

中图分类号: S532; S143 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2010)04-0237-05

综 述

马铃薯对氮、磷、钾的吸收及分配规律研究进展

张西露^{1,2}, 刘明月¹, 伍壮生³, 黄 科¹(1. 湖南农业大学园艺园林学院, 湖南 长沙 410128; 2. 湖南省蔬菜研究所, 湖南 长沙 410125;
3. 海南省农业科学院蔬菜研究所, 海南 海口 571100)

摘 要: 马铃薯的生长发育受到很多因素的影响, 特别是养分的供应以及马铃薯对养分的吸收、利用, 对其块茎的形成、膨大及淀粉积累的影响尤为显著。氮、磷、钾在马铃薯生长发育中需要量大, 必须加以补充, 才能满足其正常生长需求。生产上不合理的施肥, 导致马铃薯产量不高、品质较差及生产成本增高。通过分析马铃薯不同生育阶段、不同器官吸收养分的特征和分配规律, 从而探索马铃薯生产中最佳的氮、磷、钾施肥组合, 这对于丰富马铃薯栽培生理理论和指导生产中氮、磷、钾肥合理配施均具有重要的现实意义。

关键词: 马铃薯; 氮; 磷; 钾; 吸收; 分配规律

Absorption and Distribution of NPK in Potatoes

ZHANG Xilu^{1,2}, LIU Mingyue¹, WU Zhuangsheng³, HUANG Ke¹(1. College of Horticulture and Landscape, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China;
2. Hunan Vegetable Research Institute, Changsha, Hunan 410125, China;
3. Institute of Vegetable, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571100, China)

Abstract: The growth and development of potatoes are affected by many factors, especially nutrition supply for absorption and utilization in potato, which have important roles to play in tuber initiation, bulking and starch accumulation. Nitrogen, phosphorus and potassium are required in large quantity for potato growth and development, but generally lack in the soil, and have to be applied to meet the needs for its normal growth. Unreasonable fertilization in production would result in low tuber yield, poor quality, and high production costs. In this paper, the nutrient absorption and distribution in different parts at different growth stages of the potato were analyzed in order to find the optimum combination of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers for potato production, which is really important for physiological research and reasonable nitrogen, phosphorus, potassium application in potato production.

Key Words: potato; nitrogen fertilizer; phosphorus fertilizer; potash fertilizer; absorption; distribution

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)又名土豆、山药蛋、洋芋、番芋、荷兰薯、爪哇薯等, 是继玉米、水稻、小麦之后的第四大粮食作物^[1-3]。不仅用于鲜食, 还可以加工成一系列的加工品, 如薯条、薯片、淀粉(变性淀粉、预糊化淀粉), 酿造酒精, 制作动物饲料等。2002 年我国马铃薯种植面积达到了 490 多万 hm^2 , 占全球播种总面积的 25%, 占亚洲的 60% 以上, 成为世界上马铃薯栽培面积最

大的国家^[4]。但我国马铃薯的单产及其品质远不及欧美发达国家的水平, 主要由于生产上对马铃薯养分需求规律了解甚少, 长期偏施或重施氮肥, 少施或不施磷钾肥, 导致土壤肥力下降, 结构破坏, 生产成本不断增加, 严重制约了我国马铃薯的可持续发展。本文就马铃薯不同生育期对氮、磷、钾三要素的吸收分配规律及合理施肥等研究方面所取得的进展作简要综述。

收稿日期: 2010-03-31

基金项目: 马铃薯旱作节水栽培技术与集成示范(nyhyzx07-006-3-6-7)。

作者简介: 张西露(1975-), 女, 助研, 从事蔬菜栽培生理研究。

1 氮、磷、钾对马铃薯的生理作用

氮是蛋白质、核酸、磷脂的主要成分,而这三者又是原生质、细胞核和生物膜的重要组成部分,它们在生命活动中占有特殊作用^[5]。氮素营养充足时,能促使马铃薯茎叶生长,同化面积大,延长叶片功能期,光合作用旺盛,净光合生产率提高,利于养分的积累,以提高块茎的干物质含量、蛋白质含量和产量。马铃薯缺氮时,表现为基部叶片变黄,并逐渐向上部叶扩展,每个叶片先沿着叶缘褪绿变黄,并逐渐向中心叶扩展,植株表现茎秆细弱矮小,叶片表现小而色淡且略呈直立状^[6]。Osaki等^[7]研究表明: $\text{NO}_3\text{-N}$ 可以刺激马铃薯匍匐茎分枝,促进主茎生长, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 可以促进块茎膨大。田间施氮的处理比不施氮的叶面积指数大。高炳德^[8]对晋薯2号的氮肥试验表明,增施氮肥后,与对照相比,平均每公顷茎叶干重增长量达1200 kg,增加60%,平均叶面积指数和最大叶面积指数分别为0.83和1.94,淀粉积累期的光合势增加1倍多。另外,王季春^[9]的研究也表明,马铃薯在高氮水平下具有较高的叶面积和净光合同化率;而在低氮水平下叶面积和净光合同化率都较低。只有氮素和光合作用之间的关系协调才能提高产量。

磷是核酸、核蛋白和磷脂的主要成分,它与蛋白质合成、细胞分裂、细胞生长有密切关系,此外,它还参与碳水化合物的代谢与运输,对马铃薯块茎的生长有利。磷被作物吸收后,可扩大“源”的供应能力和同化物的转运效率,磷肥充足时,促进根系发育,增强植株的抗旱、抗寒能力和适应性,提高氮肥的利用率,幼苗发育健壮,有利于植株体内的各种物质的转化和代谢,促进植株早熟,增加块茎干物质和淀粉累积,提高薯块的品质和耐贮性。马铃薯缺磷时,表现为植株生长缓慢,株高矮小或细弱僵立,缺乏弹性,分枝减少,叶片卷曲呈杯状,叶片与叶柄均向上直立;严重缺磷时,植株基部小叶的叶尖先褪绿变褐,并逐渐向全叶扩展,最后整片叶片枯萎脱落^[10]。缺磷还会使马铃薯的根系和匍匐茎的数量减少,根系长度变短。

钾素与氮磷不同,它不参加植株体内有机物质的组成,主要集中分布在生长活跃的部分,如生长点、幼叶、形成层等部位,被吸收后起调节生理功能的作用,促进光合作用和提高二氧化碳的同化率,

促进光合产物的运转和体内蛋白质、淀粉、纤维素的合成与积累。马铃薯是一种喜钾植物,在整个生育期中对钾的需求都很大。马铃薯钾肥充足时,能使植株生长健壮,茎秆坚实,叶片增厚,延迟叶片衰老,增强抗寒和抗病性;缺钾时,病症自下而上发展,下部叶片首先出现病症,植株生长变慢,节间变短,呈丛生状叶片的叶尖和叶缘变褐变枯焦,叶面上常出现褐色坏死斑点或斑块,小叶叶尖萎缩,叶片向下卷曲,叶脉下陷;缺钾严重时植株呈“顶枯”^[11]。

2 马铃薯不同时期对氮、磷、钾的吸收与分配特点

马铃薯是一种喜肥作物,它的产量的形成是通过吸收矿物质、水分和二氧化碳的营养过程,促进植株生长发育和其他一切生命活动而实现的。虽然马铃薯块茎中矿质含量不高,但在马铃薯生长发育过程矿质元素通过参与并促进同化物的合成、转运和分配,对马铃薯生长发育及产量的形成有重要作用^[12]。合理的增施肥料是提高产量的有效措施之一,其中氮、磷、钾三要素对马铃薯的植株生长发育和产量品质的形成有着直接的影响,且氮、磷、钾的需求量,除由土壤提供外,大部分需靠基肥和追肥补给。

提高单产、增强抗病性、增加耐贮性是提高马铃薯经济效益,降低生产成本的有效途径。马铃薯的产量和品质除与品种、种薯质量、土壤性质、田间管理和环境条件等因素有关外^[13-18],还与田间施肥量关系极大。马铃薯各生育时期,因生长发育阶段不同,所需养分也不同。出苗到块茎生长初期吸收养分较少,对氮、磷、钾的吸收约占生育总量的25%,到生育中期,特别是块茎迅速膨大期是需肥高峰期,约占全生育期吸收量的50%左右,在淀粉积累期也即生育后期,养分的吸收量又占全生育期的25%左右,马铃薯现蕾开花期为吸肥高峰期^[19]。有研究表明,马铃薯各生长期对氮、磷、钾的分配量不同,幼苗期很少,分别占全生育期总量的19%、17.5%、17%,几乎全部分配到茎叶中;发棵期分配量骤增,分别占总量的56%、48.5%和49%,主要分配向茎叶,占67%,其次是块茎,占33%;结薯期分配量分别占重量的25%、34%和34%,以块茎为主,占72%,而茎叶只占28%。马铃薯对钙、镁、硫的吸收动态、分配状况与氮、磷、钾的趋势基本相同,不同的是分配方向主要是茎、叶、

根, 而块茎的分配比例较少。每生产 1 t 块茎, 吸收的氧化钙和氧化镁分别为 6.8 kg 和 3.2 kg。马铃薯对微量元素的吸收很少, 每生产 20 t 块茎, 吸收的铜 44 g、锰 42 g、钼 0.74 g、锌 99 g^[20]。在块茎生长期, 马铃薯新鲜叶子中各种微量元素的含量是: 铁 70~150 mg·kg⁻¹、硼 30~40 mg·kg⁻¹、锌 20~40 mg·kg⁻¹、锰 30~50 mg·kg⁻¹ [10]。

据高炳德^[21]田间试验报道, 同薯 8 号每生产 1 t 鲜薯吸收氮、磷、钾分别为 4.38 ± 0.36 、 0.79 ± 0.04 、 6.55 ± 1.70 kg, 氮磷钾的吸收量随着植株生长而变化, 幼苗期吸收速率较慢, 发棵期速率骤增, 进入结薯期又缓慢下来。内蒙古农业科学研究所试验表明, 667 m² 产块茎 1 500 kg 时, 需要从土壤中吸收氮 8.3 kg、磷 3.3 kg、钾 15.3 kg、每增产块茎 500 kg, 需要增施氮 2.75 kg、磷 0.5 kg、钾 5.1 kg, 氮、磷、钾三者的比例约为 2:1:4^[22]。由此可见, 马铃薯是高产喜肥作物, 对肥料的反应非常敏感, 从肥料三要素的需求量来看, 需钾最多, 氮次之, 磷最少。从整个生长过程来看, 生育前期需肥较多, 中后期相对较少。

因此, 生产上应根据马铃薯的生长规律, 采取前促、中控、后保的施肥原则。前期应尽可能的使马铃薯早生快发, 多分枝, 形成一定的丰产苗架, 施肥上以氮磷肥为主。中期控制茎叶生长, 促使其转入地下块茎形成与膨大, 后期不能使叶色过早落黄, 以保持叶片光合作用效率, 多制造养分供地下块茎膨大。马铃薯施肥水平应根据土壤的保肥、供肥能力, 以及产量指标来确定。在了解马铃薯根系营养生理机理的基础上, 根据整个生育期对养分的吸收特点, 要求的产量水平及不同的气候条件等因素, 合理施用肥料及适时增施叶面肥料, 充分协调其地上部与地下部之间的关系, 这是马铃薯实现高产、优质的重要措施^[22]。因此, 为获取马铃薯的高产优质, 应该根据各地的实际情况, 做到科学、合理地施肥。

3 氮、磷、钾施肥量对马铃薯生长发育及产量品质的影响

马铃薯块茎内贮藏物质虽以淀粉为主, 但氮、磷、钾素在马铃薯生长发育过程中, 分别起着极其重要的作用。氮素对马铃薯营养器官的形成和生长有良好的促进作用, 在生长早期能促进根系发育和

茎叶迅速生长, 能增强抗逆性。生长后期, 氮素对提高光合势及光合强度, 以及延缓叶片衰老效果明显。磷素是细胞质和细胞核的重要组成元素之一, 同时又是光合作用、呼吸作用、物质运转等一系列重要生理代谢过程的参与者。器官中含磷量的变化, 标志着植株代谢功能的强弱, 最终影响到产量和品质。钾素能提高叶片的光合效率和促进有机物质的运转。据报道, 钾在薯块和其它作物块根中有利于淀粉和糖的积累, 特别是茎部包括叶片含钾量高, 有利于叶片中有机物质迅速转移到块茎中去。叶片是光合作用最活跃的器官, 因此叶部氮、磷、钾含量浓度, 是判断植株生长好坏和物质积累的重要标志。

3.1 氮、磷、钾肥对马铃薯植株生长发育及产量的影响

氮素在马铃薯植株体内的含量是随着生长发育的进程及器官的不同而变化。一些研究用 ¹⁵N 标记发现, 前期的氮主要存在于茎、叶、根中, 但是随着马铃薯块茎的形成, 80% 的 ¹⁵N 进入块茎中, 说明氮素在营养生长期主要供植株生长^[23-24]。氮通过两个方面影响马铃薯的产量, 一方面它影响马铃薯的主茎和分枝上叶片的叶面积, 使同化面积增大, 另一方面氮素可延长叶片的功能期, 但是下部的茎叶相互遮荫却提前凋落^[25]。施氮量高的植株在生育后期, 仍保持绿色, 延迟结薯, 进而影响了同化产物向块茎中的积累, 降低了产量^[26-27]。

氮素对马铃薯块茎形成的数量和大小都有明显的影响。氮肥对块茎数的影响因土壤供氮水平的不同而有所差异, 当土壤全氮含量大于 0.1%, 碱解氮含量大于 0.01% 时, 增施氮肥会显著地降低马铃薯的产量, 块茎的数量也显著减少, 每株平均减少 2 个左右。而在全氮含量小于 0.1%, 碱解氮含量小于 0.01% 的一般田块, 增加氮肥可显著增产, 薯块数也有所增加^[28]。

磷素的存在能使植株体内氮素的浓度下降, 但对氮的吸收量有促进作用, 亦可提高氮的运转率, 从而提高马铃薯的光合生产率和生物产量, 提高经济产量系数。磷素对生物产量的作用因土壤而异, 高肥力田无显著影响, 一般田有极显著的增产作用。相反, 氮素又会使植株体内的磷素浓度降低, 茎叶内下降更为明显; 施氮量在适宜的范围可促进对磷的吸收, 超过适量, 则吸磷量也下降。一般情况下, 每生产 1 000 kg 块茎需要从土壤中吸收

P_2O_5 1.66~1.85 kg。若土壤中的磷素不足, 将影响到马铃薯植株根系生长和生长点的生长, 减少马铃薯的产量, 降低品质, 延迟成熟; 若磷肥过量, 同样降低产量和品质, 并且还会影响马铃薯植株对锌和其他微量元素的吸收^[29-30]。

马铃薯是喜钾的作物。我国现有的耕地中, 大约有1/4~1/3土壤存在缺钾或严重缺钾问题, 尤其是长江以南的广大地区, 缺钾的现象较为普遍。且随着氮肥用量的增加, 钾素的淋洗损失量更大^[31-32]。孔令郁等^[33]试验表明, 肥料充足, 氮磷钾养分配比合理时, 不仅植株可以达到最大生物产量, 块茎产量也相应达到最高, 同时可以提高马铃薯的品质。徐德钦^[34]和胡助力等^[35]认为, 增施钾肥量低时, 随着钾肥量的提高增产提质效果逐渐提高, 当增施钾肥到一定水平时, 继续提高钾肥量增产提质效果下降。

3.2 氮、磷、钾对马铃薯品质的影响

“有收无收在于水, 收多收少在于肥”^[36]。说明施肥是提高产量的主要措施之一, 合理施肥, 是取得高产的关键。同时, 施肥也可以改进马铃薯的品质。冯瑞琴等^[37]认为每公顷施用 450 kg 的纯氮肥和 225~300 kg 纯钾肥, 马铃薯的增产效果最好, 且可提高薯块的品质。李华等^[38]就钾、锌、锰配合施用进行了研究, 指出, 钾、锌、锰肥的合理施用可显著增加块茎中的淀粉、粗蛋白质含量, 降低块茎中的 NO_3-N 含量。郑若良报道^[39], 当 $N:K_2O$ 比增加时, 马铃薯生长发育进程延长, 健康态势降低, 块茎中蛋白质含量升高; 而当 $N:K_2O$ 比降低时, 块茎的干物质、淀粉、还原糖、总糖和 V_c 含量趋于增加。胡助力等^[35]也报道, 增施磷钾肥可提高马铃薯块茎产量、淀粉含量、大中薯率、块茎干物质含量。Somani 等^[40]研究表明, 适量氮磷钾的配比, 可以减轻病害, 降低病情指数。Ciecko 等^[41]通过试验表明, 增加氮磷的量, 可提高薯块的产量, 但是若磷过量, 则会减少块茎中淀粉的含量。同样, 每公顷氮肥若超过 120 kg 时, 也会降低淀粉的含量。

胡霭堂^[42]的试验表明, 增施钾肥可使马铃薯块茎中淀粉含量由 53% 提高到 66%。麻汉林等^[43]研究表明, 增施磷钾肥可提高马铃薯块茎的产量、淀粉含量以及大中薯率, 但是增施钾肥到一定量时, 进一步提高钾肥的量对提高产量的效果不明显。徐德钦^[34]和胡助力等^[35]也认为, 增施钾肥量低时, 随着钾肥量的提高增产提质效果逐渐提高, 当增施钾肥到

一定水平时, 继续提高钾肥量增产提质效果下降。孙继英等^[44]研究了不同施肥量对高淀粉马铃薯品种产量及品质的影响, 结果显示: 马铃薯产量和商品率随施肥量的增加而增加, 当施肥量达到某一定点时二者达到最大值, 之后呈下降趋势; 而淀粉含量随施肥量的增加而下降。郑元红等^[45]报道, 在氮、磷营养充足的前提下, 脱毒马铃薯产量随着有机肥和化肥补钾量的增加而增加, 但增加到一定程度后产量又下降。张朝春等^[46]试验结果显示: 每公顷氮、钾施肥量分别从 N 300 kg、 P_2O_5 345 kg、 K_2O 375 kg 降低到 180 kg、180 kg、225 kg, 对植株干物质累积量没有显著影响, 3 个基地都呈相同的趋势; 3 个生产基地不同处理的块茎产量也没有显著性差异。于天富^[47]报道, 钾肥的施用量一定要根据当地土壤中钾素的状况而定, 钾肥施用量超过某个界限后, 增产幅度量呈下降的趋势。

4 展望

目前, 国内外研究者在如何提高马铃薯产量和品质方面做了大量的研究工作, 如采用不同的栽培技术、施肥方法、生长调节剂以及调控环境等措施, 对马铃薯生育过程植株的氮、磷、钾含量进行研究, 以寻找不同品种淀粉含量积累与矿物质元素之间的相关规律, 以便为高淀粉育种和高产优质高效栽培方案的制定提供科学依据。通过采用不同的施肥配方, 分析马铃薯不同生育阶段, 不同器官吸收养分的特征, 从而寻求马铃薯生产中最优的氮、磷、钾施肥组合, 这对于如何科学施肥, 降低生产成本, 提高肥料利用率, 提高马铃薯的产量与品质, 获取较高的经济效益和集约化生产等具有重要的理论指导意义和生产应用价值。

近几年来, 有关于氮、磷、钾素的吸收分配规律的报道已很多, 但关于马铃薯吸收规律的研究报道还较少, 因此, 深入系统的研究马铃薯氮、磷、钾与硫素的吸收规律对丰富马铃薯栽培生理理论和指导生产中合理配方施肥具有重要的理论和实践意义。特别通过对氮、磷、钾吸收量和分配规律的分析, 以及氮、磷、钾元素在马铃薯不同部位中的分布与动态变化分析的结果, 并结合种植密度、土壤肥力状况等, 尽量做到对马铃薯生长过程肥料施用的定量化, 标准化, 保证马铃薯不同生长部位对营养元素的需求, 达到“按需施肥, 配方施肥”的目的。

[参 考 文 献]

- [1] Jackson S D. Multiple signaling pathways control tuber induction in potato [J]. *Plant Physiology*, 1999, 119: 1-8.
- [2] John S. International cooperation and the role of potato in feeding the world [J]. *American Journal of Potato Research*, 1993, 70: 385-404.
- [3] 谷茂, 丰秀珍. 马铃薯栽培种的起源与进化[J]. *西北农业学报*, 2000, 9(1): 114-117.
- [4] 李学湛, 何云霞, 吕典秋, 等. 脱毒马铃薯种薯标准化生产及质量监督检测[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2004.
- [5] 王忠. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [6] 周娜娜, 秦亚斌. 马铃薯氮素营养诊断及追肥推荐模型的研究[J]. *宁夏农业科技*, 2004(2): 1-2.
- [7] Osaki M, Shirai J, Shinano T, et al. Effects of ammonium and nitrate assimilation on the growth and tuber swelling of potato plants [J]. *Soil Sci. Plant Nutr.* 1995, 41(4): 709-719.
- [8] 高炳德. 马铃薯产量形成与环境条件及营养条件的关系[J]. *马铃薯杂志*, 1984(3): 53-59.
- [9] 王季春. 不同施氮量对马铃薯的影响[J]. *马铃薯杂志*, 1994, 8(2): 76-80.
- [10] 谢云开, 金黎平, 屈冬玉. 脱毒马铃薯高产新技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006.
- [11] 李玉影. 马铃薯需钾肥特性及钾肥效益[J]. *马铃薯杂志*, 1999, 13(1): 9-12.
- [12] 黑龙江省农业科学院马铃薯研究所. 中国马铃薯栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.
- [13] Danicenko V, Treciokaite E. The IV doctorand's conference of Lithuanian Agricultural Institute [C]. In Lithuania: Dotnuva Akademija, 1997: 136-137.
- [14] 何长征, 刘明月, 宋勇, 等. 马铃薯叶片光合特性研究[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2005, 31(5): 518-520.
- [15] Sirtaite S, Treciokaite E, Dris R, et al. The influence of storage temperature on composition and processability of potato cultivars [J]. *Postharvest*, 2000: 73
- [16] Boliglowa E, Glen K. Yielding and quality of potato tubers depending on the kind of organic fertilization and tillage method [EB/OL]. *Electronic Journal of Polish Agricultural University, Agronomy*, 2003, 6(1): 3[2010-03-21]. <http://www.ejpau.media.pl/volume6/issue1/agronomy/art-03.html>.
- [17] Khan I A, Deadman M L, Al-Habsi K A. Comparative yield performance of exotic potato varieties in Oman [J]. *Annals of Applied Biology, Supplement, Tests of Agrochemicals and Cultivars*, 2000, 21: 37-38.
- [18] Khan I A, Deadman M L, Al-Habsi K A. Screening potato varieties for cultivation in arid regions: Effect of planting date on emergence of imported and locally-produced seed [J]. *Journal of Scientific Research-Agricultural Sciences*, 2001, 6: 41-46.
- [19] 张朝春, 江荣风. 氮磷钾对马铃薯营养状况及块茎产量的影响[J]. *中国农学通报*, 2005, 21(9): 279-283.
- [20] 张振贤. 蔬菜栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [21] 高炳德. 马铃薯营养特性的研究[J]. *马铃薯*, 1984(4): 3-13.
- [22] 彭慧峰. 马铃薯高产施肥技术[J]. *农村科技*, 2006(2): 37.
- [23] Millard P, Robinson D, Mackie-Dawson L A. Nitrogen partitioning within the potato plant in relation to nitrogen supply [J]. *Annals of Botany*, 1989, 63: 289-296.
- [24] Westermann D T, Kleinkopf G E, Porter L K. Nitrogen fertilizer efficiencies on potato [J]. *American Potato Journal*, 1988, 65: 377-386.
- [25] Dyson P W, Watson D J. An analysis of the effects of nutrient supply on the growth of potato crops [J]. *Annals of Botany*, 1971, 69: 47-63.
- [26] Zhang H L, Smeal D, Arnold R N, et al. Potato nitrogen management by monitoring petiole level [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 1996, 19: 1405-1412.
- [27] Oparka K J, Davies H V, Prior D A M. The influence of applied nitrogen in export and partitioning of current assimilate by field-grown potato plants [J]. *Annals of Botany*, 1987, 59: 311-323.
- [28] 王培伦, 徐坤, 董道峰. 豆类、薯芋类蔬菜保护地栽培技术[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2003.
- [29] Christensen N W. A new hypothesis to explain phosphorus induced zinc deficiencies[D]. Corvallis: Oregon State University, 1972.
- [30] Stark J S, Westermann D T. Potato nutrient management [M]. Idaho: Idaho potato production systems, University of Idaho Current Information Series, 2003.
- [31] 殷文, 马晓燕. 稻田施用钾肥的增产效益研究[J]. *安徽农业科学*, 2001, 29(3): 368-369.
- [32] 黄建余, 陈公贤, 聂军. 洞庭湖区稻-稻连作制中钾肥效益及钾素平衡研究[J]. *湖南农业科学*, 2004(5): 13-15.
- [33] 孔令郁, 彭启双, 熊艳, 等. 平衡施肥对马铃薯产量及品质的影响[J]. *土壤肥料*, 2004(3): 17-19.
- [34] 徐德钦. 马铃薯增施钾肥效果的研究[J]. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2007, 25(2): 147-149.
- [35] 胡助力, 郭志平. 马铃薯 Mira 高产施肥措施的研究[J]. *江西师范大学学报(自然科学版)*, 2006, 30(4): 396-398.
- [36] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [37] 冯瑞琴, 田丰. 氮钾肥配施对马铃薯产量的影响[J]. *青海大学学报(自然科学版)*, 2005, 23(4): 44-46.
- [38] 李华, 毕如田, 程芳琴, 等. 钾、锌、锰配合施用对马铃薯产量和品质的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2006(4): 46-50.
- [39] 郑若良. 氮钾肥比例对马铃薯生长发育、产量及品质的影响[J]. *江西农业学报*, 2004, 16(4): 39-42.
- [40] Somani A K, Kushwah V S, Singh S P. Management of stem necrosis disease in early planted potato crop with varying fertilizer levels[J]. *Journal of the Indian Potato Association*, 2003, 30: 301-303.
- [41] Ciecko Z, Dotover Z, Strake O, et al. The effect of NPK fertilization on tuber yield and starch content in potato tubers [J]. *Annals University's Mariae curie-skodowska sectio E, Agriculture*, 2004, 59(1): 399-406.
- [42] 胡霭堂. 植物营养学(下册)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [43] 麻汉林, 郭志平. 马铃薯高产施肥措施研究[J]. *中国马铃薯*, 2007, 21(1): 26-28.
- [44] 孙继英, 肖本彦. 不同施肥水平对高淀粉马铃薯品种克新 12 号产量及相关经济性状的影响[J]. *中国马铃薯*, 2006, 20(1): 30-32.
- [45] 郑元红, 胡辉, 潘国元, 等. 有机肥与化肥对脱毒马铃薯补钾效益的研究[J]. *土壤肥料*, 2006(1): 24-27.
- [46] 张朝春, 江荣丰, 张福锁, 等. 氮磷钾肥对马铃薯营养状况及块茎产量的影响[J]. *土壤肥料科学*, 2005, 21(9): 279-283.
- [47] 于天富. 大同地区土壤钾素状况与作物施钾效应[J]. *内蒙古农业科技*, 2007(1): 32-33.