บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

บทบาทของไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตของข้าว โดยไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ที่มีความสำคัญต่อขบวนการสังเคราะห์แสง และเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ต่าง ๆ ที่มีหน้าที่ควบคุมการเร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมีภายในต้นพืช นอกจากนี้ยังช่วยให้พืชสังเคราะห์โปรตีน อีกทั้งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในต้นพืชอีกมาก เช่น นิวคลีโอโปรตีน มีหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีนและสร้างสารพลังงานสูงได้แก่ ATP (adenosine triphosphate) และวิตามิน เป็นต้น (สรินทร์ และคณะ, 2523) Stocking and Ongum (1962) รายงานว่า เมื่อเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนแก่ต้นข้าวปริมาณคลอโรฟิลล์ภายในหน่วยพื้นที่ใบจะเพิ่มขึ้นและมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดกับการสังเคราะห์แสง การให้ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างมากในพันธุ์ข้าวที่ไม่ตอบสนองต่อไนโตรเจนจะมีอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้นในขณะที่ใบมีอัตราการสังเคราะห์แสงเท่าเดิมแล้วมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (net photosynthesis) ลดลง (Watanabe and Yoshida, 1970) และชี้ให้เห็นว่าข้าวพันธุ์ที่มีลำต้นเตี้ยจะตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนที่สูงและมีอัตราการหักล้ม (lodging) น้อยกว่าพันธุ์พื้นเมือง ที่มีการดูดใช้ไนโตรเจนในระยะแตกกอที่มีผลต่อความยาวของลำต้น ทำให้มีการหักล้มของข้าวในระยะเก็บเกี่ยว ซึ่งเกิดจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนรองพื้น (basal-N) หรือปุ๋ยไนโตรเจนแต่งหน้า (topdressed) มากเกินไป (Wada *et. al.* ,1986) ส่วนการสังเคราะห์โปรตีนนั้นไนโตรเจนมีความสำคัญเนื่องจากโปรตีนเป็นองค์ประกอบของ protoplasm และในโปรตีนก็จะประกอบไปด้วยโมเลกุลของกรดอะมิโน ซึ่งกรดอะมิโนเหล่านี้มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ในปัจจุบันพบว่ามีกรดอะมิโนมากกว่า 20 ชนิด ที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโปรตีน ดังนั้นการขาดไนโตรเจนจะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและขบวนการทางชีวเคมีภายในต้นพืช (สุรพล, 2538)

เมื่อข้าวได้รับไนโตรเจนในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้มีการเจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตสูง ซึ่งในช่วงแรกของการเจริญเติบโต (ตั้งแต่ระยะปักดำถึงแตกกอสูงสุด) จะได้ไนโตรเจนจากปุ๋ยรองพื้นและมีการดูดใช้ในการสร้างใบ ลำต้น ราก เพื่อเพิ่มพื้นที่ใบ จำนวนกอและขนาดของกอให้มากขึ้น ส่วนในระยะสืบพันธุ์จะได้ไนโตรเจนจากปุ๋ยแต่งหน้าและมีการนำไปใช้ในการสร้างช่อดอก, รวงอ่อนเพิ่มจำนวนเมล็ดต่อรวง ความยาวของรวงและเพิ่มขนาด และเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด ซึ่งเป็นแหล่งสะสม (sink) ในขั้นสุดท้าย (Murata and Matsushima, 1975; Ready *et al.* , 1989; ชยงค์ และ คณะ, 2527) เช่นเดียวกับที่ Murata (1982) รายงานว่า ธาตุไนโตรเจนมีผลต่อการเพิ่มพื้นที่ใบ จำนวนต้นต่อกอ จำนวนดอกต่อรวง และกิจกรรมการสังเคราะห์แสงของข้าวสูงขึ้น และ De Datta (1981) กล่าวว่า ไนโตรเจนจำเป็นสำหรับข้าวในระยะเริ่มแตกกอ (tillering stage) จนถึงระยะแตกกอสูงสุด (maximum tiller stage) และเริ่มสร้างรวงอ่อนซึ่งในระยะนี้ข้าวจะหยุดการเจริญเติบโตทางลำต้น แต่จะมีการสะสมแป้ง (คาร์โบไฮเดรต) มากขึ้นโดยไนโตรเจนมีบทบาทเพิ่มจำนวนดอกต่อรวงและเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด ดังที่กล่าวมา จะพบว่าปริมาณไนโตรเจนมีความสำคัญต่อข้าวในการสร้างผลผลิตนั้นขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวที่ปลูก ชนิดของดิน ปริมาณวัชพืช และอื่น ๆ

การสะสมและการถ่ายเทไนโตรเจน (N Accumulation and Partitioning)

การถ่ายเทสารสังเคราะห์เป็นการถ่ายเทสารที่พืชสร้างขึ้นแล้วถ่ายทอดไปยังแหล่งรับ (sink) ที่อยู่ใกล้ที่สุด เช่น จากใบบนไปยอด จากใบล่างไปราก จากใบธงไปรวง เป็นต้น และการถ่ายเทสารสังเคราะห์จะขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม (เฉลิมพล, 2535; Duncan *et al.*, 1987; Snyder and Carlson, 1984) โดยข้าวจะดูดใช้ไนโตรเจนในรูป NH_4^+ และ NO_3^- ซึ่ง NH_4^+ จะดูดใช้ได้ดีกว่า และ NH_4^+ จะถูกดูดเข้าทางรากและเปลี่ยนเป็น กลูตามีน แล้วเคลื่อนย้ายไปสู่ลำต้นและใบ ความสามารถในการสะสมไนโตรเจนจะแตกต่างกันไปในแต่ละส่วนของพืชขึ้นอยู่กับความต้องการ และจะส่งไปยังเนื้อเยื่อที่เจริญมากกว่าเนื้อเยื่อที่ตายแล้ว (Norman *et al.*, 1992) Norman *et al.* (1992) รายงานว่าการสะสมและการถ่ายเทไนโตรเจนในระยะการเจริญ

เติบโตทางลำต้น และระยะการสืบพันธุ์ของข้าวจะมีความสำคัญต่อการผลิตเมล็ด โดยที่ระยะออกดอกในใบจะมีการสะสมไนโตรเจนถึง 70% และมีมากที่สุดในใบธง และ Mae (1986) พบว่าในระยะต้นอ่อนมีการดูดใช้ไนโตรเจน 30% และในระยะกำเนิดรวงมีการดูดใช้ไนโตรเจน 5 - 20% โดยทำการใส่ ^{15}N ให้แก่ข้าวในระยะสร้างรวงอ่อนพบว่าหลังจากนั้น 5 วันมีการสะสม ^{15}N ในลำต้น 24% และใบ 74% ต่อมาในระยะเก็บเกี่ยวพบ ^{15}N ในใบเพียง 20% ลำต้น 8% และในรวง 67% จะเห็นได้ว่าในระยะกำเนิดช่อดอกไนโตรเจนมีความสำคัญต่อการสร้างจำนวนดอกและความสามารถในการสร้างเมล็ด ผลการทดลองนี้จะพบว่า มีการสะสมไนโตรเจนในต้นข้าวจาก 2 แหล่ง ตามการได้มาคือ ไนโตรเจนที่ดูดเข้ามาใหม่กับไนโตรเจนที่มีการเคลื่อนย้าย (remobilize) มาจากส่วนอื่นๆ และในระยะผสมเกสรไนโตรเจนในใบจะเป็นตัวการควบคุมการสะสมและการถ่ายเทไนโตรเจนไปใช้ในการพัฒนาเมล็ด (พรพิบูลย์, 2535) ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับพันธุ์กรรมและสิ่งแวดล้อม เช่น อัตราไนโตรเจน (Moore *et al.*, 1981) ระยะเวลาในการใส่ปุ๋ย (Norman *et al.*, 1992) วิธีการใส่ปุ๋ย (Mikkelsen *et al.*, 1971, 1995) เป็นต้น

Mae and Ohira (1981) ได้ทำการทดลองใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (^{15}N) โดยใส่ในระยะสร้างรวงอ่อนจะพบว่า เมื่อใบธงเริ่มปรากฏออกมาจะมีการสะสมไนโตรเจน 37% ซึ่งมาจากการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนเก่าที่สะสมในใบล่าง 45% และในระยะการพัฒนาใบธงจะมีการสะสมไนโตรเจน 55% และมีการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนเก่าที่สะสมเพิ่มขึ้นเป็น 63% เพื่อนำมาสะสมไว้สร้างเมล็ด ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการถ่ายเทไนโตรเจนจากที่สะสมอยู่เดิมแล้วถูกนำมาใช้ในการสร้างใบธง และ Moore *et al.* (1981) ได้เปรียบเทียบการสะสมและการถ่ายเทไนโตรเจนภายใต้สภาพการขาดแคลนไนโตรเจน (0กก.N/เฮกตาร์) กับ สภาพที่มีไนโตรเจนสูง (130กก.N/เฮกตาร์) ในข้าวพันธุ์ Lebonnet พบว่าภายใต้สภาพที่ขาดแคลนไนโตรเจนมีการสะสมไนโตรเจนในใบธง 25% ใบแก่และลำต้น 16% และในเมล็ด 59% และสภาพที่มีไนโตรเจนเพียงพอมีการสะสมไนโตรเจน 23% ในใบธง 28% ในใบแก่และลำต้น และ 49% ในเมล็ด ในระยะเก็บเกี่ยวข้าวทำให้เห็นว่าภายใต้สภาวะที่ขาดแคลนไนโตรเจนนั้นจะมีถ่ายเทไนโตรเจนเพื่อไปสร้างเมล็ดมากกว่าภายใต้สภาวะที่มีไนโตรเจนที่เพียงพอ และ Norman *et al.* (1994) พบว่า การสะสมไนโตรเจนในข้าวพันธุ์เดียวกัน (Lebonnet) และอัตราไนโตรเจนเท่ากัน (130กก.N/เฮกตาร์)

กับที่ Moore *et al.* (1981) ใช้โดยพบว่า ในใบล่าง (bottom leaves) นั้นมีการสะสมไนโตรเจน 13% ลำต้น (stems + sheaths) 18.63% และใบธง (flag leaf) 7% หรืออาจกล่าวได้ว่า มีการสะสมไนโตรเจนในเมล็ด 60% และในใบและลำต้น 40% (Reddy and Patrick, 1978) และไนโตรเจนที่สะสมไว้ในใบจะถูกนำมาใช้ในการสร้างเมล็ด (Mae, 1986; Norman *et al.* , 1992; Wada *et al.* , 1986) และ Norman *et al.* (1994) พบว่ามีการถ่ายเทไนโตรเจนจากใบล่าง ลำต้น และใบธง จากระยะออกดอก ถึง ระยะเก็บเกี่ยว โดยที่ข้าวพันธุ์ Lebonnet (ต้นสูง) จะมีไนโตรเจนลดลงจากใบ 31.2% ลำต้น 68.4% และใบธง 56.6% และมีการสะสมไนโตรเจนในรวงเพิ่มขึ้นเป็น 4เท่า ส่วนในข้าวพันธุ์ Lemont (ต้นเตี้ย) มีการสูญเสียไนโตรเจน 42.7% 61.0% และ 62.4 % ตามลำดับและมีการสะสมไนโตรเจนที่รวงเพิ่มขึ้นเป็น 4.1เท่า จากการกล่าวข้างต้นทำให้เห็นว่านอกจากสภาวะที่ขาดแคลนไนโตรเจนที่มีผลต่อการสะสมไนโตรเจนยังมีลักษณะทางสรีรวิทยาที่มีบทบาทต่อการสะสมและถ่ายเทไนโตรเจนอีกด้วย

การตอบสนองและความต้องการไนโตรเจนของข้าว

ข้าวเป็นพืชที่ต้องการธาตุไนโตรเจนค่อนข้างสูงเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต แต่ปริมาณการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้กับข้าวขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นสำคัญ สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวในบ้านเราโดยทั่วไปมีความอุดมสมบูรณ์ของธาตุไนโตรเจนต่ำไม่เพียงพอกับความต้องการของข้าว (สุรพล, 2539) จากผลการศึกษาของ IRRI (1989) ได้แสดงให้เห็นว่าข้าว Indica type ที่ใช้ปลูกไม่ว่าจะเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองหรือพันธุ์ปรับปรุงก็ตาม ในการสร้างเมล็ด 15 - 20กิโลกรัม ต้องใช้ไนโตรเจน 1กิโลกรัม ซึ่งคล้ายกับ Motomura *et al.* (1979) รายงานว่าข้าวจะตอบสนองต่อปุ๋ยเคมีไนโตรเจนระหว่าง 12 - 18กก./ไร่ และ IRRI ยังได้ประเมินว่าสภาพดินนาในเขตร้อนทั่วไปจะมีระดับความอุดมสมบูรณ์ของไนโตรเจนที่สามารถสร้างผลผลิต (เมล็ด) ได้ 160 - 240กก./ไร่เท่านั้น และMoor *et al.* (1981) ทำการปลูกข้าวIndica พันธุ์ Lebonnet ในสหรัฐอเมริกา พบว่าเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 20กก./ไร่ สามารถสร้างผลผลิตได้ 1,212 กก./ไร่ ในขณะสภาพดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสามารถสร้างผลผลิตได้เพียง 453กก./ไร่ ทั้งนี้

ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ และลักษณะโครงสร้างของดินเป็นหลัก และ ชยงค์ และคณะ (2527) ทำการปลูกข้าวในดินนาชุดร้อยเอ็ด (ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ) ผลผลิตข้าวจะเพิ่มขึ้นจาก 425กก./ไร่ เป็น 651กก./ไร่ ถ้าใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 24กก./ไร่ ซึ่งจากการกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าข้าวที่ปลูกในดินที่มีลักษณะแตกต่างกันจะมีความต้องการไนโตรเจนที่ต่างกัน และ เยาวพา และคณะ (2527) กล่าวว่าผลผลิตข้าวจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใส่อัตราปุ๋ยไนโตรเจนมากขึ้น แต่การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่มากเกินพอ อาจจะเป็นสาเหตุให้เกิดการหักล้ม (lodging) ได้ง่าย ทำให้ผลผลิตเสียหาย หรือ ถ้าขาดแคลนไนโตรเจนรุนแรงจะทำให้พืชแคระแกรน ใบขาดคลอโรฟิลล์ และค่อย ๆ แห้งตายในที่สุด (IRRI, 1980; Yoshida, 1981) และ Murayama (1979) รายงานว่าในสภาพปกติข้าวพันธุ์จาโปนิกา (Japonica) ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์ต้นเตี้ยจะดูดใช้ไนโตรเจน 19 - 21กิโลกรัม เพื่อสร้างเมล็ดข้าวเปลือก 1ตัน ซึ่งแตกต่างกับข้าวพันธุ์ Indica ทำให้ทราบว่าลักษณะทรงพุ่มที่แตกต่างกันจะมีการตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่าง โดยข้าวที่มีใบตั้งตรงจะตอบสนองต่อไนโตรเจนได้ดีกว่าข้าวที่มีใบที่โน้นเอียง (เฉลิมพล, 2535)

นอกจากอัตราปุ๋ยแล้วระยะเวลาในการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึง ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนมักเกิดการสูญเสียโดยกระบวนการต่าง ๆ ภายใต้สภาพน้ำขังในปริมาณค่อนข้างสูง (De Datta, 1987) ดังนั้นระยะเวลาการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจึงได้ถูกนำมาใช้ซึ่ง Heenan and Bacon (1978) แสดงให้เห็นว่าข้าวมีความต้องการไนโตรเจนสูงอยู่ 2 ระยะคือ ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ เพื่อใช้ในการแตกกอ และในระยะที่ข้าวเริ่มสร้างรวงอ่อน เพื่อเพิ่มจำนวนช่อดอกต่อรวงและเมล็ดที่สมบูรณ์ และ Tanaka *et al.* (1959) แนะนำการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 2 ระยะคือ ครั้งแรกในระยะปักดำและอีกครั้งในระยะกำเนิดช่อดอก จะทำให้ได้รับผลผลิตสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ De Datta (1981) ที่รายงานว่า ประสิทธิภาพของการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในข้าวจะสูงถึง 51% เมื่อแบ่งใส่ 2ครั้ง คือระยะปักดำและระยะกำเนิดช่อดอกในอัตรา 2ใน3 และ 1ใน3 ของไนโตรเจนทั้งหมดที่ใส่ตามลำดับ

พันธุ์ข้าวก็เป็นสิ่งหนึ่งที่สำคัญในการตอบสนองต่อไนโตรเจน โดย สุวัฒน์ (2538) รายงานว่าข้าวลูกผสมที่ให้ผลผลิตสูงซึ่งเกิดจากการปรับปรุงพันธุ์ที่สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) หรือในประเทศที่ปลูกข้าวอื่น ๆ นั้นการให้ผลผลิตไม่ได้ขึ้นอยู่กับปุ๋ยอย่างเดียวแต่ยังขึ้นกับพันธุ์ข้าวในด้านความสามารถในการดูดใช้ไนโตรเจนด้วย ซึ่งโดยทั่วไปข้าวพันธุ์ที่มีลักษณะต้นเตี้ย ใบตั้งตรง และมีการแตกกอมาก จะให้ผลผลิตที่สูงกว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีลักษณะต้นสูง มุมใบกว้าง หรือใบแบนราบกับพื้น มีการแตกกอน้อย แม้ว่าจะปลูกในสภาพที่ไม่ใส่ปุ๋ยเลยก็ตาม และ De Datta *et al.* (1974) ได้ทำการทดลองในประเทศฟิลิปปินส์ โดยดำเนินงานใน 4 สถานที่เป็นเวลา 5 ปี พบว่า ข้าวพันธุ์ IR8 และ IR20 สามารให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวพันธุ์พื้นเมือง (Peta) เฉลี่ย 0.6ตันต่อเฮกตาร์ ในสภาพที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และในขณะเดียวกันก็จะมีความแตกต่างของผลผลิตเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยไนโตรเจน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้าวพันธุ์ลูกผสมมีประสิทธิภาพในการดูดใช้ไนโตรเจนมากกว่าข้าวพันธุ์พื้นเมือง แม้ว่าจะมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่ต่ำ และ Norman *et al.* (1994) พบว่าการดูดใช้ไนโตรเจนในข้าวพันธุ์ Lebonnet ซึ่งเป็นพันธุ์ต้นสูงนั้นต่ำกว่าพันธุ์ Lemont ที่เป็นพันธุ์ต้นเตี้ยและมีการดูดใช้มากที่สุดในช่วงออกดอกถึงช่วงเก็บเกี่ยว จากที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าพันธุ์ข้าว อัตราปุ๋ยไนโตรเจน ระยะเวลาในการใส่ ชนิดของดิน และปัจจัยอื่น ๆ เป็นต้น ทำให้ มีการตอบสนองต่อความต้องการปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน เช่นในบางครั้งพันธุ์และไนโตรเจนไม่ได้เป็นตัวกำหนดในการดูดใช้ไนโตรเจนยังมีสภาพของพื้นดินที่เป็นตัวการกำหนดการดูดใช้ไนโตรเจนด้วย

ประสิทธิภาพของปุ๋ยไนโตรเจน

ประสิทธิภาพของปุ๋ยไนโตรเจนนั้นขึ้นอยู่กับเวลาและพันธุ์พืชที่มีความสามารถในการดูดใช้ไนโตรเจน เนื่องจากพืชนำไนโตรเจนไปใช้ในการสร้างส่วนต่าง ๆ ของพืชแตกต่างกันไปตามความต้องการ ความสามารถในการดูดใช้ไนโตรเจนของพืชจะแปรตามสภาพแวดล้อม และการจัดการ เช่นคุณภาพของดิน วิธีการใส่ปุ๋ยและปริมาณไนโตรเจน ซึ่งรวมถึงการจัดการน้ำและการจัด การอื่น ๆ

Yoshida (1981) ได้ให้ความหมายของประสิทธิภาพของปุ๋ยไนโตรเจน (Effciency of fertilizer nitrogen, กก.ผลผลิต/กก.Nที่ใส่) คือ ผลผลิตพืชต่อปริมาณปุ๋ยที่ใส่ให้หรือในทางสรีรวิทยา คือ ประสิทธิภาพการดูดซับปุ๋ยไนโตรเจน (efficiency of nitrogen recovery) คูณด้วยประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน (efficiency of nitrogen utilization) ดังสมการต่อไปนี้

Efficiency of fertilizer nitrogen = Efficiency of nitrogen recovery × Efficiency of nitrogen utilization

(kg grain/kg applied N) (kg absorbed N/kg applied N) (kg grain/kg aabsorbed N)

โดยที่ประสิทธิภาพการดูดซึมปุ๋ยไนโตรเจน (efficiency of nitrogen recovery) หมายถึง ความสามารถของต้นพืชในการดูดซับไนโตรเจนเมื่อเปรียบเทียบกับไนโตรเจนที่ใส่ให้ทั้งหมด (kg absorbed N / kg applied N)

ส่วนประสิทธิภาพในการใช้ไนโตรเจนที่สะสมทั้งหมด (efficiency of nitrogen utilization) หมายถึง ความสามารถของต้นพืชในการใช้ไนโตรเจนไปในการสร้างเมล็ด (kg grain/kg absorbed N)

ในขณะที่ Cassman *et al.* (1996) กล่าวว่า Effciency of fertilizer nitrogen คือ Agronomic efficiency

Agronomic efficiency = Recover efficiency × Physiological efficiency

หรือ $$\text{Agronomic efficiency} = \frac{Y_1 - Y_0}{\text{N application}}$$

ซึ่งก็มีความหมายเดียวกัน เมื่อ

Y_1	คือ ผลผลิตที่ใส่ไนโตรเจน
Y_0	คือผลผลิตที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน
N application	คือ ปริมาณไนโตรเจนที่ใส่