

N素施用量对冬枣园不同时期土壤化学特性及其营养的影响

史滢漪¹, 杨静慧^{1*}, 刘海荣¹, 牟坤²

¹天津农学院园艺园林学院, 天津

²天津市远大园林有限公司, 天津

Email: syyzzw @126.com, *jinghuiyang2@aliyun.com

收稿日期: 2021年5月19日; 录用日期: 2021年6月29日; 发布日期: 2021年7月6日

摘要

为了了解N素对园地各个物候期土壤化学性质及其营养的影响, 以天津静海冬枣园为基地, 通过单因素随机区组设计, 进行了不同时期、不同N素施用量处理。结果显示: 高氮量处理使土壤pH值提升3.44%, 含盐量降低5.35%, 有机质增加16.89%, 速效N增加83.83%, 速效P降低33.84%。总之, 碱地枣园土壤施氮增加了土壤有机质、速效氮、速效钾的含量, 降低了土壤含盐量。但是, 增加了土壤pH, 降低了速效磷。施加N素越多, 土壤pH值、有机质、速效氮越大; 高量氮会降低土壤速效钾。各物候期中, 萌芽期有机质和速效P含量最高, 开花期pH、含盐量最高, 坐果期速效N和K最高; 开花期速效N最低, 幼果期含盐量、pH值和有机质最低, 果实成熟期速效P最低, 采果后速效K最低。

关键词

氮, 冬枣, 物候期, 大量元素, 盐碱

The Effect of Nitrogen Application Rate on Soil Hemical Properties and Nutrition in Different Periods of Dongzao Garden

Yanyu Shi¹, Jinghui Yang^{1*}, Hairong Liu¹, Kun Mu²

¹College of Horticulture and Landscape, Tianjin Agricultural University, Tianjin

²Tianjin Yuanda Garden Co. LTD., Tianjin

Email: syyzzw @126.com, *jinghuiyang2@aliyun.com

*通讯作者。

文章引用: 史滢漪, 杨静慧, 刘海荣, 牟坤. N素施用量对冬枣园不同时期土壤化学特性及其营养的影响[J]. 植物学研究, 2021, 10(4): 419-428. DOI: 10.12677/br.2021.104056

Abstract

In order to understand the effect of Nitrogen on the chemical properties and nutrition of the soil in each phenological phase of the garden, Tianjin Jinghai Winter Jujube Garden was used as a base and a single-factor random block design was used to treat different periods and different amounts of Nitrogen application. The results showed that the high nitrogen treatment increased the soil pH by 3.44%, reduced the salt content by 5.35%, increased the organic matter by 16.89%, increased the available nitrogen by 83.83%, and decreased the available phosphorus by 33.84%. In short, the application of nitrogen to the soil of jujube orchard in alkaline land increased the content of organic matter, available nitrogen, and available potassium in the soil, and reduced the soil salt content. However, it increases soil pH and reduces available phosphorus. The more Nitrogen is applied, the greater the soil pH, organic matter, and available nitrogen; high amounts of nitrogen will reduce soil available potassium. Among the various phenological stages, the organic matter and available phosphorus content are the highest in the germination stage, the pH and salt content are the highest in the flowering stage, and the available nitrogen and available potassium are the highest in the fruit setting stage; the available Nitrogen is the lowest in the flowering stage, and the salt, pH and organic matter in the young fruit stage are the lowest. The quick-acting phosphorus is the lowest in the mature stage, and the quick-acting Potassium is the lowest after the fruit picking.

Keywords

Nitrogen, Winter Jujube, Phenological Phase, Large Number of Elements, Saline

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

枣(*Ziziphus jujuba* Mill. cv. *Dongzao*)含有糖类、蛋白质、维生素、膳食纤维等丰富的营养成分,对人体有很大的保健作用[1]。大量种植枣树能够有效改善生态环境[2]。由于枣树对环境条件、土壤的理化性质等方面具有较强的适应能力,因此,在中国它是一种最广泛分布的果树[3] [4] [5]。

土壤化学性质是土壤营养状况的重要体现,具体包括土壤的pH、有机质、氮、磷、钾以及各种矿物质营养元素[6] [7]。其中,氮是植物生长中最需要的营养元素之一,是植物细胞中蛋白质合成的重要组成部分,也是植物叶绿体的重要组成部分,土壤中如果缺氮,会减少植物中叶绿素的含量,光合作用效果也会明显下降,产生的有机物就会减少。植物生长会变得瘦弱、矮小、发育不良。在一定范围内,氮素的施用和作物产量呈正向发展趋势,氮能够限制植物作物产量[8]。合理施氮有助于协调植物各器官的生长发育需求,延缓植物衰老,提高植物对氮素的利用效率[9]。氮素应用不当会影响土壤的理化性质,继而影响其它营养的吸收[10],从而影响枣树果实品质[11] [12]。

本研究是在上一年的养诊断的基础上,进行了不同时期、不同N素营养施用量对园地土壤的化学特性和其他土壤营养积累的影响,对减少N素施用、减少环境污染、改善土壤特性,提高冬枣的产量和品

质有重要的意义。

2. 材料与方法

试验地位于天津市静海区大丰堆镇靳家庄村枣园，种植面积为 30,000 m²。该地土壤 pH 值全年为 7.4~8.7，含盐量为 1.4‰~1.8‰之间，土壤为黏壤土。园地地势表面平缓，为平原地貌类型。原试验地实施常规管理，一年施化肥两次(萌芽期为 N 肥，幼果发育期期 NPK 复合肥，追施化肥总量为 50 千克/亩)，施基肥一次(2 m³ 牛粪/亩)。

供试品种为本枣园生长健壮且长势一致的 20 年生普通冬枣，嫁接砧木为金丝小枣(*Zizip husjuba*)，园内枣树南北向栽植，株行距 3 m × 5 m。

试验采用单因素随机区组设计，在常规管理的基础上追施 N 素 - 尿素(氮含量 46%)；在植株树冠边缘穴施(施肥深度 20 cm~30 cm，施肥后灌水)，分别在新梢萌芽生长期、坐果期、幼果发育期追施，施用总量为 0、88 千克/亩、176 千克/亩，设为低量(作为对照)、中量和高量 3 个处理，每处理 10 株，重复 3 次，1 个处理一共 30 株，处理与处理之间设置保护行，相隔 10 米。所有处理田间管理一致。

每个处理小区内选取 5 株枣树作为样本树并挂牌标记。2019 年 5 月至 9 月，在不同物候时期采集土壤，主要分为：新梢萌芽生长期(5 月上旬)、开花期(6 月中上旬)、坐果期(7 月上旬)、幼果发育期(8 月上旬)、果实成熟期(9 月下旬)。每个时期采集一次土壤，于每次施肥的前一天采集，在每株树的两侧树冠边缘垂直下方用土钻采集 0~20 cm 土层、20~40 cm 土层、40~60 cm 土层的土。并将同一处理三个不同土层的土样进行充分混合分装于聚乙烯自封袋中。带回实验室存储于阴凉处，自然风干后用 0.1 mm 筛网过筛，密封保存备用。

对土壤 pH 值、含盐量、有机质、速效 N、速效 P、速效 K 分别依次采用酸度计、重量法、重铬酸钾氧化还原滴定法、凯氏定氮法、碳酸氢钠浸提 - 钼锑抗比色法、乙酸铵溶液浸提 ICP-OES 法测定 [13]。

数据用 Excel 2019 和 SPSS 17.0 软件进行分析。

3. 结果与分析

3.1. N 素对园地土壤 pH 值的影响

Table 1. The significance of soil pH changes under different N application levels and different phenological periods
表 1. 不同 N 素施用水平下、不同物候期，土壤 pH 值变化的差异显著性

N 素水平	土壤 pH 值的变化					
	萌芽新梢生长期	开花期	坐果期	幼果发育期	果实成熟期	采果后
高量	7.440 a	8.794 a	8.478 a	7.922 a	8.364 a	8.334 a
中量	7.440 a	8.621 b	8.417 a	7.667 b	8.299 a	8.263 a
低量	7.440 a	8.482 c	8.253 b	7.520 c	8.129 b	8.113 b

注：abc 为 0.05 水平差异显著，以下同。

由表 1 和图 1 可知，土壤 pH 整体变化趋势为先增加后降低再增加，尤其是在开花期和幼果发育期时 pH 值增加最明显；除萌芽期外，施 N 对枣各个物候期的土壤 pH 值有显著的影响，N 素水平越高，土壤 pH 值就越大，在开花期，高 N 处理显著高于中 N 和低 N 处理，分别高了 2.01%、3.68%，中 N 处理显著高于低 N 处理，高了 1.64%；在坐果期，中 N 处理和高 N 处理差异不显著，但二者均显著高于低 N

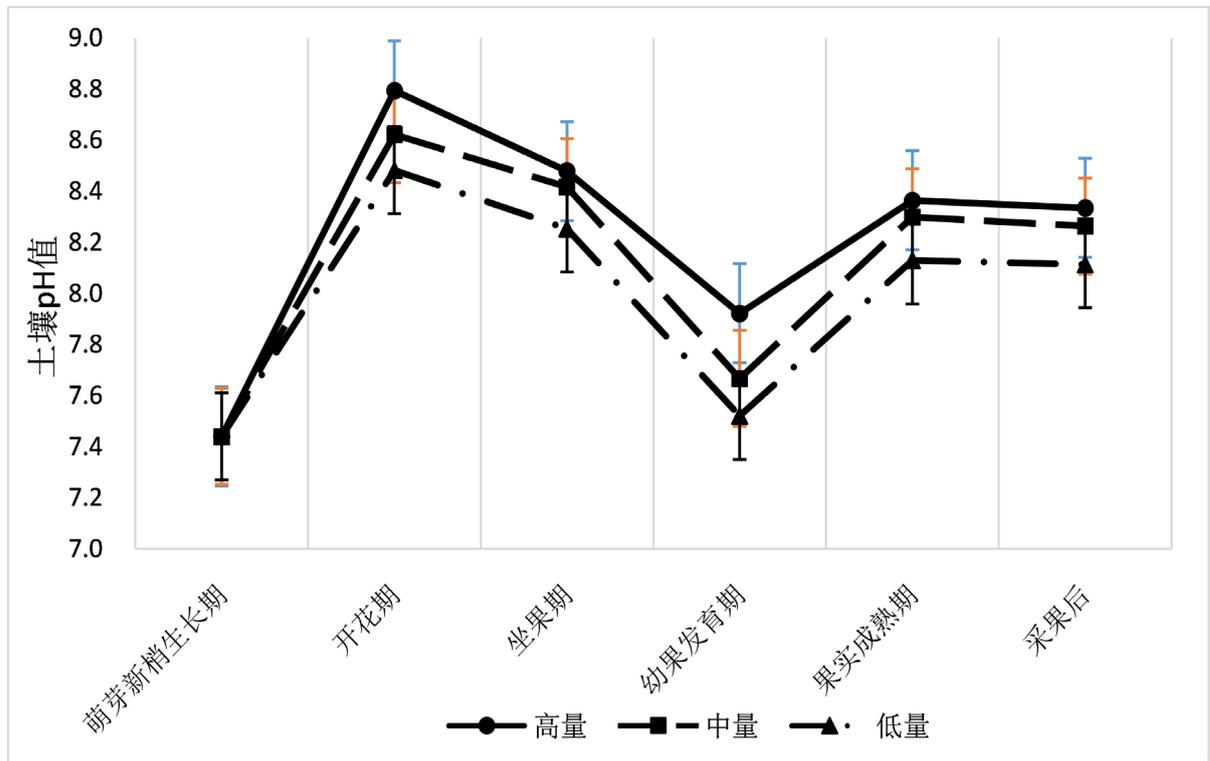


Figure 1. The variation trend of soil pH value under different N element application levels and different phenological periods

图 1. 不同 N 素施用水平下、不同物候期，土壤 pH 值的变化趋势

处理，中 N 高了 1.99%，高 N 高了 2.73%；在幼果发育期，高 N 处理显著高于中 N 和低 N 处理，分别高了 3.33%、5.35%，中 N 处理显著高于低 N 处理，高了 1.95%；在果实成熟期和采果后，中 N 处理和高 N 处理差异不显著，但二者均显著高于低 N 处理，在果实成熟期时中 N 和高 N 分别高了 2.09%、2.89%，在采果后中 N 和高 N 分别高了 1.85%、2.72%。

综合分析得，高 N 处理对土壤 pH 值提升最多，比低 N 处理平均高了 3.44%。施加过量的 N 会增加土壤的 pH 值，使土壤碱性增加，而试验种植基地本身土壤呈碱性，因此，氮过量施用会增加碱性土壤的 pH，不利于植株的生长。

3.2. N 素对园地土壤含盐量的影响

Table 2. Soil salt content changes significantly under different N application levels and different phenological periods

表 2. 不同 N 素施用水平下、不同物候期，土壤含盐量的变化差异显著性

N 素水平	土壤含盐量的变化(%)					
	萌芽新梢生长期	开花期	坐果期	幼果发育期	果实成熟期	采果后
高量	1.601 a	1.667 b	1.446 b	1.356 b	1.605 b	1.579 b
中量	1.601 a	1.728 a	1.495 b	1.378 b	1.639 b	1.613 a
低量	1.601 a	1.741 a	1.524 a	1.483 a	1.686 a	1.652 a

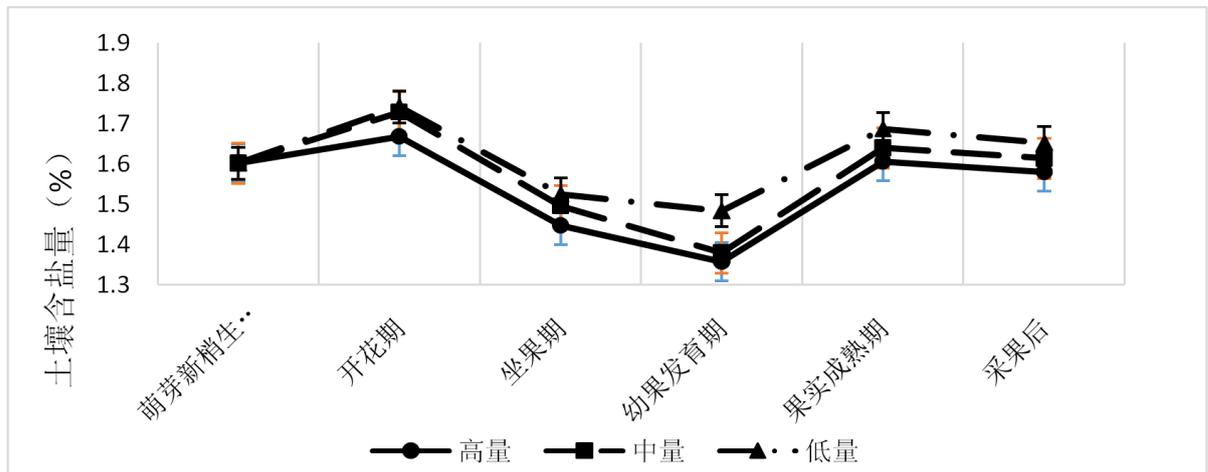


Figure 2. The variation trend of soil salt content under different N application levels and different phenological periods
图 2. 不同 N 素施用水平下、不同物候期，土壤含盐量的变化趋势

由表 2、图 2 可知，土壤含盐量整体变化趋势为先增加后降低再增加，尤其是在幼果发育期时降低最为明显。除萌芽期外，施 N 对枣各个物候期的土壤含盐量有显著的影响，N 素水平越高，土壤含盐量就越低，在幼果发育期不同处理间差异最大，其中土壤含盐量中 N 处理和低 N 处理的均显著低于高 N 处理的 7.08%~8.56%。

3.3. N 素对园地土壤有机质含量的影响

Table 3. Significant difference of soil organic matter under different N application levels and different phenological periods
表 3. 不同 N 素施用水平下、不同物候期，土壤有机质的变化差异显著性

N 素水平	土壤有机质的变化					
	萌芽新梢生长期	开花期	坐果期	幼果发育期	果实成熟期	采果后
高量	1.02%	0.97% a	0.81% a	0.79% a	0.86% a	0.79% a
中量	1.02%	0.89% ab	0.76% ab	0.70% ab	0.79% ab	0.73% ab
低量	1.02%	0.86% b	0.70% b	0.63% b	0.75% b	0.67% b

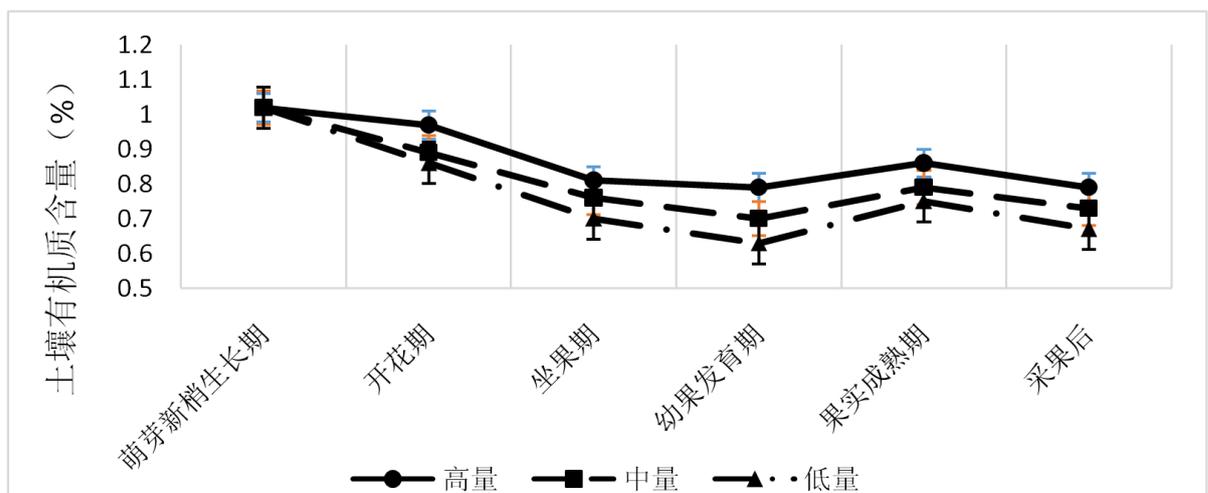


Figure 3. Change trend of soil organic matter under different N application levels and different phenological periods
图 3. 不同 N 素施用水平下、不同物候期，土壤有机质的变化趋势

由表 3 和图 3 可知，土壤有机质含量整体变化趋势为下降，特别是在幼果发育期以后，降低最多。除萌芽期外，施 N 对枣各个物候期的土壤有机质含量有显著的影响，N 素水平越高，土壤有机质含量就越高；在幼果发育期不同处理间差异最大，在植物整个生长过程中，中 N 处理和高 N、低 N 处理之间差异不显著，但高 N 处理显著高于低 N 处理，在开花期土壤有机质增加了 12.79%，在坐果期高了 15.71%，在幼果发育期高了 25.40%，在果实成熟期高了 14.67%，在采果后高了 17.91%。

综合分析得，高 N 处理可以在各个时期显著增加土壤有机质的含量，平均比低 N 处理高了 16.89%。

3.4. N 素对园地土壤速效 N 含量的影响

Table 4. Significant difference in soil available N content under different N application levels and different phenological periods

表 4. 不同 N 素施用水平下、不同物候期，土壤速效 N 含量的变化差异显著性

N 素水平	土壤速效 N 含量的变化(mg/kg)					
	萌芽新梢生长期	开花期	坐果期	幼果发育期	果实成熟期	采果后
高量	196	243 a	457 a	426 a	269 a	220 a
中量	196	181 b	274 b	196 b	154 b	141 b
低量	196	71 c	157 c	132 c	111 c	98 c

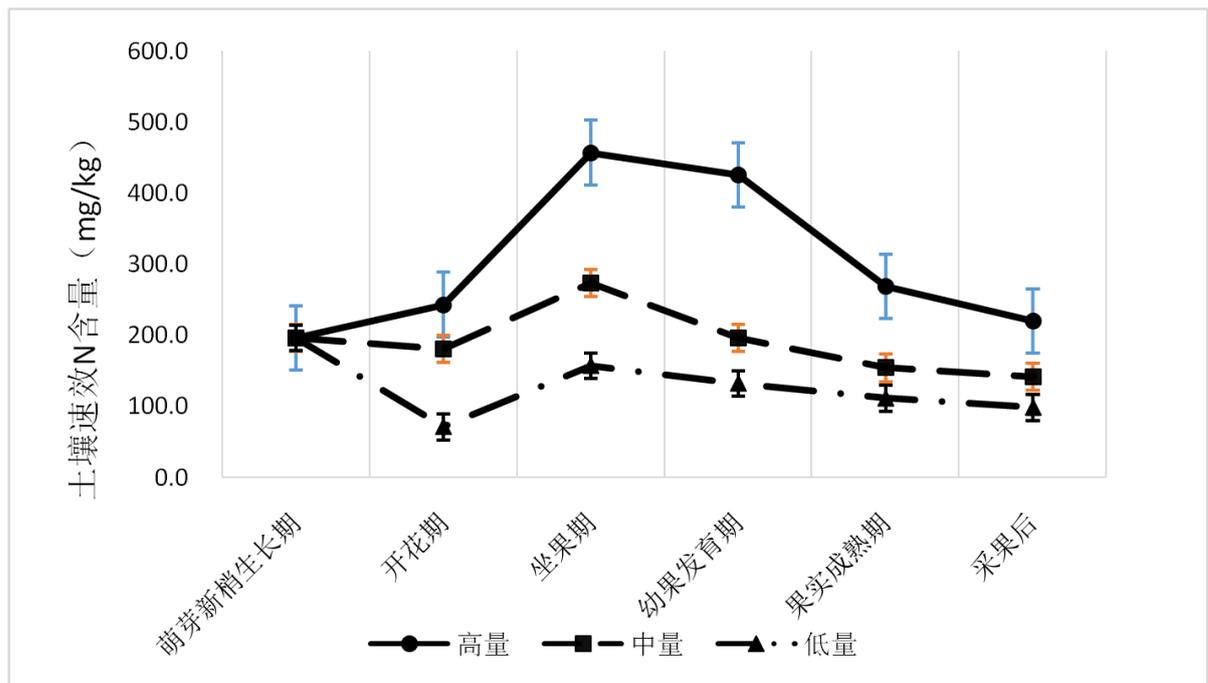


Figure 4. The variation trend of soil available N content under different N application levels and different phenological periods

图 4. 不同 N 素施用水平下、不同物候期，土壤速效 N 含量的变化趋势

由表 4 和图 4 可知，高量和中量施入 N 素，可以使生长中期的土壤速效 N 含量增加，其中高量施 N 可以使除萌芽期外的其余 5 个时期的土壤速效 N 含量显著增加，其中在开花期高了 242.25%，在坐果期高了 191.08%，在幼果发育期高了 222.73%，在果实成熟期高了 142.34%，在采果后高了 124.49%。综合

分析, N 素施入可以显著提高土壤速效 N 含量, 高氮处理平均比低 N 处理高了 183.83%。施 N 越多, 土壤中速效 N 的含量越多。

3.5. N 素对园地土壤速效 P 含量的影响

Table 5. Significant difference of soil available P content under different N application levels and different phenological periods
表 5. 不同 N 素施用水平下、不同物候期, 土壤速效 P 含量的变化差异显著性

N 素水平	土壤速效 P 含量的变化(mg/kg)					
	萌芽新梢生长期	开花期	坐果期	幼果发育期	果实成熟期	采果后
高量	143.700	72.113 c	104.383 c	47.069 c	25.185 c	95.961 c
中量	143.700	100.294 b	113.372 b	78.227 b	34.376 b	108.716 b
低量	143.700	114.587 a	124.102 a	91.669 a	64.379 a	126.288 a

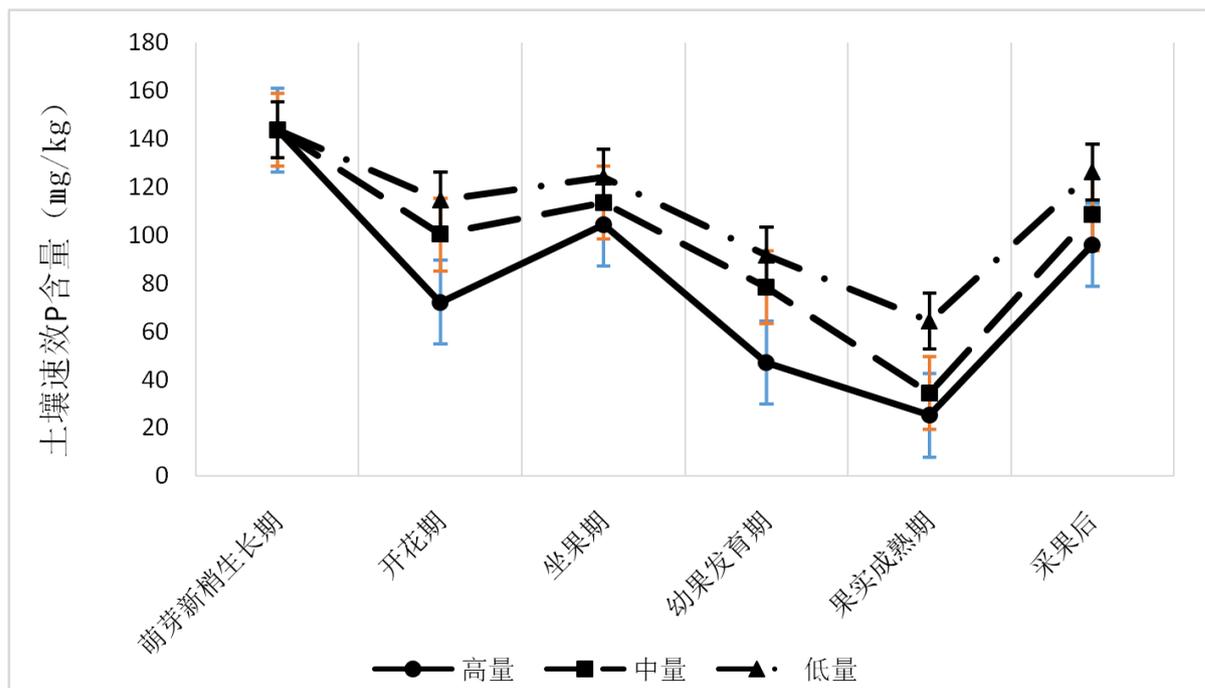


Figure 5. The variation trend of soil available P content under different N application levels and different phenological periods

图 5. 不同 N 素施用水平下、不同物候期, 土壤速效 P 含量的变化趋势

由表 5 和图 5 可知, 施加 N 素降低了植株生长发育时期中的土壤速效 P 的含量; 施加的 N 素水平越高, 降低的幅度越大(萌芽期除外)。其中差异最大的是坐果期和幼果发育期及果实成熟期。在植物整个生长过程中, 高 N 处理显著低于中 N 和低 N 处理, 在开花期分别低了 28.10%、37.07%, 在坐果期分别低了 7.93%、15.89%, 在幼果发育期分别低了 39.83%、48.65%, 在果实成熟期分别低了 26.74%、60.88%, 在采果后期分别低了 11.73%、24.01%; 中 N 处理显著低于低 N 处理, 在开花期低了 12.47%, 在坐果期低了 8.65%, 在幼果发育期低了 14.66%, 在果实成熟期低了 46.60%, 在采果后低了 13.91%。

综合分析, 施加 N 素降低了土壤速效 P 的含量; N 施入越多, 土壤速效 P 降低越多, 平均比低 N 处理低了 33.84%。

3.6. N 素对园地土壤速效 K 含量的影响

Table 6. Significant difference of soil available K content under different N application levels and different phenological periods

表 6. 不同 N 素施用水平下、不同物候期，土壤速效 K 含量的变化差异显著性

N 素水平	土壤速效 K 含量的变化(mg/kg)					
	萌芽新梢生长期	开花期	坐果期	幼果发育期	果实成熟期	采果后
高量	175.00	297.19 a	459.69 a	181.14 c	172.54 b	135.67 b
中量	175.00	270.64 b	320.59 b	302.81 a	260.50 a	171.22 a
低量	175.00	243.06 c	284.81 c	195.07 b	112.62 c	97.31 c

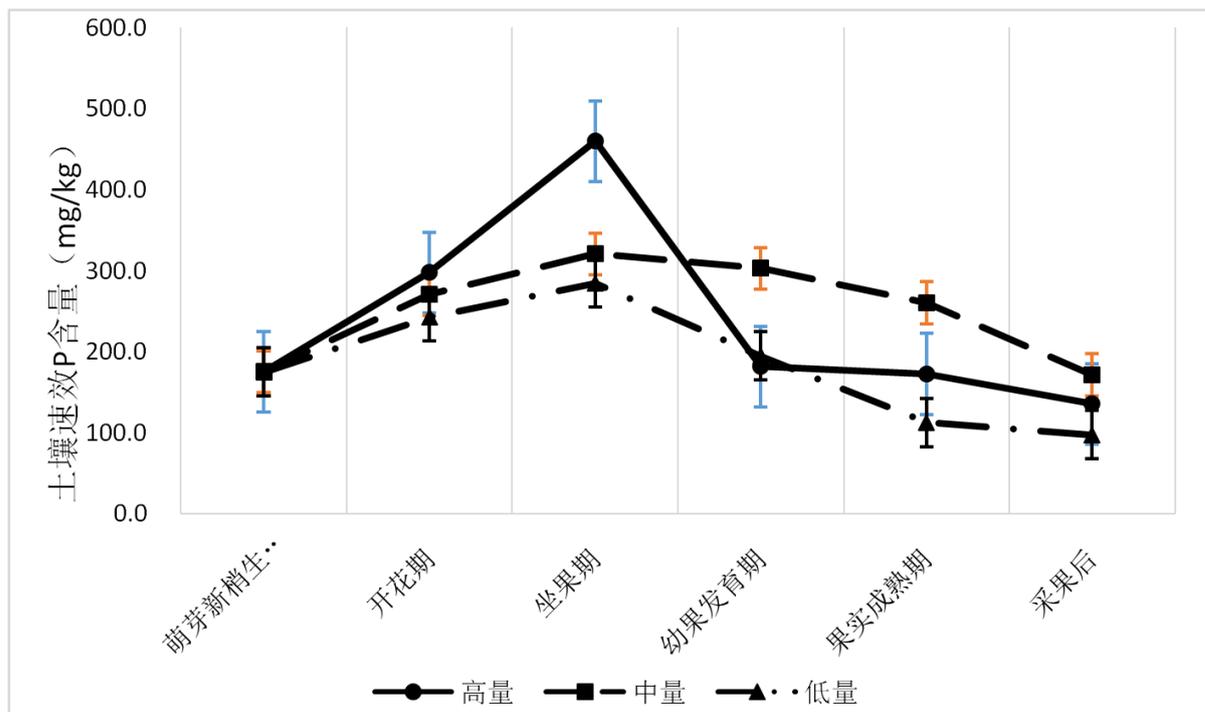


Figure 6. The variation trend of soil available K content under different N application levels and different phenological periods

图 6. 不同 N 素施用水平下、不同物候期，土壤速效 K 含量的变化趋势

由表 6 和图 6 可知，适量的施加 N 素对土壤中的速效 K 的含量起到了增加的作用，但是过量施加 N 在一定时间段内并不能明显效果，如在幼果发育期。

在萌芽新梢生长期，各处理差异不显著；在开花期和坐果期，高 N 处理显著高于中 N 和低 N 处理，在开花期分别高了 9.81%、22.27%，在坐果期分别高了 43.39%、61.40%；中 N 处理显著高于低 N 处理，在开花期高了 11.35%，在坐果期高了 12.56%；在幼果发育期，高 N 处理显著低于中 N 和低 N 处理，分别低了 40.18%、7.14%，中 N 处理显著高于低 N 处理，高了 55.23%；在果实成熟期和采果后，中 N 处理显著高于高 N 和低 N 处理，在果实成熟期高了 50.98%、131.31%，在采果后分别高了 26.20%、75.95%，高 N 显著高于低 N 处理，在果实成熟期高了 53.21%，在采果后高了 39.42%。

综合分析，N 素施入处理能够增加土壤中的速效钾含量，其中，中 N 处理使各期含量增加，平均比

低 N 处理高了 42.05%；高 N 处理的在坐果期增加土壤速效 K 含量最多，但是在幼果发育期差异不显著。

4. 讨论

本试验中土壤施加 N 素可以增加土壤 pH 值，这会加重碱化，对枣树生长不利[14]。分析原因与本试验中尿素在土壤中的转化机理有关。尿素是有机氮，不能被植物直接利用，是通过土壤微生物产生的脲酶转化分解后，才被根系吸收的。本试验地的土壤呈碱性，在碱性土壤中尿素首先被转化成碳酸氨，然后可以进一步水解成碳酸氢铵或氢氧化氨[15]。氢氧化氨呈碱性。因此，施 N-尿素后，土壤 pH 增加。建议，盐碱地或碱性土壤的 N 素选用硝酸铵等。

由图 2 可知，本试验中不同物候期土壤含盐量差异较大，如在开花期含量最高，在幼果发育期含量最低。这可能与开花期降雨少，土壤蒸发量大，土壤盐上返、聚集(含量增加)[16]，雨季 7~8 月份、幼果发育期降雨洗掉或稀释了土壤中的部分盐(含量下降)有关。另外，本试验中 N 素的施入使各个物候期土壤含盐量下降。可能与 N 素 - 尿素遇水形成的碳酸氨中的碳酸与土壤中如钙等离子结合形成沉淀[17]，使土壤容易中可溶性阳离子减少有关。

由表 3 和图 3 可知，增施 N 素可以提高土壤有机质的含量。研究显示土壤中的 C/N 比适合时可以提高微生物的活性和营养的转化效率，可以加速土壤中植物的残体转化成土壤有机质[18]。我们试验地的土壤肥力较低，较高的 pH 导致的土壤微生物种类和数量较少，土壤有机质的形成较少。因此，施 N 素后，促进了微生物的活动，促进了有机质的形成。有机质能够提高植物的生理活性，增强作物的呼吸作用，促进根系发育[19]，有机质含量越高，土壤肥力水平也会上升[20]。

由表 5 和图 5 可知，土壤中速效 P 的含量随着施加氮素量的增加而降低，这可能是元素间的拮抗作用的结果。根据姚源喜的研究，单独施用氮肥时，土壤速效磷随施氮量的增加而显著降低[21]，与本研究一致。过量的 N 会降低土壤中的速效 P。

由图 6 可知，土壤施 N，可以增加土壤中速效钾的含量。姚源喜通过增施有机肥氮肥，使土壤速效 K 含量升高[21]。侯贤清也曾在秸秆还田条件下增施氮量，继而使土壤速效 K 含量增加[22]。本试验施 N，使土壤的有机质含量增加，同时也增加了速效 K 的含量，两者是否有些关联。

5. 结论

高氮量处理使土壤 pH 值比对照组提升 3.44%，使土壤含盐量比对照组降低 5.35%，使土壤有机质含量比对照组增加了 16.89%，使土壤速效 N 含量比对照组增加了 183.83%，使土壤速效 P 含量比对照组降低了 33.84%。中氮量处理使土壤中的速效 K 含量比对照组增加了 42.05%。总之，碱地枣园土壤施氮比对照组增加了土壤中有机质、速效氮、速效钾的含量，降低土壤含盐量。但是，增加了土壤 pH 值，降低了土壤速效磷的含量。施加的 N 素水平越高，土壤 pH 值、有机质、速效氮的值越大，但是过量的氮会降低土壤速效钾的含量。

不同物候期土壤营养动态变化为萌芽期有机质和速效 P 含量最高，开花期土壤 pH、含盐量最高，坐果期土壤速效 N 和 K 含量最高。冬枣开花期土壤速效 N 含量最低，幼果期土壤含盐量、pH 值和有机质含量最低，果实成熟期土壤速效 P 含量最低，采果后土壤速效 K 含量最低。

基金项目

天津市科委企业科技特派员项目，天津地区冬枣生长发育和果实品质比较(20YDTPJC00590)；(20YDTPJC01910)；中央引导地方科技发展资金科技帮扶提升重大工程项目，茶淀玫瑰香葡萄土壤微生物生态修复及绿色种植关键技术集成与应用(20ZYCGSN00290)；天津农科院青年科研人员创新研究与实验项目，畜禽养殖场沼液膜浓缩技术优化研究(201919)；天津市林果现代农业产业技术体系创新团队项目

(ITTFPRS2018002); 天津市科学技术局项目, 油用牡丹优质种源的规模化繁育与种植的关键技术应用与研发(17ZXBFNC00310)。

参考文献

- [1] 刘伟, 吴钰蓉, 宋伟. 13个引进枣树品种生物学特性观察与生理指标测定[J]. 新疆农垦科技, 2015, 38(7): 17-20.
- [2] 宋丽华, 万仲武, 曹兵. 不同药剂处理对灵武长枣坐果与光合指标的影响[J]. 经济林研究, 2016, 34(1): 40-44.
- [3] 程功, 白晶, 赵玉英. 枣属植物化学成分及药理活性研究概况[J]. 国外医药(植物药分册), 1999, 14(4): 151-157.
- [4] 刘孟军, 汪民. 中国枣种质[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009.
- [5] Liu, M.J. and Cheng, C.Y. (1995) A Taxonomic Study on the Genus *Ziziphus*. *Acta Horticulturae*, **390**, 162-165. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.390.23>
- [6] 李强, 许明祥, 齐治军, 等. 长期施用化肥对黄土丘陵区坡地土壤物理性质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1): 103-109.
- [7] 宋玉珍. 微生物肥料在松嫩平原盐碱地造林中的应用研究[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2009.
- [8] Saiz-Fernandez, I., De Diego, N., Sampedro, M.C., et al. (2014) High Nitrate Supply Reduces Growth in Maize, from Cell to Whole Plant. *Plant Physiology*, **173**, 120-129. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.06.018>
- [9] Berenguer, P., Santiveri, F., Boixadera, J., et al. (2009) Nitrogen Fertilisation of Irrigated Maize under Mediterranean Conditions. *European Journal of Agronomy*, **30**, 163-178. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.09.005>
- [10] 周晶. 长期施氮对东北黑土微生物及主要氮循环菌群的影响[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- [11] 杨贵川. 配方施肥对夏黑葡萄园土壤理化性质及果实品质影响研究[D]: [硕士学位论文]. 雅安: 四川农业大学, 2015.
- [12] 唐瑞英. 不同施肥措施对荔枝生长及矿质营养影响的研究[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西大学, 2011.
- [13] 鲁如坤, 时正元, 钱承梁. 磷在土壤中有效性的衰减[J]. 土壤学报, 2000, 37(3): 323-329.
- [14] 杨阳. 不同水分管理下施肥对陕北山地枣树生长及产量效应研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心), 2011.
- [15] 土壤中氮素转化过程及植物吸收方式解析[EB/OL]. <https://www.docin.com/p-2003243271.html>
- [16] 李成. 灌水量和施肥量对河套灌区垄膜沟灌土壤水肥盐运移的影响[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2019.
- [17] 许凤琴. 蒙脱石-碳酸盐矿化菌对 Sr²⁺、Pb²⁺的联合滞留研究[D]: [硕士学位论文]. 绵阳: 西南科技大学, 2016.
- [18] 王楠. 氮素用量对玉米田土壤微生物学特性及有机碳组分特征的影响[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林农业大学, 2015.
- [19] 农药百科. 土壤有机质的重要性[N]. 山东科技报, 2019-07-22(004).
- [20] 邱尧, 刘备, 何霖, 等. 增施生物有机肥对水稻产量和土壤肥力的影响[J]. 中国农学通报, 2020, 36(13): 1-5.
- [21] 姚源喜. 有机肥-氮肥配合对土壤磷、钾含量的影响[J]. 土壤肥料, 1985(6): 40-42+39.
- [22] 侯贤清, 吴鹏年, 王艳丽, 等. 秸秆还田配施氮肥对土壤水肥状况和玉米产量的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(6): 1928-1934.