高于其他处理 172.63 ~ 117.96

kg/kg, 其中 T10 处理最小, 为 79.42 kg/kg; 氮肥农学效率以 T8 处理最大, 为 37.23 kg/kg, 显著高于其他处理 8.45 ~ 14.77 kg/kg, 其中 T6 处理最小, 为 22.46 kg/kg。钾素方面, T5 处理钾素偏生产力为 191.02 kg/kg, 显著高于其他处理 90.45 ~ 110.88 kg/kg, 其中 T7 处理最小, 为 80.14 kg/kg; 钾肥农学效率以 T7 处理最大, 为 22.86 kg/kg, 分别高于 T5 和 T6 处理 3.68 和 8.21 kg/kg, 其中 T6 处理最小, 为 14.65 kg/kg。

表 3 不同氮钾运筹的养分利用率 (kg/kg)

| 处理 | | N | | K | |
|-----|--|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| | | 偏生产力 (PFP) | 农学效率 (AE) | 偏生产力 (PFP) | 农学效率 (AE) |
| T1 | N ₀ P ₀ K ₀ | — | — | — | — |
| T2 | N ₁ P ₂ K ₃ | — | — | — | — |
| T3 | N ₀ P ₂ K ₂ | — | — | — | — |
| T4 | N ₁ P ₂ K ₂ | 252.05 a | 28.78 b | — | — |
| T5 | N ₂ P ₂ K ₁ | — | — | 191.02 a | 19.18 ab |
| T6 | N ₂ P ₂ K ₂ | 134.09 b | 22.46 c | 100.57 b | 14.65 b |
| T7 | N ₂ P ₂ K ₃ | — | — | 80.14 c | 22.86 a |
| T8 | N ₃ P ₂ K ₂ | 111.65 c | 37.23 a | — | — |
| T9 | N ₂ P ₂ K ₀ | — | — | — | — |
| T10 | N ₄ P ₂ K ₂ | 79.42 d | 23.61 c | — | — |

注: 同列不同小写字母表示差异达 5% 显著水平。

3 讨论

3.1 高寒地区马铃薯氮钾运筹的养分效应

马铃薯是贵州高寒地区的主要农作物, 该地区海拔较高, 气候冷凉, 昼夜温差大, 特别适合马铃薯生长, 且马铃薯种植面积不断扩大。施肥是高寒地区马铃薯高产栽培的重要环节, 由于高寒地区马铃薯生育期相对较长, 且本试验地点位于有效磷含量较高的威宁地区, 因此探讨合理的氮钾肥配施十分必要。氮素和钾素是作物必需的两种营养元素, 科学合理的氮钾运筹能显著改善作物的生长, 提高作物产量^[16-17], 进而提高经济效益, 既能维持地力, 不会使土壤养分库消耗太多导致土壤贫瘠, 也不会因养分携出量较少而导致土壤养分累积过高^[18], 减少环境影响^[19]。而过量的施肥会抑制作物产量及经济效益的增加。本试验条件下, N₃P₂K₂

处理马铃薯产量为 30 145 kg/hm², 高于其他氮钾运筹处理 1 294 ~ 12 967 kg/hm², 说明合理的氮钾运筹能增加马铃薯产量。施氮显著增加马铃薯产量, 且在 N3 水平时马铃薯产量达到最大值 30 145 kg/hm², 继续增大氮肥施用量达到 N4 水平, 马铃薯贪青晚熟, 产量反而呈现下降的趋势, 和前人在本作物和其他作物的研究结果一致^[20-21]; 施钾显著增加马铃薯产量, 且在 K3 水平时马铃薯产量达到最大值 28 851 kg/hm², 由于本试验钾肥处理的最大值为 K3 水平, 故并未出现产量降低的情况, 因此需在以后的研究中增加高钾处理, 以明确马铃薯产量最高时的施钾量。

3.2 干物质及养分转移分配

作物的干物质累积量是衡量作物生长发育状况及其内部养分代谢强弱的重要生理生化指标, 提高营养物质向生殖器官转移分配才能实现作物的优质高产^[22], 因此, 通过采取一定的措施提高薯块分配转移率是提高马铃薯产量的重要途径。本研究结果表明, 盛花期前马铃薯以营养生长为主, 合理的氮钾运筹适宜马铃薯地上部生长, 过量或过少施用氮肥、钾肥就不利于地上部分生长; 而生长后期, 过量的施肥导致马铃薯贪青晚熟, 降低了光合产物向生殖器官的分配转移率, 影响薯块的形成和膨大, 造成 N4 水平处理的地上部生物量高于 N3 水平, 但薯块产量和生物量均低于 N3 水平, 不利于高产, 与前人研究结果一致^[20]。

氮、磷、钾是作物生长发育所需的三大营养元素, 是作物细胞结构的主要组成物质, 作物产量的形成基于氮磷钾的累积; 合理的氮钾运筹能提高作物氮钾累积量及其分配系数。本试验研究结果显示, 马铃薯氮钾累积量变化趋势相似, 均表现为先升高后降低的趋势, 均在淀粉积累期达到最大值; 不同氮钾施肥量只改变不同生育时期的氮钾累积量, 并不改变其累积趋势。生长后期, N₃K₂P₂ 处理的马铃薯氮钾养分累积量始终高于其他氮钾处理, 说明合理的氮钾运筹能促进马铃薯生长, 吸收养分, 提高营养物质向生长器官的转移分配率, 有利于高产。

3.3 合理的氮钾运筹提高养分效率

农学效率和偏生产力是表达肥料利用率的常用指标, 其与产量、施肥量和土壤肥力水平关系最为密切^[23-24]。农学效率是表征肥料增加产量的参数, 可以很好地反映肥料的利用效率, 最大限

度的利用肥料农学效率是实现肥料高效利用的一个重要部分, 现代作物生产系统的氮肥农学效率可以达到 20 ~ 35 kg/kg^[25], 本研究条件下, 氮肥的农学效率 22.46 ~ 37.23 kg/kg, 处于相对较高水平; N3 水平的氮肥农学效率显著高于其他处理, 说明在 N3 水平下单位施氮量产量增加能力高于其他处理; 钾肥农学效率在 14.65 ~ 22.86 kg/hm², N₂P₂K₃ 处理的钾肥农学效率显著高于其他处理, 说明在 K3 水平下单位施钾量产量增加能力高于其他处理。偏生产力表征单位肥料所能产生的经济产量, 反映了土壤基础养分水平和化肥施用量的综合效应, 本研究结果表明, 氮肥和钾肥偏生产力分别在 N1 和 K1 水平下最高, 分别高于其他处理 172.63 ~ 117.96 kg/kg 和 90.45 ~ 110.88 kg/kg。氮素和钾素的养分利用率略低^[26], 可能是由于试验地海拔较高, 夏季温度不高, 蒸发量低, 下渗水较为丰富, 养分的淋溶强烈导致, 而且试验期间雨水过多, 试验地渍水抑制马铃薯生长, 同时本试验地的氮素基础养分略高也是氮素养分效率过低的重要原因。

2015 年农业部发布的《到 2020 年化肥使用零增长行动方案》^[27] 提出化肥‘零增长’下的养分高效利用的发展目标, 减少化肥施用量, 提高肥料利用率, 因此在以后的研究中应重视肥料减施方面的研究, 在国家‘两减’的背景下, 如何做到减肥高效成为现代农业的发展目标, 单纯的施用单质肥料很难提高肥料利用率, 在施用化肥的情况下, 应增施如秸秆^[28]、生物炭^[29]等物料以提高肥料利用率, 在以后的研究中应重视本方面的研究, 同时注重合理的耕作管理制度。

4 结论

本试验利用田间试验探讨氮钾配施对高寒马铃薯产量、养分吸收动态及利用的影响, 为贵州高寒马铃薯的科学推荐施肥提供理论基础。具体结果如下:

(1) 不同养分处理马铃薯产量不同, T8(N₃P₂K₂, N:P₂O₅:K₂O=270:150:240 kg/hm²) 处理马铃薯产量、产值和经济效益分别为 30 145 kg/hm²、33 159.5 元/hm² 和 29 823.5 元/hm², 高于其他处理 1 294 ~ 12 967 kg/hm²、1 423.3 ~ 14 263.2 元/hm² 和 2 068.3 ~ 10 927.2 元/hm²。

(2) 不同处理马铃薯薯块生物量呈持续增加的趋势

势, T8 处理为最大, 总生物量与地上部生物量相似, 呈现先增加后降低的趋势, 在淀粉积累期达到最大值, T8 处理总生物量为 6 619 kg/hm², 高于其他处理。

(3) 相同处理不同部位马铃薯养分累积量变化不同, 相同部位不同处理的马铃薯养分累积量变化相似, 相同部位的马铃薯氮素和钾素累积量变化趋势相似, 其中地上部氮素和钾素累积量呈现先升高后缓慢降低趋势, 薯块氮素和钾素累积量呈现持续上升的趋势, 马铃薯氮素和钾素累积总量与地上部养分累积量相似, 呈现先升高后缓慢降低趋势。

(4) 不同处理的氮钾养分利用效率不同, 氮肥偏生产力和农学效率以 T4 和 T8 处理最大, 钾肥偏生产力和农学效率以 T5 和 T7 处理最大。

综合产量、经济效益及养分吸收, T8 处理 (N₃P₂K₂, N:P₂O₅:K₂O=270:150:240 kg/hm²) 可作为基于本试验条件下较适宜的氮钾运筹, 在实际生产中应注重氮钾合理运筹, 促进高寒马铃薯产业的可持续发展。

参考文献:

- [1] 刘洋, 高明杰, 何威明, 等. 世界马铃薯生产发展基本态势及特点 [J]. 中国农学通报, 2014, 30 (20): 78-86.
- [2] Haverkort A J, Struik P C. Yield levels of potato crops: recent achievements and future prospects [J]. Field Crops Research, 2015, 182: 76-85.
- [3] Geary B, Clark J, Hopkins B G, et al. Deficient, adequate and excess nitrogen levels established in hydroponics for biotic and abiotic stress-interaction studies in potato [J]. Journal of Plant Nutrition, 2014, 38 (1): 41-50.
- [4] 王小英, 同延安, 刘芬, 等. 陕西省马铃薯施肥现状评价 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19 (2): 471-479.
- [5] 门福义, 刘梦芸. 马铃薯栽培生理 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995. 172-210.
- [6] 武际, 郭熙盛, 王允青, 等. 氮钾配施对弱筋小麦氮、钾养分吸收利用及产量和品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13 (6): 1054-1061.
- [7] 蒋佰文, 逢妍, 于亚利, 等. 氮钾配比对寒地玉米干物质积累、产量及品质的影响 [J]. 玉米科学, 2014, 22 (1): 137-142.
- [8] 李银水, 余常兵, 谢立华, 等. 氮钾肥运筹对花生-油菜轮作作物产量及养分效率的影响 [J]. 中国油料作物学报, 2016, 38 (6): 817-823.
- [9] 康利允, 常高正, 高宁宁, 等. 不同氮、钾肥施用量对甜瓜养分吸收、分配及产量的影响 [J]. 中国农业科学, 2018, 51 (9): 1758-1770.
- [10] 张萌, 马智黠, 徐永康, 等. 贵州高海拔地区不同春马铃薯品种差异性比较 [J]. 种子, 2017, 36 (11): 80-84.
- [11] 文国宏, 李高峰, 李建武, 等. 陇薯系列马铃薯品种营养品质评价及相关性分析 [J]. 核农学报, 2018, 32 (11): 2162-2169.
- [12] 何丹丹, 贾立国, 秦永林, 等. 不同马铃薯品种的氮利用效率及其分类研究 [J]. 作物学报, 2019, 45 (1): 153-159.
- [13] 张炜, 杨德桦, 黄小菁, 等. 氮肥用量对襄阳地区马铃薯产量、品质 and 经济效益的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2016, (1): 72-76.
- [14] 王金明, 石瑛, 梁晓丽, 等. 钾肥对高淀粉马铃薯块茎淀粉合成相关酶活性的影响 [J]. 作物杂志, 2016, (2): 118-123.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第3版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 余常兵, 李志玉, 廖伯寿, 等. 湖北省花生平衡施肥技术研究 II. 平衡施肥对花生产量及经济效益的影响 [J]. 湖北农业科学, 2010, 49 (6): 1307-1309.
- [17] 王秀娟, 袁兴福, 娄春荣, 等. 不同氮钾用量对番茄生长和叶片超微结构的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2014, (3): 44-48.
- [18] 王火焰, 周健民. 肥料养分真实利用率计算与施肥策略 [J]. 土壤学报, 2014, 51 (2): 216-224.
- [19] 巨晓棠. 氮肥有效性的概念及意义-兼论对传统氮肥利用率的理解误区 [J]. 土壤学报, 2014, 51 (5): 921-933.
- [20] 陈华, 刘孟君, 刘如霞. 不同施肥水平对菜用马铃薯农艺性状及营养品质的影响 [J]. 西北农业学报, 2016, 25 (2): 220-226.
- [21] 魏全全. 应用数字图像技术进行冬油菜氮素营养诊断的初步研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- [22] Watta M S, Clintona P W, Whitehead D, et al. Above-ground biomass accumulation and nitrogen fixation of broom (*Cytisus scoparius* L.) growing with juvenile *Pinus radiata* on a dryland site [J]. Forest Ecology and Management, 2003, 184 (3): 93-104.
- [23] Qiu S J, He P, Zhao S C, et al. Impact of nitrogen rate on maize yield and nitrogen use efficiencies in Northeast China [J]. Agronomy Journal, 2014, 107 (1): 305.
- [24] 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.
- [25] Dobermann A. Nutrient use efficiency, measurement and management [C]// IFA international workshop on fertilizer best management practices. Brussels, Belgium: International Fertilizer Industry Assoc., Paris. 2007.
- [26] 徐亚新, 何萍, 仇少君, 等. 我国马铃薯产量和化肥利用率区域特征研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25 (1): 22-35.

- [27] 农业部种植业司. 农业部关于印发《到2020年化肥使用量零增长行动方案》的通知[Z/OL]. [2015-03-18]. http://www.moa.gov.cn/zwlml/tzgg/tz/201503/t20150318_4444765.htm.
- [28] 李继福, 鲁剑巍, 任涛, 等. 稻田不同供钾能力条件下秸秆还田替代钾肥效果[J]. 中国农业科学, 2014, 47(2): 292-302.
- [29] 王洪媛, 盖霞普, 翟丽梅, 等. 生物炭对土壤氮循环的影响研究进展[J]. 生态学报, 2016, 36(19): 5998-6011.

Effect of ratios of nitrogen and potassium on yield, nutrient uptake and utilization of potato in alpine area

LI Fei¹, WEI Quan-quan², YIN Wang¹, ZHANG Meng², TONG An-bi¹, LUO Xiao-bo¹, CAO Zhen-ju¹, CHEN Ming-jun¹, GOU Jiu-lan^{2*} (1. Potato Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang Guizhou 550006; 2. Institute of Soil and Fertilizer, Guizhou Academy of Agricultural Sciences/Guizhou Observation Experimental Station of Farmland Preservation and Agricultural Environmental Sciences, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guiyang Guizhou 550006)

Abstract: A field experiment was carried out to explore the effect of ratios of nitrogen (N) and potassium (K) application on yield and nutrient absorption of potato, and to provide a basis for scientific recommendation of fertilization for high yield potato in alpine area of Guizhou province. Different amounts of N and K treatments with same amount of phosphorus (P) were conducted in 2018 in Bijie city, Guizhou province. Yield, economic benefit, nutrient uptake and utilization of potato were determined and analyzed. Potato yield varied with different nutrient treatments, the yield, output value and economic benefit of T8 ($N_3P_2K_2$, N : P_2O_5 : $K_2O=270 : 150 : 240$ kg/hm²) were 30 145 kg/hm², 33 159.5 yuan/hm² and 29 823.5 yuan/hm², respectively, which were higher than other treatments by 1 294 ~ 12 967 kg/hm², 1 423.3 ~ 14 263.2 yuan/hm² and 2 068.3 ~ 10 927.2 yuan/hm². The biomass of potato tubers under different treatments showed an increasing trend, and T8 treatment was the largest. Similar to aboveground biomass, the total biomass increased firstly and then decreased, reaching the maximum at 117 days after planting, and total biomass of T8 treatment was 6 619 kg/hm², which was higher than that of other treatments. The change of potato nutrient accumulation was different in different parts of the same treatment. The change of potato nutrient accumulation was similar in different parts of the same treatment. The change trend of potato N and K accumulation in the same part was similar, the accumulation of N and K in the above-ground part increased firstly and then decreased slowly. The accumulation of N and K in potato tubers continued to increase. The total accumulation of N and K was similar to that of the aboveground nutrients, showing a trend of first increasing and then slowly decreasing. N and K nutrient use efficiency was different in different treatments. T4 ($N_1P_2K_2$, N : P_2O_5 : $K_2O=90 : 150 : 240$ kg/hm²) and T8 ($N_3P_2K_2$, N : P_2O_5 : $K_2O=270 : 150 : 240$ kg/hm²) had the largest PEP_N and AE_N , while T5 ($N_2P_2K_1$, N : P_2O_5 : $K_2O=180 : 150 : 120$ kg/hm²) and T7 ($N_2P_2K_3$, N : P_2O_5 : $K_2O=180 : 150 : 360$ kg/hm²) had the largest PEP_K and AE_K . Comprehensive considering the yield, economic benefit and nutrient uptake and utilization, T8 treatment ($N_3P_2K_2$, N : P_2O_5 : $K_2O=270 : 150 : 240$ kg/hm²) can be used as a suitable ratios of N and K under the conditions of this experiment. And we should pay attention to the rational operation of N and K in production to promote the sustainable development in potato industry.

Key words: ratios of N and K; alpine area; potato; yield; nutrient uptake; utilization