马铃薯的需水特性及水分胁迫 对其生理特性的影响

白雅梅

(东北农业大学资源与环境系 哈尔滨 150030)

摘要 本文比较了马铃薯与其它作物的需水特性及其根系分布特征,说明了马铃薯是一个对水分非常敏感的作物。并且,也讨论了水分胁迫对马铃薯主要生理性状的影响。旨在为马铃薯高产栽培提供理论依据。

关键词 马铃薯, 生育期, 需水特性, 水分胁迫, 生理特性

水分对植物的生长非常重要,许多生理过程都依赖于它。水分也是植物组织结构的主要成分。但是,在植物所需水分中只有很少一部分(大约1%)用于植物的代谢过程,其余的用于蒸腾。水分胁迫能抑制甚至完全停止一种或几种生理过程,如蒸腾、光合作用、细胞增大以及酶的活性。

水分胁迫或植物水分缺乏可用两个参数确切地加以描述:相对含水量(Relative Water content, RWC)〔(鲜重-干重)/(充分吸水重-干重)×100〕;植株或叶水势(Leaf water potential, LWP)(所含水分的能量状态)^[1]。其它与RWC和LWP有关的植物特性也可以作为估计水分缺乏的间接指标。例如,气孔张开大小或气孔阻力^[2]。

1 马铃薯与其它作物的比较

与其它作物相比,马铃薯对水分胁迫非常敏感,为减少马铃薯因水分胁迫而引起的产量损失,马铃薯的灌溉次数要比西红柿、玉米、甜菜多^[3]。水分稍微缺乏,马铃薯叶片气孔就关闭,降低蒸腾^[4]。当LWP为-3.5巴时即可引起马铃薯蒸腾降低,而引起大豆和棉花蒸腾降低时的LWP值分别为-11巴和-13巴^[4,5],说明马铃薯是喜湿作物。

研究者比较了马铃薯、黑麦草以及三叶草在灌

溉和干旱条件下的表现,当蒸散速率较高时,马铃薯和三叶草的RWC最低,在下午马铃薯和三叶草的LWP值分别为-6巴和-8.5巴^[6]。马铃薯叶扩散阻力的增加要比三叶草和黑麦草大得多。

土壤水分缺乏,马铃薯的相对蒸腾速率(实际蒸腾速率/潜在蒸腾速率)比甜菜的相对蒸腾速率降低的快^[7]。在夜间,马铃薯的LWP比棉花和高粱恢复慢得多。这也说明了为什么马铃薯对水分胁迫敏感^[8]。种在生长室内的马铃薯,当LWP为-5巴时,光合速率降低^[9],而大豆的相应值则为-11巴。

2 马铃薯根系分布的特点

与许多其它作物相比,马铃薯的根系既浅,横向生长的根又少。根的深度显著低于甜玉米和西红柿^[10]。马铃薯根的深度大约为90cm,甜菜和大麦大于100cm^[11]。30cm以下,马铃薯从土壤中的吸水量明显少于大麦和甜菜。能保持最高产量的最大土壤水分胁迫是:马铃薯在15cm深度为0.5巴,黄瓜在15cm深度为5巴,玉米在40cm深度为5巴,西红柿在25~40cm深度为1巴。在这个试验中,马铃薯、玉米和西红柿的根深度比较接近^[3]。

在一个田间试验中,马铃薯的根系深度为40cm,而甜菜和玉米的则是90cm。马铃薯的根不能穿透犁底层,是引起马铃薯对水分敏感的原因之一。

3 水分对马铃薯各生长期的影响

马铃薯的整个生长期可以分为 4 个阶段: (1) 从播种到出苗; (2) 出苗到结薯; (3) 块茎最大生长期; (4) 衰老和块茎成熟期。

(1) 在干旱的土壤中种植块茎, 将会抑制出苗或不出苗, 阻碍甚至停止根的生长, 结果使无性生长期缩短, 这种情况一般会影响茎的数量^[12]。在严重干旱条件下播种, 出苗时才灌溉, 将会明显延迟结薯时间, 使块茎形成期缩短^[13]。

(2) 与一直保持较高的土壤湿度相比, 出苗后 24d 内使土壤干旱 (持水量 (Water holding capacity, WHC) 的 20%~30%), 然后灌水, 一开始会降低叶面积, 但以后会增加叶重^[14]。土壤干旱会延迟结薯。然而, 也有研究者认为茎叶和块茎生长之间存在着负相关, 例如, 茎叶生长受到抑制会促进结薯发生^[15]。在开始结薯时土壤干旱会降低单株结薯数量, 在生长季早期阶段土壤湿度较高会加速衰老, 特别是在干旱条件下。

(3) 块茎日最大潜在生长量持续时间的长短是由封垄持续时间所决定的。在这个时期缺水, 会加快马铃薯的衰老。开花以后遇到干旱具有同样的结果^[16], 晚期水分胁迫也有这样的作用^[17]。从植株底部开始, 叶片萎蔫、变黄直到脱落, 同时, 干旱还会抑制新叶的形成^[9,18]。在块茎膨大的前期, 以上所提到的情况也可能由于二次生长的发生而发生改变。经历一段干旱和高温以后, 再得到充足的水分, 地上部生长将会受到促进, 导致串薯的形成^[19,20]。经过二次生长的马铃薯叶片, 比没有这一阶段的叶片繁茂得多。

(4) 在衰老和成熟期, 越干旱, 衰老越快。

在整个生长期, 如果干旱不太严重, 将会延长无性生长期的时间^[14,16]。

4 RWC 和 LWP 与光合作用的关系

当马铃薯受到干旱时, 叶片的 RWC 逐渐降低。大田种植的马铃薯, RWC 在 92%~96% 之间时, 气孔开始关闭。RWC 在 76%~80% 之间时, 气孔完全关闭。RWC 值低于 55% 时, 叶片死亡。RWC 在 92%~93% 时, CO_2 交换降低^[21]。然而, 亦有人发现,

RWC 小于 79%~80% 时, 蒸腾才开始下降^[22]。对于灌溉的马铃薯叶片 RWC 值为 80%~100%, 没灌溉的 RWC 为 76%~87%^[23]。种植在生长室中的马铃薯以 5d 干旱为一个周期, 确定 LWP 和 RWC 的平均值分别由 -2.3 巴和 84.6% 下降到 -9.4 巴和 74.7%^[24]。LWP 和 RWC 的降低与光合作用速率降低有关。种植在大田中的马铃薯, 在白天, 水分胁迫对 LWP 没有影响, 白天的 LWP 和水分充足条件下的值同样高。然而, 在夜间吸力改变, 有良好供水的条件, LWP 值为 -2~-3 巴, 水分胁迫下的 LWP 值为 -6~-7 巴^[25]。因此, 夜间的 LWP 和下午的气孔阻力值可以作为水分胁迫的指标。

种植在生长室中的马铃薯 LWP 为 -5 巴时光合作用下降 20%, 对照植株的 LWP 为 -2.2 巴^[9]。亦有人发现, 种植在生长室中的马铃薯 LWP 达 -4 巴时光合作用就开始降低。种植在生长室中的棉花和大豆气孔对叶水势降低的敏感性远远大于种植在温室中的棉花和大豆。种植在大田中的作物最不敏感。如果马铃薯也是这样, 当 LWP 达 -4~-5 时, 光合作用可能不会降低^[26]。

在温暖的气候条件下, 有良好的水分供应的晴天, 马铃薯也会受到水分胁迫的作用, 其 LWP 值很容易达到 -7~-10 巴^[25,27,28]。在干旱地区, 其值更低^[8,29]。在马铃薯生长过程中, 很可能有很长一段时间光合作用被降低。水分胁迫是引起潜在产量 (Potential yield) 与可能产量 (Attainable yield) 出现差异的主要原因^[18]。

5 影响水分胁迫降低光合作用的因子

在干旱条件下种植马铃薯, 叶片阻力 (Leaf resistance) 与剩余阻力 (Residual resistance) 大幅度增加与光合作用速率下降有关。干旱对 RuDP 羧化酶和碳酸盐脱水酶的活性没有影响, 这两种酶是固定 CO_2 的^[24]。然而, 也有人发现, 水分胁迫对马铃薯的光合羧化酶的活性有影响^[8]。这两种结论可能是由于叶龄不同的缘故。5d 和 21d 的叶有明显差异, 上部和下部叶酶的活性有显著区别。后者每隔 12d 观测一次, 因此考虑了叶龄。

水分胁迫引起的光合作用降低, 不是由于马铃薯叶片中光合产物积累引起的。较低的 LWP 导致碳水化合物输送降低, 它的降低与净光合作用的降低

成比例，不管当时是否结薯^[9]。

6 蒸散速率

气象因子，比如太阳辐射、相对湿度、气温和风速，决定了大气的蒸发和作物—土壤系统的蒸散。从出苗到块茎膨大早期蒸散速度增加，随着作物的成熟，逐渐降低^[30]。假设没有受到水分胁迫影响的马铃薯 LWP 临界值为 -3.5 巴，研究者计算了在水分胁迫发生前，不同的日蒸散速率下的作物可利用有效水分的百分率 (表 1)^[31]。这些数据表明，土壤所需灌溉频率取决于蒸散速率。

表 1 水分胁迫发生前，马铃薯最大蒸散速率 (E_{max}) 和可利用的有效水分 (%) 的关系

(E_{max}) ($mm\ day^{-1}$)	1	3	5	7	9
有效水分 (%)	55	32	23	19	16

7 抗旱锻炼

在较低水分条件下种植的马铃薯在块茎膨大期有较好的抗旱性，产量较高。从出苗到花芽形成期干旱 (25% WHC)，然后使土壤水分上升到 45% WHC，经过这种处理得到的产量高于土壤水分一直保持 45% WHC 的处理。这是因为在土壤水分含量较低的条件种植，马铃薯水分利用率较高^[16]。如果在结薯期遇到干旱，然后在块茎膨大期灌溉，除非在播种到出苗期间有较严重的水分胁迫，否则产量明显降低^[13]。在出苗以后 12~36d 进行干旱处理 (土壤水分分为 20%~30% WHC)，然后使土壤水分增加到 80%~100% WHC，经过这种处理所得到的产量高于土壤持水量一直保持较高情况下所到的产量。原因是经过抗旱锻炼的马铃薯净同化率高于一直在湿润状况下的马铃薯的净同化率。这种抗旱锻炼效果的机制可能是气孔对干旱反应不敏感^[14]。

参 考 文 献

- [1] Hsiao T C. Plant responses to water stress. *Ann Rev Plant Physiol*, 1973, 24: 519~570
- [2] Barrs H D. Determination of water deficit in plants

issues. In: *Water deficit and plant growth*. Ed. T T Kozlowski. Academic Press, New York, 1968, 236~368

- [3] Fulton J M. Relationship of root extension to the soil moisture level required for maximum yield of potatoes, tomatoes and corn. *Can J Soil Sci*, 1970, 50: 92~94
- [4] Rijtema P E and A Aboukhaled. Crop Water Use in the Arab Republic of Egypt. FAO report. RNEA Cairo, 1973, 61
- [5] Boyer J S. Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potentials in corn and soybean. *Plant Physiol*, 1970, 46: 236~239
- [6] Shepherd W. Some evidence of stomatal restriction of evaporation from well-watered plant canopies. *Water Resources Res*, 1972, 8: 1092~1095
- [7] Burrows F J. The diffusivity conductivity of sugar beet and potato leaves. *Agric Meteorol*, 1969, 6: 211~226
- [8] Ackerson R C, D R Krieg, T D Miller and R G Stevens. Water relation and physiological activity of potatoes. *J Am Soc Hortic Sci*, 1977, 102: 572~575
- [9] Munns R and C J Pearson. Effects of water deficit on translocation of carbohydrate in *Solanum tuberosum*. *Aust J Plant Physiol*, 1974, 1: 529~537
- [10] Corey A T and G Blake. Moisture available to various crops in some New Jersey soils. *Soil Sci Soc Am Proc*, 1953, 17: 314~317
- [11] Durrant M J, B J G Love, A B Messeen and A P Draycot. Growth of crop roots in relation to soil moisture extraction. *Ann Appl Biol*, 1973, 74: 384~394
- [12] Beukema H P and D E van der Zaag. Potato Improvement. Int Agric Center. Wageningen, The Netherlands, 1979, 64
- [13] Cavagnaro J B, B R de Lis and R M Tizio. Drought hardening of the potato plant as an after-effect of soil drought conditions at planting. *Potato Res*, 1971, 14: 181~192
- [14] Krug H and W Wiese. Einfluss der Bodenfeuchte auf Entwicklung und Wachstum der Kartoffelpflanze (*Solanum tuberosum* L.). *Potato Res*, 1972, 15: 354~364

贮藏温度对马铃薯品质的影响

张亚川 郑冬梅 贾艳宇

(东北农业大学食品学院 哈尔滨 150030)

马铃薯在贮藏过程中,会受到温度、湿度、气体及光照等因素的影响,在感官、生理、营养及细胞结构上发生变化,所以研究贮藏环境对马铃薯品质的影响,对保持马铃薯的优良品质,提供良好的马铃薯加工原料具有重要的意义。

收稿日期: 1998-08-20

1 贮藏温度对马铃薯呼吸量及重量的影响

呼吸作用直接或间接地联系着各种生理生化过程,影响着马铃薯的耐贮性和抗病性。呼吸作用越

- [15] Moorby J. The physiology of growth and tuber yield. In: The potato crop. Ed P M Harris. Chapman and Hall, London, 1978, 153~194
- [16] Necas J. Vodnirizim bramboru. I Rustove a vy nosove reakce bramboru na snizenou pudni vikhkost. Rostl Vyroba. Rocni 8 nr, 1962, 1: 17~44
- [17] Robins J S and C E Domingo. Potato yield and tuber shape as affected by severe soil-moisture deficits and plant spacing. Agron J, 1956, 48: 488~492
- [18] Zaag D E van der and W G Burton. Potential yield of the potato crop and its limitations. In: Survey papers 7th Tr Conf EAPR. Warsaw, Poland, 1978, 7~22
- [19] Bodlaender K B A, C Lugt and J Marinus. The induction of second-growth in potato tubers. Eur Potato J, 1964, 7: 57~71
- [20] Zaag D E van der. Doorwas in aardappelen in 1957. Landborwvoorlichting, 1958, 15: 588~599
- [21] Winkler E. Assimilationsvermogen, Atmung und Ertrae der Kartoffelsorten Oberarnbacher Frune, Planet, Lori und Agnes im Tal (610m) und an der Waldgrenze bei Innsbruck und Vent (1880m Bzw. 2014m). Flora, Jena, 1961, 151: 621~661
- [22] Stegman E C and D C Nelson. Potato response to moisture regimes. North Dakota Agric Exp Stn Res Rep, 1973, 44: 15
- [23] Epstein E and W J Grant. Water stress relations of the potato plant under field conditions. Agron J, 1973, 65: 400~404
- [24] Moorby J, R Munns and J Walcott. Effect of water deficit on photosynthesis and tuber metabolism in potatoes. Aust J Plant Physiol, 1975, 2: 323~333
- [25] Cambell G S and R Kunkel. When to irrigate. Proc 13th Ann Wash State Potato Conf & Trade Fair, Moses Lake, 1974, 63~70
- [26] Davies W J. Stomatal responses to water stress and light in plants grown in controlled environments and in the field. Crop Science, 1977, 17: 735~740
- [27] Candar P W and C B Tanner. Potato leaf and tuber potential measurements with a pressure chamber. Am Potato J, 1976, 53: 1~14
- [28] Loon C D van and T j K Glas. Comparison of some methods to characterize the water status of the potato plant in the field. In Abstracts of Conf papers 7th Tr Conf EAPR. Warsaw, Poland, 1978, 34~35
- [29] Cary J W and J L Wright. Response of plant water potential to the irrigated environment of Southern Idaho. Agron J, 1971, 63: 691~695
- [30] Hane D C and F V Pumphrey. Yield-dvapotranspiration relationships and seasonal crop coefficients for frequently irrigated potatoes. American Potato Journal, 1984, 61: 661~668
- [31] Rijtema P E and A Aboukhaleed. Crop water use in the Arab Republic of Egypt. FAO report. RNEA Cairo, 1973, 61